

S.S.291 "Della Nurra"

Lavori di costruzione del Lotto 1 da Alghero ad Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas (completamento collegamento Alghero-Sassari) e del Lotto 4 tra bivio Olmedo e l'aeroporto di Alghero - Fertilia (bretella per l'aeroporto)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. CA29

PROGETTAZIONE: ATI: VIA - SERING - VDP - BRENG

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)

MANDATARIA:

MANDANTE:

RESPONSABILE D'AREA

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso*

(Ord. Ing. Prov. Roma 26031)

Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza*

(Ord. Ing. Prov. Roma 27296)

Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio*

(Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura*

(Ord. Ing. Prov. Roma 14660)



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

MANDANTE:

MANDANTE:

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Maria Antonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)



Enrico Curcuruto
Francesco Ventura



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Salvatore Campione

GEOLOGIA E GEOTECNICA

Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	TOOGE00GEORE06_A.DWG			
DPCA00029	E 21	CODICE ELAB.	T00GE00GEORE06	A	
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	LUG 2021	E. CURCURUTO	E. CURCURUTO	G. PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	<i>Premesse</i>	3
2	<i>Riferimenti normativi</i>	6
3	<i>Schema Geomorfologico</i>	8
	<i>3.1 Principali elementi geomorfologici</i>	10
	3.1.1 Forme dovute al deflusso delle acque superficiali	10
	3.1.2 Forme strutturali	11
	3.1.3 Forme antropiche	12
	3.1.4 Superfici di spianamento	12
	<i>3.2 Verifica dei contenuti del PAI</i>	13
4	<i>Schema Geologico</i>	15
	<i>4.1 Assetto tettonico-strutturale dell'area di studio</i>	19
	<i>4.2 Evoluzione paleogeografica</i>	20
	<i>4.3 Successione stratigrafica e caratteri delle unità geologiche</i>	21
	4.3.1 Successioni sedimentarie mesozoiche della Sardegna settentrionale	21
	4.3.2 Successione vulcanico-sedimentaria terziaria	24
	4.3.3 Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese	25
	4.3.4 Depositi pleistocenici dell'area continentale	25
	4.3.5 Depositi olocenici dell'area continentale	26
5	<i>Schema Idrogeologico</i>	27
	<i>5.1 Schema della circolazione idrica sotterranea</i>	30
6	<i>Sismicità</i>	32
	<i>6.1 Sismicità storica</i>	32
	<i>6.2 Pericolosità sismica</i>	33
7	<i>Indagini geognostiche</i>	37
8	<i>Modello Geologico di Riferimento</i>	43
	<i>8.1 Asse C</i>	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
	<i>8.2 Asse B</i>	51

8.3	<i>Asse D</i>	57
9	<i>Bonifica del piano di posa dei rilevati</i>	61
10	<i>Bibliografia</i>	63

1 Premesse

La presente relazione geologica fa parte della documentazione allegata al Progetto Esecutivo del Lotto Unico della S.S. n° 291 da Alghero ad Olmedo, comprendente l'ex 1° lotto, che si origina in località bivio cantoniera di Rudas per connettersi, da un alto, con la SP24 e dall'altro con la SS 127, e l'ex 4° lotto, di collegamento dell'arteria in progetto, dallo svincolo di Mamuntanas all'aeroporto di Fertilia.

La relazione definisce i lineamenti geologici dell'area e delinea il Modello Geologico di Riferimento in relazione agli interventi in progetto.

Nella presente nota vengono inizialmente descritti i contesti geomorfologico, stratigrafico ed idrogeologico di riferimento; successivamente viene analizzato il tracciato in progetto, per tratti omogenei, con riferimento alle relazioni prevedibili fra l'assetto del sottosuolo ed il suo comportamento conseguente alla costruzione delle principali opere previste.

Gli elementi necessari a tale scopo sono stati ricavati a seguito dell'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto, dell'analisi diretta delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree all'interno delle quali ricade l'intervento in progetto, dell'interpretazione dei dati geognostici pregressi relativi a campagne di indagine geognostica e geofisica effettuate ai fini della realizzazione di opere nelle immediate vicinanze al progetto.

In particolare, i dati geognostici presi in esame sono riferibili alle seguenti campagne d'indagine:

- Campagna d'indagine eseguita nell'ambito del Progetto Definitivo della "Nuova Strada Statale 291 – Collegamento veloce Sassari-Alghero-Aeroporto – Tronco bivio Olmedo -

Alghero - Aeroporto – I° Lotto” affidata, dal Compartimento della viabilità per la Sardegna, alla società SOLES s.r.l. nell’anno 2004;

- Campagna di indagini integrative per il progetto sopra citato, affidate, nell’anno 2005, alla società Geo-Lavori s.r.l.;
- Campagna d’indagine eseguita nell’ambito del Progetto Definitivo del Lotto 2, eseguita dalla società Progeo Lavori s.r.l., nell’anno 2004;
- Campagna d’indagine del Progetto Definitivo della “Circonvallazione di Alghero – Tratto innesto S.S. 127 bis – innesto S.S. 292”, eseguita a cura del Comune di Alghero (ditta esecutrice: Sarda Sondaggi s.r.l.) nell’anno 2012;
- Campagne d’indagine geognostica e geofisica per il Progetto Definitivo della “S.S. 291 – Collegamento veloce Sassari – Alghero – Aeroporto. Tronco Bivio Olmedo – Alghero – Aeroporto – 1° lotto”, eseguite, rispettivamente, dalle società Sonedile s.r.l. e Progeo s.r.l. nell’anno 2015.
- Campagne d’indagine geognostica e geofisica per il Progetto Definitivo della “S.S. 291 – Collegamento veloce Sassari – Alghero – Aeroporto. Tronco Bivio Olmedo – Alghero – Aeroporto – Lotto Unico”, eseguite dal RTI Experimentations – Ditta Antonello Angius - Geolab nell’anno 2016.
- Campagne d’indagine geognostica e geofisica integrativa per il Progetto Definitivo della “S.S. 291 – Collegamento veloce Sassari – Alghero – Aeroporto. Tronco Bivio Olmedo – Alghero – Aeroporto – Lotto Unico”, eseguite dal RTI Experimentations – Ditta Antonello Angius - Geolab nell’anno 2017.

La documentazione ad esse relativa è riportata negli elaborati "Documentazione indagini geognostiche preesistenti", "Certificati prove di laboratorio preesistenti", "Documentazione indagini geofisiche preesistenti", "Certificati prove di laboratorio – Tomo 1", "Certificati prove di laboratorio – Tomo 2", "Certificati prove di laboratorio – Tomo 3", accompagnati dalla relativa planimetria di ubicazione delle indagini e dagli elaborati raggruppati i certificati delle prove di laboratorio dei campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi.

2 Riferimenti normativi

- D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»";
- D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- D. Lgs. n.50 del 18 aprile 2016: "Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture";
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle "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";
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "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";
- Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni. Variante adottata con deliberazione del Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 2 del 25.02.2010;
- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI;

- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI;
- Eurocodice 8 (1998);
- Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter; D.L. 180/98 e s.m.i.: "Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti";
- DPR Regione Sardegna n. 35 del 21 marzo 2008 "Norme di attuazione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Approvazione delle modifiche degli artt. 4, comma 11, e art. 31".

3 Schema Geomorfologico

La morfologia dell'area studiata rappresenta una diretta conseguenza dell'evoluzione geologica e geostrutturale dell'intera isola, caratterizzata dal susseguirsi di mutamenti legati ai movimenti tettonici che hanno ripetutamente interessato l'isola stessa e che sono ora rappresentati da evidenze della presenza di faglie, frammentazioni e dislocazioni degli ammassi e, nel terziario, dalla messa in posto di terreni di genesi vulcanica. Tali mutamenti tettonici hanno causato l'alternanza di fasi di continentalità e fasi di ingressione marina.

E' inoltre chiaramente percepibile, dall'esame fotointerpretativo e della cartografia, il forte condizionamento che la particolare evoluzione tettonica del territorio interessato dal progetto ha determinato nei confronti della sua evoluzione geomorfologica, con particolare riferimento all'evoluzione del reticolo idrografico. In tutta l'area vasta, riferibile alla piana di Alghero, compresa fra i rilievi carbonatici prospicienti la costa occidentale e le colline vulcanico-ignimbriche presenti ad est di Olmedo ed Alghero, sono infatti facilmente individuabili, all'esame fotointerpretativo, una serie di elementi geomorfologici (meandri o tratti di alvei fossili o abbandonati, aree con *pattern* angolato del reticolo, catture fluviali) che testimoniano come l'evoluzione tettonica recente dell'area, accompagnata dalle oscillazioni del livello di base, abbia fortemente condizionato l'evoluzione geomorfologica recente di questo territorio. Tali indicazioni hanno, successivamente, trovato conferme di carattere stratigrafico nella ricostruzione del Modello Geologico di Riferimento.

Durante le sopra citate fasi di continentalità si sono verificati una serie di processi morfogenetici causati dalle variazioni climatiche.

Il progetto studiato, in particolare, si estende all'interno della piana di Alghero, verso la quale sono rivolte le principali direttrici del reticolo idrografico di questo settore.

In tale area, come detto precedentemente, a causa del susseguirsi di differenti fasi tettoniche avvenute durante il meso-cenozoico, si sono originati rilievi collinari, impostatisi su rocce calcareo-dolomitiche riferibili alla medesima era, considerati come forme residuali d'erosione (*"inselbergs"*) quale, ad esempio, il Monte Doglia, ad ovest dell'area aeroportuale, o il Monte Agnese, ad est di Alghero (91 m), il cui versante settentrionale è attraversato dal tracciato del presente progetto. I versanti di tali rilievi si raccordano gradualmente con la superficie pianeggiante circostante, a causa dell'interposizione di coltri detritiche o eluvio-colluviali, seppur risulti evidente, sia dall'analisi fotointerpretativa che dal rilievo geomorfologico di campo, nell'allineamento delle aree collinari e nella conformazione del *pattern* della rete idrografica, l'esistenza, appunto, di un forte controllo tettonico, esercitato da più sistemi di faglie, responsabili della disarticolazione del substrato mesozoico e del suo ribassamento al di sotto delle aree pianeggianti.

Nella medesima zona, con prevalente diffusione nel settore orientale sono presenti, inoltre, rilievi collinari, altopiani e superfici strutturali sviluppatasi in corrispondenza degli areali di affioramento delle rocce vulcaniche di età oligo-miocenica. E' il caso del Monte Carru (92 m), Monte San Giuliano (117 m), Monte Calvia (106 m) e Nur.ghe Pedrosu (85 m), i quali rappresentano rilievi e pianori vulcanici, di genesi prevalentemente ignimbratica, isolati, di minore estensione ed altitudine rispetto a quelli calcarei. Verso est, la prevalenza di forme sviluppatasi sulle unità vulcaniche acquisisce, pertanto, un ruolo predominante della conformazione del paesaggio geologico.

Notevole diffusione, nell'area di Alghero, presentano le coperture sedimentarie, rappresentate da depositi alluvionali e palustri, costituiti da travertini, che assumono una morfologia tabulare, leggermente inclinata verso l'alveo attuale dei corsi d'acqua principali.

La stessa importanza rivestono i depositi eolici, i quali si spingono nell'entroterra per notevoli estensioni. Tali depositi (eolianiti) sono rappresentati in gran parte da dune fossili, originatesi a seguito di diversi cicli di deposizione, che ricoprono i substrati calcarei e vulcanici e le alluvioni terrazzate.

La particolare conformazione tettonica dell'area, caratterizzata dalla presenza di elementi fragili sepolti, responsabili della disarticolazione del substrato, ha determinato, inoltre, lo sviluppo di un reticolo paleocarsico, in corrispondenza del quale si sono originati i depositi ed i giacimenti bauxitici, ben noti nell'area (Olmedo).

L'analisi geomorfologica di dettaglio, unita ai dati stratigrafici via via acquisiti, ha inoltre consentito di individuare, ad esempio nell'area dello svincolo di Mamuntanas, l'esistenza di paleobacini lacustri, impostatisi in corrispondenza di aree nelle quali la tettonica fragile ha provato il ribassamento del substrato carbonatico, creando aree depresse circoscritte, successivamente colmate, nelle varie fasi del Pleistocene, da sedimenti lacustri ed epivulcanici, oggi del tutto obliterate dall'evoluzione geomorfologica più recente.

3.1 Principali elementi geomorfologici

3.1.1 Forme dovute al deflusso delle acque superficiali

- Reticolo idrografico superficiale: è rappresentato dal reticolo idrografico costituente la rete di deflusso dei principali corsi d'acqua e dei loro affluenti secondari. Nell'area di intervento essi sono rappresentati dal Riu Filibertu e dal Riu Sassu in corrispondenza del lotto 4 e dal Riu Serra e dal Riu Calvia per il lotto 1. Il loro reticolo risulta fortemente controllato dalla tettonica, determinando un *pattern* della rete idrografica prevalentemente angolare o sub-angolare.

- Orlo di scarpata fluviale: è rappresentata da una rottura morfologica più o meno evidente, che costituisce l'espressione di episodi più o meno prolungati di erosione da parte delle acque superficiali. Queste sono posizionate principalmente lungo i bordi delle piane alluvionali del Riu Filibertu, del Riu Sassu e del Riu Serra, laddove l'erosione fluviale ha interessato, nel corso del tempo, le litologie sabbiose e calcarenitiche, meno erodibili, portando a giorno le sottostanti unità costituenti il bedrock.
- Valle a fondo piatto: è rappresentata dalle valli fluviali del Riu Sassu e dal Riu Filibertu, situate a nord-ovest dell'area di studio, attraversate dai relativi corsi d'acqua e solo in parte, con modesti spessori, colmate dai depositi alluvionali attuali e recenti, restando evidente la loro genesi di ordine strutturale.

3.1.2 *Forme strutturali*

- Rilievo residuale isolato (*inselberg*): rilievi collinari, di modesta entità, impostati su rocce calcareo-dolomitiche, considerati come forme residuali d'erosione ("*inselbergs*") generati a causa del susseguirsi di differenti fasi tettoniche avvenute durante il mesozoico. Una di queste forme è rappresentata dal Monte Agnese, ad est di Alghero, che raggiunge una quota massima di 91 m slm, il cui versante settentrionale è attraversato dal tracciato del presente progetto.
- Alveo a controllo tettonico: corso d'acqua impostato su elementi tettonici che hanno influenzato nel corso del tempo la direzione di scorrimento. Un esempio evidente è costituito dal Riu Serra, il cui *pattern* risulta fortemente angolare nella porzione ad est del tracciato in progetto.

