

# Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

## Nuova S.S.291 Lavori di costruzione del 1° lotto da Alghero ad Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas

### PROGETTO DEFINITIVO

**PROGETTAZIONE:** ANAS - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

**PROGETTISTI:**

*Dott. Ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI*  
*Ordine Ing. di Roma n. 19116*

*Dott. Ing. ALESSANDRO MICHELI*     *Dott. Ing. FULVIO MARIA SOCCODATO*  
*Ordine Ing. di Roma n. 19654*     *Ordine Ing. di Roma n. 18861*

**IL GEOLOGO**

*Dott. Geol. STEFANO SERANGELI*  
*Ordine Geol. Lazio n. 659*

**IL RESPONSABILE DEL S.I.A.**

*Dott. Ing. FULVIO MARIA SOCCODATO*  
*Ordine Ing. di Roma n. 18861*

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

*Geom. FABIO QUONDAM*

**VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO**

*Dott. Ing. ANTONIO SCALAMANDRE'*

**PROTOCOLLO**

**DATA**

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS**

<i>Dott. Ing. Pier Giorgio D'Armini</i>	- Studio di traffico
<i>Dott. Ing. Elisa Luziatelli</i>	- Studio di traffico
<i>Dott. Ing. Gabriele Giovannini</i>	- Cartografia
<i>Arch. Barbara Banchini</i>	- Ambiente
<i>Dott. Geol. Giuseppe Cardillo</i>	- Ambiente
<i>Dott. Geol. Stefano Serangeli</i>	- Geologia
<i>Dott. Ing. Enrico Mittiga</i>	- Geotecnica
<i>Dott. Ing. Alessandro Mita</i>	- Idraulica
<i>Dott. Ing. Gianfranco Fusani</i>	- Strade
<i>Dott. Ing. Francesco Primieri</i>	- Strade
<i>Dott. Ing. Alessandro Piccarreta</i>	- Opere civili
<i>Dott. Ing. Francesca Bario</i>	- Opere civili
<i>Geom. Pietro Tomasiello</i>	- Opere civili
<i>Geom. Carmelo Zema</i>	- Espropri
<i>Dott. Ing. Pierluigi Fabbro</i>	- Interferenze
<i>Dott. Ing. Francesco Bezzi</i>	- Impianti
<i>Geom. Fabio Quondam</i>	- Comp., capitolati e sicurezza

**RESPONSABILI DI SERVIZI INGEGNERIA**

<i>Dott. Ing. Fulvio Maria Soccodato</i>	- Territorio
<i>Dott. Ing. Alessandro Micheli</i>	- Geotecnica e Impianti
<i>Dott. Ing. Achille Devitofranceschi</i>	- Opere Civili
<i>Geom. Fabio Quondam</i>	- Computi e capitolati
<i>Dott. Geol. Serena Majetta</i>	- Caratterizzazione ambientale

## GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA Relazione geologica e idrogeologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	TOOGE00GEORE01_B.DOC		
L O P L S C	D	1401	CODICE ELAB.	T O O G E 0 0 G E O R E 0 1	B
D					
C					
B	EMISSIONE PER PROCEDURE AUTORIZZATIVE		APR. 2015	Geol. S. Serangeli	Geol. S. Serangeli Ing. A. Micheli
A	EMISSIONE		APR. 2015	Geol. S. Serangeli	Geol. S. Serangeli Ing. A. Micheli
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

**INDICE**

<b>1. <u>Premesse</u></b>	<b>2</b>
<b>2. <u>Riferimenti normativi</u></b>	<b>4</b>
<b>3. <u>Schema Geomorfologico</u></b>	<b>6</b>
<b>4. <u>Schema Geologico</u></b>	<b>8</b>
<b>4.1 <u>Assetto geostrutturale dell'area di studio</u></b>	<b>12</b>
<b>4.2 <u>Successione stratigrafica e caratteri delle unità geologiche</u></b>	<b>13</b>
<b>5. <u>Schema Idrogeologico</u></b>	<b>15</b>
<b>6. <u>Sismicità</u></b>	<b>18</b>
<b>6.1 <u>Sismicità storica</u></b>	<b>18</b>
<b>6.2 <u>Pericolosità sismica</u></b>	<b>19</b>
<b>7. <u>Indagini geognostiche</u></b>	<b>23</b>
<b>8. <u>Modello Geologico di Riferimento</u></b>	<b>25</b>
<b>8.1 <u>Asse principale S.S.291</u></b>	<b>26</b>
<b>8.2 <u>Circonvallazione di Alghero – Strada urbana di collegamento</u></b>	<b>28</b>
<b>9. <u>Bibliografia</u></b>	<b>31</b>

## **1. Premesse**

La presente relazione geologica fa parte della documentazione allegata al Progetto Definitivo del Lotto 1 della S.S. n° 291 da Alghero ad Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas.

