

S.S. 131 di "Carlo Felice"
Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131
Risoluzione dei nodi critici - 2° stralcio
dal km 108+300 al km 158+000

PROGETTO ESECUTIVO

CA284

R.T.I. di PROGETTAZIONE:

Mandataria



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

Via G.B. Sammartini n°5
20125 - Milano
Tel. 02 6787911
email: mail@proiter.it

Mandante



Via Artemide n°3
92100 Agrigento
Tel. 0922 421007
email: deltaingegneria@pec.it

PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi - Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzananza - Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Diego Ceccherelli
Ordine Ing. di Milano n. 15813

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Salvatore FRASCA



PROTOCOLLO

DATA

GEOLOGIA
Relazione geologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L O P L S Q E 1 9 0 1

NOME FILE
T00GE00GEORE09B .pdf

CODICE ELAB. **T 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 9**

REVISIONE

SCALA:

B

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
D					
C					
B	Revisione per istruttoria, verifica e controlli D.LGS.35/11	APRILE 2021	VITIELLO	MEZZANANICA	FORMICHI
A	Emissione	MARZO 2020	VITIELLO	MEZZANANICA	FORMICHI

INDICE

1	PREMESSA	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	8
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	9
4	SCHEMA GEOLOGICO GENERALE.....	10
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA DI STUDIO	13
6	SUCCESSIONE STRATIGRAFICA LOCALE.....	15
6.1	Distretto vulcanico di Ottana	15
6.2	Successione sedimentaria oligo-miocenica del Bacino del Tirso.....	16
6.3	Distretto vulcanico di Bonorva	16
6.4	Basalti della Campeda-Planargia	18
6.5	Depositi pleistocenici dell'area continentale:	20
6.6	Depositi quaternari dell'area continentale	20
7	SCHEMA GEOMORFOLOGICO.....	22
7.1	Principali elementi geomorfologici rilevati	24
8	SCHEMA IDROGEOLOGICO.....	26
9	SISMICITÀ	27
9.1	Sismicità storica	27
9.2	Pericolosità e azione sismica.....	28
10	INDAGINI GEOGNOSTICHE	30
10.1	Indagini geognostiche preesistenti.....	30
10.2	Indagini progettazione definitiva 2015-2016	37
10.3	Indagini geognostiche integrative 2019.....	39
10.3.1	Opera S02 – Ponticello al km 115+205	39
10.3.2	Opera S13 – Ponte al km 145+900	40
11	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	41
11.1	Modello Geologico di dettaglio.....	41
12	BONIFICA DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI	46
13	BIBLIOGRAFIA.....	49

1 PREMESSA

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 – 2° stralcio dal km 108+300 al km 158+000".

Lo stralcio progettuale oggetto di questo studio si colloca lungo il tratto della S.S.131 che va da Bauladu allo svincolo sud di Bonorva.

In particolare, gli interventi in progetto sono rappresentati dall'adeguamento di svincoli esistenti (svincoli di Paulilatino e di Macomer sud) e dalla realizzazione di nuovi svincoli (nuovi svincoli di Paulilatino e di Mulargia-Macomer nord). Inoltre, sono parte ulteriore dell'intervento l'eliminazione o l'adeguamento di tutti gli accessi presenti che sono stati risolti con la riqualificazione e l'adeguamento di strade locali esistenti, oltre la realizzazione di nuove viabilità accessorie, comprese le viabilità di accesso alle aree archeologiche di Santa Cristina e Santa Barbara.

Nella presente nota vengono inizialmente descritti i contesti geomorfologico, stratigrafico ed idrogeologico generali dell'area; successivamente vengono analizzati gli interventi in progetto distribuiti lungo la tratta interessata, con particolare riferimento agli svincoli e alla viabilità in corrispondenza dei quali si concentrano le opere d'arte più rilevanti dal punto di vista progettuale, quali:

- Nuovo Svincolo di Paulilatino al Km 120+000;
- Nuovo Svincolo di Mulargia-Macomer al Km 148+500;
- Adeguamento Svincolo di Paulilatino al Km 119+000;
- Adeguamento Svincolo di Macomer al Km 142+500;
- Uscita archeologica "Santa Cristina" al Km 114+500;
- Uscita archeologica "Santa Barbara" al Km 144+500;
- Risoluzione accesso Carreggiata Nord al Km 115+205;
- Risoluzione accessi al Km 122+000;
- Risoluzione accessi al Km 127+000;
- Risoluzione accesso Carreggiata Nord al Km 138+970;
- Risoluzione accessi Carreggiata Nord dal Km 144+760 al Km 145+950;
- Risoluzione accessi Carreggiate Nord e Sud dal Km 151+850 al Km 154+950.

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:

- S.P.G. – anno 1997 – tratto km 108+300 ÷ km 118+650;
- Soiltecnica s.r.l. – anno 1997 – tratto km 121+500 ÷ km 158+900;
- Edilsuolo s.r.l. – anno 1997 – tratto km 138+800 ÷ km 147+600;
- Tea Territorio e Ambiente s.r.l. – anni 1997, 1998 – km 140+000 ÷ km 144+200;
- Sigeco s.r.l. – anno 2005 – tratto km 123+300 ÷ km 126+700 e tratto km 139+800 ÷ km 146+600;
- Sondedile Srl – anno 2015-2016 – tratto km 119+000÷ km 120+000, tratto km 123+500÷ km 127+000, tratto km 131+500÷ km 145+950 e tratto km 147+850÷ km 154+950.

La documentazione ad esse relativa è riportata negli elaborati **T00GE00GEORE01÷08** e **T00GE00GEOPU01÷08**, comprendenti la documentazione delle indagini geognostiche e geofisiche preesistenti accompagnati dalla relativa planimetria di ubicazione delle indagini e dagli elaborati raggruppanti 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 in maniera più approfondita dal punto di vista geotecnico le litologie presenti in relazione agli interventi in progetto, sono state programmate ed eseguite, nel corso del 2019, apposite indagini geognostiche e geofisiche con relative prove di laboratorio, ubicate in corrispondenza di punti significativi ai fini progettuali e riportate nell'elaborato **T00GE00GEORE08** – "Documentazione indagini geognostiche e geofisiche – 2019".

Nella stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione di progetto:

ELABORATI GENERALI

- **T00GE00GEORE01A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – tomo I"
- **T00GE00GEORE02A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – tomo II"
- **T00GE00GEORE03A** - "Documentazione indagini geofisiche preesistenti"
- **T00GE00GEORE04A** - "Certificati prove di laboratorio preesistenti"
- **T00GE00GEORE05A** - "Documentazione indagini geognostiche – 2015/2016"
- **T00GE00GEORE06A** - "Documentazione indagini geofisiche – 2015/2016"
- **T00GE00GEORE07A** - "Certificati prove di laboratorio – 2015/2016"
- **T00GE00GEORE08A** - "Documentazione indagini geognostiche e geofisiche – 2019"
- **T00GE00GEOCO01A** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 1/3"
- **T00GE00GEOCO02A** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 2/3"
- **T00GE00GEOCO03A** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 3/3"
- **T00GE00GEORE10A** - "Stralcio del piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo"

- **T00GE00GEOPU01B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOPU02B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOPU03B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOPU04B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOPU05B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOPU06B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOPU07B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOPU08B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 8/8"
- **T00GE00GEOPU09A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOPU10A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOPU11A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOPU12A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOPU13A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOPU14A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOPU15A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOPU16A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 8/8"
- **T00GE00GEOCG01B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOCG02B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOCG03B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOCG04B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOCG05B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOCG06B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOCG07B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOCG08B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 8/8"
- **T00GE00GEOCI01B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOCI02B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOCI03B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOCI04B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOCI05B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOCI06B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOCI07B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOCI08B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 8/8"
- **T00GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica generale"
- **T00GE00GETRE02A** - "Relazione sismica"
- **T00GE00GETCS01A** - "Planimetria con classificazione sismica del territorio"

SVINCOLI E OPERE PRINCIPALI

V04: Adeguamento svincolo di Paulilatino al Km 119+000

- **V04GE00GEOPU01B** - "Planimetri ubicazione indagini"
- **V04GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **V04GE00GEOFG01B** - "Profili geologici nuove rampe A e D"
- **V04GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici nuove rampe A e D"

V01: Nuovo svincolo di Paulilatino al Km 120+000

- **V01GE00GEOPU01B** - "Planimetri ubicazione indagini"
- **V01GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **V01GE00GEOCG02A** - "Carta geomorfologica"
- **V01GE00GEOFG01B** - "Profili geologici"
- **V01GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici"

V03: Uscita area archeologica "Santa Cristina" al Km 114+500

- **V03GE00GEOPF01A** - "Carta geologica e sezioni"
- **V03GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

S02: Risoluzione accesso al Km 115+205

- **S02GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico ponte"
- **S02GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico ponte"
- **S02GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

S20: Risoluzione accessi al Km 122+000

- **S20GE00GEOPU01B** - "Planimetria ubicazione indagini"
- **S20GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **S20GE00GEOCG02A** - "Carta geomorfologica"
- **S20GE00GEOFG01B** - "Profili geologici assi principali SS131"
- **S20GE00GEOFG02B** - "Profili geologici viabilità poderali A e B"
- **S20GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici assi principali SS131"
- **S20GE00GETFG02A** - "Profili geotecnici viabilità poderali A e B"

- **S20GE00GEOSG01B** - "Sezioni geologiche in asse ai ponti"
- **S20GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

S21: Risoluzione accessi al Km 127+000

- **S21GE00GEOPU01B** - "Planimetria ubicazione indagini"
- **S21GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **S21GE00GEOCG02B** - "Carta geomorfologica"
- **S21GE00GEOFG01B** - "Profilo e sezione geologica"
- **S21GE00GETFG01A** - "Profilo e sezione geotecnica"

S07: Risoluzione accessi al Km 138+970

- **S07GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico"
- **S07GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico"
- **S07GE00GETRE01A** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

V10: Area archeologica "Santa Barbara" al Km 144+500

- **V10GE00GEOPF01B** - "Carta geologica e sezioni"
- **V10GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

