

S.S.291 "Della Nurra"

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

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **CA29**

PROGETTAZIONE: ATI: VIA - SERING - VDP - BRENG

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

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

RESPONSABILE D'AREA

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

(Ord. Ing. Prov. Roma 26031)

Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza*

(Ord. Ing. Prov. Roma 27296)

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

(Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura*

(Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

GEOLOGO:

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

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

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

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

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

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Salvatore Campione.



MANDATARIA:



MANDANTE:



MANDANTE:



MANDANTE:



GEOLOGIA E GEOTECNICA

GEOLOGIA

Studio di compatibilità geologica e geotecnica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00GE00GEORE08_A			
DPCA00029	E 21	CODICE ELAB.	T00GE00GEORE08	A	-
D					
C					
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	MAGGIO 2021	V. TURANO	V. CANZONERI	G. PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	SCHEMA GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE.....	4
3	COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA DELL'OPERA IN PROGETTO E VERIFICA DELLE INDICAZIONI DEL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA REGIONE SARDEGNA.....	6
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	18
4.1	Inquadramento geotecnico d'insieme	18
4.2	Classificazione geotecnica.....	18
4.3	Riepilogo caratteristiche geotecniche	19
4.1	Analisi di stabilità delle aree a rischio frana	20
5	CONCLUSIONI.....	21

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

ELENCO DELLE TABELLE

<i>Tabella 4.1: corrispondenza unità geologica - geotecnica</i>	19
<i>Tabella 4.2: Riepigolo caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione di interesse.....</i>	19
<i>Tabella 4.3: Riepigolo analisi di stabilità delle aree a rischio frana</i>	20

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

1 PREMESSA

Il presente Studio di Compatibilità Geologica e Geotecnica è stato redatto relativamente al Progetto Definitivo dei “Lavori di costruzione del 1° lotto da Alghero ad Olmedo - da località bivio cantoniera di Rudas e del 4° lotto - collegamento con l'aeroporto di Fertilia”, in Provincia di Sassari.

La redazione del presente Studio di Compatibilità è prescritta in presenza di interventi che interferiscano con aree perimetrate nell'ambito del P.A.I., in quanto interessate da pericolosità molto elevata (Hg4), elevata (Hg3) e media (Hg2) da frana (art. 25 comma 1).

Il presente studio è stato, pertanto, redatto tenendo conto dell'“Allegato F: Criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità geologica e geotecnica di cui all'articolo 25 delle norme di attuazione del PAI”.

Nella presente nota vengono, dunque, descritti i contesti geologico-stratigrafico geomorfologico ed idrogeologico di riferimento e successivamente analizzate le interazioni, con le condizioni di pericolosità geomorfologica, degli interventi in progetto.

Gli elementi necessari a tale scopo sono stati ricavati a seguito dell'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto, dall'analisi diretta delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree all'interno delle quali ricade l'intervento, nonché dalle risultanze delle indagini geognostiche realizzate ai fini progettuali.

La presente nota fa specifico riferimento ai seguenti elaborati di progetto:

- Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica;
- Documentazione indagini geognostiche preesistenti;
- Certificati prove di laboratorio preesistenti 1, 2, 3;
- Documentazione indagini geofisiche preesistenti;
- Planimetria ubicazione indagini geognostiche, in scala 1:2.000 – 9 tavole;
- Carta geologica generale, in scala 1:5.000 – 3 tavole;
- Carta geologica di dettaglio, in scala 1:2.000 - 9 tavole;
- Carta geomorfologica, in scala 1:5.000 – 3 tavole;
- Carta idrogeologica, in scala 1:5.000 – 3 tavole;
- Profilo geologico Lotto 4 Asse C, in scala 1:1.000 – 3 tavole;
- Profilo geologico Lotto 1 Asse B, in scala 1:1.000 – 4 tavole;
- Profilo geologico Lotto 1 Rampa Alghero, in scala 1:1.000;
- Profilo geologico Lotto 1 Rampa bidirezionale e rampa sud, in scala 1:1.000;
- Profilo geologico Lotto 1 Asse D, in scala 1:1.000 – 3 tavole;
- Sezioni geologiche trasversali, in scala 1:500 – 4 tavole.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

2 SCHEMA GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE

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

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

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

E' inoltre chiaramente percepibile, dall'esame fotointerpretativo e della cartografia, il forte condizionamento che la particolare evoluzione tettonica del territorio interessato dal progetto ha determinato nei confronti della sua evoluzione geomorfologica, con particolare riferimento all'evoluzione del reticolo idrografico. In tutta l'area vasta, riferibile alla piana di Alghero, compresa fra i rilievi carbonatici prospicienti la costa occidentale e le colline vulcanico-ignimbriche presenti ad est di Olmedo ed Alghero, sono infatti facilmente individuabili, all'esame fotointerpretativo, una serie

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

di elementi geomorfologici (meandri o tratti di alvei fossili o abbandonati, aree con pattern angolato del reticolo, catture fluviali) che testimoniano come l'evoluzione tettonica recente dell'area, accompagnata dalle oscillazioni del livello di base, abbia fortemente condizionato l'evoluzione geomorfologica recente di questo territorio.

