

Anas SpA

Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

S.S. 131 di "Carlo Felice"

Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131
Risoluzione dei nodi critici – 1° stralcio
dal km 158+000 al km 162+700

PROGETTO ESECUTIVO

CA283

PROGETTAZIONE: ANAS–Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

PROGETTISTI:

Dott. Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI Dott. Ing. Alessandro MICHELI
Ordine Ing. di Roma n. 19116 Ordine Ing. di Roma n. 19645

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Serena MAJETTA
Ordine Geol. Lazio n. 928

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Salvatore FRASCA

PROTOCOLLO

DATA

GEOLOGIA

Relazione geologica e idrogeologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L O P L S P E 1 7 0 1

NOME FILE

T00GE00GEORE07_A.DOC

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. T 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 7

A

--

D

C

B

A

EMISSIONE

Settembre 2017

GEOL. S. SERANGELI

GEOL. S. SERANGELI

GEOL. S. MAJETTA

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1. <u>Premesse</u>	3
2. <u>Riferimenti normativi</u>	6
3. <u>Inquadramento geografico</u>	8
4. <u>Schema geologico generale</u>	9
5. <u>Inquadramento geologico-strutturale dell'area di studio</u>	13
6. <u>Successione stratigrafica locale</u>	16
6.1 <u>Successione sedimentaria Oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese:</u>	16
6.2 <u>Basalti della Campeda-Planargia:</u>	18
6.3 <u>Basalti del Logudoro:</u>	18
6.4 <u>Depositi quaternari dell'area continentale:</u>	19
7. <u>Schema Geomorfologico</u>	20
7.1 <u>Principali elementi geomorfologici rilevati</u>	21
7.2 <u>Analisi multitemporale dell'evoluzione morfologica antropica dell'area dello svincolo di Bonorva Nord</u>	25
8. <u>Schema Idrogeologico</u>	29
9. <u>Sismicità</u>	31
9.1 <u>Sismicità storica</u>	31
9.2 <u>Pericolosità sismica</u>	31
10. <u>Indagini geognostiche</u>	35
10.1 <u>Indagini geognostiche preesistenti</u>	35
10.2 <u>Indagini progettazione definitiva</u>	38
10.3 <u>Indagini progettazione esecutiva</u>	39

11. <u>Modello Geologico di Riferimento</u>	41
11.1 <u>Modello Geologico di dettaglio</u>	43
12. <u>Bonifica del piano di posa dei rilevati</u>	45
13. <u>Bibliografia</u>	47

1. Premesse

La presente relazione geologica fa parte della documentazione allegata al Progetto Esecutivo degli interventi di "Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131. Risoluzione dei nodi critici – 1° stralcio dal km 158+000 al km 162+700".

Lo stralcio progettuale oggetto di questo studio ricade in località Bonorva, interessando i due svincoli di Bonorva Sud e Bonorva Nord, sull'asse principale della S.S. 131, e l'adeguamento, nel tratto da essi sotteso, della S.P. 125.

Nella presente nota vengono inizialmente descritti i contesti geomorfologico, stratigrafico ed idrogeologico generali dell'area; successivamente vengono analizzati gli interventi in progetto:

- Nuovo Svincolo di Bonorva Sud al Km 158+000;
- Nuovo Svincolo di Bonorva Nord al Km 162+000;
- Adeguamento S.P. 125.

Gli elementi necessari a tale scopo sono stati ricavati, in prima istanza, a seguito dell'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto, con particolare riferimento alla cartografia geologica ufficiale, a varia scala di rappresentazione, alle diverse campagne d'indagine poste in essere dall'ANAS – Compartimento della viabilità per la Sardegna - nel corso della progettazione generale dell'adeguamento della nuova S.S.131, dalle conoscenze precedentemente maturate sui luoghi oggetto di studio, nonché dell'analisi diretta delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree interessate dai diversi interventi, effettuata nel corso del rilevamento geologico di campo.

Con riferimento ai dati geognostici pregressi, presi in esame in questo contesto, ci si riferisce, in particolare, alle seguenti campagne d'indagine, adeguatamente contraddistinte e georeferenziate negli elaborati progettuali:

- Ing. Piero Porcu – anno 1992 – tratto km 159+900 ÷ km 163+000;
- Soiltecnica s.r.l. – anno 1997 – tratto km 121+500 ÷ km 158+900;
- Sardadrill s.r.l. – anno 1998 – tratto km 159+300 ÷ km 163+500;
- Micropali s.a.s. – anno 1998 – tratto km 162+300 ÷ km 162+700;
- Fondedile s.r.l. – anno 1998 – tratto km 161+500 ÷ km 162+300;

La documentazione ad esse relativa è riportata negli elaborati "Documentazione indagini geognostiche preesistenti" e "Documentazione indagini geofisiche preesistenti", 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.

Inoltre, ai fini di ricostruire le condizioni stratigrafiche di dettaglio e caratterizzare dal punto di vista geotecnico le litologie presenti in relazione agli interventi in progetto, sono state programmate ed eseguite, nel corso del 2015 e del 2017, rispettivamente nelle fasi di progettazione definitiva ed esecutiva, apposite indagini geognostiche e geofisiche con relative prove di laboratorio, ubicate in corrispondenza di punti significativi ai fini progettuali.

La presente nota fa specifico riferimento ai seguenti elaborati:

- "Carta geologica generale" (n.1 tavola), in scala 1:5.000;
- "Carta geologica di dettaglio" (n.4 tavole), in scala 1:2.000;
- "Carta geomorfologica" (n.4 tavole), in scala 1:2.000;
- "Carta del rischio geomorfologico" (n.4 tavole), in scala 1:2.000;
- "Carta idrogeologica" (n.4 tavole), in scala 1:2.000;
- "Planimetria ubicazione indagini" (n.4 tavole), in scala 1:2.000;
- "Sezioni geologiche trasversali Svincolo Bonorva Nord ed S.P. 125" (n.3 tavole), in scala 1:500;

- "Sezioni geologiche trasversali Svincolo Bonorva Sud" (n.1 tavola), in scala 1:500;
- "Profilo geologico longitudinale S.S. 131" (n.3 tavola), in scala 1:1.000.

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. Inquadramento geografico

La S.S. 131 "Carlo Felice" costituisce il principale collegamento viario della Sardegna. Essa si sviluppa in direzione Sud-Nord da Cagliari a Porto Torres, per un'estensione di circa 235 km, collegando i centri abitati più importanti dell'isola.



Figura 1 – Ubicazione dell'area di intervento

La porzione di tracciato all'interno della quale ricadono gli interventi in progetto si sviluppa nel territorio della provincia di Sassari, dal km 158+000, al km 162+700.

4. Schema geologico generale

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^a fase, Siluriano) seguita da una collisione continentale che ha prodotto ispessimento crostale, magmatismo e metamorfismo (2^a 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.