V09: Adeguamento svincolo di Macomer al Km 142+500

- **V09GE00GEOPU01B** - "Planimetri ubicazione indagini"
- **V09GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **V09GE00GEOCG02B** - "Carta geomorfologica"
- **V09GE00GEOFG01A** - "Profili geologici rampe 2 e 4"
- **V09GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici rampe 2 e 4"

S13: Risoluzione accessi dal Km 144+760 al Km 145+950

- **S13GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico ponte"
- **S13GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico ponte"
- **S13GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

V02: Nuovo svincolo di Mulargia-Macomer al Km 148+500

- **V02GE00GEOPU01B** - "Planimetria ubicazione indagini – Tav. 1/2"
- **V02GE00GEOPU02B** - "Planimetria ubicazione indagini – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio – Tav. 1/2"
- **V02GE00GEOCG02B** - "Carta geologica di dettaglio – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOCG03B** - "Carta geomorfologica – Tav. 1/2"
- **V02GE00GEOCG04B** - "Carta geomorfologica – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOCI01B** - "Carta idrogeologica – Tav. 1/2"
- **V02GE00GEOCI02B** - "Carta idrogeologica – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOSG01B** - "Sezioni geologiche trasversali"
- **V02GE00GEOFG01B** - "Profilo geologico cavalcavia"
- **V02GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico cavalcavia"
- **V02GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

S17: Risoluzione accessi dal Km 151+850 al Km 154+950

- **S17GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico ponte Riu Temu"
- **S17GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico ponte Riu Temu"
- **S17GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- **D.M. 17.01.2018** "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20.02.2018).
- **Circ. 21.01.2019, n.7 C.S.LL.PP.** "Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.35 del 11.02.2019).
- **Delibera Regione Autonoma della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004** "Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.3.2003".

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.

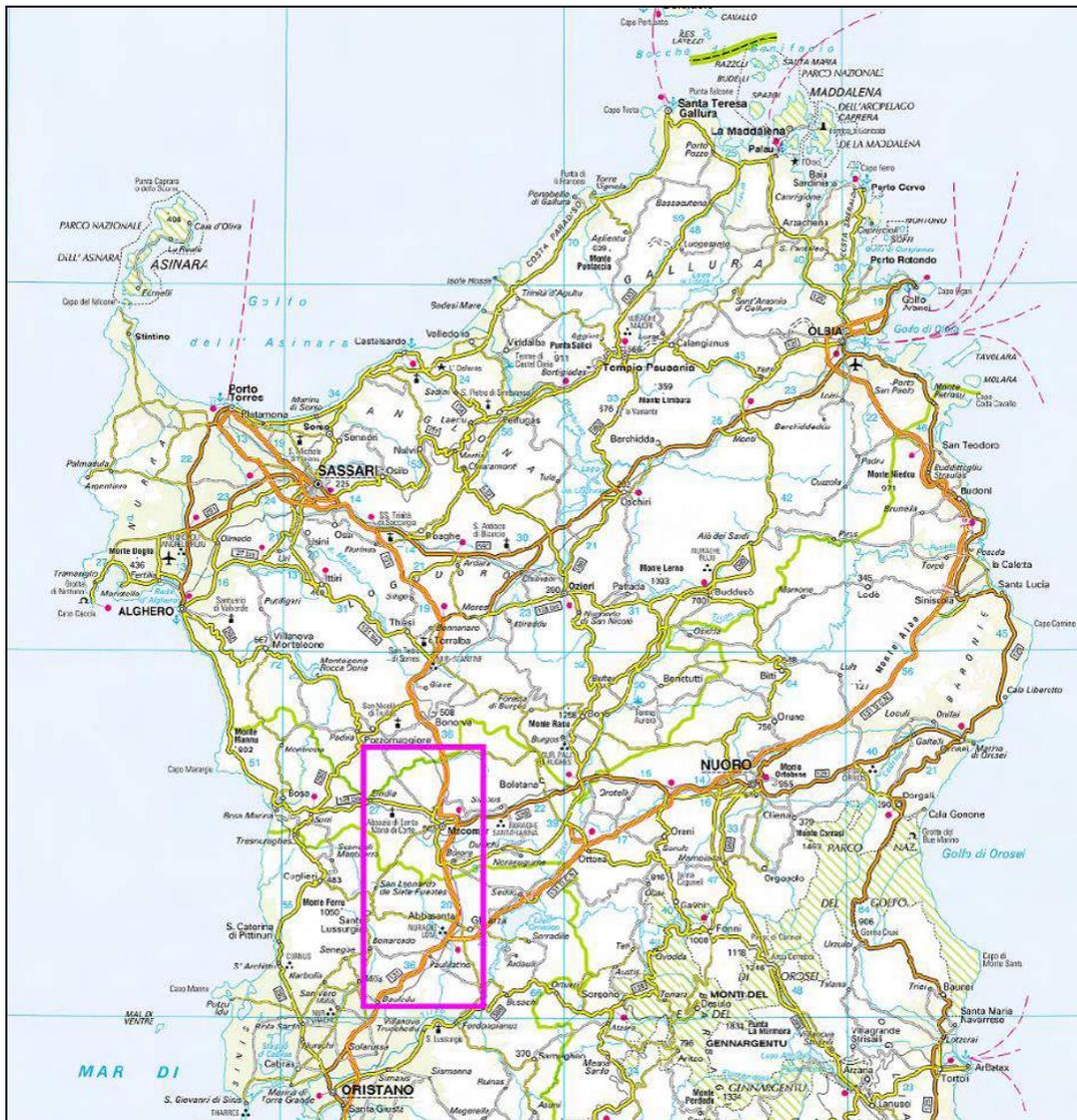


Figura 1 – Ubicazione dell'area di intervento

La porzione di tracciato lungo la quale ricadono gli interventi in progetto si sviluppa dal km 108+300 al km 158+000, per una lunghezza totale di circa 50 km, attraversando 9 diversi territori comunali, ricadenti nelle province di Oristano e Nuoro.

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.

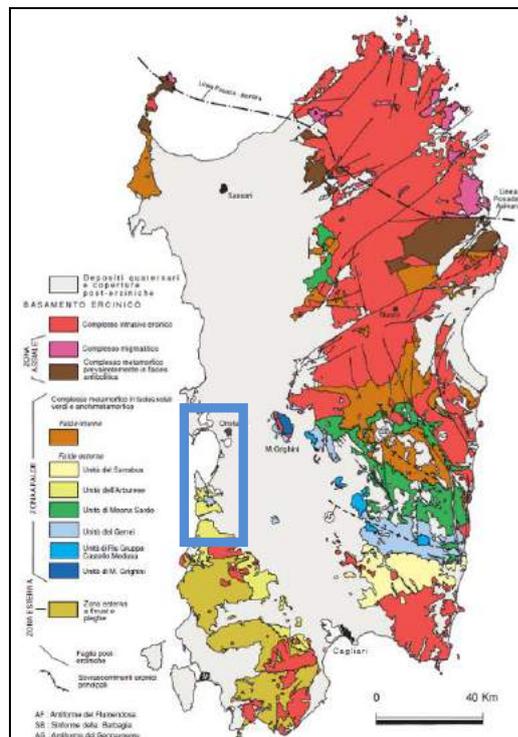


Figura 2 - Principali elementi strutturali del basamento ercinico sardo (fonte: Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Geologia della Sardegna). Il riquadro blu indica l'area di interesse progettuale

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, i quali ultimi affiorano abbondantemente nell'area di interesse progettuale. Tale successione sedimentaria è coeva di un'importante attività vulcanica calcalalina, 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.