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

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato in progetto si estende all'interno della piana di Alghero. Al suo interno, a causa del susseguirsi di differenti fasi tettoniche avvenute durante il mesozoico, si sono originati rilievi collinari impostati su rocce calcareo-dolomitiche, considerati come forme residuali d'erosione ("inselbergs") quale, ad esempio, il Monte Agnese, ad est di Alghero (91 m), il cui versante settentrionale è attraversato dal tracciato del presente progetto. I versanti di tali rilievi si raccordano gradualmente con la superficie pianeggiante circostante, a causa dell'interposizione di coltri detritiche o eluvio-colluviali, seppur risulta evidente, sia dall'analisi fotointerpretativa che dal rilievo geomorfologico di campo, nell'allineamento delle aree collinari e nella conformazione del pattern della rete idrografica, l'esistenza, appunto, di un forte controllo tettonico, esercitato da più sistemi di faglie, responsabili della disarticolazione del substrato mesozoico e del suo ribassamento al di sotto delle aree pianeggianti.

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

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

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

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

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

3 COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA DELL'OPERA IN PROGETTO E VERIFICA DELLE INDICAZIONI DEL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA REGIONE SARDEGNA

Il presente studio ha analizzato i contenuti del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Sardegna, limitatamente alle aree interessate da Pericolosità per Frana.

Tale documento, redatto ai sensi della Legge n. 183/1989 e del D.L. n. 180/1998, è stato approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 del 10/07/2006. Lo studio relativo alla parte geomorfologica è stato adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n° 2 del 25.02.2010.

Nella presente relazione è stata utilizzata principalmente la banca dati cartografica, consultabile 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 dalla documentazione facente parte del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) e del Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane).

In generale, l'impostazione del progetto stradale, redatto dalla Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori dell'ANAS, partendo dagli studi geologici, geomorfologici e geotecnici effettuati, è stata sviluppata in pieno accordo con i criteri generali esposti all'art. 21 "Indirizzi per la progettazione, realizzazione e manutenzione delle infrastrutture" delle Norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico della Regione Sardegna, attinenti gli aspetti relativi alla stabilità geomorfologica.

In particolare, con riferimento alle condizioni di stabilità geomorfologica e geotecnica, gli approfondimenti condotti e la scala operativa adottata hanno consentito di inquadrare e valutare in modo approfondito e puntuale le condizioni di stabilità. Inoltre, le azioni progettuali previste tendono a ridurre al minimo sia il rischio d'instabilità gravitativa che le modificazioni della morfologia attuale dei pendii con cui il progetto interferisce prevedendo, ove necessario, l'adozione di adeguate misure progettuali volte a garantire la stabilità e la sicurezza dell'infrastruttura, nonché di mitigazione del rischio, in relazione all'ambito territoriale interessato.

All'interno del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna vengono identificate aree di pericolosità da frana suddivise secondo i gradi di pericolosità i cui caratteri sono di seguito riassunti:

- Aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg4): in cui sono consentiti interventi strutturali e non per il controllo dei dissesti (opere di bonifica, manutenzione e

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

consolidamento dei versanti, opere di riqualificazione ambientale...); interventi di demolizione senza ricostruzione nello stesso sito, riparazione e manutenzione di edifici esistenti o di infrastrutture a rete o puntuali, in generale, interventi che non comportino significative modifiche morfologico-strutturali e “tensionali” del territorio.

- Aree di pericolosità elevata da frana (Hg3): in cui sono consentite demolizioni e ricostruzioni nello stesso sito, ampliamenti finalizzati ad adeguamenti richiesti da normativa, realizzazione di manufatti non qualificabili come volumi edilizi, in aggiunta a quanto stabilito per l'area a pericolosità molto elevata.
- Aree di pericolosità media da frana (Hg2): in cui sono consentiti, tra gli altri, ampliamenti e nuove costruzioni in particolari aree vincolate da codesta norma.
- Aree di pericolosità moderata da frana (Hg1): i cui interventi in ambito edilizio e gli usi del territorio e delle risorse naturali sono disciplinati dagli strumenti urbanistici, dai regolamenti edilizi e dai piani di settore vigenti, fatta eccezione per l'utilizzo di tecniche e tipologie costruttive che riducano pericolosità e rischi.