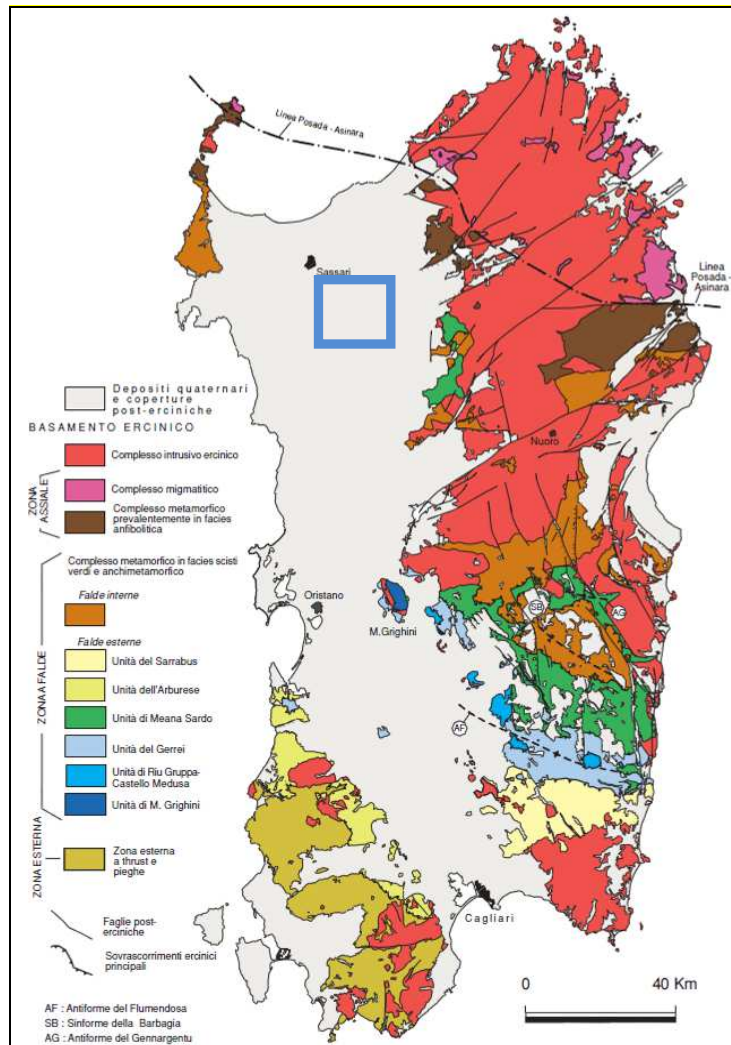


Figura 2 - Principali elementi strutturali del basamento ercinico sardo (fonte: Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Geologia della Sardegna). Il riquadro blu indica l'area di interesse progettuale

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 EW e NE.

Successivamente, il basamento sardo è stato interessato da una inversione postcollisionale 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 6000 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.

5. Inquadramento geologico-strutturale dell'area di studio

In Sardegna, l'Eocene medio segna l'inizio di un periodo di grande instabilità tettonica che comprende anche un'importante fase di accorciamento crostale (Carmignani et al., 1992). Durante questo periodo di instabilità vi è stata la deposizione di sedimenti di ambiente prevalentemente continentale, di natura sedimentaria e magmatica, che affiorano abbondantemente nell'area di interesse progettuale. Tale successione sedimentaria è coeva con un'importante attività vulcanica calcocalina, rappresentata da una varietà di prodotti effusivi ed esplosivi, con composizione da basaltico-andesitica a riolitica. Le età radiometriche delle vulcaniti sono comprese tra 28 Ma e 15 Ma, anche se la maggior parte dei prodotti vulcanici è riferibile al Burdigaliano.

Questo potente complesso vulcano-sedimentario è in parte associato a una importante tettonica trascorrente, responsabile delle più evidenti strutture terziarie dell'area. Faglie trascorrenti sinistre, orientate NE-SW, caratterizzano tutta la Sardegna centro-settentrionale; esse risultano coniugate con un sistema di faglie destre di minore importanza, orientate E-W. I sistemi di faglie trascorrenti, in parte ereditate dalle discontinuità meccaniche erciniche, individuano una direzione di raccorciamento con andamento meridiano.

Il vulcanismo oligo-miocenico sardo rappresenta uno degli eventi geologici più importanti del Mediterraneo occidentale. Nell'area di interesse progettuale esso è testimoniato dalla presenza di un'alternanza di andesiti e andesiti basaltiche (12 cfr. schema seguente, da Carmignani et alii, 1996), a composizione da basica ad intermedia ("Serie andesitica" Auct.), e di rioliti, riodaciti e daciti (11), a composizione da intermedia ad acida ("Serie ignimbratica", Auct.). Localmente, la successione vulcanica è attraversata da sistemi filoniani.