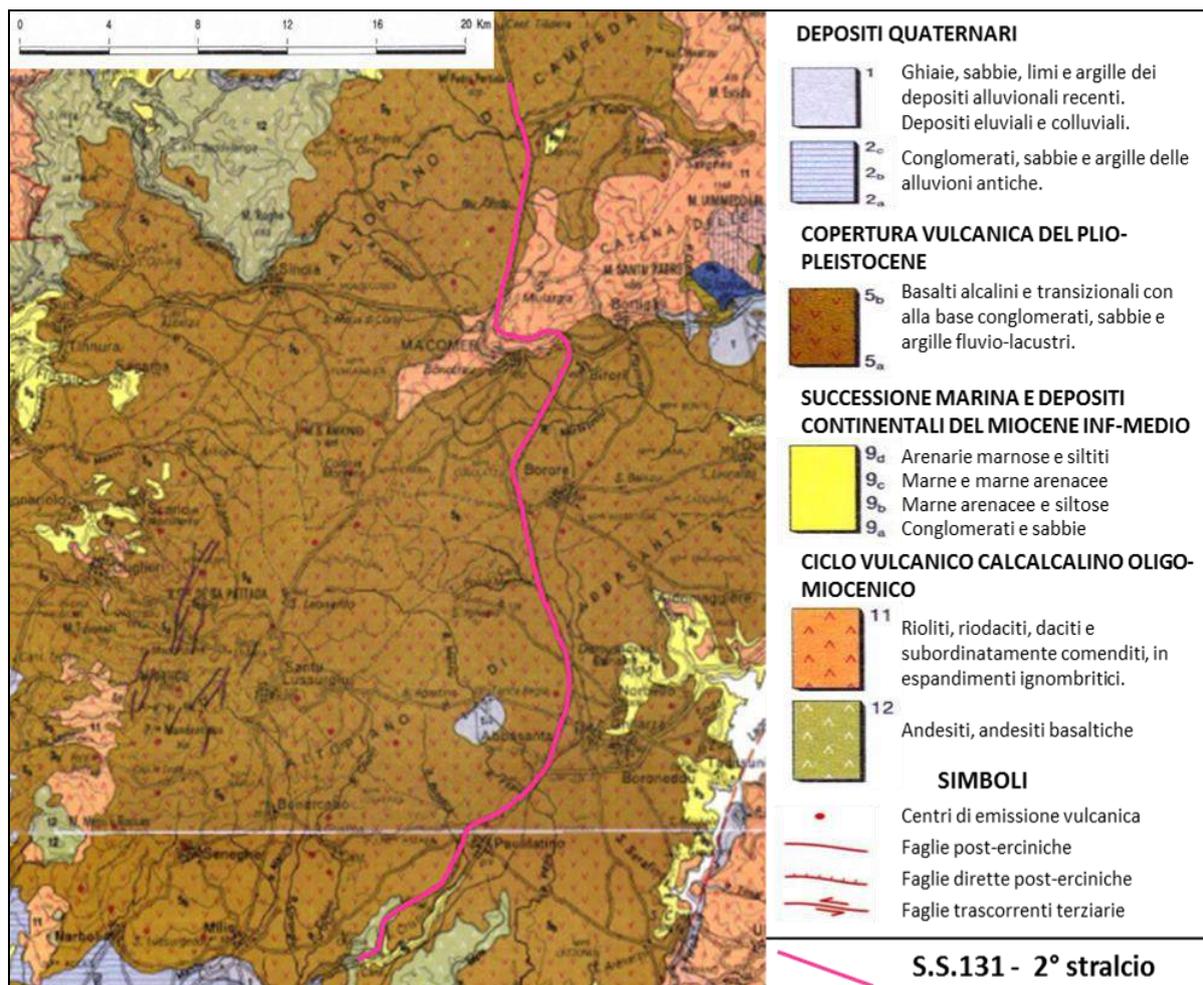


Figura 3 – Stralcio della Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000, redatta a cura del Comitato per il Coordinamento della Cartografia Geologica e Geotematica della Sardegna con coordinatore L. Carmignani. Il tratto in magenta indica lo stralcio di interesse progettuale.

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 Tortoniano fino al Messiniano ("3° ciclo" miocenico).

La distensione continua anche nel Pliocene e, successivamente, nel Pleistocene, testimoniata principalmente da estesi espandimenti basaltici. 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 marino (2) o depositi di fondovalle (1).

6 SUCCESSIONE STRATIGRAFICA LOCALE

L'area all'interno della quale si collocano gli interventi in progetto ricade nei Fogli n. 206 "Macomer" e n. 217 "Oristano" 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 sono stati accorpati all'interno di diversi complessi geologici, di natura vulcanica, a loro volta comprendenti diverse unità formazionali, distinte prevalentemente sulla base delle caratteristiche mineralogiche e petrografiche. Questi coprono un intervallo di tempo che va dall'Aquitaniense-Burdigaliano all'Attuale, e di seguito vengono elencati dal più antico al più recente.

6.1 Distretto vulcanico di Ottana

- **Unità di Bauladu (BDU).** Andesiti e andesiti basaltiche, talora autoclastiche, glomeroporfiriche, con fenocristalli di Px, Am, Bt; in cupole di ristagno, con associati depositi epiclastici. AQUITANIENSE? – BURDIGALIANO. L'Unità affiora lungo il margine meridionale del 2° stralcio oggetto di intervento, lontano dalle aree di interesse progettuali, ed è stata osservata sporadicamente nei sondaggi geognostici della Campagna indagini S.P.G. s.r.l. del 1997.
- **Unità di Santa Vittoria (VTT).** Andesiti basaltiche e andesiti, porfiriche, pirosemico-anfibolitiche; in cupole di ristagno e colate, con associati prodotti epiclastici e sottili intercalari sedimentari ($17,7 \pm 0,8$ Ma). AQUITANIENSE? – BURDIGALIANO. Anche questa Unità affiora lungo il margine meridionale del 2° stralcio oggetto di intervento, lontano dalle aree di interesse progettuali, ed è stata osservata sporadicamente nei sondaggi geognostici della Campagna indagini S.P.G. s.r.l. del 1997.
- **Unità di Monte Pramas (PAM).** Andesiti basaltiche e andesiti, ipocristalline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx, Opx, Am; in potenti colate talora autoclastiche e dicchi. BURDIGALIANO. Anche questa Unità affiora lungo il margine meridionale del 2° stralcio oggetto di intervento, lontano dalle aree di interesse progettuali, ed è stata osservata sporadicamente nei sondaggi geognostici della Campagna indagini S.P.G. s.r.l. del 1997.
- **Unità di Sedilo (EDI).** Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riodacitico, pomiceo-cineritici, debolmente saldati, spesso argillificati, ricchi di pomici, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Qtz (K/Ar $19,4 \pm 1$ Ma, 1997). BURDIGALIANO. Anche questa Unità affiora lungo il margine meridionale del 2° stralcio oggetto di intervento, lontano dalle aree di interesse progettuali, ed è stata osservata sporadicamente nei sondaggi geognostici della Campagna indagini S.P.G. s.r.l. del 1997.

6.2 Successione sedimentaria oligo-miocenica del Bacino del Tirso

Formazione di Tadasuni (TDI). Conglomerato basale, a componente arenacea variabile, con faune a molluschi (*Ostrea* e.m., *Cardium*, *Pecten*) ed echinodermi, passante verso l'alto ad arenarie, in banchi decimetrici più o meno compatti. BURDIGALIANO. La Formazione affiora lungo la porzione sud del 2° stralcio oggetto di intervento, in corrispondenza del progetto di risoluzione dell'accesso in carreggiata nord al Km 115+205. Essa è stata osservata in profondità nei sondaggi geognostici della Campagna indagini S.P.G. s.r.l. del 1997 ricadenti tra i Km 112 e 114 della S.S.131. In sondaggio la formazione si presenta come una calcarenite grossolana, arenaria e marna calcarea fossilifera, lapidea, poco fratturata.



Foto 1 – Biocalcarene appartenente alla Formazione di Tadasuni, incontrata lungo il sondaggio SE48 (S.P.G. s.r.l. – 1997) in corrispondenza del Km. 112+500 della S.S.131, da 20 a 23,2 m di profondità da p.c.

6.3 Distretto vulcanico di Bonorva

Unità di Macomer (OER). Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, saldati, con strutture da vitroclastiche ad eutaxitiche; in bancate alternate a depositi piroclastici di flusso, caduta e di onda basale. (K/Ar 21,6±1,1 Ma: Lecca et alii, 1997). Intercalati livelli piroclastici di flow, fall e surge (OERb). BURDIGALIANO. L'Unità affiora in due ampi tratti lungo il 2° stralcio oggetto di intervento: un tratto meridionale, più limitato, dal Km 110+500 al Km 113+000 della S.S.131, in corrispondenza del progetto di risoluzione dell'accesso in carreggiata nord al Km 111+160, e un tratto settentrionale, più esteso, dal Km 146+000 al Km 149+000 della S.S.131, in corrispondenza dello Svincolo di Mulargia-Macomer al km 148+500 e della risoluzione degli accessi poco più a sud. In sondaggio, l'Unità si presenta come una piroclastite pomiceo-cineritica saldata, a composizione riolitico-riodacitica, di colore dal marrone a nocciola a grigio chiaro, da mediamente compatta a fortemente argillificata e incoerente soprattutto in superficie, con fratture inclinate a 45° o subverticali ossidate e argillificate. Spesso sono

evidenti patine di ossidazione ocracee e bande di flusso e fiamme a maggior concentrazione di litici e pomici.



Foto 2 – Depositi piroclastici e ignimbritici appartenente all'Unità di Macomer, incontrati lungo il sondaggio S26 (Sondedile s.r.l. – 2015) nelle vicinanze del nuovo svincolo di Mulargia-Macomer al Km 148+500.

- **Unità di Monte Santu Padre (PDR).** Alternanza di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbritica saldati, a chimismo da dacitico a riolitico, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Bt, Mag, con struttura eutaxitica, talora ricchi in litici poligenici. Alla base piroclastiti pomiceo cineritiche e livelli epiclastici (PDRa). BURDIGALIANO. L'Unità affiora limitatamente in un breve tratto del 2° stralcio oggetto di intervento (dal Km 145+500 al Km 146+000 della S.S.131) e in corrispondenza del progetto di risoluzione degli accessi in carreggiata nord dal Km 144+760 al Km 145+950. In sondaggio, l'unità evidenzia caratteri simili a quella di Macomer, descritta precedentemente.
- **Unità di Bortigali (BGA).** Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbritica, a chimismo riodacitico, con cristalli liberi di Pl, rari Sa e Am, con strutture eutaxitiche. (K/Ar 21,8 +/- 1,1 Ma: Lecca et alii, 1997). BURDIGALIANO. L'Unità affiora limitatamente in un breve tratto del 2° stralcio oggetto di intervento, nei pressi del Km 146 della S.S.131, e in corrispondenza della parte occidentale del progetto di adeguamento dell'area archeologica di Santa Barbara, dove è evidente in affioramento il contatto discordante con i depositi basaltici disposti superiormente.



Foto 3 – Depositi piroclastici appartenente all'Unità di Bortigali affioranti lungo il km 145 della S.S.131.

6.4 Basalti della Campeda-Planargia

- **Subunità di Campeda (BPL1).** Basalti o, più raramente, andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Opx, Cpx e Ol. Basalti e trachibasalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx; in estese colate. PLIOCENE.

La Subunità di Campeda affiora abbondantemente in corrispondenza degli interventi che vanno dallo svincolo di Macomer-Mulargia alla fine del 2° stralcio. Essa è stata incontrata in tutte le indagini geognostiche situate in questa tratta. Si tratta di basalti vacuolari, da poco a mediamente fratturati, di colore da grigiastro a bruno a rosso, con locali fenomeni di argillificazione e ossidazione al passaggio fra colate o espandimenti successivi.



Foto 4 – Basalti della Campeda-Planargia appartenenti alla Subunità di Campeda, incontrati nel sondaggio S5 (Sonedile s.r.l. – 2015) in corrispondenza del ponte in progetto sul Riu Temu.

- **Subunità di Dualchi (BPL2).** Andesiti basaltiche subalcaline, porfiriche per fenocristalli di Pl, Cpx, Opx, Ol; in estesi espandimenti. Trachibasalti e basalti debolmente alcalini, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx. ?PLIOCENE – PLEISTOCENE.