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 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 2005;

- Campagna di indagini integrative per il progetto sopra citato, affidate, nello stesso anno, alla società Geo-Lavori s.r.l.;
- 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.

La documentazione ad esse relativa è riportata negli elaborati "Documentazione indagini geognostiche pregresse" e "Documentazione Indagini Geofisiche pregresse", 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.163 del 12 aprile 2006: "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".
- 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).

### **3. Schema Geomorfologico**

La morfologia dell'area studiata rappresenta una diretta conseguenza della storia geologica e strutturale dell'intera isola, caratterizzata dal susseguirsi di mutamenti legati ai movimenti tettonici che hanno ripetutamente interessato l'isola stessa e che sono ora rappresentati dalla 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.

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 impostati su rocce calcareo-dolomitiche riferibili alla medesima era, considerati come forme residuali d'erosione ("inselbergs") quale, ad esempio, 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, seppur risulti evidente, sia all'analisi fotointerpretativa che dal rilievo geomorfologico di campo, nell'allineamento delle aree collinari e nella conformazione del *pattern* della rete idrografica, l'esistenza di un 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 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 isolati, di minore estensione ed altitudine rispetto a quelli calcarei. Verso est, la presenza delle forme sviluppatasi sulle unità vulcaniche acquisisce, invece, carattere 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 sono rappresentati da dune fossili originatesi a seguito di diversi cicli di deposizione, che ricoprono i substrati calcarei e vulcanici e le alluvioni terrazzate.

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 la presenza di una sola area a pericolosità Hg2 (pericolosità media), la quale intercetta, per un brevissimo tratto, l'asse principale della S.S.291 in progetto, 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.

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

Nel rispetto della normativa di attuazione del PAI sono stati effettuati, nell'ambito del Progetto Definitivo, i relativi approfondimenti di studio, geognostici e geofisici necessari per la redazione dello Studio di compatibilità geologica e geotecnica previsto dalle norme.

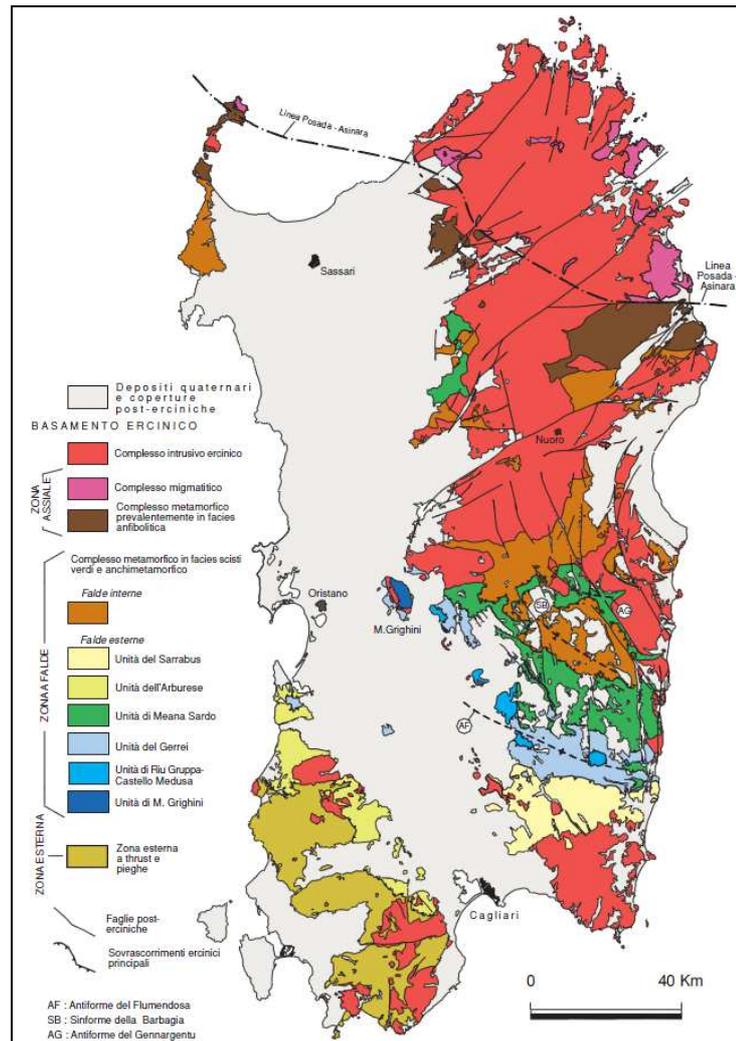
#### **4. Schema Geologico**

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 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 km<sup>2</sup> 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 geostrutturale 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 - M.te 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 M.te Agnese, e da elementi vulcanici oligo-miocenici nel settore meridionale, e da depositi lacustri, costituiti da travertini, marne ed argille. Talvolta si rinvencono, 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.