L'analisi combinata delle interazioni fra il tracciato in progetto e le aree classificate a pericolosità geomorfologica, emerse a seguito dei recenti aggiornamenti dei contenuti del P.A.I., è stata sviluppata in modo analitico. Sono stati, pertanto, distinti, all'interno di ciascuna classe di pericolosità, degli “Ambiti di Interferenza”, intesi come tratti discreti di progetto in cui l'asse principale o le opere connesse (rampe, complanari, ecc) intersecano il relativo areale di pericolosità.

Dall'esame della cartografia del P.A.I. della Sardegna, limitatamente alle aree interessate da Pericolosità per Frana, è stato verificato che, per i due lotti in progetto, sussistono, con diverse modalità, le condizioni di interferenza del tracciato con alcune aree classificate con grado di pericolosità. In particolare, per quanto riguarda il Lotto 1, viene interferita una sola area a pericolosità Hg2 (pericolosità media), la quale intercetta, per un brevissimo tratto, l'asse principale della S.S.291, in corrispondenza del viadotto Rio Calvia 1. Tale area si estende, poi, diffusamente lungo il pendio del Monte Agnese, rilievo collinare adiacente al tracciato stradale in progetto.

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

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

Per il Lotto 1 è, pertanto, presente un unico Ambito d'Interferenza Hg2, denominato **A.I.1**, mentre nel Lotto 4 gli ambiti di interferenza intercettati sono in numero di tre, anch'essi Hg2, denominati rispettivamente **A.I.2, A.I.3, A.I.4**.

Secondo la definizione assunta nel Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna, in Hg2 sono comprese quelle aree caratterizzate dalla presenza di frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici e le zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti, ma prive attualmente di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi.

Di seguito si riportano le schede descrittive degli A.I. intercettati, contenenti gli elementi caratteristici.

A.I.1 S.S.291 Lotto 1 Asse B – Km. 2+940–2+980 (Viadotto Calvia 1)

<p>Inquadramento</p>	
<p>Foto</p>	

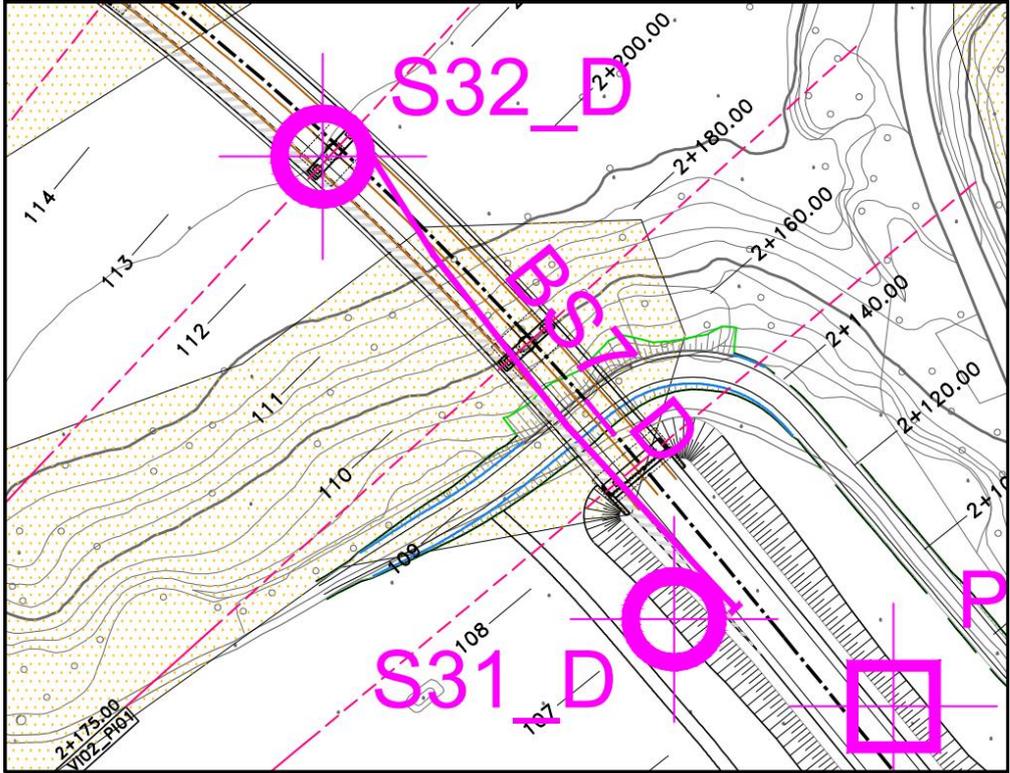
NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