La Subunità di Dualchi affiora abbondantemente lungo gli interventi che vanno dall'inizio del 2° stralcio fino all'area archeologica di Santa Barbara. Essa è stata osservata in buona parte delle indagini geognostiche ricadenti in questa tratta. Si tratta di basalti poco vacuolari, estremamente compatti, da scarsamente a poco fratturati, di colore da grigiastro a rosso mattone.



Foto 5 – Basalti della Campeda-Planargia appartenenti alla Subunità di Dualchi, incontrati nel sondaggio S23 (Sondedile s.r.l. – 2015) in corrispondenza degli accessi al Km 127+000, vicino allo Svincolo di Norbello.

- **Subunità di Funtana di Pedru Oe (BPL3).** Basalti debolmente alcalini e trachibasalti, a grana minuta, porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Px; in estese colate. PLIOCENE SUP. La subunità non è stata mai incontrata nei sondaggi e affiora lontano dalle aree di interesse progettuali;
- **Subunità di Sindia (BPL4).** Basalti debolmente alcalini olocristallini, porfirici per fenocristalli di Ol, Pl, e rari xenocristalli quarzosi; in colate. Trachibasalti debolmente alcalini, olocristallini. PLIOCENE – PLEISTOCENE. La subunità non è stata mai incontrata nei sondaggi e affiora lontano dalle aree di interesse progettuali.

6.5 Depositi pleistocenici dell'area continentale:

- **Sintema di Portovesme - Litofacies nel Subsintema di Portoscuso (PVM2a).** Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP. L'Unità affiora lungo il margine meridionale del 2° stralcio oggetto di intervento, lontano dalle aree di interesse progettuali, ed è stata osservata sporadicamente nei sondaggi geognostici della Campagna indagini S.P.G. s.r.l. del 1997.

6.6 Depositi quaternari dell'area continentale

- **Depositi palustri (e5).** Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE.
- **Depositi di versante (a).** Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE.

- **Coltri eluvio-colluviali (b2).** Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE.
- **Coltri alluvionali (b).** Ghiaie, da grossolane a medie, sciolte (b). OLOCENE.

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.

Lo studio geomorfologico di dettaglio, basato sul rilevamento geomorfologico di campo, preceduto dalla fotointerpretazione, 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, redatta dal Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA) e del Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane, redatta dal Consiglio Nazionale delle Ricerche allo scopo di realizzare un censimento delle aree storicamente vulnerate da calamità geologiche e idrauliche. Di seguito si riporta la loro distribuzione lungo il tracciato, completata dalla descrizione dei dissesti catalogati nella relativa documentazione:

- km 112 ÷ km 113: in questo settore, ben distante dalle aree di stretto interesse progettuale, in condizioni di assoluta non interferenza con il progetto, viene riportata, nella cartografia AVI, un'ampia area in frana, costituita a sua volta da 4 sotto-aree coalescenti, descritta come fenomeno connesso alla presenza di fenomeni di crollo diffuso di blocchi basaltici, che tendono a distaccarsi dai costoni rocciosi e a rotolare lungo il versante.
- km 143: a nord dello svincolo di Macomer Sud il P.A.I. Sardegna individua un'area a pericolosità geomorfologica, caratterizzata da tre fasce contigue con grado di pericolosità crescente, a partire da Hg1, per arrivare, spostandosi verso monte, ad Hg3. L'intervento previsto in progetto, di adeguamento della viabilità secondaria nel tratto compreso tra il km 143 e il km 144 della SS 131, interferisce, parzialmente, con la sola

fascia P.A.I. indicata a media pericolosità (Hg2). Sono escluse interferenze con le aree Hg3. Nello Studio di compatibilità geologica e geotecnica, redatto ai sensi dell'art. 25 delle Norme di Attuazione del P.A.I., sono state analizzate in dettaglio tali interferenze;

- km 147 ÷ km 148: lungo questo intervallo, ad ovest della S.S.131, è presente un'area classificata dal Progetto IFFI come soggetta a crolli e/o ribaltamenti diffusi, con stato di attività quiescente. Essa interessa prevalentemente litologie appartenenti ai basalti e/o ai depositi piroclastici. Tale area non interferisce con nessuno degli interventi in progetto.

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

- 1) Ambito dei plateau basaltici: riconducibile all'Altopiano di Abbasanta a sud, dall'inizio dello stralcio in progetto fino allo Svincolo di Macomer sud al Km 142+500, con quote variabili da 350 m s.l.m. nella parte sud a 450 m s.l.m. in quella nord, e all'Altopiano di Campeda, dallo svincolo di Mulargia-Macomer al km 148+500 fino alla fine del 2° stralcio, con una quota media di 650 m s.l.m. L'ambito morfostrutturale è caratterizzato, principalmente, da un substrato basaltico sub-affiorante e da una morfologia sub-pianeggiante; sono pertanto assenti, in ragione dell'assenza di energia del rilievo, condizioni morfologiche potenzialmente innescanti fenomeni di instabilità.
- 2) Ambito della Catena del Marghine: posizionato tra i due plateau basaltici, è rappresentato dalla dorsale collinare della Catena del Marghine, allungata in direzione NE-SW, a quote variabili tra 800 m e 1000 m s.l.m., costituita dai terreni vulcanici più antichi, di natura prevalentemente ignimbrica. Quest'ambito è caratterizzato, per effetto delle maggiori acclività delle morfologie presenti, da un'energia del rilievo più alta rispetto a quelli precedente e successivo.

7.1 Principali elementi geomorfologici rilevati

- **Forme dovute al deflusso delle acque superficiali**

Zona di ristagno di acqua e/o soggetta a scarso drenaggio superficiale: comprende due aree di modesta estensione, situate tra il km 125 e il km 129 della S.S.131, e interessanti solo marginalmente gli interventi in progetto. Esse sono aree completamente pianeggianti o depresse, a scarsa capacità di deflusso, caratterizzate dalla presenza stagionale di acqua in superficie o a bassissima profondità, dovuta alla bassa permeabilità del substrato basaltico sottostante, che ne ostacola l'infiltrazione, favorendo la saturazione delle modeste coperture superficiali.

- **Forme dovute alla gravità**

Zona potenzialmente soggetta a rotolamento di blocchi: è localizzata lungo il versante posto a monte della S.S.131, in corrispondenza del progetto di "Risoluzione degli accessi in carreggiata nord dal Km 143+215 al Km 143+900". Il limite nord della suddetta area è rappresentato dalla sommità dell'allineamento dei rilievi di Monte Manai, Punta Coa 'e Ferula e M.te Coguruttu, laddove si rinviene la formazione basaltica; esso rappresenta una zona di potenziale distacco di blocchi e/o frammenti rocciosi. Grossi blocchi, di diametro anche di 1,5 m, si osservano lungo tutta l'area delimitata in carta, sia di messa in posto relativamente recente, in equilibrio lungo il versante, sia più antichi, immersi nella coltre colluviale.



Foto 6 – Blocchi basaltici lungo il versante oggetto di potenziale rotolamento, a poca distanza dalle sede della S.S.131.



Foto 7 – Blocchi basaltici nella parte più a monte dell'area di potenziale rotolamento.

- **Forme antropiche**

Area urbanizzata: è rappresentata dai centri urbani ricadenti nelle vicinanze degli interventi in progetto.

Rilevato stradale e ferroviario: rappresentato dai materiali inerti utilizzati nella realizzazione dei rilevati stradali della S.S. 131 e delle viabilità secondarie, nonché del rilevato ferroviario.

Terrapieno: costituito da un modesto accumulo di materiale, realizzato artificialmente nei periodi trascorsi, posto nella parte ovest della sede stradale della S.S.131 in corrispondenza dello Svincolo di Norbello.

Scarpata antropica/orlo di scarpata antropica: sono cartografati lungo le scarpate dei tagli stradali in cui il tracciato esistente della S.S. 131 si sviluppa in trincea.

8 SCHEMA IDROGEOLOGICO

Per quanto concerne l'idrografia superficiale si riscontra la presenza di aree, diffusamente estese, caratterizzate da un reticolo idrografico costituito, per lo più, da incisioni di modesti torrenti che rappresentano il drenaggio naturale dell'acqua di ruscellamento superficiale, in relazione alle caratteristiche di infiltrazione dei terreni affioranti nei bacini interessati. L'andamento di questi torrenti è legato, essenzialmente, alla presenza di fratture di natura strutturale e, limitatamente, a fenomeni erosivi.

In corrispondenza dello Svincolo di Tossilo è presente un'ampia zona pianeggiante, caratterizzata, stagionalmente, da locali manifestazioni di ristagno di acqua poiché soggetta a scarso drenaggio superficiale in ragione della particolare morfologia e delle caratteristiche di permeabilità delle formazioni basaltiche che ne ostacolano l'infiltrazione in profondità.

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 alluvionali 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 di permeabilità estremamente variabili in funzione della granulometria 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 ghiaioso sabbioso pleistocenico (PVM2a): in tale complesso idrogeologico sono inclusi i terreni a granulometria grossolana e media (ghiaie con sabbie). Il grado di permeabilità risulta essere complessivamente elevato in ragione della granulometria dei depositi così come la trasmissività, in ragione dello spessore del volume saturo. La permeabilità riscontrabile è di tipo primario e stimata nel campo di variabilità 1×10^{-3} m/s ÷ 1×10^{-5} m/s.

Complesso dei basalti plio-pleistocenici (BPL): il complesso è caratterizzato da basalti fessurati e vacuolari, trachifonoliti, ignimbriti, rioliti, trachiti e tufi pomiceo-cineritici; pertanto comprende terreni permeabili sia per fessurazione (permeabilità secondaria) che per la struttura vacuolare che li caratterizza (permeabilità primaria). La permeabilità risulta complessivamente variare da medio-bassa (1×10^{-7} m/s) a media (1×10^{-5} m/s).

Complesso dei depositi piroclastici e andesitici oligo-miocenici (BGA, HVN, PDR, OER, EDI, TDI, PAM, VTT, BDU): tale complesso è caratterizzato da andesiti e piroclastiti più o meno tufacee di età oligo-miocenica. La permeabilità riscontrabile è di tipo secondario per fessurazione ed è stimata nel campo di variabilità 1×10^{-6} m/s ÷ 1×10^{-9} m/s.