#### **4.2 Successione stratigrafica e caratteri delle unità geologiche**

Di seguito vengono descritte le unità litologiche di riferimento, coinvolte direttamente dalla progettazione definitiva del tracciato stradale.

##### Successione sedimentaria mesozoica della Sardegna settentrionale

**Formazione di Monte Nurra (NRR):** Dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, selciferi, marnosi e marne con intercalazioni di arenarie quarzose. Alla base sono presenti calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite (*Dogger*).

**Formazione di Capo Caccia (POC):** Calcari a Rudiste e macroforaminiferi che, procedendo verso il settore più orientale di Olmedo-Alghero, si presentano sempre più interessati da intercalazioni di livelli marnosi a foraminiferi planctonici, che indicano una maggiore subsidenza (*Coniaciano*).

**Formazione di Brunestica (BNT):** nell'area di studio è presente una litofacies appartenente a questa formazione, caratterizzata da marne e calcareniti in alternanza con calcari marnosi e marne e calcari a glauconite (*Santoniano*).

##### Distretto vulcanico di Capo Marargiu

**Unità di Punta Ruja (PRJ):** depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, pomiceo-cineritici, da mediamente a fortemente saldati, di colore da rosato a nerastro, con pomici nerastre (*Burdigaliano*).

**Unità di Candelazzos (CZS):** depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, pomiceo-cineritici, prevalentemente non saldati, di colore grigio-violaceo. Tale formazione è particolarmente variegata, infatti sono presenti intercalazioni marnoso-arenacee e conglomeratiche di ambiente lacustre (*Burdigaliano*).

### Depositi pleistocenici dell'area continentale

#### **Sintema di Portovesme**

- **Litofacies nel Subsintema di Portoscuso (PVM2b):** sabbie ed arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali (*Pleistocene sup.*).
- **Litofacies nel Subsintema di Portoscuso (PVM2a):** ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie (*Pleistocene sup.*).
- **Subsintema di Calamosca ("Panchina Tirreniana" Auct.) (PVM1):** depositi conglomeratici e arenacei litorali a cemento carbonatico, riccamente fossiliferi in malacofaune a molluschi e coralli (*Pleistocene sup.*).