3.1.3 *Forme antropiche*

- Area a maggior urbanizzazione: è rappresentata dall'area urbanizzata di Alghero.
- Area industriale: rappresentata dal complesso industriale/artigianale situato a nord della città di Alghero.
- Area di cava: comprende due aree soggette in passato ad attività estrattiva, rispettivamente situate sull'Asse C (Pk. 0+300) e sull'Asse B (Pk. 3+350).
- Orlo di scarpata di cava: che comprendono le scarpate che delimitano le aree precedentemente individuate.
- Rilevato stradale: è rappresentato dai depositi antropici costituenti il rilevato stradale della SS 291 esistente.
- Alveo rettificato/canale di bonifica: corso d'acqua la cui direzione è stata condizionata artificialmente per un'opera di bonifica delle aree più depresse.

3.1.4 *Superfici di spianamento*

- Superficie di terrazzo morfologico: ampie superfici di erosione costituenti la sommità dei pianori modellati nei depositi pleistocenici continentali sabbiosi e limosi. Si collocano prevalentemente in corrispondenza del Lotto 4.

3.2 Verifica dei contenuti del PAI

Dall'esame della cartografia del PAI della Sardegna, limitatamente alle aree interessate da Pericolosità per Frana, recentemente aggiornate secondo la variante adottata nel 2010, si è verificata, per i due lotti in progetto, la sussistenza di condizioni di interferenza del tracciato con alcune aree classificate con grado di pericolosità.

Per quanto riguarda il Lotto 1, viene interferita una sola area a pericolosità Hg2 (pericolosità media), la quale intercetta, per un brevissimo tratto, l'asse principale della S.S.291, in corrispondenza del viadotto Rio Calvia 1. Tale area si estende, poi, diffusamente lungo il pendio del Monte Agnese, rilievo collinare adiacente al tracciato stradale in progetto.

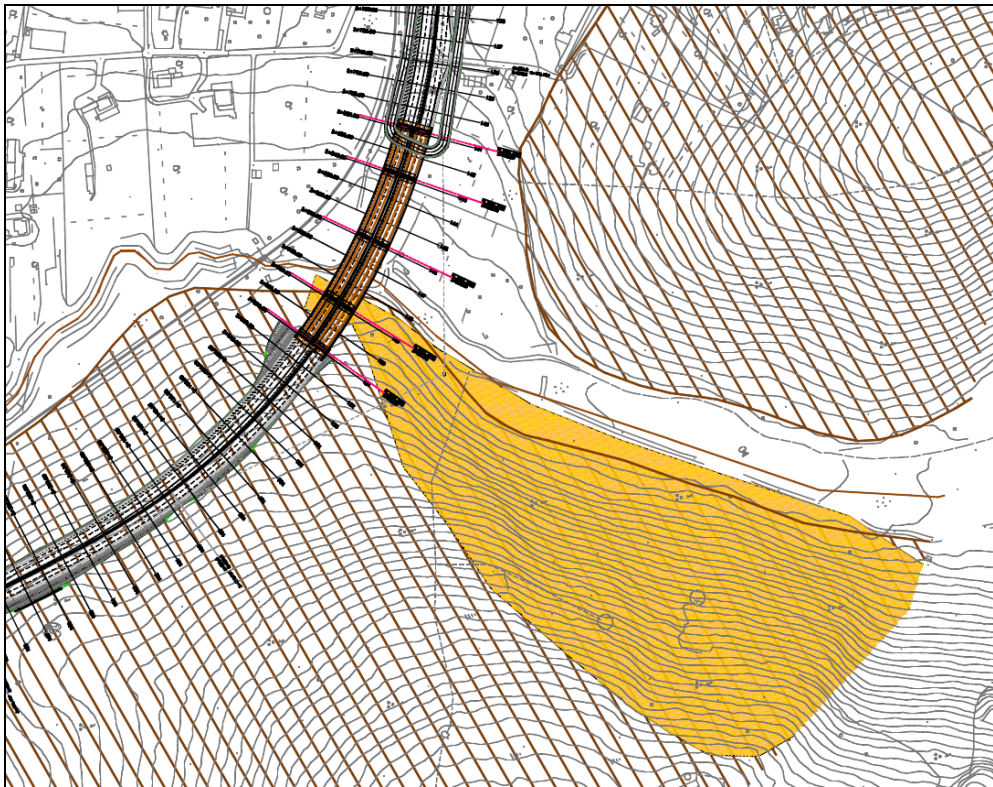


Figura 3-1. Stralcio della carta geomorfologica che evidenzia le aree a pericolosità geomorfologica interferite dal 1° lotto del tracciato in progetto – (PAI – Regione Autonoma della Sardegna)

Tuttavia, dai riscontri fotointerpretativi e di campo effettuati, non sono stati individuati elementi geomorfologici tali da far ipotizzare la presenza di condizioni di rischio connesse alla realizzazione dell'opera.

In corrispondenza del Lotto 4 gli ambiti di interferenza delle aree classificate a pericolosità media Hg2 con il tracciato sono tre. La prima area ricade tra le ppkk. 2+720÷2+760, lungo il versante ovest della piccola vallecchia morfologica dove sono ubicati il sottopasso stradale della viabilità locale VL1 e il tombino idraulico TS1-2. Le altre due aree si trovano lungo i versanti della valle a fondo piatto del Riu Sassu, tra le ppkk. 2+140÷2+320, in corrispondenza del viadotto omonimo in progetto, e le viabilità locali VL5 e VL6.

Nella figura sottostante è riportato uno stralcio della cartografia PAI di riferimento.

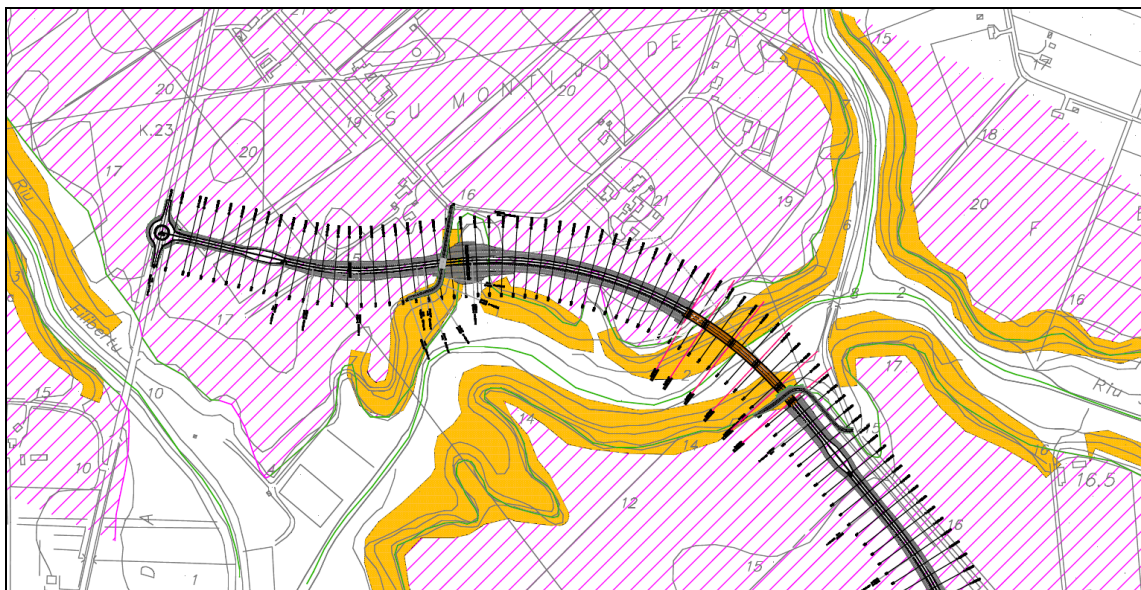


Figura 3-2. Stralcio della carta geomorfologica che evidenzia le aree a pericolosità geomorfologica interferite dal 4° lotto del tracciato in progetto – (PAI – Regione Autonoma della Sardegna)

Una rappresentazione più chiara dei tratti di progetto interferiti è riportata nella Carta Geomorfologica in scala 1:5.000, allegata al presente studio.

Un'analisi sistematica delle interferenze fra elementi progettuali e aree a pericolosità geomorfologica è contenuta nello "Studio di Compatibilità Geologica e Geotecnica", redatto, ai sensi dell'art. 25 comma 1 delle Norme di Attuazione del PAI.

4 Schema Geologico

Le caratteristiche geologico-strutturali dell'area di interesse progettuale derivano dai numerosi e complessi eventi geologici che hanno interessato l'intera isola, in particolare nell'Era paleozoica, ma anche in quella cenozoica e, relativamente all'area in esame, soprattutto mesozoica.

La struttura fondamentale del basamento sardo ha avuto origine dall'Orogenesi ercinica, conseguentemente ad una collisione associata a subduzione di crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione (1° fase, Siluriano) seguita da una collisione continentale che ha prodotto ispessimento crostale, magmatismo e metamorfismo (2° fase, Devoniano-Carbonifero).

La collisione continentale, che successivamente ha determinato la formazione della catena ercinica, è ricostruibile come segue:

- Un margine sovrascorrente del continente armoricano è rappresentato dal Complesso metamorfico di Alto Grado, affiorante nella Sardegna settentrionale ed in Corsica. Esso costituisce la parte più interna della catena ed è formato da migmatiti e gneiss migmatitici in facies anfibolitica; sono presenti inoltre, all'interno di sporadici affioramenti di metabasiti, delle paragenesi relitte in facies eclogitica.
- Il margine sottoscorrente della placca del Gondwana è rappresentato dal Complesso metamorfico di Basso e Medio Grado affiorante nella Sardegna centrale, centrorientale e nella Nurra settentrionale; si tratta di un metamorfismo progrado che varia da sud verso nord dalla facies a scisti verdi a quella anfibolitica.

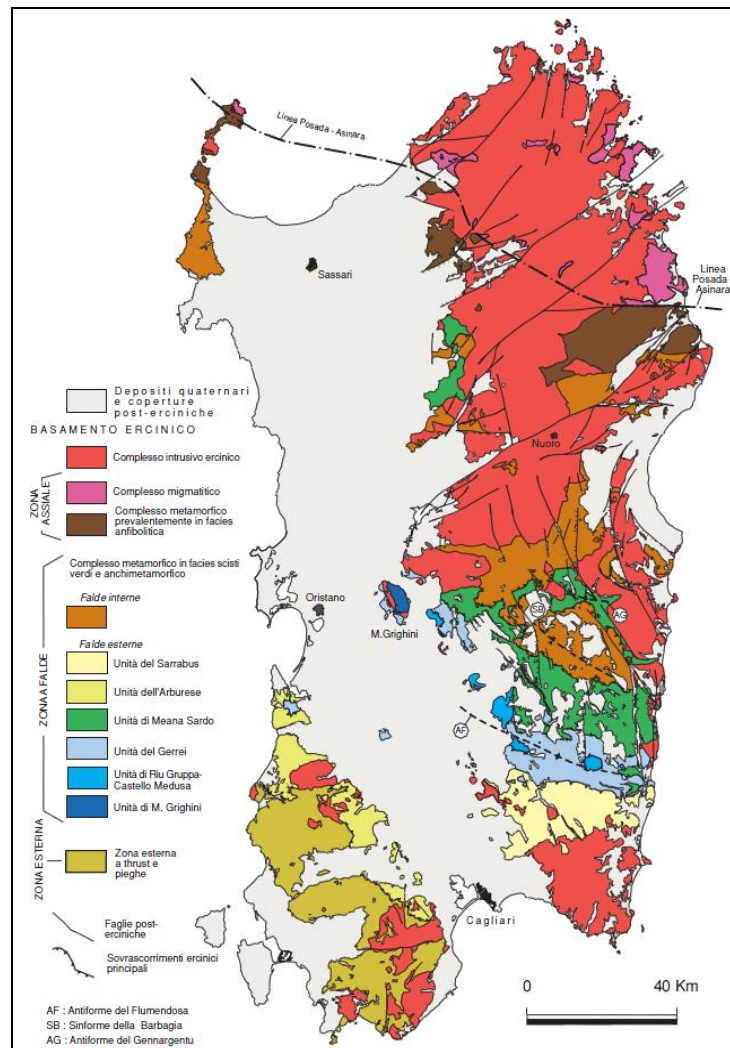


Figura 4-1. Principali elementi strutturali del basamento ercinico sardo (fonte: Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Geologia della Sardegna).

I due complessi appena descritti sono separati da un contatto tettonico, costituito dalla «linea Posada-Asinara», interpretato come un segmento della sutura ercinica sud-europea. Si tratta di una fascia milonitica con frammenti di crosta oceanica (le stesse metabasiti sporadicamente presenti anche nel Complesso di Alto Grado, più a nord) che dalla foce del fiume Posada attraversa tutta la Sardegna settentrionale fino all'Isola dell'Asinara.

Le coperture del margine sottoscorrente (ossia del Complesso di Basso e Medio Grado) rappresentate dalle sequenze sedimentarie e vulcaniche del Cambriano-Carbonifero

inferiore sono scollate dal loro basamento e accumulate in una pila di falde, compresa tra la «linea Posada-Asinara» e la Zona Esterna della catena, costituita dal Sulcis-Iglesiente.

Le differenze di carattere strutturale e stratigrafico che caratterizzano questo alloctono permettono di suddividerlo in: a) una zona a Falde Interne, affioranti tra la «linea Posada-Asinara» e la Barbagia; b) una zona a Falde Esterne, affioranti tra la Barbagia e l'Arburese-Iglesiente-Sulcis nord-orientali.

Le rocce metamorfiche delle Falde Interne, malgrado derivino dalle stesse successioni presenti nella Sardegna centro-meridionale (cioè nelle Falde Esterne), sono caratterizzate da un più alto grado metamorfico, dalla scarsità di vulcaniti ordoviciane e di calcari siluriano-devoniani. Le coperture metasedimentarie e metavulcaniche delle Falde Esterne costituiscono la parte più esterna dell'alloctono e sono state messe in posto da NE verso SW nell'avanfossa della catena durante il Carbonifero inferiore (Viseano). Infine, le sequenze sedimentarie paleozoiche della Zona Esterna della catena ercinica, affioranti nel Sulcis-Iglesiente, sono caratterizzate da pieghe ad elevata inclinazione e metamorfismo regionale di bassissimo grado, aventi direzione E-W e NE-SW.