9 SISMICITÀ

9.1 Sismicità storica

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004, zonesismiche.mi.ingv.it), che è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html) con modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

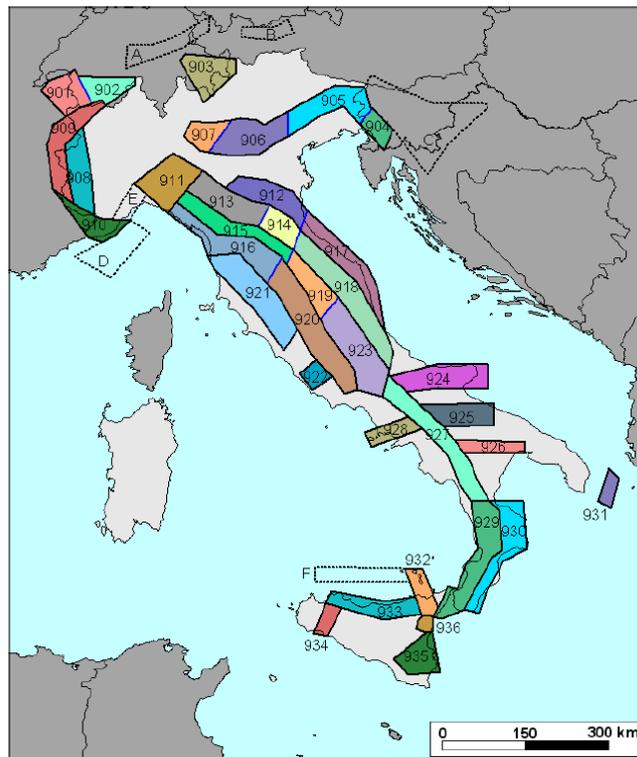


Figura 4 - Zonazione sismogenetica ZS9. Dal sito zonesismiche.mi.ingv.it (Gruppo di Lavoro, 2004)

Come è possibile verificare dalla Figura 4, la Sardegna risulta al di fuori al modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), dato di input dello studio di pericolosità sismica del territorio italiano di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

Facendo riferimento anche allo studio pubblicato dall'INGV (Database of Individual Seismogenic Sources – versione 3.2.0 - giugno 2015 - <http://diss.rm.ingv.it/diss/Downloads.html>), è possibile verificare che è presente solo a sud della Sardegna una struttura sismogenetica in grado di produrre sismi di magnitudo fino a 7 Richter, con profondità della superficie variabile tra 1 e 25 km, classificata secondo DISS3 come DZCS002 - "Northern Africa offshore East" e corrispondente al sistema di faglie del settore offshore nordafricano (cfr. Figura 5).

Da quanto sopra riportato è ragionevolmente possibile classificare il sito in esame come avente **sismicità molto bassa**.

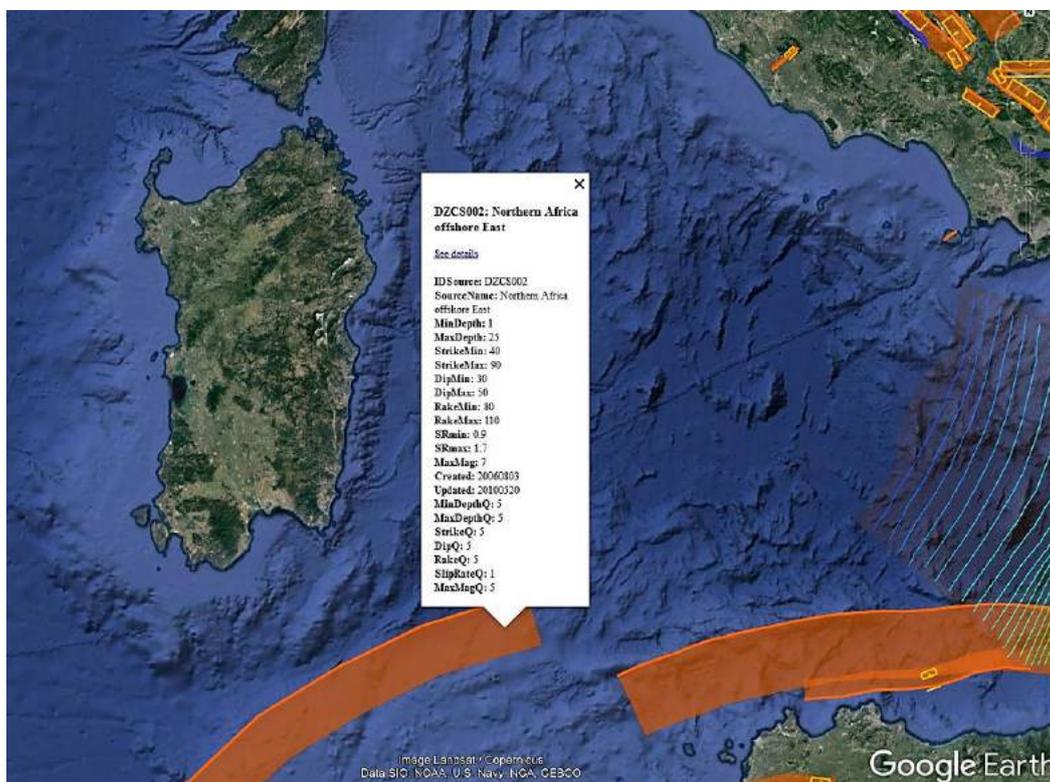


Figura 5 - INGV - DISS3 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth (dettaglio)

9.2 Pericolosità e azione 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, 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 Relazione Geologica

densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc.

Nelle norme tecniche NTC 2018 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici a_g , F_0 e T_c^* per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

La Sardegna (cfr. Tabella 2 allegata alle NTC 2008, sotto riportata), è caratterizzata da una macrozonazione sismica omogenea (medesimi parametri spettrali sull'intero territorio insulare a parità di tempo di ritorno dell'azione sismica di progetto).

La tabella sottostante (Figura 6) 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.

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna , Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

Figura 6 - Tabella 2 allegata alle NTC 2008 in cui vengono riportati i valori di a_g , f_0 e T_c per i diversi tempi di ritorno (T_R) validi per tutte le isole ad eccezione della Sicilia, Ischia, Capri e Procida, e costanti sull'intero territorio di ciascuna isola

Per dettagli sull'azione sismica, il periodo di riferimento utilizzato e le categorie di sottosuolo in relazione alle opere, si rimanda all'elaborato **T00GE00GETRE02** - "Relazione sismica".

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 la campagna geognostica integrativa, appositamente realizzata nel 2015 nell'ambito di progettazione definitiva e quella integrativa del 2019, realizzata nell'ambito del presente progetto, 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 2° stralcio, essi comprendono:

- n. 173 perforazioni di sondaggio;
- n. 41 Pozzetti geognostici;
- n. 17 Stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 28 Prove penetrometriche statiche CPT.

Esse sono riferibili alle seguenti campagne d'indagine:

- **S.P.G. s.r.l. (1997)**
 - n. 38 Sondaggi
 - n. 6 Pozzetti
 - n. 7 Stendimenti sismici a rifrazione

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S11	20,0
	S12	20,0
	S14	20,0
	S15	20,0
	S16	20,0
	S17	20,0
	S18	20,0
	S19	20,0
	S20	15,0
	S21	15,0
	S22	15,0
	S23	15,0
	S24	15,0
	S25	15,0
	S26	15,0
	S27	15,0
	S28	20,0
	S29	15,0
	S30	15,0

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S31	20,0
	S32	20,0
	S33	20,0
	S34	21,0
	S35	20,0
	S36	22,0
	S37	22,0
	S38	20,0
	S39	21,0
	S40	20,0
	S41	20,0
	S42	20,0
	S43	20,0
	S44	20,0
	S45	20,0
	S46	21,0
	S47	20,0
	S48	23,2
	S49	25,0

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Pozzetti	PE17	3,0
	PE18	3,0
	PE19	2,4
	PE20	2,7
	PE21	1,9
	PE22	2,0
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
	Base F	L=110 m
	Base G	L=110 m

- **Soiltecnic s.r.l. (1997)**
 - n. 36 Sondaggi
 - n. 35 Pozzetti
 - n. 28 Prove penetrometriche statiche CPT

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	F1dx	20,0
	F1sx	20,0
	F2dx	20,0
	F2sx	20,0
	F3dx	20,0
	F3sx	20,3
	F4dx	20,0
	F4sx	20,0
	F5dx	20,0
	F5sx	20,0
	F6dx	20,0
	F6sx	20,0
	F7dx	20,0
	F7sx	20,0
	F8Adx	20,0
	F8Bdx	20,0
	F8Asx	20,0
	F8Bsx	20,0

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	F9dx	20,0
	F9sx	20,0
	F10dx	20,0
	F11dx	20,0
	F12sx	20,0
	F12Adx	20,0
	F12Bdx	20,0
	F13dx	20,0
	F14dx	20,0
	F15dx	20,0
	F16dx	20,0
	F17dx	20,0
	F18dx	20,0
	F19dx	20,0
	F20Adx	20,0
	F20Bdx	20,0
	F21Asx	20,0
	F21Bsx	20,0

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Pozzetti	PF1dx	2,0
	PF1sx	2,0
	PF2dx	1,7
	PF2sx	2,2
	PF3dx	2,3
	PF3sx	1,8
	PF4dx	2,5
	PF4sx	1,4
	PF5dx	1,1
	PF5sx	2,8
	PF6dx	0,45
	PF6sx	1,2
	PF7dx	2,0
	PF7sx	2,0
	PF8Adx	1,2
	PF8Asx	2,7
	PF8Bdx	1,0
	PF8Bsx	2,15