### Depositi olocenici dell'area continentale

**Depositi palustri (e5):** limi ed argille limose talvolta ciottolose; fanghi torbosi con frammenti di molluschi.

**Depositi alluvionali (b):** sono rappresentati da tre litofacies:

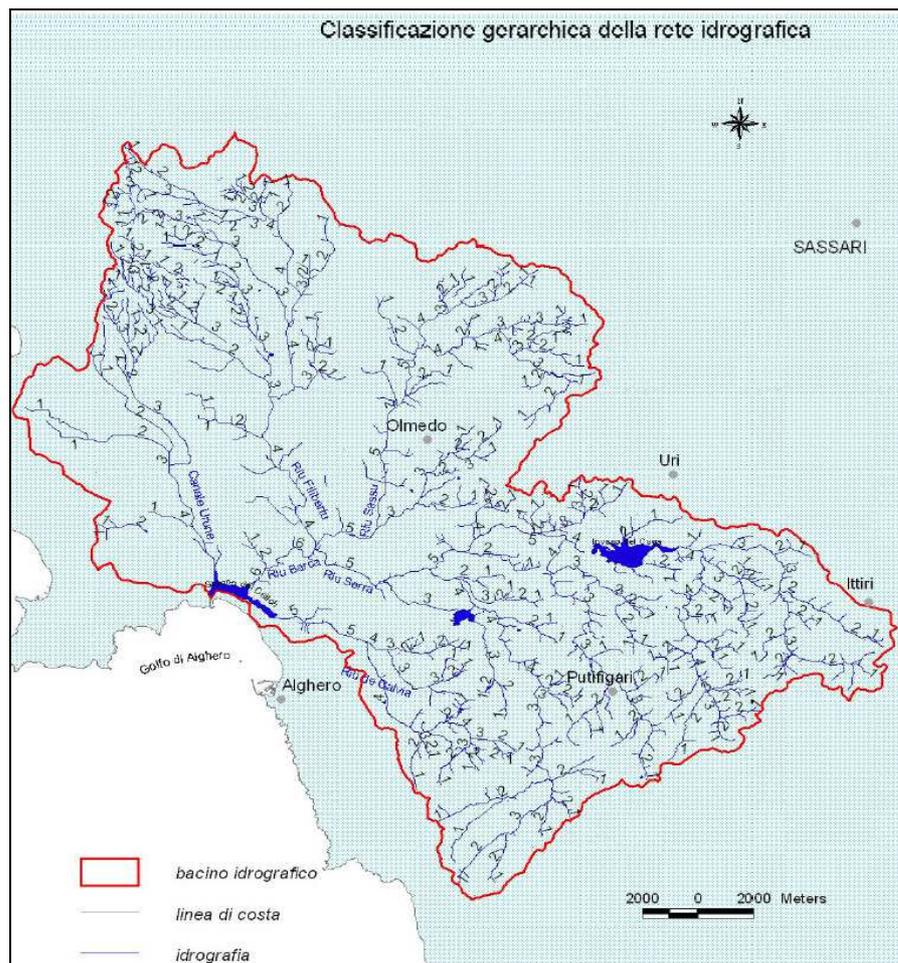
- a. Ghiaie da grossolane a medie (*ba*)
- b. Sabbie con subordinati limi ed argille (*bb*)
- c. Limi ed argille (*bc*)

**Travertini (f1):** depositi carbonatici stratificati, da compatti a porosi, con tracce di resti vegetali e gusci di invertebrati; derivano in parte da acque termali.

## **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 allo 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 calcareo-dolomitico mesozoico:*

Questo complesso è costituito da formazioni caratterizzate dalla presenza di fratture nella roccia, 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 canali e caverne 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 oligo-miocenico:*

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 dei depositi eolici:

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.

- Complesso quaternario dei depositi palustri:

A quest'ultimo 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 bassa in funzione della granulometria estremamente fine dei sedimenti.

A seguito dell'analisi di tutte le informazioni presenti in bibliografia, inerenti l'assetto idrogeologico dell'area, è stato possibile formulare delle ipotesi riguardanti l'eventuale interferenza del tracciato in progetto con una ipotetica falda acquifera sotterranea. L'assenza di caratterizzazione dei pozzi rappresentati nelle cartografie e nelle relazioni di bibliografia ha indotto a prendere in considerazione i dati di pozzi censiti e raccolti nel database del Servizio Geologico Nazionale dell'ISPRA (<http://sgi.isprambiente.it>), dal quale si evince la presenza di pozzi ad uso domestico nelle immediate vicinanze del tracciato stradale.

Dalle informazioni riferite a ciascun pozzo si può concludere che la falda acquifera risulta molto profonda (35-50 m di profondità) e interessa esclusivamente i calcari mesozoici, saturando alla base l'acquifero carsico, per cui non interferisce con il tracciato stradale. I depositi di origine eolica, invece, contengono degli acquiferi subsuperficiali, discontinui e poco produttivi, limitati agli orizzonti sabbiosi e conglomeratici più permeabili.