Pericolosità interferita	Estremità settentrionale dell'area a pericolosità media Hg2, per una porzione limitata, in corrispondenza della pila 2 del Viadotto Calvia 1.
Litologia affiorante	Formazioni mesozoiche del substrato (Formazione di Punta Cristallo (IST) e di Grascioleddu (GXL)), rappresentate da calcari, calcari dolomitici e calcari marnosi, fortemente fratturati e argillificati, fino a formare orizzonti bauxitici. In superficie sono ricoperte da una modesta coltre di depositi alluvionali e eluvio-colluviali sabbioso-ghiaiosi.
Indagini di riferimento	Indagine sismica a rifrazione L2 (Progeo s.r.l. – anno 2015). Rilievo geologico e geomorfologico di superficie. Sondaggi S8_D_Dh; S20.
Osservazioni	<p>Si tratta della posizione più meridionale del settore ed anche quella più vicina all'abitato di Alghero.</p> <p>Il sito investigato risulta delimitato a Nord dalla ferrovia, ad Est dal Rio Calvia e a Ovest e Sud da un rilievo collinare.</p> <p>Durante il raggiungimento del sito, e sullo stesso, non sono stati osservati affioramenti; tuttavia la superficie del rilievo risulta omogeneamente coperta da suolo e elementi calcarei dai bordi smussati e arrotondati. Sul sito in particolare si osservano piccoli e limitati accumuli dei suddetti elementi calcarei. La roccia, di fatto, è un calcare massivo, grigio, molto competente, verosimilmente appartenente alla Formazione di Punta Cristallo; Indagando anche la morfologia del rilievo se ne deduce che la roccia originaria sia frantumata e che sul versante, non particolarmente acclive, si siano creati alcuni gradini le cui pedate sono state riempite da suolo e detrito. Tali gradini potrebbero rappresentare la parte esposta degli originali strati della roccia sedimentaria; la conferma di queste osservazioni e la verifica che si tratti di roccia in posto potrà essere disposta attraverso un'indagine geognostica con l'esecuzione di alcuni pozzetti di ispezione.</p> <p>Il rilevamento geomorfologico, le indagini eseguite nell'area e le caratteristiche litologiche delle formazioni interessate non evidenziano condizioni di potenziale dissesto tali da costituire un rischio per l'infrastruttura il progetto.</p>
Interventi previsti	La struttura è sottofondata con micropali Ø 300 di lunghezza compresa tra 11 e 13 m, che trasferiscono in profondità, ai sottostanti terreni litoidi, il sovraccarico trasmesso.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

A.I. 2 S.S.291 Lotto 4 Asse C – Km. 2+140÷2+200 (Spalla 1 e Pila 1 del Viadotto Sassu e

Viabilità locale VL6)

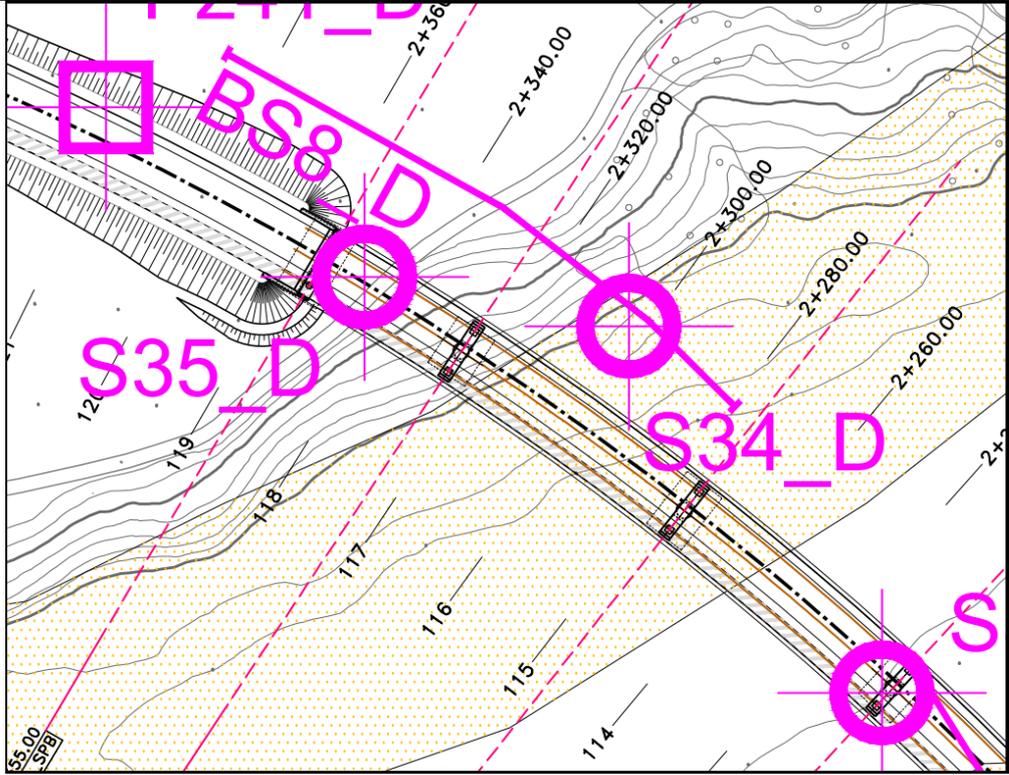
Inquadramento	
Foto	
Pericolosità interferita	<p>Pericolosità media Hg2 lungo una limitata area che comprende parte della Spalla 1 e la Pila 1 del Viadotto Sassu, e una parte della viabilità locale VL6.</p>