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Pozzetti	PF9dx	2,6
	PF9sx	0,4
	PF10sx	2,0
	PF11dx	2,4
	PF11sx	2,0
	PF12dx	2,5
	PF12sx	0,7
	PF13dx	2,5
	PF14dx	0,6
	PF14sx	0,7
	PF15dx	0,6
	PF15sx	1,8
	PF16dx	0,6
	PF17sx	0,4
	PF18sx	0,5
	PF19dx	0,8
	PF19sx	0,5

Indagine	Profondità (m da p.c.)
PP1	1,7
PP2	1,8
PP3	2,1
PP4	1,5
PP5	1,5
PP6	1,9
PP7	2,0
PP8	1,9
PP9	2,1
PP10	5,9
PP11	5,2
PP12	1,7
PP13	1,9
PP14	1,6
PP15	1,5
PP16	1,8
PP17	1,7
PP18	2,1
PP19	2,2
PP20	4,5
PP21	3,7
PP22	2,7
PP23	4,5
PP24	4,2
PP25	3,1
PP26	1,5
PP27	1,5
PP28	1,6

- **Edilsuolo s.r.l. (1997)**
 - n. 21 Sondaggi
 - n. 5 Stendimenti sismici a rifrazione

Indagine	Profondità (m da p.c.)
H1	18,3
H2	15,0
H3	15,5
H4	18,0
H5	20,0
H6	20,0
H7	20,5
H8	20,4

Indagine		Profondità (m da p.c.)
	H9	17,0
	H10	20,0
	H11	30,0
	H12	30,0
	H13	35,0
	H14	40,0
	H15	55,0
	H16 (d.n.)	55,0
	H17 (d.n.)	80,0
	H18 (d.n.)	100,0
	H19 (d.n.)	120,0
	H20 (d.n.)	140,0
	H21 (d.n.)	160,0
Geofisica	Linea 1	L=230 m
	Linea 2	L=110 m
	Linea 3	L=110 m
	Linea 6	L=46 m
	Linea A	L=440 m

- **Tea s.r.l. (1997/1998/1999)**
 - n. 22 Sondaggi
 - n. 3 Stendimenti sismici a rifrazione

	Indagine	Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	SG1	15,0
	SG2	11,6
	SG3	13,7
	SG4	15,0
	SG5	20,0
	SG6	20,0
	SG7	20,0
	SG8	20,0
	SG9	20,0
	SG10	21,0
	SG11	20,0
	SG12	25,0
	SG13	30,0
	SG14	30,0

	Indagine	Profondità (m da p.c.)	
Sondaggi	SG15	35,0	
	SG16	40,0	
	SG17	60,0	
	SG18 d.o.	60,0	
	SG19 d.o.	110,0	
	SG20 d.o.	140,0	
	SG21 d.o.	150,0	
	SG22 d.o.	170,0	
	Geofisica	Linea A	L=440 m
		Linea 4	L=230 m
Linea 5		L=46 m	

• **Sigeco s.r.l. (2005)**

- n. 56 Sondaggi
- n. 2 Stendimenti sismici a rifrazione

Indagine		Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S1 (lotto 6)	15,0
	S2 (lotto 6)	10,0
	S1	10,0
	S2	10,0
	S3	10,0
	S4	10,0
	S5	10,0
	S6	10,0
	S7	15,0
	S8	15,0
	S9	15,0
	S10	15,0
	S11	11,6
	S12	15,0
	S12bis	15,0
	S13	15,0
	S14	15,0
	S15	15,0
	S15bis	11,5
	S16	15,0
	S17	15,0
	S18	15,0
	S19	12,0
	S20	12,0
S21	10,0	
S22	10,0	
S23	12,0	
S24	10,0	

Indagine		Profondità (m da p.c.)
Sondaggi	S25	10,0
	S26	10,0
	S27	5,0
	S28	10,0
	S29	10,0
	S30	8,0
	S32	14,2
	S33	13,3
	S34	10,0
	S35	14,9
	S36	14,7
	S37	15,0
	S38	15,0
	S39	15,0
	S40	15,0
	S41	15,0
	S42	10,0
	S43	10,0
	S44	15,0
	S46	10,0
	S47	10,0
	S48	10,0
	S49	10,0
	S50	15,0
S51	10,0	
S52	10,0	
S53	10,0	
S54	10,0	

Indagine		Profondità (m da p.c.)
Geofisica	Profilo 1	L=1080 m
	Profilo 2	L=120 m

10.2 Indagini progettazione definitiva 2015-2016

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 in corrispondenza degli interventi in progetto (aree di svincolo ed opere di nuova realizzazione).

In particolare, per il 2° stralcio oggetto di intervento è stata prevista la seguente campagna geognostica e geofisica:

- **Sondedile s.r.l. (2015)**
 - o n. 8 Sondaggi geognostici
 - o n. 28 Pozzetti geognostici

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m)	PROVE SPT	CAMP. INDIST.	CAMP. RIM.	PROVE PRESS.	STRUMENTAZIONE INSTALLATA
S1	15,00	-	-	8	-	-
S2	15,00	-	-	4	-	-
S3	16,40	1	-	3	-	-
S4DH	30,00	2	2	8	1	Tubo Down Hole
S5	15,00	-	-	2	-	-
S23	15,00	-	-	3	-	-
S25	20,00	-	-	6	-	-
S26	25,00	1	-	11	-	-

POZZETTO	PROFONDITA' (m)	CAMPIONI RIMANEGGIATI	PROVE DI CARICO SU PIASTRA
Pz1	0,40	1	-
Pz2	0,80	1	-
Pz3	0,60	1	-
Pz4	0,30	1	-
Pz5	0,40	1	-
Pz5bis	0,40	1	-
Pz6	0,40	1	-
Pz11	0,30	1	-
Pz11bis	0,40	1	-
Pz14	0,90	1	1
Pz15	0,50	1	-
Pz16	0,20	1	-
Pz17a	0,20	-	-
Pz17b	0,30	1	-
Pz18a	0,30	-	-
Pz18b	0,20	1	-
Pz21	1,40	1	1
Pz22	0,60	1	-
Pz23	1,50	2	1
Pz24	0,70	1	1
Pz26	2,00	2	1
Pz27	1,80	1	1
Pz29	0,50	1	-
Pz30	2,00	1	1
Pz31	2,00	1	1
Pz32	0,20	1	-
Pz32bis	0,20	-	-
Pz33	1,60	1	1

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

- o n. 3 Basi sismiche a rifrazione

Indagine		Lunghezza (m)
Geofisica	LS1	57,50
	LS2	57,50
	LS6bis	115,00

10.3 Indagini geognostiche integrative 2019

Al fine di una completa caratterizzazione geotecnica dei terreni, è stata prevista l'esecuzione di sondaggi geognostici a rotazione con carotaggio continuo, prove penetrometriche in foro di sondaggio di tipo SPT e prove sismiche di tipo down-hole per le seguenti aree d'indagine:

- in prossimità del km 115+205 (Paulilatino) – Ponticello PO07, opera S02;
- in prossimità del km 145+900 (Macomer) – Ponte PO05, opera S13.

La campagna, eseguita da Geotest S.r.l. / Servizi Geotecnici s.a.s., è consistita nell'esecuzione delle seguenti indagini:

- n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2) di lunghezza rispettivamente di 30 m e 25 m, con esecuzione di n° 10 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT (Standard Penetration Test) e prelievo di n° 1 campioni rimaneggiati di terreno da sottoporre a prove geotecniche di identificazione in laboratorio, di n°16 spezzoni di carota lapidea per l'esecuzione di prove geomeccaniche e n° 4 campioni indisturbati di terreno per le successive determinazioni di laboratorio;
- n°1 prospezione sismica down-hole (S1-DH) di lunghezza 30 m, per la determinazione della velocità delle onde P ed S ai fini della determinazione della categoria di sottosuolo sismica.

Per i dettagli di tale campagna si rimanda all'elaborato **T00GE00GEORE08A** - "Documentazione indagini geognostiche e geofisiche – 2019".

10.3.1 Opera S02 – Ponticello al km 115+205

In corrispondenza dell'opera S02 è stato realizzato il sondaggio geognostico **S1** (30.0 m), con esecuzione di n° 2 prove SPT e prelievo di campioni rimaneggiati e indisturbati per l'esecuzione di prove geotecniche (da 0.0 a 2.30 m) e spezzoni di carota lapidea per le prove geomeccaniche (da 3.0 a 30.0 m). In corrispondenza del sondaggio S1 è stata eseguita una prospezione geofisica di tipo down-hole denominata **S1-DH** (30.0 m) per la determinazione delle Vs del terreno.

10.3.2 Opera S13 – Ponte al km 145+900

In corrispondenza dell'opera S13 è stato realizzato il sondaggio geognostico **S2** (25.0 m), con esecuzione di n° 8 prove SPT e prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio e di identificazione.

11 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il 2° stralcio della S.S. 131 interessato dagli interventi di adeguamento e messa in sicurezza attraversa gli ambiti geologico-geomorfologici, di seguito descritti:

- Un tratto meridionale, a partire dal km 108 fino al km 145 circa, si sviluppa in corrispondenza dell'Altopiano di Abbasanta, rappresentato da un esteso **plateau basaltico**, originatosi dalla messa in posto dei termini effusivi riferiti al Ciclo vulcanico plio-pleistocenico. Essi sono rappresentati principalmente da basalti alcalini e transizionali, andesiti basaltiche e basalti subalcalini, appartenenti alla Complesso della Campeda-Planargia. La quota generale del *plateau* varia da 350 m s.l.m., nella parte meridionale, fino a circa 450 m s.l.m. nel territorio di Macomer;
- Un tratto centrale, dal km 145 fino al km 148 circa, caratterizzato dalla dorsale collinare della Catena del Marghine e del Monte di Sant'Antonio, posta immediatamente a nordest di Macomer e allungata in direzione NE-SW, con quote variabili da 800 m a 1000 m s.l.m., la cui struttura è composta dai **depositi ignimbrici** (prevalenti) e **piroclastici** (subordinati), appartenenti al Ciclo Vulcanico Calco-alcalino oligo-miocenico. La dorsale collinare separa i due grandi plateau basaltici, riconducibili all'Altopiano di Abbasanta, a sud, e di Campeda, a nord;
- Il tratto settentrionale, che si estende dal km 142+500 al km 160+000 circa, si sviluppa, prevalentemente, in corrispondenza dell'Altopiano di Campeda, altro **plateau basaltico** costituito dalle formazioni effusive precedentemente descritte, che costituiscono la terminazione settentrionale dell'espansione basaltica plio-pleistocenica appartenente al Complesso della Campeda-Planargia. La quota media dell'altopiano è di circa 650 m s.l.m.