Successivamente, il basamento sardo è stato interessato da una inversione post-collisionale della tettonica, da compressiva a distensiva, che nelle zone interne dell'orogene (Sardegna settentrionale) ha avuto inizio probabilmente più precocemente, nel Carbonifero inferiore, mentre nella Sardegna centromeridionale ha avuto luogo tra il Carbonifero superiore (Westfaliano) e il Permiano allorché, al termine della convergenza, il collasso gravitativo ha coinvolto tutta la crosta inspessita.

Il complesso intrusivo orogenetico, indicato come «batolite sardo», in affioramento, ha un'estensione di circa 6.000 km² ed è costituito da un'associazione plutonica calcicalina

caratterizzata da un'estrema eterogeneità composizionale in cui sono rappresentati gabbri, dioriti, tonaliti, granodioriti, monzograniti.

Il passaggio dal Paleozoico al Mesozoico nelle medesime condizioni ambientali ha reso problematica, soprattutto per la scarsità di fossili in quei livelli, una dettagliata suddivisione stratigrafica.

Nel prosieguo dell'Era cenozoica la Sardegna, pur conservando il carattere cratonico instauratosi dall'inizio dell'Era mesozoica, subisce i riflessi del ciclo orogenico alpino che ha causato la fratturazione del basamento paleozoico ed il parziale piegamento e dislocamento delle sequenze sedimentarie mesozoiche.

In questa fase in Sardegna si possono individuare quattro cicli sedimentari principali separati da lacune e discordanze stratigrafiche correlabili sia con fasi orogenetiche (Alpina e Pirenaica) sia con fasi distensive (apertura del bacino miocenico delle Baleari e del Tirreno settentrionale, apertura del Bacino pliocenico del Mar Tirreno meridionale).

La tettonica terziaria del basamento sardo-corso deve essere correlata con l'evoluzione dei tre margini che lo caratterizzano:

1. un margine collisionale con accrescimento di crosta oceanica, iniziato nel Cretaceo superiore, seguito da una distensione che per alcuni autori ha avuto inizio nell'Oligocene, secondo altri nel Miocene inferiore;
2. un margine passivo, con una fase di *rifting* e un moto di deriva e rotazione del blocco sardo-corso (Burdigaliano), da associare all'apertura del Bacino delle Baleari e del Mar Tirreno settentrionale;
3. un margine passivo riferibile al Miocene superiore-Pliocene, associato all'apertura del Mar Tirreno meridionale.

4.1 Assetto tettonico-strutturale dell'area di studio

L'area in cui ricade il progetto in esame è caratterizzata, principalmente, da tre diversi domini geologico-strutturali:

1. le sequenze calcareo-dolomitiche mesozoiche, delle quali nell'area compaiono in affioramento solo i termini appartenenti al Giurese ed al Cretacico, mentre i termini appartenenti al Trias superiore, che rappresentano il substrato su cui sorge la città di Alghero, affiorano limitatamente al settore meridionale della città ed, in parte, sono ricoperti dalla successione stratigrafica del Giurese (settore nord-orientale - Monte Agnese) e dalla coltre quaternaria di origine eolica;
2. le successioni vulcano-sedimentarie riferibili al ciclo calcalino sardo ed alla trasgressione oligo-miocenica. Esse sono rappresentate, essenzialmente, da potenti coltri ignimbriche, derivanti dalla parziale fusione della crosta continentale granitoide, disposte in bancate sub-orizzontali anche molto estese;
3. le aree di pianura, caratterizzate dall'accumulo di prodotti di erosione (complesso fluvio-lacustre) e depositi sabbiosi di origine eolica (complesso eolico). Il complesso fluvio-lacustre è rappresentato da depositi alluvionali formati da elementi calcarei, nel settore settentrionale nelle immediate vicinanze del Monte Agnese, e da elementi vulcanici oligo-miocenici nel settore meridionale, e da depositi lacustri, costituiti da travertini, marne ed argille. Talvolta si rinvengono, anche, depositi colluviali, terrigeni ed eluviali. Il complesso eolico è rappresentato da sabbie addensate, localmente da arenarie tenere giallastre, affiorante a volte in banchi compatti, a volte in blocchi inglobati nel terreno.

Le informazioni, successivamente acquisite nelle diverse fasi di indagine, geognostica e geofisica, poste in atto nei diversi momenti nei quali si è sviluppata la progettazione dell'intervento, ha consentito, integrando il quadro conoscitivo acquisito attraverso il

rilevamento geologico e geomorfologico di superficie, di delineare con accuratezza, il modello tettonico-strutturale di riferimento per l'area in studio.

4.2 Evoluzione paleogeografica

Particolare importanza riveste, nella ricostruzione del modello evolutivo dell'area interessata dal progetto, l'evoluzione paleogeografica quaternaria del Bacino di Mamuntanas. Il bacino, situato a NE della città di Alghero, è delimitato a sud dai rilievi collinari di M. Agnese, M. Calvia e M. Matteatu, a est dai rilievi di M. Miale Ispina e M. Frades, mentre a nord dall'altopiano della Nurra.

Il basamento che costituisce il bacino è rappresentato, prevalentemente, dal complesso calcareo-dolomitico del Mesozoico e dai depositi ignimbrici del Miocene, disarticolati in blocchi e dislocati durante le diverse fasi tettoniche distensive succedutesi nell'era cenozoica.

Nel corso del Quaternario tale area è stata fortemente condizionata da profonde variazioni climatiche, che hanno prodotto diverse fasi di ingressione marina e comportato un'alternanza di fasi di continentalità.

In queste fasi, l'evoluzione del territorio fu determinata prevalentemente dall'azione demolitrice degli agenti esogeni, che disgregò i rilievi che delimitano il bacino, generando il crollo di grossi blocchi all'interno dello stesso. Inoltre, le formazioni calcareo-dolomitiche mesozoiche furono interessate dallo sviluppo di un fitto reticolo paleocarsico, in corrispondenza del quale si sono originati i depositi ed i giacimenti bauxitici, come quelli che caratterizzano la Formazione di Grascioleddu.

Durante il Pleistocene superiore, all'interno del bacino di Mamuntanas, si instaurò una sedimentazione prevalentemente lacustre, con spessori che in sondaggio raggiungono quasi i

65 metri. La parte basale dei sedimenti, accumulatisi nella fase iniziale, è rappresentata da depositi lacustri sabbiosi e argillosi, da mediamente a molto consistenti.

Successivamente, nel bacino lacustre si instaurò una sedimentazione prevalentemente argillosa e torbosa, con alternanze di livelli sabbiosi, con spessori che nella parte più profonda raggiungono i 50 metri. Alla datazione del C14 i depositi torbosi risultano avere un'età compresa tra 29.500 e 36.000 mila anni (BC). Anche il contenuto d'acqua risulta essere piuttosto basso, simbolo di una parziale diagenesi operata dai terreni sovrastanti.

Superiormente i depositi lacustri furono ricoperti dai terreni sabbiosi di origine eolica, più o meno cementati, appartenenti al Sintema di Portevesme. Le dune fossili possono essere attribuite a diversi cicli di deposizione che dal quaternario antico arrivano a coprire il Tirreniano ed il glaciale würmiano.

Chiudono la successione del bacino le epivolcaniti continentali, rappresentate da sabbie medio-fini e argille derivati dal disgregamento e dalla sedimentazione, a seguito di rimaneggiamento, in ambiente lacustre, dei rilievi vulcanici circostanti, avvenuta nel corso del tardo Pleistocene-Olocene, ricoprendo le unità precedentemente descritte.

4.3 Successione stratigrafica e caratteri delle unità geologiche

Di seguito vengono descritte le unità litologiche di riferimento, coinvolte direttamente dalla progettazione esecutiva del tracciato stradale, a partire dalla più antica alla più recente.

4.3.1 Successioni sedimentarie mesozoiche della Sardegna settentrionale

- Formazione di Punta Cristallo (IST):

E' rappresentata dall'associazione di calcari, calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose, da mediamente a estremamente fratturati, a luoghi con cavità evidenti. Al tetto è presente, in maniera

discontinua, una fascia di alterazione, costituita da clasti carbonatici e ghiaie immersi in matrice argillosa. L'età di riferimento è giurassica superiore (Oxfordiano-Titoniano). La formazione è presente, in profondità, per tutta la lunghezza dell'Asse B, lungo le rampe Alghero e bidirezionale, e lungo il tratto iniziale dell'Asse D, e costituisce la formazione carbonatica di base della successione sedimentaria mesozoica. In superficie, essa affiora diffusamente lungo il viadotto Rio Calvia 1, in corrispondenza dei rilievi carbonatici di Monte Agnese.



Foto 4-1. Affioramento della Formazione di Punta Cristallo in corrispondenza del versante settentrionale di Monte Agnese, sulla scarpata di una vecchia cava.

- Formazione di Grascioleddu (GXL):

È rappresentata da orizzonti di alteriti, costituiti da bauxiti argillose, bauxiti oolitiche, pisolitiche, conglomeratiche o brecciate, da bianche a giallo-rossastre, argille residuali e breccie calcaree a cemento ferruginoso, depositi discontinui di cavità e depressioni carsiche. Si presenta frequentemente in stato di disgregazione e ricementazione. Gli accumuli residuali

della dissoluzione dei carbonati giungono a formare veri e propri orizzonti bauxitici argillosi. La formazione è riferita al periodo che va dalla parte terminale del Cretacico inferiore all'inizio del Cretacico superiore (Albiano-Turoniano).

La formazione è posizionata in continuità stratigrafica al di sopra della Formazione di Punta Cristallo, con uno spessore variabile da pochi metri a decine di metri. In superficie, essa affiora in corrispondenza del Viadotto Calvia 2 sul tratto iniziale dell'Asse D, e lungo il versante NW di Monte Agnese, dove si colloca la galleria artificiale ferroviaria A in progetto.

- Formazione di Capo Caccia (POC):

La formazione è composta da calcari, da beige a biancastri, bioclastici, calcareniti grossolane, a rudiste, foraminiferi bentonici e planctonici, massivi o in banchi spessi. A luoghi la formazione si presenta fortemente fratturata, brecciata e carsificata, fino a formare ampie cavità riempite da materiale argilloso. (Cretacico sup./Coniaciano - Santoniano).

Affiora in superficie nei quadranti occidentali interessati dall'opera, in particolare in prossimità del tratto iniziale del Lotto 4 e del tratto iniziale del Lotto 1 Asse D. Affiora inoltre nell'area del Viadotto Serra, facente parte dell'Asse B. In profondità, essa risulta dislocata da faglie, come le formazioni precedentemente descritte, ed ha uno spessore di varie decine di metri.

- Formazione di Brunestica (BNT):

L'unità è costituita da alternanze di strati decimetrici di marne e calcareniti marnose, da giallo verdastre a beige. A luoghi, nella porzione superficiale, si presenta mediamente fratturata. In superficie è ricoperta, a tratti, da una sabbia calcarea derivata dall'alterazione del substrato sottostante e dalla sua successiva parziale ricementazione. La formazione è ascrivibile al Cretacico Sup. (Santoniano - Campaniano). Affiora in corrispondenza del Viadotto Sassu, dove è presente in profondità per alcune decine di metri.

4.3.2 *Successione vulcanico-sedimentaria terziaria*

- Piroclastiti di Monte Miale Ispina (UMM):

Le piroclastiti sono composte da depositi di flusso piroclastico saldati, a carattere ignimbrico, prevalentemente rosso-violacei, a chimismo riolitico con marcata tessitura eutassitica, evidenziata da fiamme chiare di dimensioni fino a 20-30 cm, litici di vulcaniti di 1-3 cm. Nella parte superficiale si presenta fortemente alterata e argillificata (alt). Lo spessore generalmente varia da 8 a 10 m, con massimi fino a 30 m. L'età della Formazione è Burdigaliano inferiore.

La formazione affiora in superficie lungo l'asse D da pk 1+800 a pk 2+200 dove si estende anche in profondità; inoltre è presente al di sotto del Sistema di Portovesme lungo il lotto 4.

4.3.3 *Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese*

- Formazione di Mores

La formazione è composta da calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena variabile, con faune a gasteropodi (Turritellidi), ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope) ("*Calcari inferiori*" Auct.). I depositi, riferiti al Burdigaliano superiore, affiorano esclusivamente nella parte terminale (sud) dell'Asse D, per spessori massimi di una decina di metri.

4.3.4 *Depositi pleistocenici dell'area continentale*

- Depositi Lacustri

Sono rappresentati da argille sabbiose e debolmente sabbiose, da beige a verdastre, dure, con livelli consistenti. Essi sono stati depositati durante la fase iniziale del periodo lacustre e costituiscono la base dei depositi che colmano il bacino di Mamuntanas. Affiorano esclusivamente in sondaggio nella parte iniziale del Lotto 4 (Viadotto Ferrovia), ad una profondità superiore a 35 m.

- Depositi argillosi e torbosi

Alternanza di argilla e argilla sabbiosa, da verdastra a grigio-biancastra, molto consistente (argilla bentonitica), e depositi torbosi, nerastri. I depositi torbosi risultano avere un'età compresa tra 29,5 e 36 mila anni BC alla datazione del C14. Dalle prove di laboratorio eseguite è stato osservato un contenuto d'acqua relativamente basso (70%-80%) rispetto ai valori presenti in bibliografia riferiti agli stessi depositi, simbolo di una parziale diagenesi subita. Inoltre, il peso di volume ottenuto dalle prove risulta essere compreso tra 12 e 14 KN/m³.

- Sintema di Portovesme

Il sintema di Portovesme affiora diffusamente in tutta l'area interessata dall'opera stradale. È composto da due facies: una argillosa debolmente sabbiosa, verdastra e consistente (PVMa), l'altra prevalentemente sabbiosa, da moderatamente addensata ad addensata, costituita da sabbie e arenarie tenere (eolianiti), con alternanze di livelli microconglomeratici (PVMb). In profondità i vari membri della formazione sono eteropici tra loro. I terreni assumono spessori variabili, raggiungendo il loro massimo in presenza dei *graben* tettonici che ne hanno permesso la deposizione (Asse B da pk 1+285 a pk 1+510 e Asse D da pk 1+275 a pk 1+420).

4.3.5 *Depositi olocenici dell'area continentale*

- Epivolcaniti continentali

Sabbia media e fina, argillosa, ed argille limose, nocciola o vinaccia, moderatamente addensate o consistenti. A tratti ghiaia con sabbia e sabbia con ghiaia, debolmente legata, nocciola, moderatamente addensata.