## 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 dalla 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).

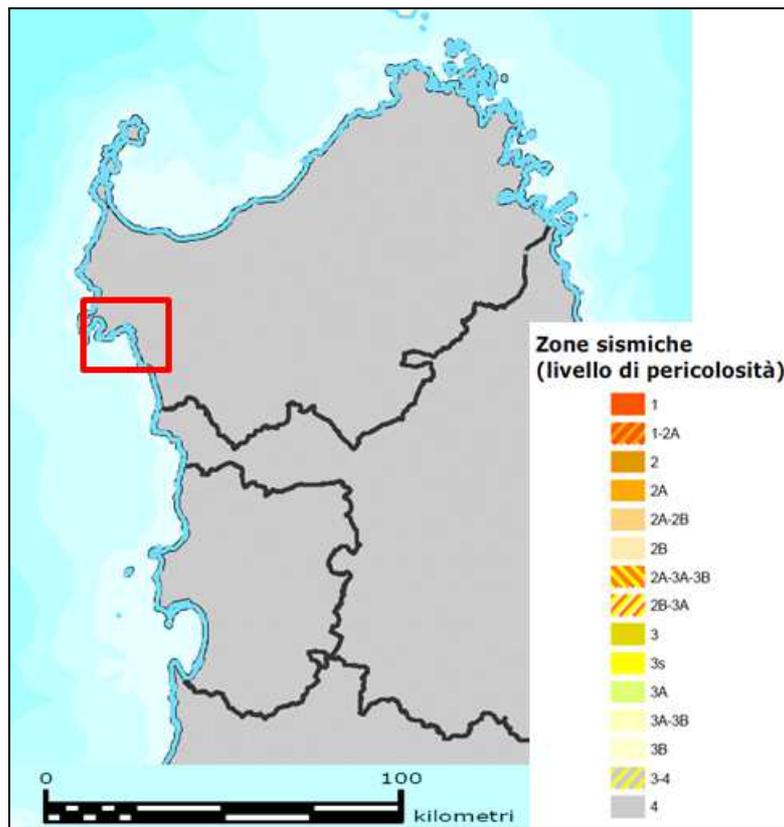


Figura 3 – Stralcio della Mappa di classificazione sismica nazionale, aggiornata al 2012, della Sardegna centro-settentrionale ([http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/class2012\\_02prov.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/class2012_02prov.pdf))

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, 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 (riportato nella tabella 1 dell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008). 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.

Isole	T <sub>R</sub> =30			T <sub>R</sub> =50			T <sub>R</sub> =72			T <sub>R</sub> =101			T <sub>R</sub> =140			T <sub>R</sub> =201			T <sub>R</sub> =475			T <sub>R</sub> =975			T <sub>R</sub> =2475		
	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> <sup>+</sup>
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, <b>Sardegna</b> , 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 2008 in cui vengono riportati i valori di ag, f0 e Tc per i diversi tempi di ritorno (TR) 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 (ag) viene stimato per l’intero territorio della Sardegna non facendo riferimento al reticolo sismico nazionale. Questo valore, calcolato per un tempo di ritorno Tr = 475 anni, corrispondente ad una vita utile di 50 anni ed una probabilità di superamento (Pvr) del 10% (SLV - Stato limite di salvaguardia della Vita) nel periodo di riferimento Vr è pari a 0.0500 g.

## **7. Indagini geognostiche**

Il tratto interessato degli interventi di adeguamento è stato oggetto, a varie riprese, nell'ambito dei progetti limitrofi, di attività di indagine geognostica. Nell'ambito delle 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.

Tali indagini, opportunamente georeferenziate, hanno integrato le osservazioni provenienti dal rilevamento geologico di superficie, portando alla definizione del modello geologico di riferimento.

In totale, i dati raccolti comprendono:

- Campagna d'indagine dell'ANAS – Compartimento della viabilità per la Sardegna, affidata alla soc. 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, accompagnati dal prelievo di campioni di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico;
- Campagna di indagini integrative per il progetto sopra citato, affidate, nello stesso anno, alla società Geo-Lavori s.r.l.;
- Campagna d'indagine del Comune di Alghero, affidata alla soc. Sarda Sondaggi s.r.l., effettuata per la progettazione della Circonvallazione di Alghero nell'anno 2012. Essa comprende: n. 13 sondaggi geognostici a carotaggio continuo accompagnati dal prelievo di campioni di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico; n. 8 prove penetrometriche dinamiche continue (D.P.M.); n. 1 indagine sismica di tipo MASW.

Tali indagini, opportunamente georeferenziate, hanno consentito di definire con chiarezza, congiuntamente al 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 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 l'intero tracciato in progetto ricade in un'area caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso calcareo-dolomitico (Formazione di Capo Caccia e Formazione di Monte Nurra) 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, dapprima per l'asse principale della S.S. 291 (tipo B) e, successivamente, per la Circonvallazione di Alghero nel tratto di collegamento tra la S.S.127bis e la S.S.291dir (tipo E), focalizzando l'attenzione sulle opere d'arte principali in progetto.

### **8.1 Asse principale S.S.291**

#### **- Da pk 0 a pk 900 – Viadotto sul Rio Serra**

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S1, S2, S3, S4, S5, S6.