11.1 Modello Geologico di dettaglio

In questo paragrafo viene descritto il modello geologico di riferimento in corrispondenza degli interventi in progetto più significativi (Nuovi svincoli, adeguamento svincoli esistenti e opere d'arte di nuova realizzazione previste in corrispondenza delle viabilità accessorie). Per la descrizione delle formazioni geologiche interagenti si rimanda al paragrafo 6 - Successione stratigrafica locale.

Uscita archeologica "Santa Cristina" al Km 114+500 (V03)

Indagini di riferimento: sondaggi SE30 ed SE29 (S.P.G. s.r.l. - 1997).

L'intervento consiste nell'adeguamento delle corsie di accesso all'area archeologica, con la realizzazione di un muro di sottoscarpa in corrispondenza della Rampa B.

L'intervento si colloca in un'area pressoché pianeggiante, caratterizzata dalla presenza di terreni appartenenti alla Subunità di Dualchi, facente parte del gruppo dei Basalti della Campeda-Planargia, rappresentati da basalti e andesiti basaltiche litoidi, con aspetto vacuolare, di colore grigio, da mediamente a molto fratturati. Al tetto questi si presentano fratturati per uno spessore di circa 5 m.

In superficie i basalti sono ricoperti, con uno spessore massimo di 2 m, da una coltre eluvio-colluviale di alterazione e da depositi di copertura quaternari.

Risoluzione accesso C.N. al Km 115+205 (S02)

Indagini di riferimento: sondaggio S1 (Geotest S.r.l. - 2019).

L'intervento consiste nella realizzazione, in carreggiata nord, di un accesso isolato a proprietà esistente dalla vecchia sede stradale della S.S.131, con realizzazione di un sottopasso idraulico (ponticello L=16 m).

L'intervento è situato lungo un versante a lieve pendenza verso SE, in cui il sottopasso idraulico permette l'attraversamento del corso d'acqua.

Il substrato è rappresentato dalla presenza di terreni appartenenti alla Subunità di Dualchi, facente parte del gruppo dei Basalti della Campeda-Planargia, rappresentati da basalti e andesiti basaltiche litoidi, con aspetto vacuolare, di colore grigio, da mediamente a molto fratturati; al tetto questi si presentano fratturati per uno spessore di qualche metro. In superficie, in corrispondenza dell'incisione valliva, i basalti sono ricoperti, con uno spessore massimo di 2.30 m, da una coltre eluvio-colluviale di alterazione degli stessi.

Adeguamento svincolo di Paulilatino al Km 119+000 (V04)

Indagini di riferimento: sondaggi SE24 ed SE25 (S.P.G. s.r.l. - 1997); pozzetti Pz1 e Pz2 (Sondedile s.r.l. - 2015).

L'intervento consiste nell'adeguamento delle corsie di accelerazione e decelerazione dello svincolo esistente, con la realizzazione di due nuove rampe.

L'intervento si colloca in un'area pressoché pianeggiante, caratterizzata dalla presenza di terreni appartenenti alla Subunità di Dualchi, facente parte del gruppo dei Basalti della Campeda-Planargia, rappresentati da basalti e andesiti basaltici litoidi, con aspetto vacuolare, mediamente fratturati. Al tetto la formazione si presenta fortemente fratturata per uno spessore di circa 4 m.

In superficie i basalti sono ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di alterazione per uno spessore massimo di 2 m.

Nuovo svincolo di Paulilatino al Km 120+000 (V01)

Indagini di riferimento: pozzetti Pz3, Pz4, Pz5, Pz5bis e Pz6 (Sondedile s.r.l. - 2015).

L'intervento consiste nella realizzazione del un nuovo svincolo, con la costruzione di quattro nuove rampe di ingresso e/o di uscita, di due rotatorie poste nei tratti terminali dell'attraversamento, e la sistemazione dei tratti di viabilità locale interferita.

Come lo svincolo esistente al km 119, anche il nuovo Svincolo di Paulilatino si posiziona in un'area pressoché pianeggiante caratterizzata dalla presenza dei Basalti della Campeda-Planargia, con caratteristiche litologiche analoghe a quelle precedentemente incontrate, fortemente fratturati al tetto per uno spessore variabile da 3 a 5 m.

In superficie i basalti sono a tratti ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di alterazione dei basalti sottostanti, per uno spessore massimo di 2 m.

Risoluzione accessi al Km 122+000 (S20)

Indagini di riferimento: sondaggi F1sx, F1dx, F2sx e F2dx; pozzetti PF1sx, PF1dx, PF2sx e PF2dx; prove penetrometriche statiche PP1, PP2, PP3 e PP4 (Soiltecnica s.r.l. - 1997).

L'intervento prevede la realizzazione di un tratto di complanare sul lato Oristano, con la realizzazione di un ponticello di luce 23 m per l'attraversamento del Riu Pitziu, al km 122+025, e di un tratto di complanare sul lato Sassari, con la realizzazione di due ponticelli di luce 23 m, per il superamento del Riu Pitziu al km 122+025 e del Riu Mannu al km 122+358.

Il modello geologico di riferimento per le opere in progetto ricalca sostanzialmente quello descritto per gli interventi precedenti: basalti e andesiti basaltiche litoidi, con aspetto vacuolare, mediamente fratturati, appartenenti alla Subunità di Dualchi. Al tetto si registra un aumento dello stato di fratturazione o destrutturazione dell'ammasso, per uno spessore variabile da 5 a 7 m.

In superficie il substrato è ricoperto da una coltre eluvio-colluviale derivata dal disfacimento/alterazione dei basalti sottostanti, per uno spessore massimo di 3 m.

Risoluzione accessi al Km 127+000 (S21)

Indagini di riferimento: sondaggi F6sx, F6dx, F7sx e F7dx; pozzetti PF6sx, PF6dx, PF72sx e PF7dx; prove penetrometriche statiche PP15, PP16, PP17 e PP28 (Soiltecnica s.r.l. – 1997).

In carreggiata sud, tra lo svincolo di Abbasanta e lo svincolo di Norbello, è previsto l'adeguamento di un tratto di complanare su sedime esistente, con la realizzazione di un ponticello di luce 23 m per il superamento del Riu di Bonorchis al km 127+625.

Il ponte si colloca in un'area debolmente ondulata in cui scorre, da ovest ad est, il corso d'acqua oggetto di attraversamento. Ad est è posizionata una modesta area soggetta a ristagno d'acqua, dove la falda risulta essere sub-affiorante o posizionata a basse profondità.

Il modello geologico di riferimento per l'opera in progetto è simile a quello descritto per gli interventi precedenti: andesiti e basalti della Subunità di Dualchi, da mediamente a molto fratturati, con una fratturazione più intensa verso il tetto, per spessori compresi tra 3 e 5 m, ricoperti in superficie da una coltre eluvio-colluviale di alterazione del substrato sottostante, con spessore massimo di 3 metri.

Risoluzione accesso C.N. al Km 138+970 (S07)

Indagini di riferimento: sondaggi S1 ed S2 (Sonedile s.r.l. – 2015).

L'intervento prevede la realizzazione di un tratto di complanare sul lato Sassari, con la realizzazione di un ponte di luce poco superiore a 40 m per il superamento del Riu Murtazzolu al km 138+600.

Il modello geologico di riferimento è caratterizzato dalla presenza delle andesiti e dei basalti della Subunità di Dualchi, affioranti o sub-affioranti, con caratteristiche litologiche simili a quelle precedentemente descritte, molto fratturati verso il tetto per uno spessore di circa 2 m. In superficie il sondaggio S1, collocato in corrispondenza della spalla sud del ponte in progetto, evidenzia uno spessore di coltre eluvio-colluviale piuttosto importante, pari a circa 6 m, mentre, in corrispondenza della spalla opposta (sondaggio S2) i basalti risultano essere affioranti.

In corrispondenza dell'incisione del corso d'acqua sono presenti depositi alluvionali ghiaiosi e sabbioso grossolani, per uno spessore massimo di circa 3 m lungo l'asse vallivo.

Adeguamento svincolo di Macomer al Km 142+500 (V09)

Indagini di riferimento: sondaggi S17, S18, S19, S20 ed S21 (SIGECO s.r.l. - 2005); pozzetti Pz17A, Pz17B, Pz18A e Pz18B (Sonedile s.r.l. – 2015).

L'intervento consiste nella realizzazione di una rotatoria a 3 bracci in corrispondenza dell'intersezione con la S.S.129, con due rampe di connessione alla S.S.131 dedicate.

Anche qui il modello geologico di riferimento delle due rampe rimane pressoché invariato rispetto agli interventi precedenti, con la presenza di andesiti e basalti appartenenti alla Subunità di Dualchi, affioranti o sub-affioranti, da mediamente a molto fratturati soprattutto in corrispondenza della porzione superficiale, ricoperti da coltre eluvio-colluviale di modesto spessore di alterazione dei basalti.

Uscita area archeologica "Santa Barbara" al Km 144+500 (V10)

Indagini di riferimento: sondaggio S38 (SIGECO s.r.l. - 2005).

L'intervento consiste nell'adeguamento delle corsie di accesso all'area archeologica, con la realizzazione di parcheggi e di viabilità di servizio.