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

Litologia affiorante	<p>Formazione di Brunestica (BST), rappresentata da marne e calcareniti marnose, fortemente fratturate in superficie, fino a formare, nel tetto, una coltre sabbiosa proveniente dall'alterazione spinta del substrato. In corrispondenza della spalla 1 il substrato si trova a circa 1 m di profondità ed è ricoperto in superficie da un sottile coltre di depositi sabbiosi appartenenti al Sintema di Portovesme. In corrispondenza della Pila 1 il substrato è ricoperto in superficie da depositi eluvio-colluviali per uno spessore di 4 m circa.</p>
Indagini riferimento	<p>di Sondaggi geognostici S31 ed S32 (Dr. Angius – anni 2016/17) e stesa sismica a rifrazione BS7 (Geoinvest s.r.l. - anni 2016/17).</p>
Osservazioni	<p>Questo sito presenta notevoli difficoltà di percorso per raggiungere le postazioni di osservazione utili all'analisi dettagliata, causa la presenza di un corso d'acqua e di alcuni terreni di proprietà non accessibili.</p> <p>Tuttavia la presenza di una sezione stradale e di una parte di versante del "Rio Sassu" consentono di apprendere sufficienti informazioni sulle litologie presenti nell'area indagata e sulle loro caratteristiche fisiche.</p> <p>L'affioramento a S del rio Sassu, lungo il taglio stradale, mostra litologie che risultano alterate, ma il versante è evidentemente stato modellato durante l'apertura della tracciato stradale, e i fenomeni di caduta di blocchi sono inferiori. Non è stato possibile avvicinarsi ulteriormente a questo affioramento a causa di una recinzione metallica. Da sottolineare che riguardo il taglio stradale, gli strati sono in condizione di reggipoggio.</p> <p>Dalle osservazioni di campo si nota che questi affioramenti siano in stato di disfacimento, ma nel complesso non si osservano evidenti condizioni di instabilità. Il tipo di roccia presente tuttavia potrebbe evolvere verso condizioni critiche se esposta ad un elevato assorbimento di acqua, in quanto per le sue caratteristiche fisiche tale evento potrebbe portare alla plasticizzazione di porzioni di terreno e di conseguenza al suo scivolamento soprattutto nelle sezioni che dovessero presentarsi a franapoggio.</p>
Interventi previsti	<p>Le strutture sono sottofondate con micropali Ø 300 di lunghezza compresa tra 8 e 11 m, che trasferiscono in profondità, ai sottostanti terreni litoidi, il sovraccarico trasmesso.</p>

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

A.I. 3 S.S.291 Lotto 4 Asse C – Km. 2+260÷2+320 (Pila 3 del Viadotto Sassu)