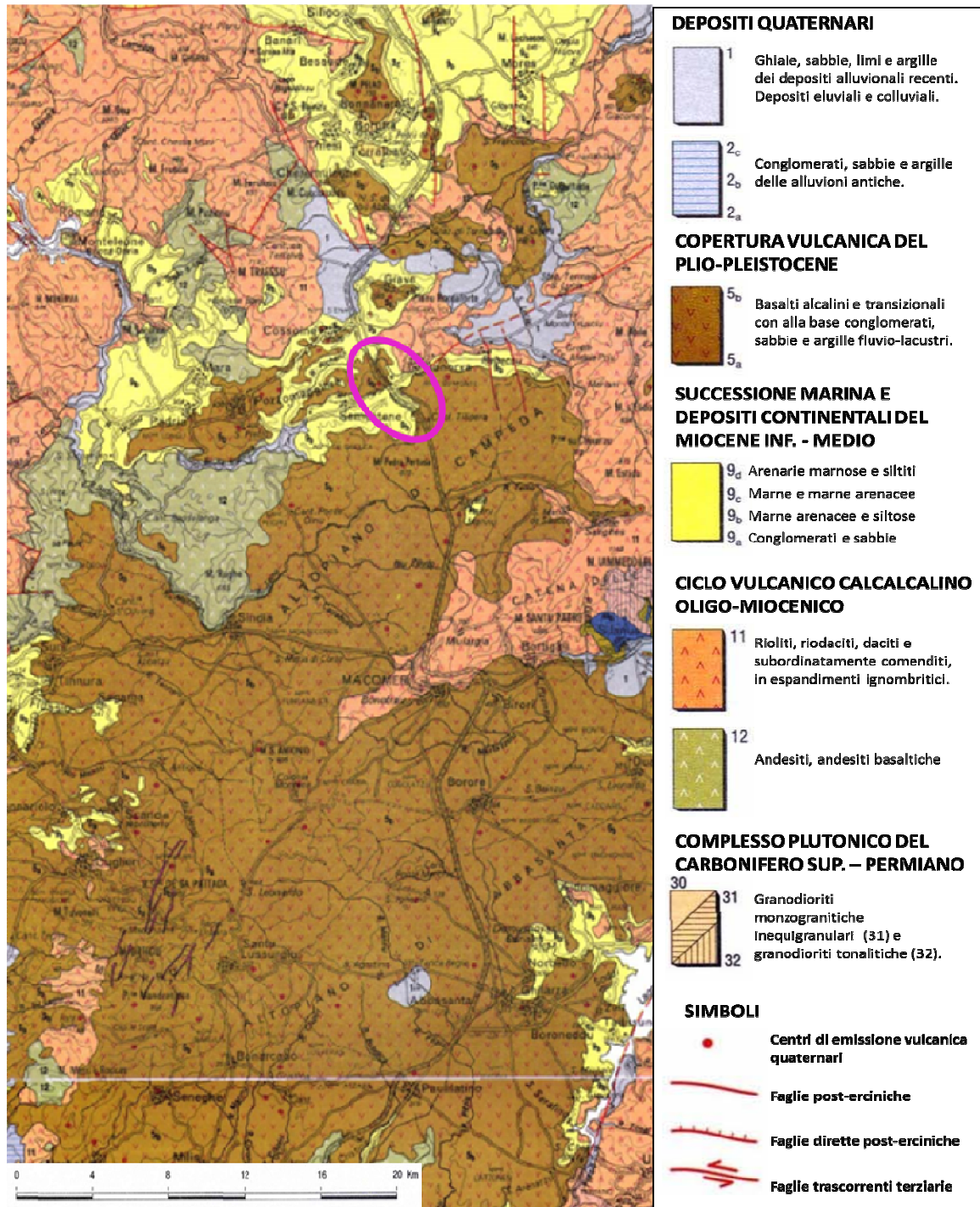


Figura 3 – Stralcio della Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000, redatta a cura del Comitato per il Coordinamento della Cartografia Geologica e Geotematica della Sardegna con coordinatore L. Carmignani. Il riquadro indica l'area di interesse progettuale.

A partire dal Burdigaliano superiore avviene una importante fase distensiva che genera una serie di fosse tettoniche ad andamento sub-meridiano; in esse si verifica una ampia trasgressione marina, con sedimentazione silicoclastica e carbonatica, che arriva fino al Serravalliano ("2° ciclo" sedimentario miocenico). Si tratta di una successione che inizia con conglomerati e arenarie (9a) e prosegue con depositi silicoclastici e carbonatici prevalentemente di ambiente marino (9b, 9c, 9d). La trasgressione è seguita da una facies regressiva e da una nuova pulsazione trasgressiva, caratterizzata da sedimentazione carbonatica di mare basso, che va dal Tortonianiano fino al Messiniano ("3° ciclo" miocenico).

La distensione continua anche nel Pliocene e, successivamente, nel Pleistocene, testimoniata principalmente dai grandi espandimenti plio-pleistocenici di basalti interplacca. Si tratta di prodotti ascrivibili ad un vulcanismo interplacca, costituiti essenzialmente da lave basaltiche, da alcaline ad alcaline-transizionali e sub-alcaline (5), affioranti abbondantemente nell'area di interesse progettuale.

Il Quaternario è rappresentato in gran parte da depositi di copertura del substrato in facies continentale, come alluvioni antiche (2a) o depositi di fondovalle (1).

6. Successione stratigrafica locale

L'area all'interno della quale si collocano gli interventi in progetto ricade nel Foglio n. 193 "Bonorva", della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Lo schema stratigrafico adottato nel presente lavoro fa riferimento a quello proposto nel Progetto "Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000" (Figura 3), messo a disposizione dalla Regione, che ha inteso realizzare una carta geologica omogenea ed estesa a tutta l'Isola, adeguata agli obiettivi di pianificazione del Piano Paesaggistico Regionale (PPR) e conforme alle indicazioni del Servizio Geologico d'Italia.

I terreni affioranti lungo il tratto studiato, pertanto, sono stati accorpati all'interno di diversi complessi geologici, di natura da sedimentaria marina a continentale a vulcanica, a loro volta comprendenti diverse unità formazionali, che coprono un intervallo di tempo che va dal Cambriano all'Attuale, e di seguito elencati dal più antico al più recente.

6.1 Successione sedimentaria Oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese:

- **Formazione di Mores (RES).** La formazione affiora abbondantemente lungo la porzione nord della S.P. 125 e in corrispondenza dello svincolo di Bonorva nord. Essa si presenta lungo il 1° stralcio in due diverse litofacies, tutte ascrivibili al Burdigaliano superiore, di seguito elencate:

Facies siltitica ("Marnoso-arenacea" Auct.), rappresentata da siltiti, marne argillose e arenacee, di colore grigio e giallastro, da tenere a compatte e lapidee, alternate a livelli calcareo-marnosi litoidi di spessore decimetrico. La parte litoide presenta fratture con inclinazione di 80° e frequenti striature nerastre e giallastre. Nella parte bassa si passa ad arenarie marnose e calcareniti compatte, a grana medio-grossolana, di colore bianco, grigio e rossastro.



Foto 1 – Formazione di Mores in Facies siltitica incontrata nel sondaggio S11 di Sondedile s.r.l. (anno 2015) in corrispondenza dello Svincolo di Bonorva nord.

Facies calcarenitica ("Calcarei inferiori" Auct.), rappresentata da calcareniti, calcari bioclastici prevalenti, calcareniti grossolani e microconglomerati calcaree, di colore bianco e grigio, da compatti a mediamente fratturati e alterati, con alghe calcaree (lithotamni) e patine di ossidazione rossastra, alternati a subordinate arenarie marnose e siltiti. Le fratture si presentano con inclinazione da 80° a subverticale.



Foto 2 – Formazione di Mores in Facies calcarenitica incontrata nel sondaggio S3 di Angius (anno 2017) in corrispondenza dello Svincolo di Bonorva nord.

6.2 **Basalti della Campeda-Planargia:**

- **Subunità di Campeda.** Basalto e andesite basaltica litoide, di colore grigio e vinaccia, con aspetto vacuolare, da mediamente a molto fratturata. Le fratture hanno un'inclinazione variabile da suborizzontale a circa 30° e si presentano fortemente alterate, con frequenti fenomeni di argillificazione. L'età è ascrivibile al Pliocene.



Foto 3 – Basalti di Campeda incontrati nel sondaggio S6pz di Sonedile s.r.l. (anno 2015) In corrispondenza dello Svincolo di Bonorva sud.

6.3 **Basalti del Logudoro:**

- **Subunità di Semestene.** Basalto litoide, di colore vinaccia e grigio, con aspetto vacuolare, da compatto a molto fratturato. Le fratture si presentano variamente orientate, fortemente alterate, con frequenti fenomeni di argillificazione. L'età è ascrivibile al Burdigagliano.



Foto 4 – Basalti del Logudoro incontrati nel sondaggio S34 di Micropali s.a.s. (anno 1998) nella parte alta dello Svincolo di Bonorva nord.

6.4 Depositi quaternari dell'area continentale:

- **Coltre eluvio-colluviale.** Clasti eterometrici di natura calcarea, marnosa e basaltica, immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti e arricchiti in frazione organica. L'età è olocenica.
- **Depositi antropici.** Materiali di riporto, eterogenei e incoerenti, costituenti il rilevato stradale e ferroviario e materiali di cava.