- Depositi alluvionali

Terreni prevalentemente argillosi e sabbiosi (a), subordinatamente ghiaiosi (b), sciolti, depositati dal corso d'acqua.

- Coltri eluvio-colluviali

Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica.

5 **Schema Idrogeologico**

Le indicazioni contenute nel presente paragrafo fanno diretto riferimento all'elaborato "Carta Idrogeologica" in scala 1:5.000.

Nell'area attorno ad Alghero, la presenza di rilievi in prossimità della costa non consente l'originarsi di importanti corsi d'acqua, in quanto le precipitazioni arrivano in breve tempo direttamente a mare. Le principali linee di deflusso individuabili hanno una conformazione a raggiera e sono rappresentate da corsi d'acqua a carattere torrentizio stagionale, di cui i principali sono il Rio Barca, il Riu de Calvia ed il Canale Urune che, alimentati da una serie di torrenti, confluiscono tutti nello stagno costiero di Calich. Nella seguente figura è riportato lo schema della rete idrografica dell'area.

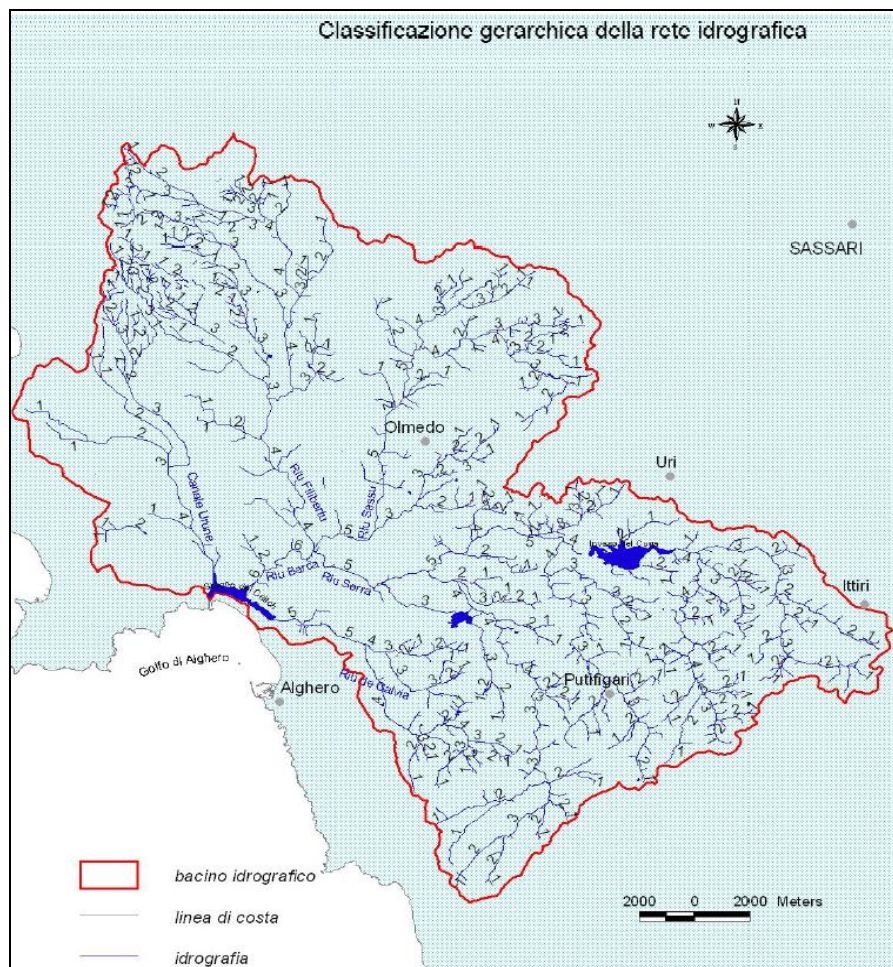


Figura 2 – Rete idrografica del bacino sotteso dallo stagno di Calich

Tali corsi d'acqua presentano uno sviluppo di tipo dendritico. Il Rio Barca nasce dall'unione di due rami principali: il Riu Sassu a nord ed il Riu Serra a sud, che nasce dalle colline vulcaniche del settore di Villanova-Putifigari. Il Rio de Calvia nasce dall'unione di due aste: il Rio Carrabuffas ed il Riu Poggiassu, i quali nascono ad est dai rilievi vulcanici terziari e confluiscono in prossimità del contatto tra questi litotipi ed i rilievi mesozoici di Monte Agnese, Monte Carru e Monte Calvu.

Per la definizione degli aspetti che riguardano la circolazione idrica sotterranea le diverse unità litostratigrafiche presenti nell'area possono essere accorpate, come di seguito viene descritto, a definire complessi idrogeologici a comportamento omogeneo, dotati di caratteristiche di permeabilità relativa ben distinte.

- Complesso sedimentario calcareo oligo-miocenico e mesozoico (RES, BNT, POC, GXL, IST):

Il complesso è caratterizzato dall'associazione di rocce calcaree e dolomitiche, marne e calcareniti, bauxiti argillose, conglomeratiche o brecciate. Le formazioni sono caratterizzate dalla presenza, nella roccia, di ampie fasce fratturate in continua evoluzione ed ampliamento a causa dei processi carsici dovuti all'azione chimico-fisica esercitata dalle acque di infiltrazione. Tale fenomeno può portare alla creazione di condotti e cavità all'interno dell'ammasso roccioso. Inoltre, le rocce appartenenti a tale complesso idrogeologico sono caratterizzate dalla presenza di fratturazioni dovute all'azione esercitata dalla tettonica. Per tali motivi la permeabilità secondaria di tale complesso, per fratturazione e carsismo, risulta molto elevata, assumendo valori medio-alti.

- Complesso vulcanico terziario (UMM):

Tale complesso vulcanico è suddiviso in diversi membri a permeabilità differenziata. La litofacies maggiormente affiorante nell'area è costituita da coltri ignimbriche a composizione riolitica e riodacitica, alternate a materiali appartenenti a flussi piroclastici; a seconda del carattere lapideo o poroso, tali litologie presentano valori di permeabilità media per fessurazione o da bassa a media per porosità locali.

- Complesso pleistocenico dell'area continentale (PVMa, PVMb):

A questo complesso appartengono i depositi pleistocenici, rappresentati da termini conglomeratici, arenacei litorali ed eolici, sabbie e ghiaie, riferibili al Sintema di Portovesme. Questi depositi, di potenza variabile fino a qualche metro, poggiano generalmente sulle sequenze calcareo-dolomitiche mesozoiche e sono sede di una certa circolazione idrica, avendo una permeabilità media, per porosità, pur circoscritta al loro limitato spessore.

- Complesso olocenico dei depositi continentali epivulcanici (epv):

Al complesso appartengono i depositi quaternari e recenti rappresentati da limi e argille di origine palustre e lacustre. Questi depositi, di potenza variabile fino a qualche metro, poggiano generalmente sui depositi sabbiosi e arenacei di origine eolica. La loro permeabilità è generalmente medio-bassa in funzione della granulometria estremamente fine dei sedimenti.

- Complesso olocenico dei depositi alluvionali (al):

A quest'ultimo complesso appartengono i terreni prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi, subordinatamente argillosi, sciolti, con spessore variabile fino a qualche metro, delle alluvioni antiche e recenti, con spessori di qualche metro. La loro permeabilità è variabile da medio-bassa a medio-alta in funzione della granulometria estremamente fine dei sedimenti.

5.1 Schema della circolazione idrica sotterranea

A seguito dell'analisi di tutte le informazioni presenti in bibliografia inerenti l'assetto idrogeologico dell'area, integrato con le misure piezometriche effettuate durante le campagne geognostiche eseguite nell'area, e con le informazioni provenienti dal rilevamento idrogeologico, è stato possibile formulare le ipotesi, di seguito esposte, riguardanti l'interferenza delle opere in progetto con la circolazione idrica sotterranea.

Dalle informazioni provenienti dai dati dei pozzi censiti e raccolti nel database del Servizio Geologico Nazionale dell'ISPRA (<http://sgi.isprambiente.it>), si evince che nell'area in studio è presente una falda acquifera profonda (35-50 m da p.c.) che interessa esclusivamente i calcari mesozoici, saturando alla base l'acquifero carsico, che verosimilmente defluisce verso il mare, tale da non interferire con il tracciato stradale.

I dati piezometrici ottenuti dalle campagne d'indagine recenti hanno evidenziato, in aggiunta allo schema generale, la presenza di una falda superficiale discontinua e poco produttiva, limitata agli orizzonti sabbiosi e conglomeratici più permeabili delle formazioni continentali pleistoceniche, di origine eolica (Sintema di Portovesme) e alluvionali (al).

In particolare, in corrispondenza del Lotto 1, la superficie piezometrica della falda superficiale si colloca ad una profondità variabile da 1,5 a 4 m da p.c., con un deflusso prevalente orientato in direzione WSW, verso il mare.

Diversamente, nel Lotto 4 si osserva una falda idrica superficiale limitata anche qui ai depositi pleistocenici di origine eolica e alle alluvioni dei corsi d'acqua principali. La quota della piezometrica risulta essere generalmente piuttosto superficiale (circa 1,5 – 2 m) con direzione di scorrimento verso SW in direzione del mare. In corrispondenza della valle del Riu Sassu si osserva, invece, una falda superficiale discontinua, limitata alle alluvioni, con

direzione coincidente con l'asse vallivo. La trasmissività di tali orizzonti risulta estremamente limitata in ragione del loro ridotto spessore.

6 ***Sismicità***

6.1 **Sismicità storica**

L'area in studio, così come tutta la Sardegna, è stata oggetto, in tempi storici, di pochi eventi sismici, di intensità generalmente molto ridotta. In particolare, come si osserva dall'immagine seguente, la massima intensità sismica registrata nel territorio sardo dall'anno 1000 ad oggi risulta inferiore al 6° Mercalli.



Gli indicatori dell'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale mostrano che l'intero blocco sardo-corso è rimasto stabile negli ultimi 7 milioni di anni.

Dall'analisi dei dati di sismicità storica presenti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani sul sito dell'INGV (CPTI11 di dicembre 2011), che rappresenta il più completo e aggiornato database dei parametri macrosismici e strumentali dell'intero territorio nazionale si rileva che si sono verificati solo due eventi sismici nel Nord della Sardegna, entrambi di magnitudo inferiore a 5 (nel 1924 e nel 1948). Si tratta, comunque, di eventi irrilevanti poiché di bassa energia.

6.2 Pericolosità sismica

Esaminando gli aspetti relativi alla pericolosità sismica, essa può definirsi come *"grado di probabilità che si verifichi, in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, un evento sismico dannoso con l'insieme degli effetti geologici e geofisici ad esso connessi, senza alcun riguardo per le attività umane"*. L'analisi del livello di pericolosità distingue quindi due fasi: la definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche; l'analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico prodotta dalle reali caratteristiche del terreno, dalla successione litostratigrafia locale, dalle condizioni morfologiche, unitamente alla possibilità di sviluppo di effetti cosismici: fagliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc..

Negli ultimi anni si sono succeduti provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale. Con l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*, che rispondeva alla necessità di aggiornare gli strumenti

normativi per la riduzione del rischio sismico, si stabiliscono i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova classificazione sismica dei comuni italiani, successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/06. L'intero territorio nazionale viene suddiviso in 4 zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'OPCM 3519/06 (tab. 1).

ZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Tabella 1 - Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido.

Tale classificazione è basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente"). La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale" dell'Italia, elaborata secondo l'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519.

Sulla base di tale ordinanza, aggiornata al 16/01/2006 con le comunicazioni delle regioni, tutti i territori comunali nei quali ricade il tracciato in progetto, sono stati classificati in zona 4 (sismicità irrilevante) (Fig.3).

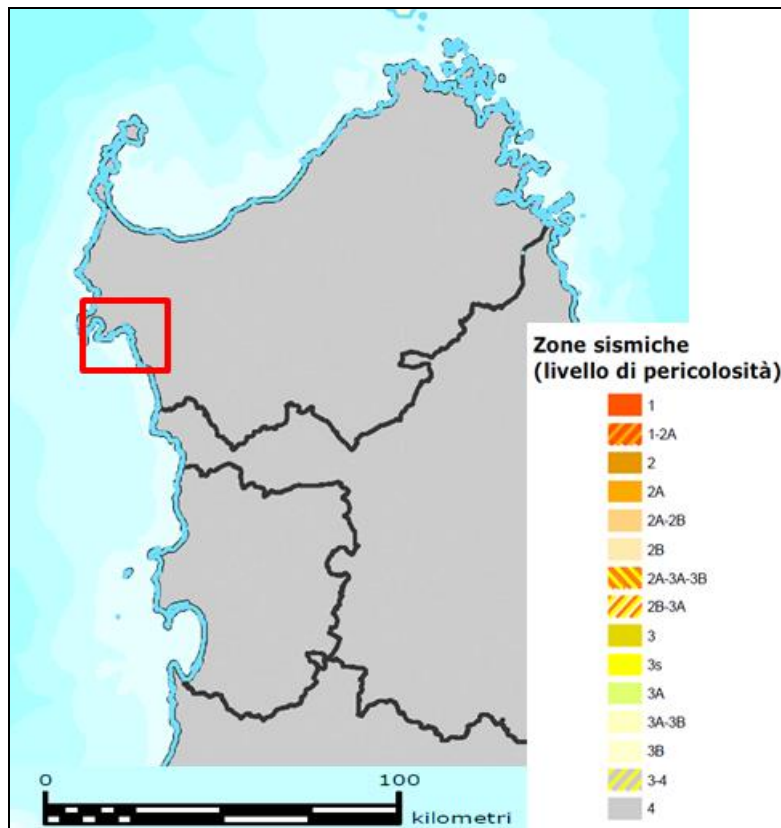


Figura 3 – Stralcio della Mappa di classificazione sismica nazionale, aggiornata al 2012, della Sardegna centro-settentrionale
(http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/class2012_02prov.pdf)

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento. La tabella 2 dell'Allegato B riporta i valori di a_g , f_0 e T_c per le isole (con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri), costanti su tutto il territorio di ciascuna isola. La Figura 5 riporta tale tabella, cui è necessario fare riferimento per tutti i comuni della Sardegna.