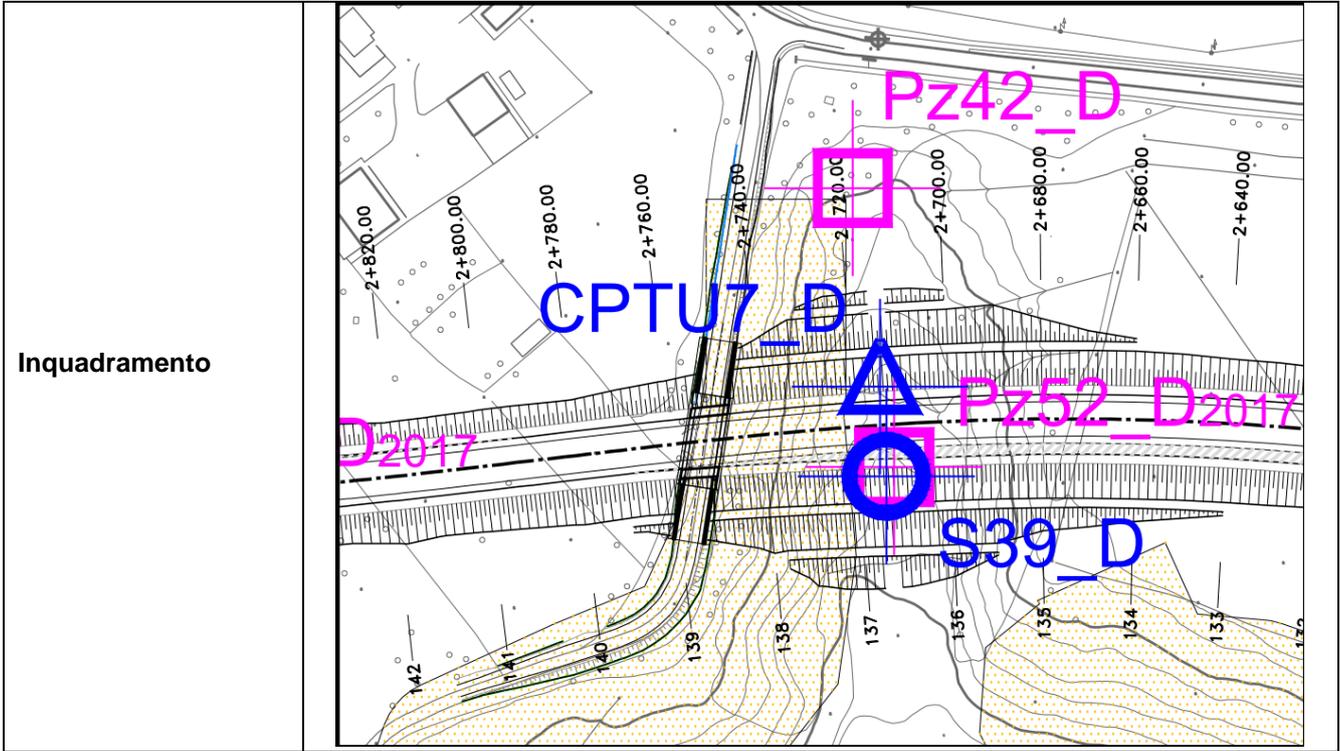
Inquadramento	
Foto	
Pericolosità interferita	Pericolosità media Hg2 lungo una limitata area che comprende la Pila 3 del Viadotto Sassu.
Litologia affiorante	Formazione di Brunestica (BST) rappresentata da marne e calcareniti marnose, mediamente fratturate, ricoperte in superficie da una coltre alluvionale con spessore massimo di 4 m.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

Indagini riferimento	di	Sondaggi geognostici S34 ed S35 (Dr. Angius – anni 2016/17) e stesa sismica a rifrazione BS8 (Geoinvest s.r.l. - anni 2016/17).
Osservazioni		<p>Questo sito presenta notevoli difficoltà di percorso per raggiungere le postazioni di osservazione utili all'analisi dettagliata, causa la presenza di un corso d'acqua e di alcuni terreni di proprietà non accessibili.</p> <p>Tuttavia la presenza di una sezione stradale e di una parte di versante del "Rio Sassu" consentono di apprendere sufficienti informazioni sulle litologie presenti nell'area indagata e sulle loro caratteristiche fisiche.</p> <p>Si tratta di una costante alternanza di calcari marnoso-arenacei e marne. La superficie degli affioramenti risulta alterata, in particolar modo la frazione marnosa, meno competente dei calcari che invece si stagliano ridefinendo la sagoma del versante. Con sguardo ravvicinato si osserva che le marne si sfaldano e si scheggiano, fino a sgretolarsi sotto una minima pressione. I calcari, alterati anch'essi, tendono a frammentarsi in blocchi. Alla base degli affioramenti sono presenti modesti depositi di accumulo di blocchi e materiale sciolto. Si evidenzia che l'affioramento a Nord del rio Sassu, si mostra in parete sub-verticale senza superfici di cui poterne rilevare la giacitura, di altezza circa 6-7 metri, con maggior tendenza allo sgretolamento.</p> <p>Dalle osservazioni di campo si nota che questi affioramenti siano in stato di disfacimento, ma nel complesso non si osservano evidenti condizioni di instabilità. Il tipo di roccia presente tuttavia potrebbe evolvere verso condizioni critiche se esposta ad un elevato assorbimento di acqua, in quanto per le sue caratteristiche fisiche tale evento potrebbe portare alla plasticizzazione di porzioni di terreno e di conseguenza al suo scivolamento soprattutto nelle sezioni che dovessero presentarsi a franapoggio.</p>
Interventi previsti		Le strutture sono sottofondate con micropali Ø 300 di lunghezza compresa tra 8 e 11 m, che trasferiscono in profondità, ai sottostanti terreni litoidi, il sovraccarico trasmesso.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

A.I. 4 S.S.291 Lotto 4 Asse C – Km. 2+720–2+760 (Viabilità locale VL1)



NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

Foto	  
Pericolosità interferita	Pericolosità media Hg2 lungo un'area limitata in corrispondenza di un tratto della Viabilità locale VL1.
Litologia affiorante	Substrato mesozoico rappresentato dalle formazioni di Brunestica (BNT) e di Capo Caccia (POC), in contatto tettonico tra loro, costituite da calcari, calcareniti e marne calcaree, da poco a mediamente fratturati. In superficie, il substrato è ricoperto da una coltre alluvionale ed eluvio-colluviale con spessore massimo di 4 m.
Indagini di riferimento	Pozzetti geognostici Pz42 e Pz52 (Dr. Angius – anni 2016/17); sondaggio geognostico S39 e Prova penetrometrica CPTU7 (Dr. Angius – anno 2017).
Osservazioni	<p>Come si evince anche dalle immagini, ci si trova su un versante del sottostante "Rio Sassu", alla cui base si osserva il terrazzamento fluviale. La pendenza dei versanti, in questa zona, è dolce ed uniforme degradante verso Sud. Le litologie osservate nell'area sono arenarie nella parte sommitale, e calcari alla base del versante, rispettando quella che è la successione stratigrafica; il passaggio dall'una all'altra litologia sembra essere posto a metà versante.</p> <p>Nel dettaglio, la parte alta del versante, nei pressi della mulattiera, presenta gli affioramenti di arenaria disposti a franapoggio, le cui giaciture rilevate sono N330°/10°; N300°/15°; N289°/20°. La roccia si presenta competente, alterata in superficie, si frantuma in scaglie e si sgretola al martello. Si evidenzia come, in</p>

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

	<p>questi affioramenti e sul versante, siano evidenti gli stadi di alterazione di questa roccia: dapprima si disarticola e si separa in blocchi a causa dell'espansione e del ritiro dovuto alle variazioni di temperatura; quindi l'erosione agisce maggiormente sulle discontinuità e sulle fratture; l'alterazione procede frammentando ulteriormente la roccia in elementi centimetrici che per azione della gravità rotolano giù per il versante, sparpagliandosi sulla superficie; l'ultimo stadio è rappresentato dal ritorno allo stato di sabbie sciolte che si miscelano con il suolo.</p> <p>Come deducibile, il versante si presenta ricoperto uniformemente da un suolo molto povero e da frammenti della roccia arenaria sparsi in maniera caotica, solo nella porzione inferiore anche di frammenti calcarei. Con l'ausilio di un piccone si è proceduto alla rimozione della parte superficiale del suolo allo scopo di intercettare la roccia in posto; questa è stata individuata a pochi centimetri dalla superficie (circa 5).</p> <p>Procedendo verso la parte bassa del versante, come già esposto è stata individuata la presenza dei calcari e, come per le precedenti litologie, è stato rimosso il suolo fino al rinvenimento della roccia. Anche in questo caso, questa la si rinviene sotto pochi centimetri di suolo. Si presenta fratturata ma non propriamente alterata; la parte superficiale si stacca naturalmente dalla roccia madre in elementi spigolosi e non smussati.</p> <p>Nonostante sia stata rinvenuta la roccia e confermata la presenza di due litologie differenti, non è stato possibile individuare il passaggio netto dall'una all'altra.</p> <p>Dalle osservazioni di campo si assume che la roccia individuata sia in posto, e che in questo particolare sito non sia in atto alcun fenomeno di instabilità del versante.</p>
Interventi previsti	<p>Tombino scatolare idraulico 2*3 e rilevato adiacente. Il reinterro, effettuato lateralmente al tombino, comporta la totale obliterazione dei versanti esistenti, compreso quello classificato in Hg2.</p>

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

4.1 Inquadramento geotecnico d'insieme

Per il lotto 1 le opere previste in progetto ricadono in un'area caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso calcareo (Formazione di Capo Caccia, Formazione di Grascioleddu e la Formazione di Punta Cristallo) poco profondo, talora sub-affiorante ad eccezione di alcuni tratti in cui il substrato appare ribassato a seguito di movimenti tettonici che hanno creato una struttura a gradini. Tale ammasso litoide risulta ricoperto da depositi olocenici e pleistocenici dell'area continentale. Il loro spessore varia a seconda della profondità del tetto del substrato. Per il lotto 4 invece le opere d'arte principali previste in progetto, ricadono in parte su un'area caratterizzata dalla presenza di un substrato Marnoso, appartenete alla formazione di Brunestica, e in parte su depositi torbosi pleistocenici, costituiti principalmente da argilla limosa con livelli torbosi. L'ammasso marnoso risulta inoltre ricoperto da depositi olocenici e pleistocenici dell'area continentale. Il loro spessore varia a seconda della profondità del tetto del substrato.

4.2 Classificazione geotecnica

Ai fini progettuali, ed in base all'esame delle risultanze delle indagini eseguite, sono stati distinti 8 terreni tipo in relazione alle caratteristiche geotecniche.