7. Schema Geomorfologico

La metodologia posta in atto nello sviluppo dello studio geomorfologico dell'area di intervento ha previsto il succedersi di fasi successive, così articolate:

- una prima fase di raccolta delle informazioni di base presenti in letteratura e negli strumenti conoscitivi e di pianificazione noti, di seguito indicati, estesa all'intero ambito d'intervento;
- una ricognizione, estesa alle aree di progetto, di tutti gli elementi informativi inerenti condizioni di potenziale o reale instabilità, noti dalla gestione dell'esercizio dell'infrastruttura da parte del Compartimento della Viabilità per la Sardegna;
- una successiva fase, più strettamente operativa, basata sulla fotointerpretazione e sulla verifica diretta dello stato dei luoghi, limitata alle sole aree interessate dagli interventi progettuali e completata attraverso il rilevamento geomorfologico di campo.

Le caratteristiche geomorfologiche generali, ed i singoli elementi, sia a carattere lineare che areale, individuati nell'ambito del presente studio, sono sinteticamente rappresentati nell'allegato Carta Geomorfologica.

Come verrà specificato meglio nei paragrafi successivi, l'intervento di adeguamento attraversa tre principali ambiti morfostrutturali, così distinguibili:

1. Plateau basaltico: riconducibile all'Altopiano di Campeda, sul quale si collocano gli interventi relativi allo Svincolo di Bonorva sud; è stato verificato che in questo tratto il substrato basaltico è sub-affiorante e la morfologia sub-pianeggiante, per cui sono assenti, in ragione dell'assenza di energia del rilievo, condizioni morfologiche potenzialmente innescanti fenomeni di instabilità.
2. Terminazione meridionale del bacino del Logudoro: colmato da terreni sedimentari, sul quale si sviluppa lo svincolo di Bonorva nord. Quest'area è caratterizzata principalmente

da rilievi collinari e zone sub-pianeggianti; la morfologia di questo ambito territoriale, unitamente alla natura dei terreni subaffioranti (calcareniti e siltiti, comporta, essenzialmente, la presenza di processi superficiali di alterazione/denudazione del substrato, che coinvolgono la coltre eluvio-colluviale.

3. Tratto di collegamento fra i due precedenti ambiti: in tale contesto si sviluppa il tracciato della S.P. 125, il cui percorso segue la morfologia del territorio, raccordando le due aree precedentemente descritte, poste a quote differenti. Per questo motivo, nel tratto più settentrionale, la strada provinciale si sviluppa a mezzacosta, lungo una zona di versante, la cui sommità, facente parte della terminazione settentrionale del *plateau* sopracitato, risulta costituita da roccia basaltica. Come ampiamente descritto nella Relazione Geostrutturale essa rappresenta un'area potenzialmente soggetta al distacco di blocchi litoidi.

7.1 Principali elementi geomorfologici rilevati

➤ Forme fluviali e di versante dovute alle acque superficiali

Superfici con forme di dilavamento diffuso: presenti, principalmente, nel settore dello svincolo di Bonorva Nord. Tali superfici si creano a seguito di processi di asportazione ed allontanamento del materiale di copertura ad opera delle acque di precipitazione che danno luogo al ruscellamento, su superfici aventi una, seppur minima, pendenza. In questo tipo di processo il suolo risulta coperto da una lama d'acqua con conseguente erosione areale accentuata.

➤ **Forme dovute alla gravità**

Zona potenzialmente soggetta a rotolamento di blocchi: localizzata nel tratto a monte della della S.P. 125. In questo settore il versante, nella parte più alta, presenta pareti sub-verticali costituite dall'ammasso roccioso basaltico; esse rappresentano la zona di potenziale distacco di blocchi e/o frammenti rocciosi.



Foto 5 – Zona potenzialmente soggetta a rotolamento di blocchi

➤ **Forme strutturali e vulcaniche**

Plateau basaltico/orlo di scarpata di plateau basaltico: esteso a partire dallo svincolo di Bonorva sud e fino al settore più meridionale dello svincolo di Bonorva nord. Esso non è altro che un sovrapporsi di più livelli di espandimenti lavici originatisi da varie eruzioni succedutesi nel corso dell'attività vulcanica locale. La sua forma sub-pianeggiante, a rappresentare un altopiano, è da attribuire alla maggior resistenza all'erosione. Data la suddetta conformazione morfologica, tale area non presenta, se non ai suoi bordi, evidenze di instabilità.

➤

➤ **Forme antropiche**

Area di interesse archeologico: è rappresentata dall'area archeologica di Sant'Andrea Priu, comprendente una necropoli di circa venti *domus de janas*, risalenti al neolitico recente. Esse sono scavate sul pianoro del *plateau* basaltico sopra descritto.

Area urbanizzata: è rappresentata da una piccola area industriale in località Santa Barbara, posta a sud-ovest del centro abitato di Bonorva.

Rilevato stradale e ferroviario: rappresentato dai materiali inerti utilizzati nella realizzazione del tracciato della S.S. 131 esistente e del contiguo asse ferroviario, in corrispondenza dell'area di ubicazione del nuovo svincolo di Bonorva nord.

Terrapieno: rappresentato da un importante accumulo di materiale in corrispondenza dello svincolo di Bonorva nord, la cui evoluzione nel tempo viene meglio descritta nel paragrafo successivo

Scarpata antropica/orlo di scarpata antropica: sono presenti, essenzialmente, lungo i tagli stradali in cui il tracciato esistente della S.S. 131 si sviluppa in trincea.

Lo studio geomorfologico di dettaglio, come accennato, è stato integrato dall'analisi delle informazioni fornite dagli strumenti di pianificazione noti. Essi riguardano, innanzitutto, quelli facenti parte del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Tale documento, redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, è stato approvato con decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 del 10/07/2006. Nella presente relazione è stata consultata principalmente la banca dati cartografica, visibile sul sito istituzionale "Sardegna Geoportale", approvata con delibera n. 11 del 21.05.2012 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino ed aggiornata alla data del 31.12.2011.

Le informazioni derivanti dalla suddetta cartografia sono state, inoltre, integrate con quelle provenienti da altre fonti, quali la documentazione facente parte del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) e del Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane).

Per l'analisi di dettaglio delle condizioni di interferenza fra gli interventi in progetto e le aree classificate dal P.A.I. si rimanda allo "Studio di compatibilità geologica e geotecnica" redatto ai sensi dell'art. 25 delle "Norme di Attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico della Regione Sardegna".

Con particolare riferimento alle problematiche inerenti il rischio da rotolamento di massi, esso è stato oggetto di approfondimento in una specifica sezione del presente studio, descritta nell'allegata "Relazione geostrutturale", alla quale si rimanda per gli aspetti di dettaglio. Si può qui sinteticamente osservare che l'asse principale della S.S. 131, nel tratto compreso fra gli svincoli di Bonorva Sud e Nord, escluso dal presente progetto, risulta adeguatamente protetto, per un esteso sviluppo (ca. un chilometro) da sistemi di protezione passiva (reti paramassi ad alto assorbimento di energia). Anche per l'asse della S.P. 125, prossimo all'area potenzialmente soggetta a rischio, sono state previste le medesime opere di protezione passiva, precedute da ricognizione e disaggio di massi ritenuti instabili.