Progetto Esecutivo

Isole	T _R =30			T _R =50			T _R =72			T _R =101			T _R =140			T _R =201			T _R =475			T _R =975			T _R =2475		
	a _g	F ₀	T _C	a _g	F ₀	T _C	a _g	F ₀	T _C	a _g	F ₀	T _C	a _g	F ₀	T _C	a _g	F ₀	T _C	a _g	F ₀	T _C	a _g	F ₀	T _C	a _g	F ₀	T _C
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna , Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

Figura 4 – Tabella 2 dell'Allegato B delle NTC 2018 in cui vengono riportati i valori di a_g , f_0 e T_c per i diversi tempi di ritorno (T_R) validi per tutte le isole ad eccezione della Sicilia, Ischia, Capri e Procida, e costanti sull'intero territorio di ciascuna isola.

L'approccio "sito dipendente" della nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, ad un'accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa. In quest'ottica la classificazione sismica del territorio rimane utile, dal punto amministrativo, per la gestione pianificativa e di controllo dello stesso.

Secondo il nuovo approccio, il valore di accelerazione orizzontale massima al sito (a_g) viene stimato per l'intero territorio della Sardegna non facendo riferimento al reticolo sismico nazionale. Questo valore, calcolato per un tempo di ritorno $T_r = 475$ anni, corrispondente ad una vita utile di 50 anni ed una probabilità di superamento (P_{vr}) del 10% (SLV - Stato limite di salvaguardia della Vita) nel periodo di riferimento V_r è pari a 0.0500 g.

7 Indagini geognostiche

Il tratto interessato degli interventi di adeguamento è stato oggetto, a varie riprese, di attività di indagine geognostica. In merito alle attività propedeutiche allo studio geologico, pertanto, è stata innanzitutto effettuata la raccolta di tutti i dati ad esse riferiti, comprendenti stratigrafie di sondaggio, diagrammi di prove penetrometriche, prospezioni geofisiche, prove di laboratorio geotecnico e relativa documentazione fotografica.

Per il progetto esecutivo non sono state effettuate campagne geognostiche date le numerose indagini effettuate negli anni per le precedenti fasi progettuali (2004-2017), pertanto tali informazioni sono state integrate da nuovi rilievi di campagna portando alla definizione del modello geologico di riferimento.

In totale, i dati raccolti comprendono:

- Campagna d'indagine ANAS – Compartimento della viabilità per la Sardegna, affidata alla società SOLES s.r.l., effettuata in corrispondenza di questo tratto stradale negli anni 2004 e 2005. Essa comprende: n. 31 sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo + n. 3 sondaggi integrativi, affidati, nello stesso anno, alla società Geo-Lavori s.r.l., accompagnati dal prelievo di campioni di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico;
- Campagna d'indagine, eseguita nell'ambito dell'appalto del Lotto 2, eseguita dalla società Progeo Lavori s.r.l., nell'anno 2004. Di tale campagna è stato preso in considerazione il solo sondaggio S5, ricadente nell'area di intersezione del lotto 2° con il lotto 4°;
- Campagna d'indagine commissionata dal Comune di Alghero, affidata alla società Sarda Sondaggi s.r.l., effettuata per la progettazione della Circonvallazione di Alghero

nell'anno 2012. Essa comprende: n. 6 sondaggi geognostici; n. 1 prova penetrometrica dinamica DPM; n. 1 prova sismica di tipo MASW.

Sondaggio N.	Profondità m dal p.c.
S1	21.00
S2	18.00
S3	17.00
S4	16.00
S5	21.00
S6	18.00
S7	19.00
S8	20.00
S9	20.00
S10	11.00
S11	11.00
S12	10.00
S13	8.00
S14	8.00
S15	8.00
S16	8.00
S17	8.00
S18	18.00
S19	12.00
S20	12.00
S21	10.00
S22	18.00
S23	18.00
S24	10.00
S25	10.00
S26	10.00
S27	20.00
S28	15.00
S29	15.00
S30	9.00
S31	9.00
Sondaggi integrativi N.	Profondità m dal p.c.
S1 (Si1)	30.00
S2 (Si2)	40.00
S3 (Si3)	30.00

Figura 5 – Campagna di indagine geognostica anno 2004/2005 (SOLES s.r.l. + Geo-Lavori s.r.l.)

I dati sono stati integrati con due campagne di indagini geognostiche e geofisiche, corredate da prove di laboratorio, opportunamente realizzate nel 2015 per gli approfondimenti in corrispondenza degli interventi relativi al 1° lotto, nel 2017 per lo studio del progetto definitivo comprendente il 1° ed il 4° lotto.

- per il 1° lotto oggetto di intervento è stata prevista la seguente campagna geognostica e geofisica, a cura della società Sonedile s.r.l.:
 - ✓ n. 23 sondaggi a carotaggio continuo, attrezzati con piezometri a tubo aperto e tubazioni in PVC per prove sismiche down-hole;
 - ✓ n. 25 pozzetti geognostici, con esecuzione di prove di carico su piastra.

La campagna è stata completata con il prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati, su cui sono state eseguite prove di laboratorio geotecnico.

- In aggiunta a tali indagini geognostiche, sono state eseguite, dalla società Progeo s.r.l., nello stesso anno:
 - ✓ n. 5 sezioni sismiche a rifrazione in onde di taglio e di compressione;
 - ✓ n. 7 prove down-hole, realizzate all'interno di altrettanti fori di sondaggio relativi alla campagna geognostica precedentemente illustrata.

Progetto Esecutivo

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m)	PROVE SPT	CAMP. INDIST.	CAMP. RIM.	STRUMENTAZIONE INSTALLATA
S1_D	20.00	-	-	10	Tubo Aperto
S2_D	25.00	2	-	13	-
S3_D	35.00	5	-	7	Tubo Aperto
S4_D_DH	25.00	1	-	6	Down Hole
S5_D	20.00	1	-	6	Tubo Aperto
S6_D	41.00	-	-	12	Tubo Aperto
S7_D	25.00	5	2	4	-
S8_D_DH	35.00	3	2	7	Down Hole
S9_D	30.00	4	-	7	-
S10_D	20.00	3	1	10	-
S11_D	20.00	-	-	3	-
S12_D	20.00	-	-	4	-
S13_D	20.00	1	-	5	-
S14_D_DH	35.00	1	1	6	Down Hole

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m)	PROVE SPT	CAMP. INDIST.	CAMP. RIM.	STRUMENTAZIONE INSTALLATA
S15_D_DH	35.00	2	-	10	Down Hole
S16_D	20.00	-	-	3	Tubo Aperto
S17_D	20.00	1	1	6	-
S18_D_DH	35.00	4	-	11	Down Hole
S19_D	15.00	-	-	5	-
S20_D	19.5	2	1	7	-
S21_D	20.00	2	-	5	Tubo Aperto
S22_D	25.00	1	-	8	Tubo Aperto
S23_D_DH	35.00	3	-	8	Down Hole

Progetto Esecutivo

POZZETTO	PROFONDITA' (m)	CAMPIONI RIMANEGGIATI	PROVE DI CARICO SU PIASTRA
Pz1_D	2.20	2	1
Pz2_D	2.50	2	1
Pz3_D	1.20	1	1
Pz4_D	2.10	1	1
Pz5_D	1.70	1	1
Pz6_D	2.10	1	1
Pz7_D	2.50	3	1
Pz8_D	2.50	1	1
Pz9_D	1.60	1	1
Pz10_D	2.20	1	1
Pz11_D	1.10	1	1
Pz12_D	1.00	1	1
Pz13_D	2.00	1	1
Pz14_D	1.30	1	1
Pz15_D	2.20	1	1
Pz16_D	1.00	1	1
Pz17_D	2.50	1	1
Pz18_D	2.70	1	1
Pz19_D	2.50	1	1
Pz20_D	2.20	2	1
Pz21_D	2.00	1	1
Pz22_D	1.50	1	1
Pz23_D	2.00	1	1
Pz24_D	1.10	1	1
Pz25_D	1.00	1	1

Figura 6 – Campagna di indagine geognostica anno 2015 (Sondedile s.r.l.)

- Negli anni 2016 e 2017 sono state eseguite una campagna di indagini geognostiche ed una di indagini geofisiche mirate all'approfondimento delle informazioni relative al lotto 1°, già investigato con la precedente campagna di indagine, e volte alla definizione più dettagliata del modello geologico di riferimento in corrispondenza del 4° lotto.

Tali campagne, eseguite dalla RTI "Experimentations S.r.l. – Geolab S.r.l. – Studio Sperimentale Stradale S.r.l. - Dr. Antonello Angius – I.M.O.S. S.r.l." e dalla ditta Geoinvest s.r.l., sono consistite in:

- ✓ n. 17 sondaggi geognostici, spinti a profondità comprese tra 20.00 e 61.00 m dal piano campagna, alcuni dei quali attrezzati con piezometri a tubo aperto;
- ✓ n 7 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)/dinamiche DPSH.
- ✓ n. 26 pozzetti geognostici, accompagnati dall'esecuzione di altrettante prove di carico su piastra;
- ✓ n. 18 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P ed S elaborate con la tecnica sismotomografica.

Tali indagini, opportunamente georeferenziate, hanno consentito di definire con chiarezza, congiuntamente al nuovo rilevamento diretto di campagna degli elementi geologici e geostrutturali, il quadro geologico e geotecnico di riferimento e le conseguenti interazioni con il progetto. La planimetria ubicativa delle indagini preesistenti distingue, con colorazione diversa per ogni singola campagna, le diverse verticali d'indagine. Per tutti gli aspetti di dettaglio ad esse relativi si farà riferimento alla documentazione specifica.

8 Modello Geologico di Riferimento

Analizzando il modello geologico di riferimento da un punto di vista generale, si può affermare che i Lotti 1 e 4 in progetto ricadono in un'area caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso calcareo-dolomitico o calcareo-siltitico (Formazioni di Punta Cristallo, di Capo Caccia, Graxioleddu e Brunestica) poco profondo, talora sub-affiorante, ad eccezione di due brevi tratti in cui esso appare ribassato a seguito di elementi tettonici che hanno creato una struttura a gradini.

Tale ammasso litoide risulta ricoperto, per quasi la totalità dello sviluppo del tracciato, fatta eccezione per il tratto che attraversa il Monte Agnese, da depositi pleistocenici appartenenti al Sintema di Portovesme e rappresentati da sabbie ed arenarie eoliche, localmente ricoperte, in superficie, da terreni a minor granulometria. Il loro spessore varia a seconda della profondità del tetto del substrato, condizionata, come detto prima, dalla presenza di faglie che l'hanno dislocato.

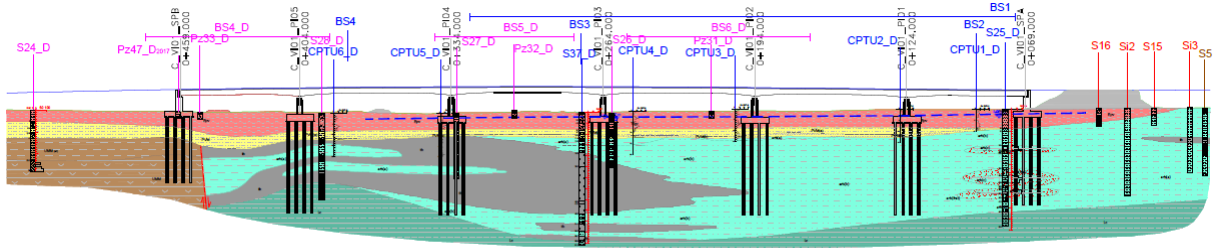
In superficie, i terreni calcarei e sabbiosi sono mascherati da una coltre eluvio-colluviale di modesto spessore, costituita da detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti. A luoghi affiorano depositi travertinosi, da compatti a porosi, e depositi limosi e argillosi con intercalazioni torbose di origine palustre.

Di seguito viene descritto più in dettaglio il modello geologico del tracciato riferito principalmente alle opere d'arte maggiori, dapprima per il Lotto 4 e successivamente per il Lotto 1 in progetto.

8.1 Asse C

- Da Pk. 0+000 a Pk.0+460 - Viadotto Ferrovia

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S28, S27, S26, S37, S25; prove CPTU6, CPTU5, CPTU4, CPTU3, CPTU2, CPTU1; pozzetti geognostici Pz31, Pz32, Pz33, Pz47; stese sismiche a rifrazione BS4, BS5 e BS6 (anni 2016/2017)



Il modello geologico risulta piuttosto articolato ed è costituito da un substrato profondo, rappresentato da depositi ignimbrici della Formazione di Monte Miale Ispina. In corrispondenza del viadotto il tetto del substrato si trova a profondità elevate, mentre risale in corrispondenza della spalla B per la presenza di una faglia, collocandosi a circa 13 m di profondità da p.c..

Al di sopra del substrato miocenico si trovano i depositi argillosi duri e sabbiosi, di età pleistocenica, di genesi lacustre, il cui tetto oscilla da una profondità minima di 30 m da p.c. in corrispondenza della Pila 5 a circa 60 m da p.c. in prossimità della Pila 3.

Al di sopra, si trovano le argille bentonitiche e le sabbie argillose continentali, da mediamente a poco consistenti, con intercalati blocchi marnosi e calcarenitici compatti, osservati a diverse profondità in corrispondenza della spalla A. Intercalati nei depositi argillosi si osservano, soprattutto nella porzione occidentale (dalla pila 3 alla spalla B) spessi pacchi di depositi torbosi antichi, costituiti da argille limose nerastre, da mediamente a molto consistenti.