Dal punto di vista morfostrutturale, l'intervento si colloca in corrispondenza del margine nord del *plateau* basaltico rappresentato dall'Altopiano di Abbasanta, laddove questo viene attraversato in direzione NE-SW dalla dorsale collinare della Catena del Marghine e del Monte di Sant'Antonio, impostata nei depositi piroclastici e ignimbrici appartenenti all'Unità di Bortigali (Distretto Vulcanico di Bonorva). I depositi piroclastici e ignimbrici sono ricoperti, in maniera discontinua, dai basalti e dalle andesiti basaltiche, con aspetto vacuolare, appartenenti alla Subunità di Dualchi, con uno spessore massimo di 25-30 m verso il limite orientale dell'intervento. In superficie, i depositi basaltici sono ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di alterazione del substrato sottostante, con spessore massimo di 5 metri. In corrispondenza della porzione occidentale dell'intervento, invece, i basalti si assottigliano sempre di più fino a scomparire; lungo il prolungamento della rampa B in progetto affiorano in superficie esclusivamente i depositi piroclastici e ignimbrici.

Risoluzione accessi C.N. dal km 144+760 al km 145+950 (S13)

Indagini di riferimento: stesa sismica a rifrazione LS6bis (Sondedile s.r.l. – 2015), sondaggio S2 (Geotest S.r.l. – 2019).

Lungo il lato Oristano della S.S.131 è prevista la realizzazione di un tratto di viabilità secondaria in nuova sede per una lunghezza di 1400 m circa, con realizzazione di un ponte di luce complessiva 27 m al km 145+900 per il superamento dell'incisione del Riu Chercucchi.

La morfologia dell'area è caratterizzata dalla terminazione occidentale della dorsale collinare della Catena del Marghine e del Monte di Sant'Antonio, allungata in direzione NE-SW, che separa l'Altopiano di Abbasanta a sud dall'Altopiano di Campeda a nord, costituita dai depositi piroclastici e ignimbrici appartenenti alle Unità di Macomer e di Monte Santu Padre (Distretto Vulcanico di Bonorva). Tali depositi, affioranti lungo i tagli stradali della S.S.131, si presentano da coerenti a incoerenti e friabili, di colore dal nocciola al grigio biancastro.

In corrispondenza della viabilità secondaria in progetto, i depositi piroclastici sono mascherati in superficie da una fascia pedemontana di coltre eluvio-colluviale, scarsamente addensata, con spessori variabili da 10 a 15 m, evidenziata dalla presenza di sismostrati caratterizzati da basse velocità delle onde sismiche.

Nuovo svincolo di Mulargia-Macomer al Km 148+500 (V02)

Indagini di riferimento: sondaggi F10dx, F20Adx, F20Bdx, F21Asx, F21Bsx (Soiltecnica s.r.l. – 1997); sondaggi S4DH, S25 e S26; pozzetti Pz22, Pz23, Pz24, Pz26 e Pz27; stese sismiche a rifrazione LS1 ed LS2 (Sonedile s.r.l. – 2015).

Il progetto prevede l'eliminazione delle due intersezioni a raso di Macomer nord, con innesto sulla S.S. 129 bis, e di Mulargia con innesto sulla S.P. 62, con la realizzazione di un unico svincolo con quattro rampe di ingresso/uscita, la sistemazione delle viabilità locali interferite e la realizzazione dell'attraversamento della S.S.131 (attuale S.P.62) mediante un cavalcavia di luce complessiva pari a 37,2 m.

L'intervento si colloca in un'area pressoché pianeggiante, rappresentata dalla terminazione meridionale dell'Altopiano di Campeda, costituito dai depositi basaltici della Campeda - Planargia (Subunità di Campeda). Questi si appoggiano sulle piroclastiti da ricaduta e da flusso appartenenti all'Unità di Macomer (Distretto vulcanico di Bonorva) che affiorano in superficie nella porzione meridionale dell'intervento.

In corrispondenza del cavalcavia di attraversamento della S.S.131 in progetto, i sondaggi S4_DH, F20Adx e F20Bdx mostrano la presenza di piroclastiti ed ignimbriti a struttura eutaxitica, di consistenza da litoide a pseudolitoide, a granulometria sabbioso-limosa, di colore rossastro e grigiastro, almeno entro i primi 35 m di profondità. Dagli stessi sondaggi si osservano frequenti fenomeni di argillificazione delle piroclastiti, più o meno spinta, almeno fino ad una profondità di 20 m.

Risoluzione accessi C.N. e C.S. dal Km 151+850 al Km 154+950 (S17)

Indagini di riferimento: sondaggio F15dx e pozzetti PF19dx e PF19sx (Soiltecnica s.r.l. – 1997); sondaggio S5 e pozzetto Pz32bis (Sonedile s.r.l. – 2015).

Tra lo svincolo di Campeda, al km 152+000, e lo svincolo di Badde Selighes, al km 155+000, è prevista la realizzazione di una complanare di circa 4000 m in nuova sede in affiancamento alla S.S. 131 e un ponte di luce 27 m per il superamento del Riu Temu.

L'intervento si colloca nell'area pianeggiante dell'Altopiano di Campeda, in presenza dei terreni basaltici e andesitici litoidi vacuolari appartenenti alla Subunità di Campeda (Basalti della Campeda-Planargia). Al tetto i depositi si presentano fratturati e alterati per uno spessore di circa 2 m.

In superficie, inoltre, i basalti sono ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di alterazione del substrato sottostante e dai depositi alluvionali ghiaiosi e sabbiosi grossolani del corso d'acqua, per uno spessore massimo di circa 3 m in corrispondenza dell'asse vallivo.

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.

INTERVENTO			Assi	Sezioni	scotico	bonifica + geotessile TNT	anticapillare + doppio geotessile TNT	intervento tipo	note
					cm	cm	cm		
Nuovi Svincoli	V01	Nuovo svincolo di Paulilatino al km 120+000	Tutte le rampe e viabilità accessoria		20	30		A	escluso pavimentato ed ammorsamento
			Viabilità sud		20	40		A	
	V02	Nuovo svincolo di Mulargia-Macomer al km 148+500	Interpodereale NE - NO - C - C bidirez. - D		20	50		A	
			Rampa A bidirez.		20	80		A	
			SP 62 - SS 129 bis		20	50		A	

INTERVENTO			Assi	Sezioni	scotico	bonifica + geotessile TNT	anticapillare + doppio geotessile TNT	intervento tipo	note
					cm	cm	cm		
Adeguamento svincoli	V04	Adeguamento svincolo di Paulilatino al km 119+000	Rampa A		20	60		A	
			Rampa D - strada di accesso privato - Corsie B e C		20	40		A	
	V09	Adeguamento svincolo Macomer Sud al km 142+500	Tutte le rampe - rotatoria		20	-		-	
	V10	Area archeologica "Santa Barbara" al km 144+500	Rampa A - Rampa B - Asse Est - Asse Ovest - Pedonale ESE - Area Park Est		20	30		A	escluso pavimentato ed ammorsamento
	V11	Svincolo di Campeda al km 152+000	Rotatoria Campeda		20	20		A	
			Rampa D Rampa Uscita SS131		20	30		A	

Progetto Esecutivo

INTERVENTO	Assi	Sezioni	scotico	bonifica + geotessile TNT	anticapillare + doppio geotessile TNT	intervento tipo	note
			cm	cm	cm		
S01	C.N. al km 111+160		20	30	30	B	
S02	C.N. al km 115+205	Sez. 1-spalla A Spalla B - Sez. 8	20	50		A	
S04	C.S. dal km 123+500 al km 125+260	p.k. 0+000.00 - 0+775.00	20	40		A	
		p.k. 0+775.00 - 1+450.00	20	60	30	B	falda superficiale
		p.k. 1+450.00 - 2+277.41	20	20		A	
S05	C.N. e C.S. dal km 131+500 al km 133+500		20	70		A	
S06	C.N. dal km 135+690 al km 137+040		20	100		A	
S07	C.N. al km 138+970		20	100		A	
S08	C.S. al km 138+950		20	40		A	
S09	C.S. al km 139+930		20	40		A	
S10	C.S. al km 140+490		20	20		A	
S11	C.S. al km 141+235		20	40		A	
S12	C.N. dal km 143+215 al km 143+900		20	60		A	
S13	C.N. e C.S. dal km 144+760 al km 145+950		20	50		A	
S14	C.S. al km 146+780		20	30		A	
S15	C.N. dal km 147+850		20	40		A	
S16	C.N. dal km 149+413 al km 151+210		20	40	30	B	
S17	C.N. e C.S. dal km 151+850 al km 154+950	Tratto sud sezz. 1-58 di C.N. sezz. 45-107 di C.S.	20	20		A	
		Tratto centrale sezz. 59-80 di C.N. sezz. 24-44 di C.S.	20	100	30	B	falda superficiale
		Tratto nord sezz. 81-155 di C.N. sezz. 1-23 di C.S.	20	20		A	
S18	C.S. al km 155+350		20	20		A	
S19	C.N. dal km 155+854 al km 157+370		20	60		A	

Risoluzione degli accessi

Progetto Esecutivo

INTERVENTO			Assi	Sezioni	scotico	bonifica + geotessile TNT	anticapillare + doppio geotessile TNT	intervento tipo	note
					cm	cm	cm		
S20	al km 122+000	Viabilità Locale A	sezz. 1÷74	20	30		A		
			sezz. 75 ÷ 105	20	100	30	B		
			sezz. 106÷141	20	80		A		
		Viabilità Locale B	sezz. 1÷66b	20	80	30	B		
			sezz. 67÷79	20	40		A		
		Asse principale SS131	SS131_Nord-20÷SS131_Nord-52 SS131_Sud-11÷SS131_Sud-43	20	100	30	B	escluso pavimentato, ammorsamento rilevati e fondazione muri.	
			SS131_Nord-53 ÷SS131_Nord-62 SS131_Sud-3 ÷SS131_Sud-10	20	80		A		
		S21	al km 127+000	Viabilità Locale A	sezz. 1÷41	20	60		A
sezz. 42÷63	20				100	30	B		
sezz. 64÷73	20				100		A		
Viabilità Locale B - Rampa A				20	60	30	B		
	Asse principale SS131			sezz. 1÷6	20	60		A	escluso pavimentato, ammorsamento rilevati e fondazione muri.
sezz. 7÷28	20			100	30	B			

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.