7.2 *Analisi multitemporale dell'evoluzione morfologica antropica dell'area dello svincolo di Bonorva Nord*

Nell'ambito del presente progetto è stato possibile ricostruire, tramite un'analisi fotointerpretativa a carattere multitemporale, le modalità dell'evoluzione morfologica subita, per effetto degli eventi antropici collegati alle precedenti fasi di costruzione dell'infrastruttura, dalla porzione di territorio interessata dallo svincolo di Bonorva nord. Tale aspetto riveste una particolare importanza ai fini progettuali, in quanto buona parte degli interventi in progetto (tratto di rilevato della S.S.131 in corrispondenza dell'innesto con la S.P.43; Viabilità Interpodereale 1) insistono sul terrapieno (rilevato) di origine antropica realizzato, in passato, per la costruzione dello svincolo. La configurazione geometrica del rilevato è stata compiutamente definita, oltre che sulla base dell'esame fotointerpretativo, tenendo conto dei dati ricavati dalle indagini geognostiche e geofisiche, realizzate nell'area dall'ANAS durante le diverse campagne indagini, soprattutto in quelle recenti (2015 e 2017). In particolare, il sondaggio S11 del 2015 (Sonedile srl) ha intercettato uno spessore di quasi 25 metri di materiale di riporto (rilevato stradale), in corrispondenza della massima depressione della superficie del terreno, preesistente alla realizzazione degli interventi.

Come testimoniato dalle foto satellitari presenti negli archivi storici, l'area ha subito una profonda evoluzione nel tempo, a partire dalla metà del secolo scorso.

Stato preesistente (1954)

La foto più antica, precedente la costruzione delle opere, risale al 1954 e mostra la presenza della sola ferrovia, realizzata in epoca storica. La SS 131 è presente con il suo tracciato storico, oggi declassato a viabilità provinciale (attuali SP 124 e SP 125).



Foto 6 – Ortofoto dello Svincolo di Bonorva risalente al 1954, che mostra (in verde) l'andamento del reticolo idrografico precedentemente alla costruzione delle opere.

L'immagine ortofotografica evidenzia la presenza dell'incisione torrentizia, con direzione prevalente da ENE a WSW, successivamente obliterata dagli interventi posti in atto.

Stato nel corso dei lavori di ammodernamento della SS 131 (1968)

Successivamente, alla fine degli anni '60, la realizzazione della nuova SS 131 prevede la realizzazione di scavi in trincea lungo il versante sudovest del rilievo culminanti con il plateau basaltico (Santu Simione) e la realizzazione, al fine di colmare le irregolarità geomorfologiche naturali, del nuovo corpo stradale tramite un ampio rilevato di sottoscarpa, che colmò l'incisione torrentizia preesistente. La foto scattata nel 1968, nel corso dei lavori, evidenzia tale operazione in corso d'opera. In adiacenza alla linea ferroviaria vennero realizzate delle opere di sbancamento in trincea a monte e di riporto a valle, allo scopo di ospitare la sede della nuova S.S.131, in modo che il tracciato stradale avesse un andamento meno sinuoso.

In prossimità della Cantonera Cadreas, a sud dell'incrocio con la S.P.43 per Bonorva, per realizzare il rilevato stradale in modo che la livelletta potesse scavalcare l'adiacente linea ferroviaria, venne realizzato un imponente rilevato, con banche a diverse altezze, colmando la precedente morfologia e modificando, tramite interventi di inalveazione, il reticolo idrografico, spostandolo più a sud.



Foto 7 – Ortofoto dello Svincolo di Bonorva risalente al 1968, nel corso dei lavori di ammodernamento. Si nota l'importante rilevato realizzato a valle della linea FS (il cui piede è delimitato in blu) e il nuovo andamento del torrente (in verde).

Stato post- lavori di ammodernamento della SS 131 (1977)

L'ultima foto aerea, scattata nel 1977, evidenzia lo stato conseguente al completamento delle opere di svincolo. Si osserva il grande rilevato di sottoscampa, con evidenziate le banche, oggi poco visibili in quanto obliterate dalla vegetazione.



Foto 8 – Ortofoto dell'area dello Svincolo di Bonorva risalente al 1977, che mostra le opere completate, nella configurazione attualmente osservabile.

8. Schema Idrogeologico

Per quanto concerne l'idrografia superficiale, si riscontra la presenza di aree, diffusamente estese, caratterizzate da un reticolo idrografico non particolarmente complesso, costituito, per lo più, da incisioni di modesti torrenti che costituiscono il drenaggio naturale dell'acqua caduta nel corso degli eventi di precipitazione. L'andamento di questi torrenti è legato, essenzialmente, alla presenza di fratture di natura strutturale e, limitatamente, a fenomeni erosivi.

Dal punto di vista idrogeologico, le formazioni presenti lungo il tratto stradale interessato dalle opere di ammodernamento possono essere raggruppate in quattro complessi idrogeologici con differenti caratteristiche:

Depositi olocenici eluvio-colluviali e detritici: in tale complesso idrogeologico sono inclusi i terreni costituenti le coltri eluvio-colluviali e detritiche di modesto spessore, aventi una granulometria eterogenea, rappresentata da ciottoli e blocchi in matrice prevalentemente limo-sabbiosa. Le caratteristiche granulometriche di tali depositi gli conferiscono valori variabili del coefficiente di permeabilità ed un grado di trasmissività ridotto in ragione del ridotto spessore del volume saturo. La permeabilità riscontrabile è di tipo primario e stimata nel campo di variabilità 1×10^{-1} m/s ÷ 1×10^{-3} m/s.

Complesso dei basalti plio-pleistocenici: il complesso comprende terreni permeabili per fessurazione (permeabilità secondaria) con permeabilità complessiva da medio-bassa a, localmente, media. Esso è caratterizzato da basalti fessurati e vacuolari, trachifonoliti, ignimbriti, rioliti, trachiti e tufi pomiceo-cinertici ($k = 1 \times 10^{-5}$ m/s ÷ 1×10^{-7} m/s).

Complesso carbonatico oligo-miocenico: tale complesso idrogeologico può essere suddiviso in due sotto-complessi: il complesso carbonatico oligo-miocenico ed il complesso marnoso oligo miocenico. Al primo appartengono i calcari bioclastici e le calcareniti,

mediamente fratturati e/o carsificati, quindi con una permeabilità secondaria da media a medio-alta per fessurazione e/o carsismo ($k = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s} \div 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$). Le porzioni siltitiche appartenenti al secondo sotto-complesso sono costituite da marne e, marne arenacee e marne calcaree poco fratturate, caratterizzate da una permeabilità per fratturazione da bassa a bassissima, dell'ordine di $1 \times 10^{-8} \div 1 \times 10^{-10} \text{ m/s}$.