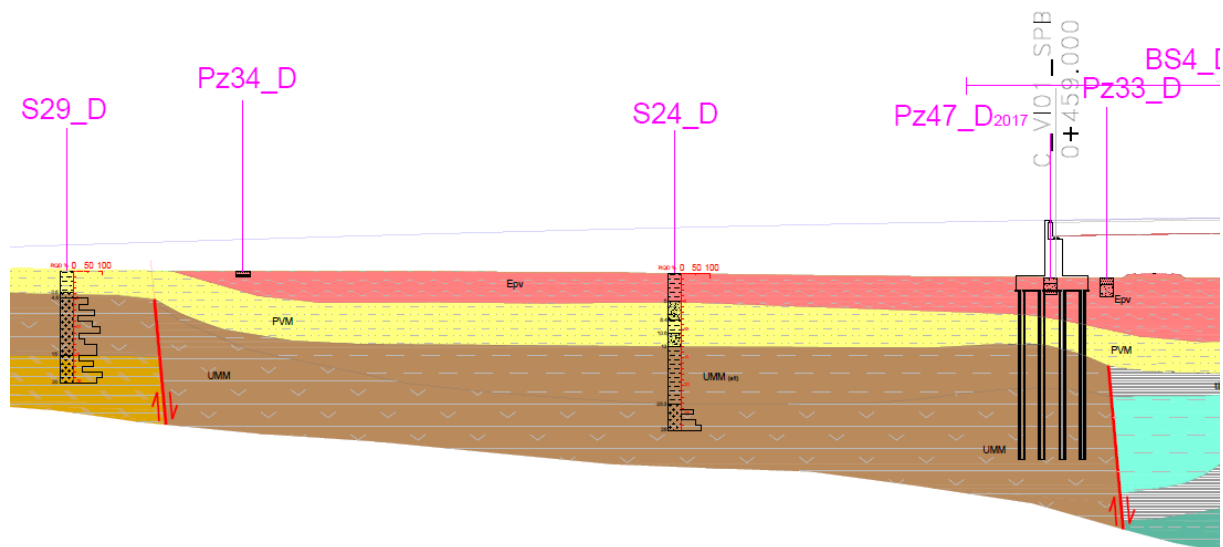
A circa 10-15 m di profondità le argille sono ricoperte dalle sabbie e limi appartenenti al Sintema di Portovesme e dai depositi epivulcanici continentali.

Tali formazioni risultano mediamente compatte a tratti sciolte con trovanti litoidi per tutta la profondità possibilmente riscontrabile delle opere di fondazione del viadotto ferroviario.

La falda è stata riscontrata a circa 1.90 m da piano campagna per circa tutto il tratto di strada indagato.

- Da Pk. 0+460 a Pk. 0+620

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S24; pozzetto geognostico Pz34 (anni 2016/2017).



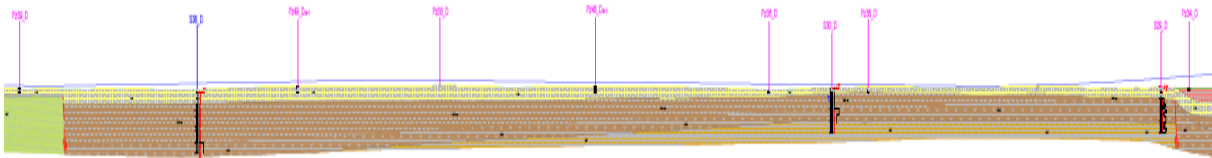
Il substrato di questo settore è rappresentato da depositi ignimbrici o piroclastici della Formazione di Monte Miale Ispina, al di sopra dei quali si trovano le sabbie e limi appartenenti al Sintema di Portovesme e dai depositi epivulcanici continentali.

Proseguendo verso Ovest il tetto della Formazione di Monte Miale Ispina sale da -15 m. da p.c. a -5 m. da p.c. a causa di una faglia a carattere distensivo.

Anche in questo tratto le formazioni risultano da mediamente compattate a sciolte con trovanti litoidi ma a differenza di del tratto precedente non si hanno dati della presenza di falde superficiali.

- Da Pk.0+620 a Pk.1+870

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S29, S30, S38; pozzetto geognostico Pz35, Pz36, Pz38, Pz48, Pz49 (anni 2016/2017).

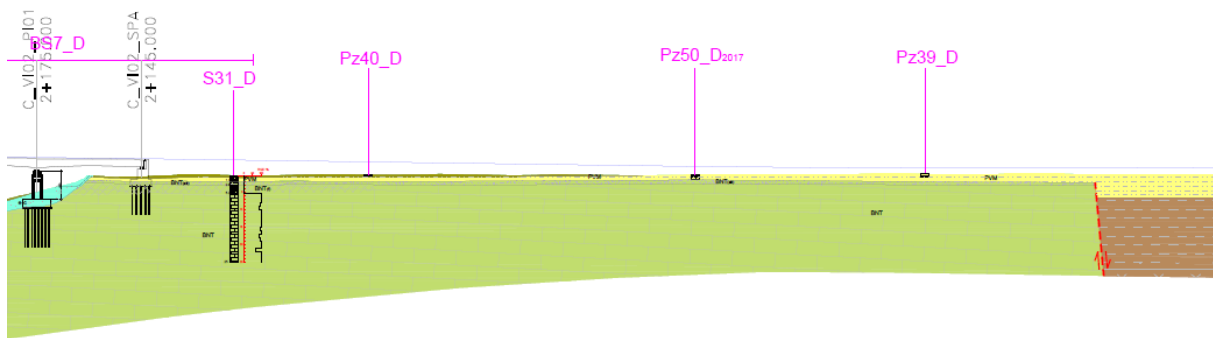


In questo settore il tetto del substrato piroclastico (Burdigaliano Inf.) si trova mediamente tra i 3 e 7 metri da p.c. ed è sormontato dal Sintema di Portovesme.

Questo tratto è il diretto proseguimento di quello descritto in precedenza e si confermano delle formazioni che risultano da mediamente compattate a sciolte con trovanti litoidi e si ha in prossimità del sondaggio S30, la presenza della falda a circa 4,80 m da piano campagna.

- Da Pk.1+870 a Pk.2+145

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S31; pozzetto geognostico Pz39, Pz40, Pz50 (anni 2016/2017).



In questa porzione di tracciato una faglia distensiva porta in superficie la formazione di Brunestica (BNT) che risulta alterata e fratturata nelle porzioni più superficiali, evidenziando in profondità tratti a debole consistenza alternata a tratti litoidi.

Questa formazione risulta essere sovrastata da spessori esigui (circa 1,5 metri) delle sabbie limose del Sintema di Portovesme (PVM).

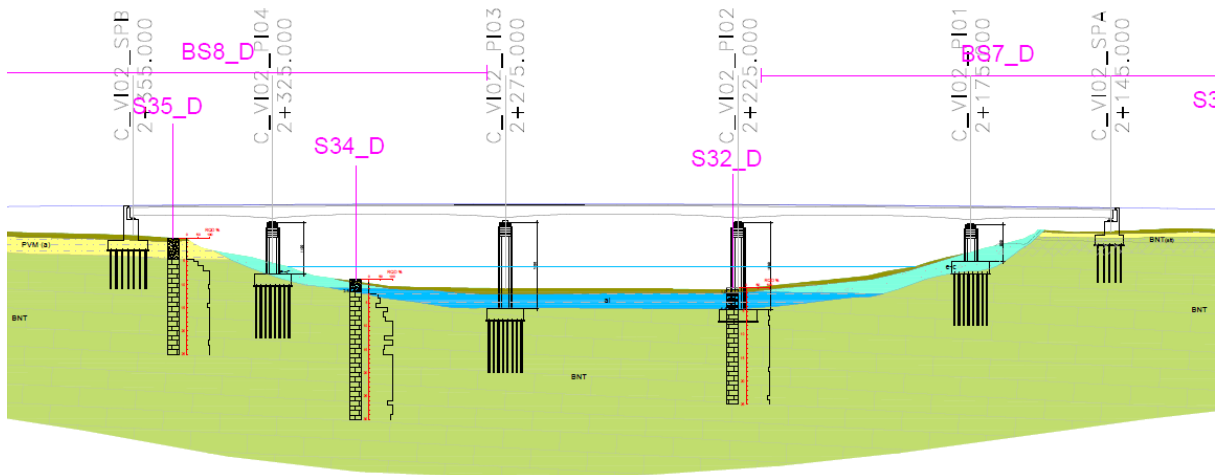
In questo tratto non si hanno evidenze sulla presenza della falda.

- DA Pk. 2+145 a Pk.2+360 - Viadotto Riu Sassu

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S31, S32, S34, S35; pozzetti geognostici Pz40; stese sismiche BS7 e BS8 (2016).

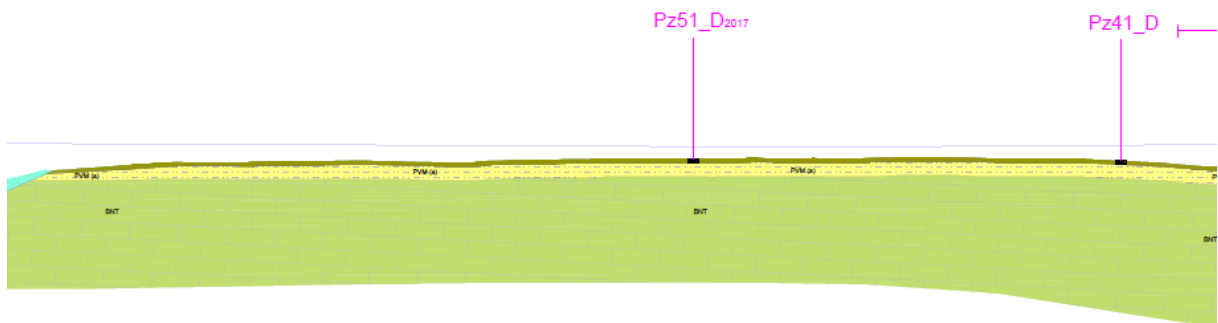
Il modello geologico è costituito da un substrato rappresentato da marne e alternanze di strati decimetrici di marne e calcareniti marnose, in assetto suborizzontale, appartenenti alla Formazione di Brunestica, che risulta alterata in superficie fino in profondità caratterizzata da tratti a debole consistenza con trovanti litoidi. In superficie si appoggiano le sabbie e limi pleistoceniche appartenenti alla Formazione di Portovesme, con spessori massimi di 4 m. La depressione valliva del Riu Sassu è colmata da depositi eluvio-colluviali e dai depositi alluvionali attuali e recenti, con spessori piuttosto modesti (max 5 m).

Non si hanno dai sondaggi evidenze sulle falda superficiali, tuttavia in prossimità dei depositi alluvionali si hanno evidenze sulla presenza di acque superficiali.



- Da pk 2+360 a pk 2+680

Indagini di riferimento: pozzetti geognostici Pz41, Pz51 (2016/2017).



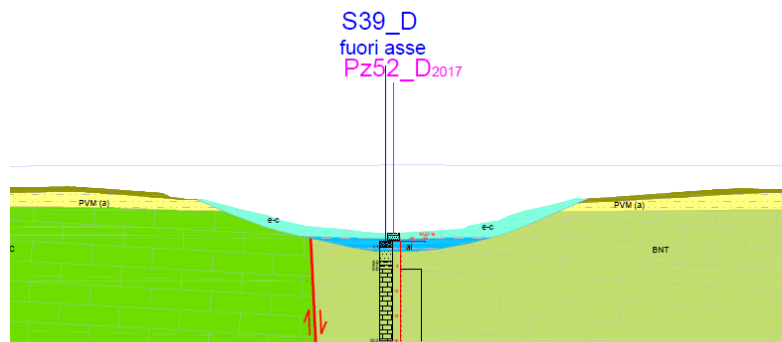
In questa porzione di tracciato il modello geologico è costituito da un substrato costituito da depositi marnosi s.l. appartenenti alla Formazione di Brunestica (BNT). In superficie si

appoggiano le sabbie e limi pleistocenici appartenenti alla Formazione di Portovesme, con spessori massimi di 4 m.

- Da pk 2+680 a pk 2+760

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S39; pozzetto geognostico Pz52 (2016/2017).

Il tracciato stradale tra queste progressive intercetta una vallecchia laterale, piuttosto incisa, piccolo canale fluviale che confluisce nel Rio Sassu.



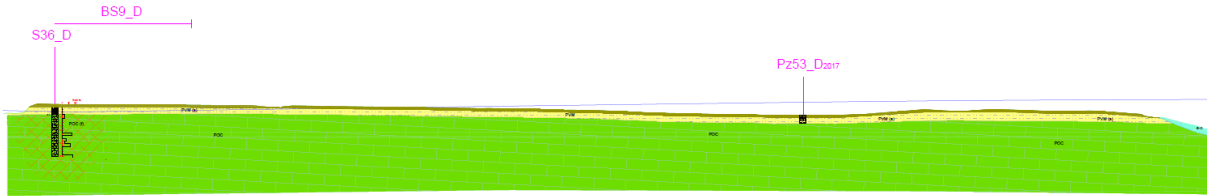
Di conseguenza in superficie abbiamo depositi recenti olocenici con spessori intorno ai 4-5 metri (depositi alluvionali e depositi eluvio-colluviali).

In profondità invece abbiamo un contatto tettonico tra la Formazione di Brunestica (BNT) e i più antichi calcari della Formazione di Capo Caccia (POC) con spessori di varie decine di metri.

Dal sondaggio effettuato non si hanno evidenze sulla presenza della falda tuttavia in prossimità del fosso si hanno evidenze di acque superficiali.

- Da pk 2+760 a fine tracciato

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S36; pozzetto geognostico Pz53; stesa sismica BS9 (2016/2017).



Nel settore occidentale del tracciato il modello geologico è abbastanza omogeneo.

I calcari della formazione di Capo Caccia (POC), frequentemente fratturati, in blocchi immersi in matrice coesiva rossastra, rappresentano il substrato locale il cui tetto si trova a circa 4 metri da p.c.

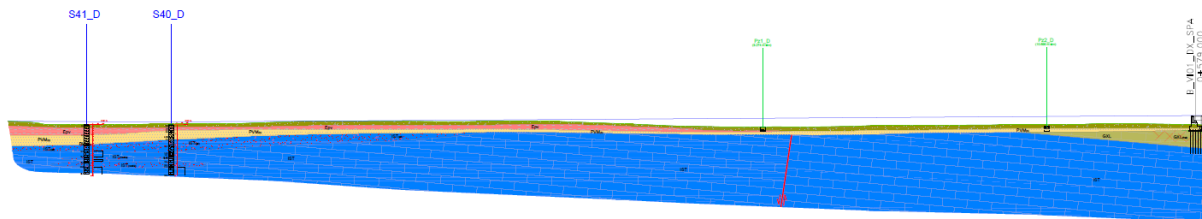
In superficie si appoggiano i depositi pleistocenici del Sistema di Portovesme (PVM).

Non si hanno evidenze sulla presenza della falda in prossimità del tratto descritto.

8.2 asse B

- Da pk 0 a pk 580

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S1 (2004); S40, S41 (2017); pozzetto geognostico Pz1, Pz2 (2015).



Il substrato del tratto iniziale dell'Asse B è rappresentato dalla Formazione di Punta Cristallo (IST) che nei primi metri risulta essere alterato e carsificato, con tratti mediamente consistenti e trovanti litoidi. Al di sopra di questo troviamo dei depositi pleistocenici di varia natura ovvero il Sintema di Portovesme su cui poggiano le epivulcaniti.