Partendo dall'innesto a nord-est con il tracciato già realizzato della "S.S 291 var della Nurra" (pk 0) e procedendo verso sud-ovest lungo la S.S. 291 in progetto, questa parte del tracciato, che si sviluppa in rilevato, presenta un'unica opera d'arte rappresentata dal Viadotto Rio Serra, di 90 m di lunghezza, volto ad oltrepassare il Rio omonimo. L'intero tratto si posiziona su terreni appartenenti al substrato roccioso rappresentato dalla formazione di Capo Caccia, parzialmente ricoperti dai depositi sabbiosi appartenenti al Sintema di Portovesme. In corrispondenza del sondaggio S1, il substrato non è stato intercettato, a causa della presenza di una faglia diretta a forte rigetto, che lo ha ribassato verso nord. Infatti, al di sotto delle sabbie ed arenarie di Portovesme, sulla base della stratigrafia del sondaggio S1, sono presenti argille nerastre mediamente consistenti, riconducibili, probabilmente, all'alterazione ed argillificazione di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica dell'Unità di Punta Ruja.

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 un sottile strato di depositi alluvionali.

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.

- **Da pk 900 a pk 2550**

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S7, S8, S9, S17, S19.

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 1500 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 Monte Nurra.

Dal punto di vista progettuale il tracciato si sviluppa in rilevato, accompagnato, tra le pk 1980 e pk 2325, dalla realizzazione di muri in sinistra ed in destra dell'asse stradale.

- **Da pk 2550 a pk 3000 – Viadotto Rio Calvia 1**

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S20.

Questo tratto stradale è caratterizzato dalla presenza del substrato calcareo subaffiorante, ricoperto da modesti spessori di depositi di coltre eluvio-colluviale e da altrettanto modesti spessori di depositi appartenenti al Sistema di Portovesme.

In questo tratto il progetto prevede la realizzazione del Viadotto Rio Calvia. Tale viadotto ha una lunghezza di circa 180 m; le fondazioni delle spalle e delle pile si impostano nel substrato roccioso.

Tra le progressive 2940 e 2970 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.

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

- **Da pk 3450 a pk 3742.35 – Viadotto FS**

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S22, S23.

L'ultimo tratto ricade in una situazione geologica analoga alla precedente, caratterizzata dalla presenza di calcari ricoperti da coltri eluvio-colluviali. Esso si sviluppa in viadotto (Viadotto FS) con l'asse ovest di lunghezza pari a 354.00 m e l'asse est di lunghezza pari a 303.00 m.

## ***8.2 Circonvallazione di Alghero – Strada urbana di collegamento***

- **Da pk 0 a pk 480**

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S30.

Il primo tratto stradale in progetto è caratterizzato principalmente dalla presenza di depositi sabbioso-arenacei appartenenti al Sintema di Portovesme. Il tetto del substrato calcareo si colloca ad una profondità superiore a 10 m poiché non intercettato dal sondaggio di riferimento S30. In superficie le sabbie pleistoceniche sono ricoperte da modesti spessori di coltre eluvio-colluviale.

Dal punto di vista progettuale in questo primo tratto il tracciato si sviluppa interamente in rilevato.

- **Da pk 480 a pk 840 – Viadotto Rio Calvia 2**

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S28, S29.

Questo tratto stradale è caratterizzato dalla presenza di depositi palustri, rappresentati da limi ed argille limose talvolta ciottolose, poco consistenti, intercalati a fanghi torbosi con frammenti di molluschi. Lo spessore massimo riscontrato in sondaggio è di 7 m (S29). Questi depositi poggiano direttamente sui calcari dolomitici appartenenti alla Formazione di Monte Nurra.

Il progetto prevede la realizzazione del Viadotto Rio Calvia 2, di lunghezza pari a 120 m. Sia le fondazioni delle spalle che delle pile si impostano nel substrato roccioso: le prime prevedono micropali di lunghezza 12 m, mentre le seconde fondazioni dirette approfondite, poste sempre a 12 m di profondità.

- **Da pk 840 a pk 1680 – Viadotto Nord**

Indagini di riferimento: sondaggio geognostico S27.

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.

E' qui prevista la realizzazione di un viadotto di attraversamento delle rampe di svincolo, di lunghezza pari a 336 m.

- **Da pk 1680 a 2301 e da R2 a R3**

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S24, S25, S26.

Quest'ultimo tratto stradale presenta un modello geologico di riferimento piuttosto omogeneo, caratterizzato principalmente da depositi sabbioso-arenacei appartenenti al Sintema di Portovesme, coperti in superficie da modesti spessori di coltre eluvio-colluviale. In corrispondenza del sondaggio S25 affiorano, alla profondità di circa 6 m, depositi piroclastici pomiceo-cineritici, alterati e argillificati.

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

## **9. 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.

Ghioglieri 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., Pischedda 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., Pischedda 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.