9. Sismicità

9.1 Sismicità storica

La sismicità della Regione Sardegna è assai bassa, come evidenziato da molti indicatori, quali l'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale, che secondo qualsiasi ricostruzione presente in letteratura, afferma che l'intero blocco sardo-corso è rimasto stabile negli ultimi 7 milioni di anni. Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (versione CPTI11) (disponibile sul sito dell'INGV all'indirizzo: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>), che rappresenta il più completo e aggiornato database dei parametri macrosismici e strumentali dell'intero territorio nazionale, riporta, infatti, solo 2 eventi 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.

9.2 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 (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.

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	$a_g \leq 0.05$

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 in cui ricadono gli interventi in progetto sono stati classificati in zona 4 (sismicità irrilevante) (Figura 4).

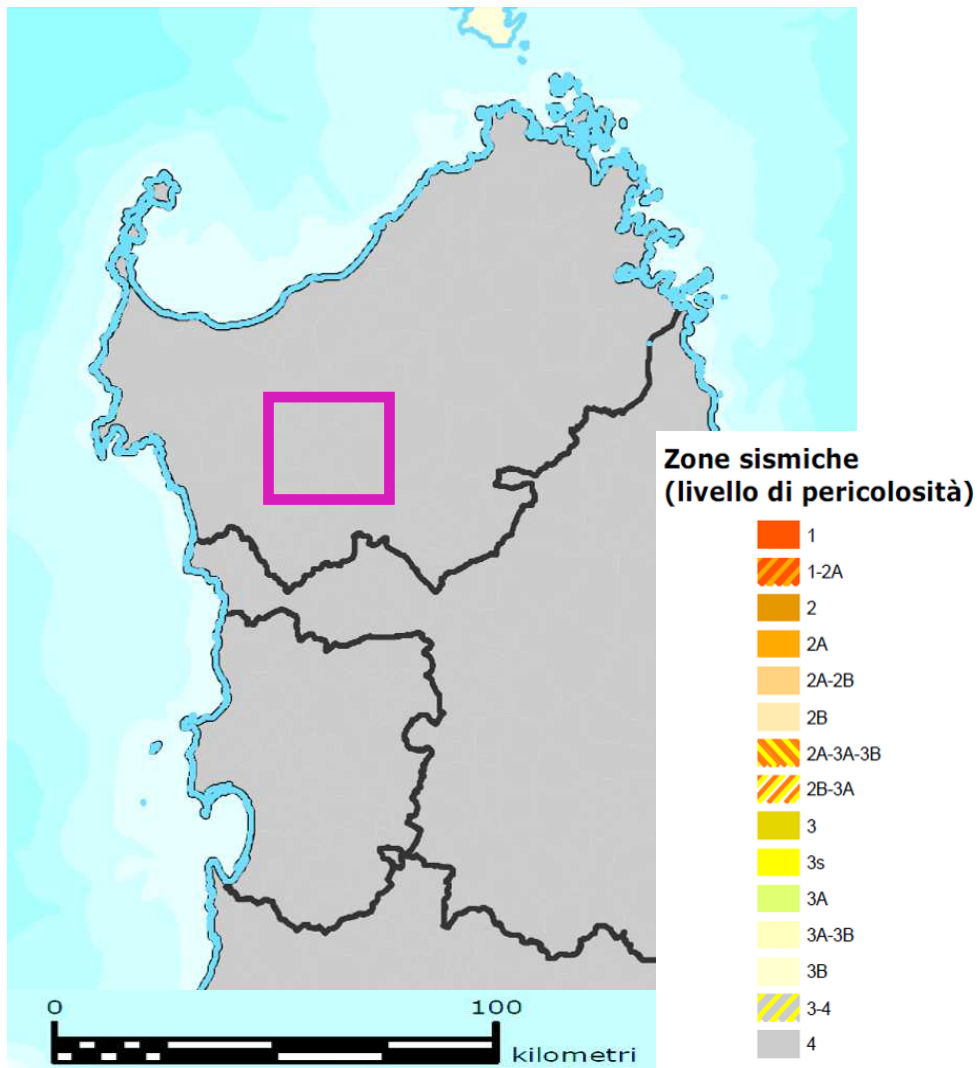


Figura 5– Stralcio della Mappa di classificazione sismica nazionale, aggiornata al 2012, della Sardegna centro-settentrionale (http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/class2012_02prov.pdf)

Con l'entrata in vigore del D.M. 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.

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.

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
Alliudii, 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 6 – Tabella 2 dell'Allegato B delle NTC 2008 in cui vengono riportati i valori di a_g , f_0 e T_C 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.

10. Indagini geognostiche

Il tratto di arteria interessato degli interventi di adeguamento è stato oggetto, a varie riprese, di attività di indagine geognostica, realizzate nell'ambito dei progetti generali di ammodernamento dell'arteria. Nell'ambito di questo studio, pertanto, è stata preliminarmente effettuata la raccolta, presso il Compartimento di Cagliari ed estesa all'intero intervento di risoluzione dei nodi critici (1°, 2° e 3° stralcio, complessivamente compreso fra i km 108 e 209 dell'attuale S.S. 131), di tutti i dati ad esse riferiti, comprendenti stratigrafie di sondaggi e pozzetti geognostici, diagrammi di prove penetrometriche, prospezioni geofisiche, prove di laboratorio geotecnico e relativa documentazione fotografica. Tali indagini, opportunamente georeferenziate, integrate con due campagne geognostiche integrative appositamente realizzate nel 2015 e nel 2017 rispettivamente nell'ambito del progetto definitivo ed esecutivo, hanno integrato le osservazioni provenienti dal rilevamento geologico di superficie, portando alla compiuta definizione del Modello Geologico di Riferimento.

10.1 Indagini geognostiche preesistenti

In totale, sull'intero tratto oggetto degli interventi di adeguamento e risoluzione dei nodi critici (km 108 ÷ 209 ca.) i dati preesistenti raccolti comprendono:

- n. 343 perforazioni di sondaggio;
- n. 125 Pozzetti geognostici;
- n. 32 Stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 70 Prove penetrometriche CPT e DPSH.

Nel dettaglio, con particolare riferimento agli interventi ricompresi nel 1° stralcio, essi comprendono:

- n. 42 perforazioni di sondaggio;
- n. 10 Pozzetti geognostici;
- n. 6 Stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 11 Prove penetrometriche CPT e DPSH.