In questo tratto non si hanno dai sondaggi evidenze sulla presenza di falde superficiali.

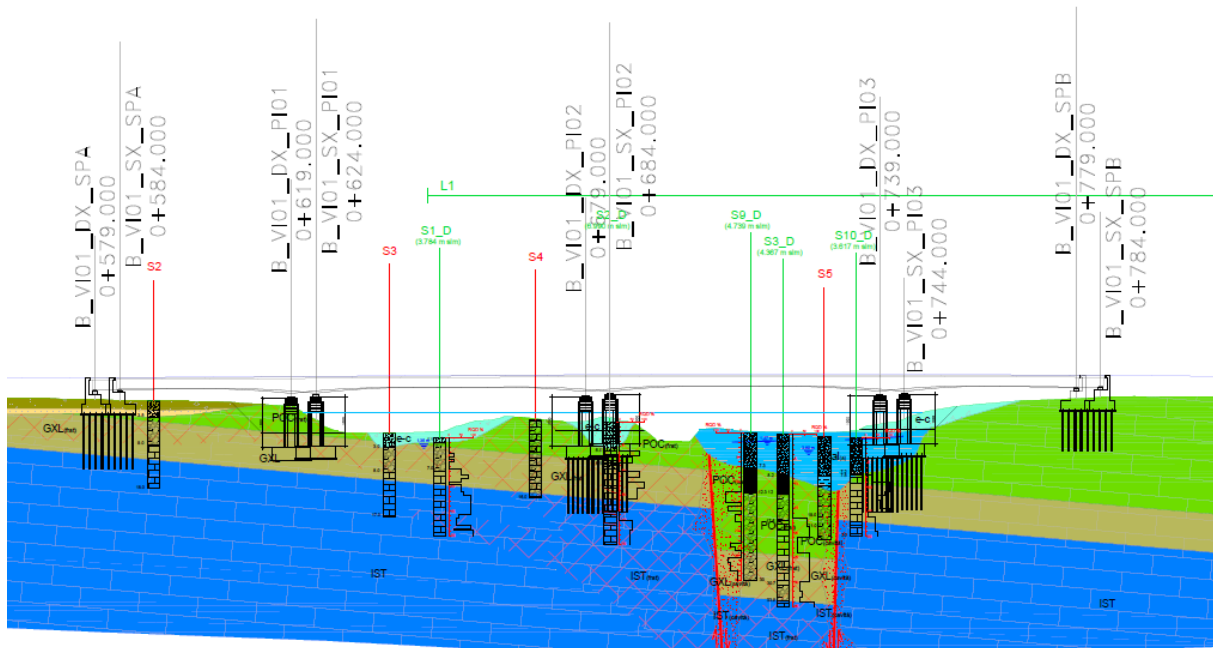
- Da pk 580 a pk 790 – Viadotto sul Rio Serra

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S1, S2, S3, S4, S5 (2004); S1, S2 S9, S3, S10 (2015).

L'intero tratto si posiziona su terreni appartenenti al substrato roccioso rappresentato dalla Successione sedimentaria mesozoica della Sardegna Settentrionale (IST, GXL, POC), parzialmente ricoperti dai depositi sabbiosi appartenenti al Sintema di Portovesme.

Il substrato carbonatico affiora direttamente ai margini della valle del Rio Serra, in corrispondenza dei siti d'imposta delle spalle dell'omonimo viadotto, e in vari punti del fondovalle, come dimostrato dai sondaggi S3 ed S4, e ricoperto da uno strato di depositi alluvionali. Il substrato risulta disarticolato in corrispondenza del corpo centrale del viadotto,

il substrato roccioso risulta disarticolato e dislocato da una coppia di faglie dirette, antitetiche, a formare una piccola struttura di *graben*, tra le pp.kk. 680 e 700. In corrispondenza dei due sistemi di faglie, il materiale risulta estremamente fratturato e brecciato, fino a generare delle ampie cavità carsiche riempite da materiale argilloso rossastro.



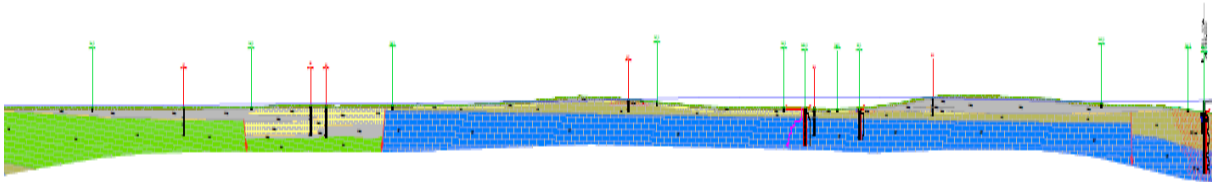
L'anomalia stratigrafica osservabile dalla stratigrafia del sondaggio S5, il quale non ha incontrato il substrato carbonatico, attraversando unicamente terreni sabbiosi ed argillosi, appare verosimilmente riconducibile alla disarticolazione del substrato stesso, ad opera di un reticolo di faglie, come confermato dall'anomala conformazione planimetrica dell'alveo fluviale.

Le pile del viadotto ricadono ai bordi del *graben* tettonico suddetto; il loro piano fondale interessa esclusivamente l'ammasso roccioso fratturato appartenente alla Formazione di Capo Caccia e alla porzione superiore della Formazione di Grascioleddu.

In superficie le formazioni litoidi risultano alterate e fratturate con presenza di livelli più incoerenti con trovanti litoidi. La falda superficiale è stata osservata in prossimità dei fossi attraversati dal viadotto ed è riscontrabile alla profondità di circa 1.5 m da piano campagna.

- **Da pk 790 a pk 2760**

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S6, S7, S8, S9, S17, S18, S19 (2004); S4, S5 (2015). Pz3, Pz4, Pz5, Pz6, Pz7, Pz8, Pz9 (2015).



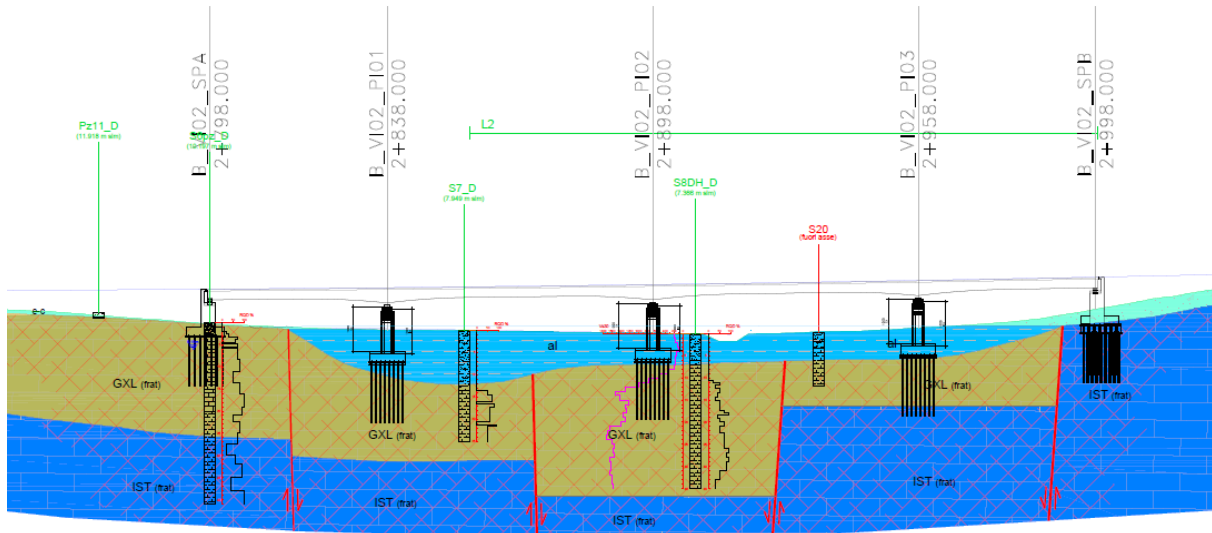
In tale settore il substrato calcareo è presente a profondità differenti, in quanto la presenza di faglie dirette, seppur con modesti rigetti, ha originato una struttura ad *horst* e *graben*. Le zone più ribassate risultano riempite da depositi del Sistema di Portovesme. In corrispondenza della pk 2+260 si trova il contatto tettonico tra i calcari a rudiste della Formazione di Capo Caccia ed i calcari dolomitici e le dolomie della Formazione di Punta Cristallo sovrastate dalla Formazione di Brunestica (BNT), data l'attività tettonica le formazioni litoidi risultano alterate e fratturate evidenziando aree mediamente compatte con la presenza di trovanti litoidi.

Dal punto di vista progettuale il tracciato si sviluppa in rilevato, accompagnato, tra le pk 2320 e pk 2600, dalla realizzazione di muri in sinistra ed in destra dell'asse stradale.

Non è stata evidenziata la presenza della falda superficiale se non nel tratto finale descritto in prossimità del viadotto Rio Calvia 1 alla profondità di 5.15 m da piano campagna.

- **Da pk 2760 a pk 3000 – Viadotto Rio Calvia 1**

Indagini di riferimento: sondaggi S20 (2004); S6, S7 ed S8 (2015); stesa sismica a rifrazione L2 (2015); pozzetti geognostici Pz10, Pz11 (2015).



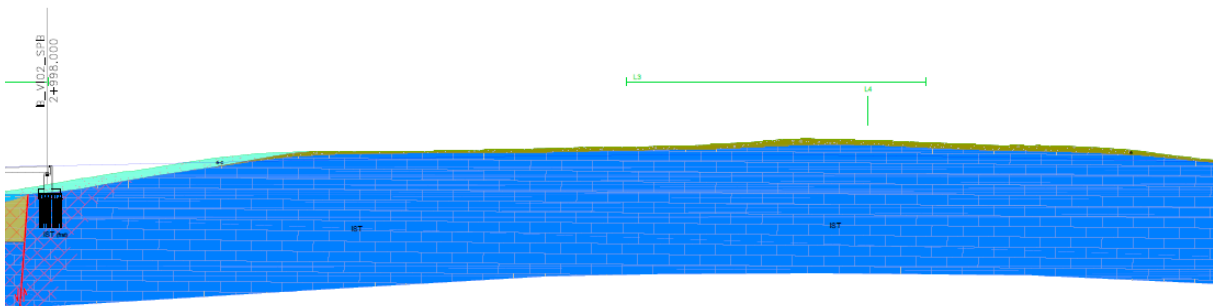
Questo tratto stradale è caratterizzato dalla presenza del substrato calcareo ribassato attraverso un sistema di faglie dirette. Pertanto in alcune aree il substrato risulta essere subaffiorante ricoperto da modesti spessori di depositi di coltre eluvio-colluviale e da altrettanto modesti spessori di depositi appartenenti al Sintema di Portovesme mentre lungo l'asse fluviale il tetto delle formazioni calcaree si trova al di sotto dei depositi alluvionali con spessori variabili tra i 5 e i 12 metri da p.c.; l'intensa fagliazione rende il substrato roccioso fratturato ed alterato evidenziando così una formazione mediamente compatta con presenza di livelli non consolidati con trovati litoidi.

La falda, come accennato in precedenza, si riscontra in prossimità del sondaggio S6pz alla profondità di 5.15 m da piano di campagna ma, sebbene non si abbiano evidenze dagli altri sondaggi, all'interno dei depositi alluvionali di ha la presenza di acque superficiali.

Tra le progressive 2940 e 2980 il progetto interferisce con un'area classificata a pericolosità "Hg2 – Intensità media" dal PAI della Regione Sardegna; tale interferenza viene descritta in dettaglio nell'elaborato "Studio di compatibilità geologica e geotecnica".

- Da pk 3000 a pk 3450 – Trincea

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S21 (2004); stese sismiche a rifrazione L3 ed L4 (2015).

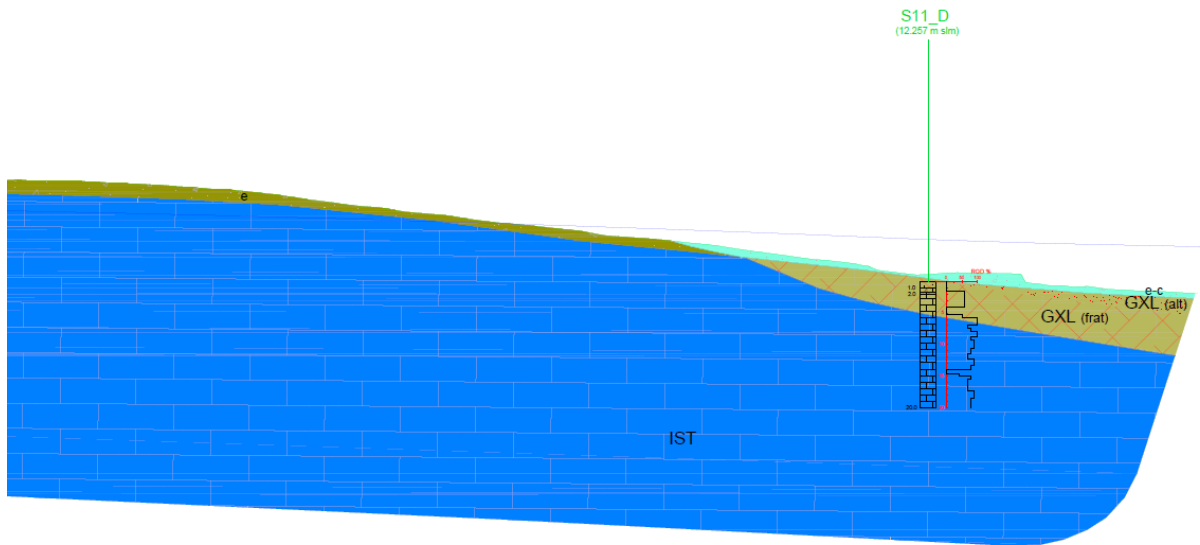


Questo breve tratto attraversa in trincea l'ammasso calcareo subaffiorante. I calcari, appartenenti alla Formazione di Punta Cristallo, risultano ricoperti da depositi detritici, ascrivibili alle coltri eluvio-colluviali, che presentano spessori modesti.