- Unità **Ug1**: Depositi di coltre eluvio-colluviale pleistocenici ed olocenici, epivolcaniti continentali, alterazioni dei substrati litoidi; da argille debolmente sabbiose a sabbie fini argillose;
- Unità **Ug2** e **Ug3**: Materiali da semilitoidi a litoidi (bauxiti), da moderatamente fratturati a fratturati;
- Unità **Ug4**: Materiali da semilitoidi a litoidi delle unità Ug2 e Ug3 in facies da fortemente fratturata ad estremamente fratturata;
- Unità **Ug5**: Materiali Piroclastici da sciolti a poco addensati;
- Unità **Ug6**: Torbe, argille bentonitiche ed argille organiche ad alta plasticità;
- Unità **Ug7**: Materiali di origine alluvionale recente; argille e sabbie ghiaiose;
- Unità **Ug8**: Argille sabbiose consistenti.

Nella tabella seguente è rappresentata la corrispondenza tra classificazione geotecnica dei terreni e unità geologiche.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

Unità geotecnica	Unità geologiche
Ug1	Depositi Olocenici Depositi Pleistocenici
Ug2	Formazione di Capo Caccia Formazione di Punta Cristallo
Ug3	Formazione di Grascioleddu
Ug4	Formazione di Capo Caccia fratturata Formazione di Punta Cristallo fratturata Formazione di Grascioleddu fratturata
Ug5	Piroclastiti di Monte Miale Ispina Piroclastiti di Monte San Pietro
Ug6	Depositi Torbosi Pleistocenici
Ug7	Depositi Alluvionali
Ug8	Depositi Pleistocenici - Argilla

Tabella 4.1: corrispondenza unità geologica - geotecnica

4.3 Riepilogo caratteristiche geotecniche

Unità	γ_n [kN/m ³]		E'_{op} [MPa]		E_{ed} [MPa]		φ [°]		c [kPa]		c_u [kPa]	
	min	med	min	med	min	med	min	med	min	med	min	med
UG1	17,0	18,0	10	15	-	-	30	32	-	-	-	-
UG5	16,0	18,0	38	40	-	-	30	35	-	-	-	-
UG6	16,0	17,0	-	-	7,0	8,5	-	-	30	40	40,0	100,0
UG7	17,0	18,0	4	15	-	-	30	32	-	-	-	-
UG8	18,5	20,1	-	-	-	12,8	-	-	-	90	40,5	127,1

Tabella 4.2: Riepilogo caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione di interesse

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Studio di compatibilità geologica e geotecnica	

4.1 Analisi di stabilità delle aree a rischio frana

Per la valutazione della stabilità delle aree a rischio frana si ricorre al software di calcolo SLOPE/W della Geo-Slope International Ltd e facendo ricorso al metodo Morgenstern – Price.

Il programma svolge l'analisi all'equilibrio limite esaminando, per varie superfici di scorrimento, il relativo coefficiente di sicurezza e individuando quella critica, cioè quella con il fattore di sicurezza minore.

All'interno del programma sono implementati diversi metodi per definire le superfici di scivolamento. Nel caso in esame, le analisi sono state eseguite attraverso la modalità chiamata "Grid and radius", in cui vengono fissati dall'operatore il raggio della superficie critica e l'area dove si può trovare il centro della stessa.

Si rimanda alla relazione geotecnica generale T00GE00GETRE01A, paragrafo 9.4.5, per l'esplicitazione di tutte le considerazioni effettuate durante lo sviluppo dei calcoli di stabilità.

La Tabella 4.3 riporta una sintesi dei coefficienti di sicurezza ottenuti, in condizioni statiche e sismiche, per la sezione di calcolo considerata.

Area Rischio Frana	F.S. condizione statica	F.S. condizione dinamica
A.I.1	2,165	1,888
A.I.2	2,031	1,838
A.I.3	1,563	1,393
A.I.4	2,412	2,179

Tabella 4.3: Riepilogano analisi di stabilità delle aree a rischio frana

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Studio di compatibilità geologica e geotecnica</i>	

5 CONCLUSIONI

Gli interventi in progetto sono stati sviluppati tenendo conto delle problematiche di carattere geomorfologico; le soluzioni progettuali sono state adottate con l'obiettivo di rendere trascurabile la perturbazione dell'equilibrio ambientale esistente nelle aree interessate.

In particolare, con riferimento alle condizioni di stabilità geomorfologica, sono state analizzate in maniera puntuale, alla luce dei dati direttamente acquisiti (di ordine geognostico e di rilievo diretto sul terreno) tutti gli ambiti di interferenza con il tracciato in progetto, così come definiti a seguito della variante al PAI recentemente adottata.

Da tale analisi è emersa l'inesistenza di prevedibili condizioni di dissesto conseguenti alla costruzione delle opere.