Esse sono riferibili alle seguenti campagne d'indagine:

- **Ing. Piero Porcu (1992)**

- n. 14 Sondaggi

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S1	42,2
	S2	27,2
	S3	23,0
	S4	32,7
	S5	19,6
	S6	26,5
	S7	20,5
	S8	21,0
	S9	20,0
	S10	20,1
	S11	20,6
	S12	7,7
	S13	5,3
	S14	11,6

- **Soiltecnica s.r.l. (1997)**

- n. 1 Sondaggio
- n. 3 Pozzetti

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi e pozzetti	F19dx	20,0
	PF16dx	0,60
	PF17sx	0,40

Indagine		Profondità (m da p.c.)
	PF18sx	0,50

- **Sardadrill s.r.l. (1998)**

- n. 7 Sondaggi
- n. 5 Stendimenti sismici a rifrazione

Indagine		Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S1	20,0
	S2	20,0
	S3	20,0
	S5	18,0
	S6	20,0
	S35	20,0
	S36	20,0

Indagine		Profondità (m da p.c.)
Geofisica	Base A	L=110 m
	Base B	L=110 m
	Base C	L=110 m
	Base D	L=110 m
	Base E	L=110 m

- **Micropali s.a.s. (1998)**

- n. 7 Sondaggi
- n. 4 Prove penetrometriche

Indagine		Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S28	40,0
	S28A	15,0
	S29	30,0
	S30	45,0
	S32	35,0
	S33	20,0
	S34	25,0
Prove Penetrometriche	PP1	1,8
	PP2	2,6
	PP3	4,8
	PP4	1,8

• **Fondedile s.r.l. (1998) - da Km. 161+500 a Km. 162+300**

- n. 8 Sondaggi
- n. 7 Prove penetrometriche

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S7	30,0
	S9	30,0
	S11	30,0
	S13	40,0
	S15	40,0
	S15a	30,0
	S26	30,0
	S26a	28,0
Prove Penetrometriche	PP1	1,6
	PP2	1,4
	PP3	1,4
	PP4	0,8
	PP5	0,8
	PP6	1,0
	PP7	1,0

10.2 Indagini progettazione definitiva

I dati disponibili sono stati integrati con una campagna di indagini geognostiche e geofisiche, corredate da prove di laboratorio, opportunamente realizzata nel 2015 per gli approfondimenti puntuali, previsti in corrispondenza degli interventi in progetto (aree di svincolo ed opere di nuova realizzazione).

In particolare, per l'area di ubicazione degli svincoli di Bonorva sud e Bonorva nord, è stata prevista la seguente campagna geognostica e geofisica:

- **Sondedile s.r.l. (2015)**

- o n. 6 Sondaggi
- o n. 7 Pozzetti geognostici

Indagine		Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S6Pz	20,0
	S7	20,0
	S9	23,8
	S10	20,0
	S11	40,0
	S24	18,7
Pozzetti	Pz34	0,4
	Pz34bis	0,3
	Pz35	0,5
	Pz36	1,1
	Pz37	0,7
	Pz38	1,5
	Pz39	2,0

- **Progeo s.r.l. (2015)**

- o n. 1 Base sismica a rifrazione

Indagine		Lunghezza (m)
Geofisica	LS7	115,0

10.3 Indagini progettazione esecutiva

Nella recente fase di progettazione esecutiva è stata realizzata un'ulteriore campagna di indagine geognostica e geofisica, corredata da prove di laboratorio, in corrispondenza dell'area dello Svincolo di Bonorva nord. Tale campagna ha avuto lo scopo di perfezionare il modello geologico lungo l'asse della S.S.131, determinando in dettaglio lo spessore del

terrapieno antropico e approfondendo le situazioni progettuali più critiche in corrispondenza della S.P.125.

In particolare, è stata prevista la seguente campagna geognostica e geofisica:

- **Dr. Angius s.r.l. (2017)**

- o n. 5 Sondaggi

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S1	29,8
	S2	15,0
	S3	18,4
	S4	25,0
	S5	27,0

- **Geoservice s.a.s. (2017)**

- o n. 5 Basi sismiche a rifrazione

	Indagine	Lunghezza (m)
Geofisica	BS1	100,0
	BS2	50,0
	BS3	62,0
	BS5	67,0
	BS6	42,0

11. Modello Geologico di Riferimento

La S.S. 131, nel tratto interessato dagli interventi di adeguamento e messa in sicurezza, attraversa, lungo il suo percorso, diversi ambiti geologico-geomorfologici, di seguito descritti.

In particolare, il tratto ricadente nel 1° Stralcio progettuale, si sviluppa, per la parte meridionale, intorno allo svincolo di Bonorva Sud, in corrispondenza della terminazione, verso nord, del *plateau* basaltico plio-pleistocenico dell'Altopiano di Campeda, costituito, evidentemente, da formazioni a carattere effusivo, rappresentate da espandimenti di basalti alcalini e transizionali, andesiti basaltiche e basalti subalcalini, appartenenti al Complesso della Campeda-Planargia. La quota media dell'altopiano è di circa 650 m s.l.m.. Verso sud, la separazione fra questa unità morfostrutturale e l'Altopiano di Abbasanta è esercitata dalla dorsale collinare e montuosa della Catena del Marghine e del Monte di Sant'Antonio, posta immediatamente a nord di Macomer e allungata in direzione NE-SW, con quote variabili da 800 m a 1000 m s.l.m.. Essa è composta dai depositi piroclastici e ignimbrici appartenenti al Ciclo Vulcanico Calco-alcalino oligo-miocenico.

Il tratto a settentrione della zona di Bonorva, invece, si sviluppa prevalentemente in corrispondenza del bacino sedimentario del Logudoro, allungato in direzione NNW-SSE, ed esteso dall'altopiano di Bonorva fino a Ploaghe e, più a nord, da Sassari verso Porto Torres. Il bacino, generatosi a seguito di una fase di distensione crostale successiva alla messa in posto delle vulcaniti oligo-mioceniche, è stato successivamente colmato dai terreni sedimentari appartenenti alla Successione marina e continentale miocenica del Logudoro-Sassarese. Quest'ultima è rappresentata da alternanze di sabbie calcaree, calcareniti e calcari marnosi, con marne argillose e conglomerati, in facies che cambia da prossimale a distale spostandosi da est verso ovest. Successivamente, in lembi isolati posti in corrispondenza

delle principali discontinuità crostali, si sono depositi i termini effusivi ad affinità basaltica del Pliocene (Basalti del Logudoro). L'orografia dell'area di quest'ultimo tratto è prevalentemente collinare, con quote che oscillano dai 300 fino ai 600 m s.l.m.. Ai rilievi dalla sommità tabulare, modellati nei sedimenti miocenici, si alternano modeste colline costituite da domi vulcanici, apparati lavici e scoriacei, e ampie zone pianeggianti colmate dalle alluvioni quaternarie. Queste ultime corrispondono di frequente a conche endoreiche, caratterizzate da scarsità di drenaggio superficiale delle acque.

Da quanto sopra detto, si può concludere che l'area di sviluppo dell'intervento relativo allo svincolo di Bonorva Nord rappresenta una zona di cerniera tra due ambiti paleogeografici e strutturali differenti: la zona di altopiano basaltico ed il bacino sedimentario del Logudoro.

A questo corrispondono caratteristiche morfologiche particolari, in quanto vi è il passaggio, procedendo da sud-est verso nord-ovest, tra quote diverse, per cui risultano presenti scarpate, anche sub-verticali, ed elementi morfologici più dolci avvicinandosi alla zona di bacino.

Tali rilevanze geomorfologiche risultano anche dalla probabile presenza, in questo settore, di elementi tettonici che abbiano determinato la disarticolazione della struttura miocenica ed eventualmente, condizionato la messa in posto delle unità vulcaniche.

11.1 Modello Geologico di dettaglio

In questo paragrafo viene descritto il modello geologico di riferimento in corrispondenza dell'ambito di intervento in progetto. Per la descrizione delle formazioni geologiche presenti si rimanda al paragrafo 6 - Successione stratigrafica e caratteri delle unità geologiche.