In questo tratto non si hanno dati sulla presenza della falda superficiale

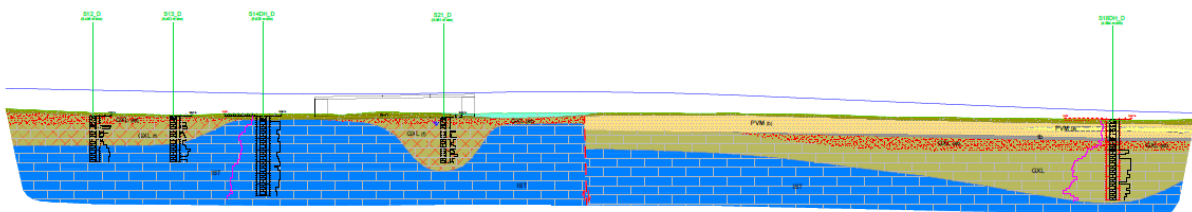
- Da pk 3450 a fine tracciato Rampa Alghero

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S22, S23 (2004); S11, S12, S13, S14, S21 (2015).



L'ultimo tratto ricade in una situazione geologica analoga alla precedente, caratterizzata dalla presenza di calcari appartenenti alle formazioni di Grascioleddu e di Punta Cristallo, da mediamente a molto fratturati, ricoperti da coltri eluvio-colluviali. Il limite tra le due formazioni mesozoiche ha un andamento irregolare, formando delle oscillazioni nella profondità con dei massimi in corrispondenza di S12 ed S13 (13 m da p.c.) e di S21 (circa 22 m).

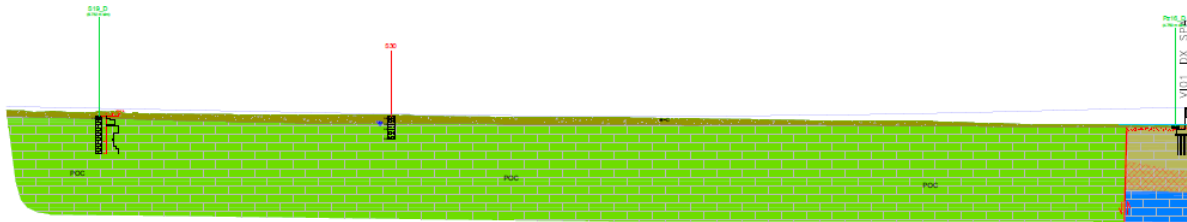
La falda è stata riscontrata in prossimità della rampa algheroa m 2.87 da piano campagna in prossimità del sondaggio S21.



8.3 asse D

- Da pk 0 a pk 460

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S30 (2004/2005); Pz16, S19 (2015).



Il primo tratto stradale in progetto è caratterizzato dalla presenza di una coltre superficiale con spessori di 3-4 metri al di sotto della quale troviamo i calcari della Formazione Di Capo Caccia (POC).

In prossimità del sondaggio S30 si ha un riscontro sulla presenza della falda a circa 2.80 m da piano campagna.

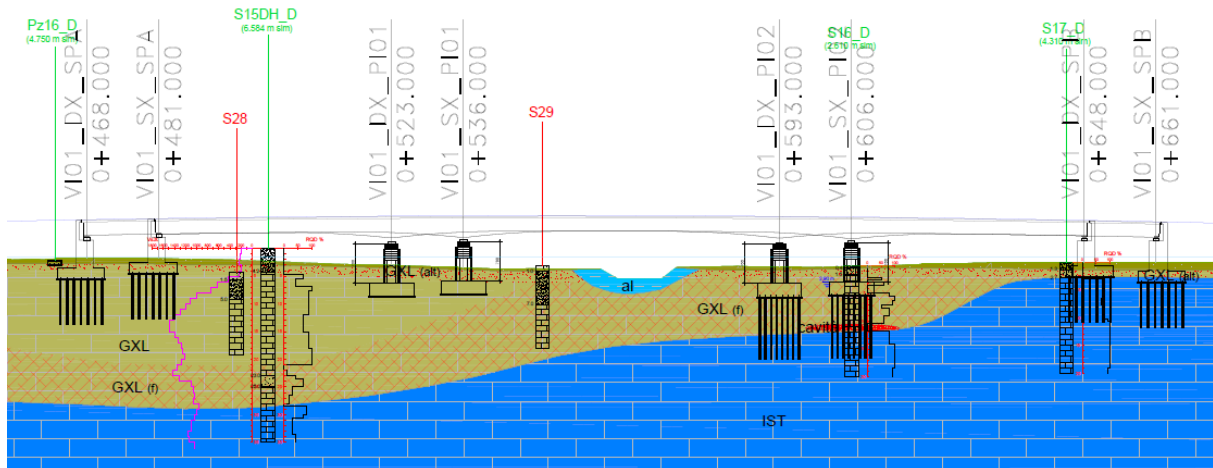
- Da pk 460 a pk 660 – Viadotto Rio Calvia 2

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S28, S29 (2004); S15, S16 e S17 (2015).

Questo tratto stradale è caratterizzato dalla presenza dei depositi più antichi della Formazione di Grascioleddu (GXL) e della Formazione di Punta Cristallo (IST) in continuità stratigrafica, i quali sono in contatto tettonico con i calcari della Formazione Di Capo Caccia (POC) tra la pk. 0+480 e la pk. 0+500. Si può osservare uno forte strato di alterazione tra le due formazioni. Sono infatti presenti livelli meno consistenti con trovanti litoidi alternati a substrati rocciosi.

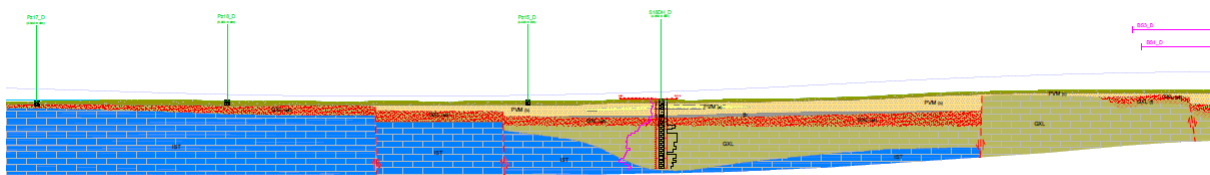
In corrispondenza del Rio Calvia, tra la pk. 0+540 e la pk. 0+580, si rinvennero superficialmente depositi alluvionali con spessore di circa 3 metri.

La falda è stata riscontrata alla profondità di 2.90 m da piano campagna



- **Da Pk. 660 a Pk.1280**

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S18 (2015); pozzetti geognostici Pz15, Pz17, Pz 18 (2015).



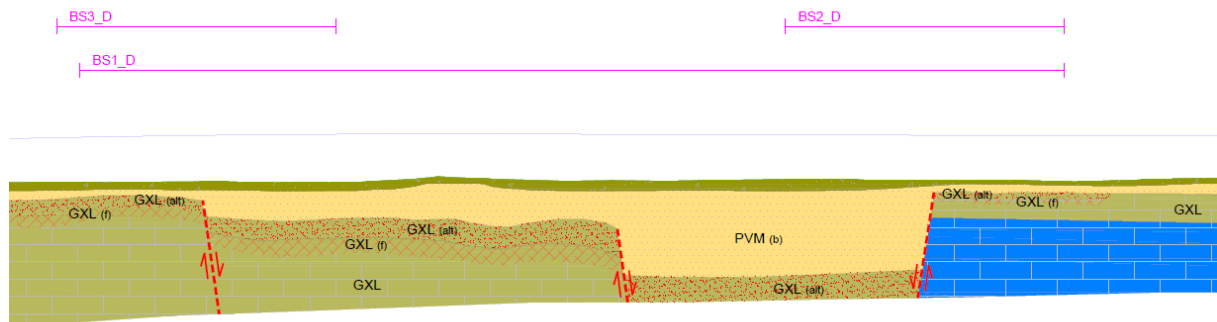
La successione di base è composta dai depositi più antichi della Formazione di Grascioleddu (GXL) e della Formazione di Punta Cristallo (IST) ribassati dalla presenza di un set di faglie distensive. In superficie sono presenti i depositi sabbioso-limosi del Sintema di Portovesme

(PVM) con spessori variabili fino ad un massimo di 8 metri che passano a torbe al letto della formazione. Non si hanno dati sulla presenza della falda.

- Da pk 1280 a pk 1460 – Farfalla ferroviaria B

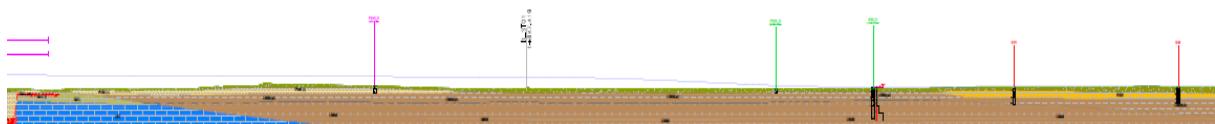
Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S27; stese sismiche a rifrazione BS1, BS2 e BS3 (2016/2017)

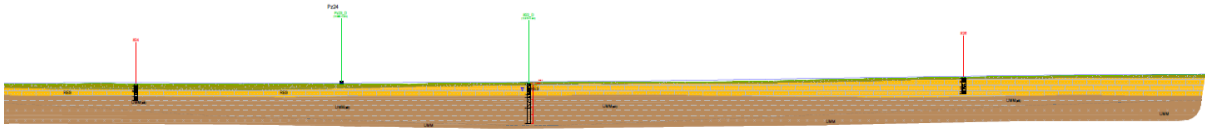
Il tratto ricade in una situazione geologica analoga a quella incontrata nel Viadotto FS sull'A.P., caratterizzata dalla presenza del substrato calcareo affiorante o subaffiorante, ricoperto da modesti spessori di depositi di coltre eluvio-colluviale e da altrettanto modesti spessori di sabbie e arenarie del Sintema di Portovesme. Anche in questo tratto non si hanno dati sulla presenza della falda.



- Da pk 1460 a fine tracciato

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S24, S25, S26 (2004); S22, S20 (2015); pozzetti geognostici Pz30 (2015); Pz23, Pz24, Pz25 (2016).





Quest'ultimo tratto stradale presenta un modello geologico di riferimento piuttosto omogeneo, caratterizzato principalmente da depositi piroclastici appartenenti alla formazione di Monte Miale Ispina, coperti in superficie da spessori variabili da 6 a 8 metri di calcareniti della Formazione di Mores.

Dal punto di vista progettuale il tracciato si sviluppa principalmente in rilevato, senza opere d'arte significative.

In prossimità del sondaggio S22, si ha la presenza della falda a m 3.90 da piano campagna.

9 Bonifica del piano di posa dei rilevati

Si riporta di seguito l'indicazione, derivante dalle informazioni acquisite nel corso delle indagini, sugli spessori da adottare per la bonifica del piano di posa dei rilevati, che verrà realizzata utilizzando terreni con caratteristiche previste da Capitolato.

Tabella : Spessori bonifica

Intervento	Progressiva		Scotico [cm]	Bonifica [cm]
	da [m]	a [m]		
Asse B				
Rilevato	0+000	0+570	40	130
Ponte Rio Serra	0+570	0+785	-	-
Rilevato	0+785	1+745	40	60
Trincea	1+745	1+910	-	-
Rilevato	1+910	2+360	30	100
Trincea	2+360	2+580	-	-
Rilevato	2+580	2+790	30	70
Ponte Rio Calvia 1	2+790	3+015	-	-
Rilevato	3+015	3+050	20	-
Trincea	3+050	3+460	-	-
Rilevato	3+460	3+570	20	-
Asse C				
Viadotto Ferrovia	0+000	0+480	-	-
Rilevato	0+480	1+760	40	80
Rilevato	1+760	2+140	40	20
Ponte Rio Sassu	2+140	2+365	-	-
Rilevato	2+365	2+490	50	20
Rilevato	2+490	2+780	30	100
Rilevato	2+780	3+030	50	50
Asse D				
Rilevato	0+000	0+460	30	60
Ponte Rio Calvia 2	0+460	0+680	-	-
Rilevato	0+680	1+900	50	20
Rilevato	1+900	3+160	40	60
Rampe				
Rampa Alghero	0+000	0+642	50	20
Rampa bidirezionale e rampa sud	0+000	0+564	40	-

10 Bibliografia

Calvino F. (1959). Lineamenti strutturali del Sarrabus-Gerrei (Sardegna sud-orientale). Boll. Servizio Geologico d'Italia, Roma, 81: 489-556.

Calvino F. (1963). Carta Geologica d'Italia, "Foglio 227 Muravera". Servizio Geologico d'Italia, Roma.

Calvino F. (1972). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, "Foglio 227 Muravera", 1-58.

Carmignani L., Conti P., Pertusati P.C., Barca S., Cerbai N., Eltrudis A., Funedda A., Oggiano G., Patta E.D., Ulzega A., Orrù P. (2001). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, "Foglio 549 Muravera". Servizio Geologico d'Italia, Roma, 140 pp.

Gattiglio – Oggiano (1990). L'unità tettonica di Bruncu Nieddu e i suoi rapporti con le unità della Sardegna sudorientale. Boll. Soc. Geol. It., 109, Roma.

Ghieglieri G., Barbieri G., Vernier A. (2006). Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: dall'analisi conoscitiva alle strategie di salvaguardia e tutela. RIADE (Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla Desertificazione).

Palomba M., Ulzega A. (1984). Geomorfologia dei depositi quaternari del Rio Quirra e della piattaforma continentale antistante (Sardegna occidentale). Rend. Sem. Fac. Sc. Univ., Cagliari, 54: 109-121.

Pertusati P.C., Benedetti M., Carosi R., Cherchi G.P., Chighine G., Cincotti F., Gattiglio M., Patta D., Pertusati P.C., Pishedda R., Ronchi A.L., Sarria E., Serri R., Sirigu E. (2002). Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, "Foglio 541 Jerzu". Servizio Geologico d'Italia, Roma.

Pertusati P.C., Benedetti M., Carosi R., Cherchi G.P., Chighine G., Cincotti F., Gattiglio M., Patta D., Pertusati P.C., Pishedda R., Ronchi A.L., Sarria E., Serri R., Sirigu E. (2002). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, "Foglio 541 Jerzu". Servizio Geologico d'Italia, Roma.

PUC – Piano Urbanistico Comunale. Comune di Alghero. Relazione generale di piano.

PUC – Piano Urbanistico Comunale. Comune di Alghero. Relazione sull'assetto ambientale.

PUC – Piano Urbanistico Comunale. Comune di Alghero. Carta geo-litologica.

PUC – Piano Urbanistico Comunale. Comune di Alghero. Carta geomorfologica.

PUC – Piano Urbanistico Comunale. Comune di Alghero. Carta idrogeologica.