Svincolo di Bonorva sud al Km 158+000

L'intervento, a servizio della parte più settentrionale dell'Altopiano di Campeda, prevede l'adeguamento delle due rampe esistenti lato Oristano, l'integrazione di due nuove rampe lato Sassari e la sistemazione della viabilità locale. Inoltre è prevista la realizzazione di un nuovo attraversamento della S.S.131 mediante un cavalcavia di luce complessiva 37.2 m, impostato su fondazioni dirette.

L'intervento si colloca in un'area di altopiano, caratterizzata dalla presenza di basalti e andesiti basaltiche appartenenti alla Subunità di Campeda (Basalti della Campeda-Planargia). Al tetto i depositi mostrano una fratturazione spinta fino ad una profondità di circa 6-7 m. Tale fratturazione è da ritenersi in gran parte di tipo primario, dovuta, cioè, a processi di contrazione termica legata alle modalità di messa in posto dell'espandimento lavico.

Le caratteristiche geomorfologiche e litologiche dell'area non evidenziano particolari criticità geologico-geomorfologiche ed idrogeologiche tali da condizionare le scelte progettuali adottate.

Nuovo svincolo di Bonorva nord al Km 162+000 e adeguamento S.P. 125

Nell'area d'intervento è compreso, oltre alla realizzazione delle rampe di svincolo, anche l'adeguamento della S.P. 125 per circa 3.300 m, in corrispondenza del tratto di S.S.

131 che va dallo svincolo di Bonorva sud allo svincolo di Bonorva nord. Qui, oltre all'adeguamento di un tratto di circa 1.340 m della S.S. 131, è prevista la realizzazione di uno svincolo con l'inserimento di un attraversamento in sottopasso per il collegamento delle aree poste a est e a ovest della S.S.131 e la realizzazione di due rotatorie nei tratti terminali per la connessione delle viabilità locali.

La S.P. 125 attraversa, nel tratto iniziale, nei pressi dello Svincolo di Bonorva sud, un altopiano, posto a quota 650 m circa, costituito dalla parte più settentrionale dell'Altopiano di Campeda Più a nord la S.P. 125 attraversa a mezzacosta un versante esposto a sud con pendenze piuttosto elevate, strutturato nei depositi siltitici, marnosi e arenacei, di colore grigio e giallastro, da teneri a compatti e lapidei, alternati a livelli calcareo-marnosi, litoidi. (Successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese - Formazione di Mores in facies siltitica).

Lo svincolo di Bonorva nord è situato in corrispondenza di un'ampia sella morfologica, allungata in direzione SE-NW ad una quota media di circa 510 m, nella quale gli elementi morfoevolutivi naturali risultano fortemente obliterati da quelli antropici. La struttura geologica dell'area vede la presenza della Formazione di Mores, con prevalenza, sul lato sud-ovest e nelle parti altimetricamente più basse, della facies calcarenitica, mentre lungo l'asse della S.S. 131 e verso sud-est prevale quella siltitico-marnosa, con alternanze arenacee.

Le unità di substrato sono ricoperte, lungo i versanti ed a colmamento delle zone morfologicamente depresse, da depositi di copertura eluvio-colluviale di modesto spessore.

Caratteristica importante dell'area è l'interazione delle opere in progetto con terreni di genesi antropica, riferibili al corpo stradale in rilevato della S.S. 131 esistente ed al rilevato ferroviario. In particolare, dalle nuove indagini eseguite per la progettazione esecutiva, è

stata riscontrata la presenza, sul lato sud-ovest, in prossimità dell'interpodereale 1, di un importante volume di materiali di riporto.

A seguito del rilevamento geologico-geomorfologico dell'area si è verificato che per poco più di 1 km, tra la pk 1+800 e la pk 2+850, la S.P. 125, nel tratto da ammodernare, si sviluppa a mezzacosta lungo un versante che, nella parte più alta, presenta pareti sub-verticali, in ammassi rocciosi basaltici. Queste pareti costituiscono l'area sorgente da cui, periodicamente, è possibile ipotizzare il distacco di blocchi e/o frammenti rocciosi di dimensioni variabili. La problematica viene trattata nella "Relazione Geostrutturale".

12. 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	Sez/pk	scotico cm	bonifica cm
Realizzazione svincolo Bonorva Sud al km 158+650 ed eliminazione intersezioni			
Rampe C/D/D bidirezionale		20	30
Viabilità locale 1 Nord + Rampa A		20	30
Viabilità interpodereale 1 Sud + Rampa B		20	30
Realizzazione svincolo Bonorva Nord al km 162 ed eliminazione intersezioni			
Rampa A	Sezz. RA14÷RA22	20	40
Rampa B	Sezz. RB1÷RB33	20	30
Rampa B bidirezionale	Sezz. Attr8÷Attr22	20	60

Progetto Esecutivo

Rampa C	Sezz. RC14÷RC21	20	40
Rampa D	Sezz. RD4÷RD32	20	50
Asse S.S. 131	Sezz. 1÷15	20	-
	Sezz. 15÷24	20	20
	Sezz. 24÷36	20	-
	Sezz. 36÷45	20	30
	Sezz. 45÷95	20	30
Viabilità interpodereale 1		20	80
Viabilità interpodereale 2 + Rotatoria Sud	Sezz. 0÷20	20	60
Viabilità interpodereale 3		20	60
Rotatoria Nord		20	40
S.P. 8		20	40
S.P. 43		20	40
S.P. 125	0+000÷0+750	20	40
	0+750÷1+245	20	20
	1+245÷1+335	20	-
	1+335÷2+880 (adeg. sede)	20	30
	2+880÷3+060 (adeg. sede)	20	-
	3+060÷3+615 (adeg. sede)	20	30
	3+615÷3+675 (adeg. sede)	20	-
	3+675÷3+855 (adeg. sede)	20	30
	3+855÷4+005 (adeg. sede)	20	-
	4+005÷4+636 (adeg. sede)	20	30

13. Bibliografia

Barca S., 1998. Structural and stratigraphical outlines of the Sardinia Massif. In: E. Serpagli (Ed.): "Sardinia Guide-book, ECOS VII". Giorn. Geologia, Special issue, 60:1-23, Bologna.

Barca S., Cherchi A., 2004. Sardinian Paleozoic Basement and its Meso-Cainozoic covers (Italy). 32th International Geological Congress, Vol. n. 5. Florence – Italy.

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.

Carmignani L., Oggiano G., Funedda A., Conti P., Pasci S. & Barca S., 2012. Carta Geologica della Sardegna. Scala 1:250.000, LAC, Firenze.

Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Eltrudis A., Funedda A., Pasci S., Salvadori I., 1996. Geologia della Sardegna – Note Illustrative della Carta Geologica della Sardegna a scala 1:200.000. Memorie Descrittive della Carta geologica d'Italia, a cura del Servizio Geologico Nazionale. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

Marinos P., Hoek E., 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, GeoEng2000, Technomic publ., 1422-1442, Melbourne.