

S.S.127 Settentrionale Sarda
Completamento circonvallazione di Tempio

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA350

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

PROGETTISTA RESPONSABILE E DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)

RESPONSABILI 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. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Edoardo Antonio Quattrone

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:



GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA
Relazione di Compatibilità geologica e geotecnica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

DPCA0350 D 22

NOME FILE

CA350_T00GE00GETRE02_B

CODICE
ELAB.

T00GE00GETRE02

REVISIONE

SCALA:

B

—

D

C

B

A

REV.

EMISSIONE a seguito istruttoria PAUR

NOV. 2025

F.UCCELLETTI-A.CONTE

E. CURCURUTO

M. CAPASSO

EMISSIONE a seguito osservazioni C.d.S. decisoria del 25/09/2024

MARZO 2025

F.UCCELLETTI-A.CONTE

E. CURCURUTO

M. CAPASSO

DESCRIZIONE

DATA


REDATTO

VERIFICATO


APPROVATO

INDICE

| | | |
|--------------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. | -Premessa | 3 |
| 2. | Inquadramento Geologico-Strutturale | 4 |
| 3. | Schema Geomorfologico | 7 |
| 4. | Principali elementi geomorfologici | 9 |
| 4.1 | Forme dovute al deflusso delle acque superficiali | 9 |
| 4.2 | Forme strutturali | 10 |
| 4.3 | Forme antropiche | 11 |
| 4.4 | Superfici di spianamento | 11 |
| 5. | Principali elementi idrogeologici | 12 |
| 5.1 | Unità idrogeologiche | 12 |
| 5.2 | Schema della circolazione idrica sotterranea | 13 |
| 6. | Indagini geognostiche | 14 |
| 6.1 | Installazione piezometri a tubo aperto | 16 |
| 6.2 | Prove di permeabilità Lefranc | 17 |
| 7. | Caratterizzazione geotecnica | 18 |
| 8. | Caratterizzazione dei terreni e delle rocce | 21 |
| 8.1 | Caratterizzazione dei terreni | 21 |
| 8.2 | Caratterizzazione delle rocce | 22 |
| 8.3 | Caratteristiche fisico – meccaniche dei terreni sciolti | 24 |
| 8.3.1 | Terreno di riporto/depositi antropici (TR) | 24 |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | Studio di compatibilità geomorfologica | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.3.2 Alluvioni a grana grossa (ALG) | 24 |
| 8.3.3 Sabbia con ghiaia limosa (S) | 25 |
| 8.4 Caratteristiche fisico – meccanica delle rocce lapidee | 31 |
| 8.4.1 Monzogranito rosa (G) | 31 |
| 8.4.2 Basalto (B) | 35 |
| 8.5 Caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dei terreni e delle rocce | 37 |
| 1. Rilievi geomorfologici delle aree oggetto di studio | 39 |
| Compatibilità geomorfologica dell'opera in progetto e verifica delle indicazioni del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna | 60 |
| CONCLUSIONI | 74 |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

1. -Premessa

Il presente studio di compatibilità geomorfologica, che si articola anche in un'analisi geologica e geotecnica delle aree oggetto di studio, è stato redatto relativamente al Progetto Definitivo dell'intervento S.S. 127 "Settentrionale Sarda". Completamento Circonvallazione di Tempio", che si sviluppa a nord dell'abitato di Tempio Pausania, in Sardegna nord-orientale.

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).

Lo studio è stato redatto a seguito e tenendo conto della Deliberazione n. 14 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino regionale, che ha adottato preliminarmente la variante al PAI, concentrata sulla parte frana, per i sub bacini specifici (pubblicata il 28 ottobre 2024), deliberazione pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Sardegna (BURAS) n. 60 che l'ha resa ufficiale


Esso è stato 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, tra gli interventi in progetto con le aree di pericolosità geomorfologica, interferite.

Gli elementi necessari a tale scopo sono stati, 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 e dall'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto

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

- Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica;
- Documentazione indagini geognostiche;
- Certificati prove di laboratorio;
- Documentazione indagini geofisiche;
- Planimetria ubicazione indagini geognostiche, in scala 1:2.000 –
- Carta geologica di dettaglio, in scala 1:2.000 -

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

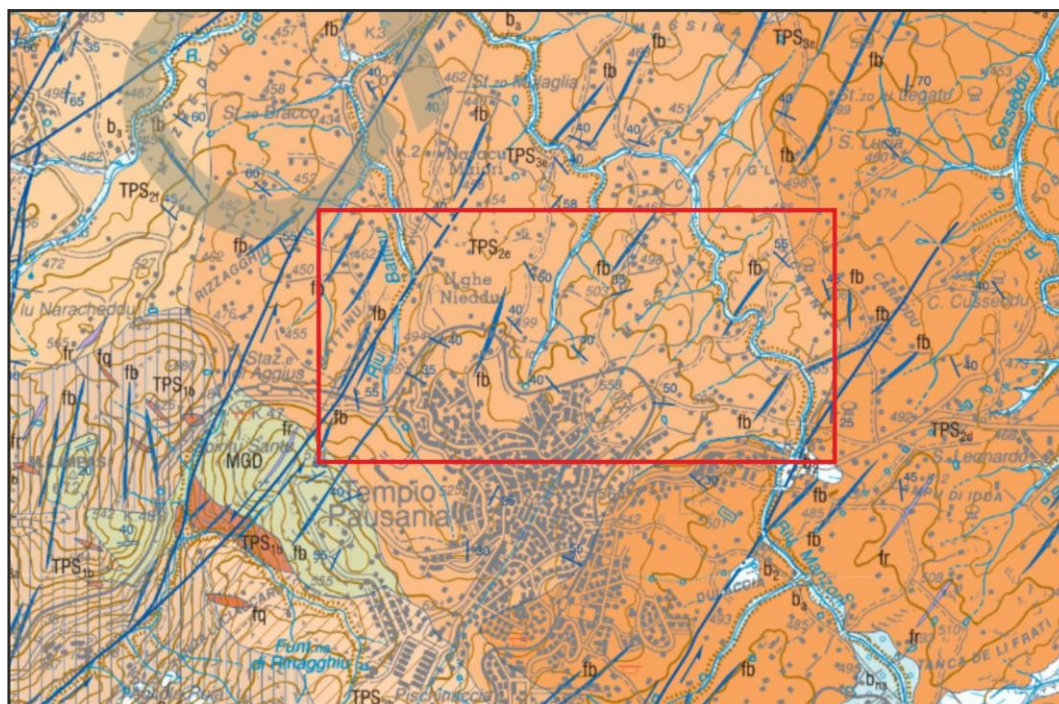
- Carta geomorfologica, in scala 1:2.000
- Carta idrogeologica, in scala 1:2.000 –
- Profilo geologico in scala 1:1.000 –
- Sezioni geologiche trasversali, in scala 1:500 – 2 tavole:

2. Inquadramento Geologico-Strutturale

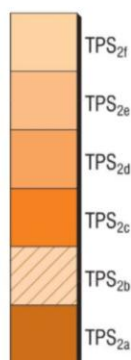
L'area interessata dal progetto, ubicata immediatamente a Nord dell'abitato di Tempio Pausania, si inserisce in uno dei contesti geologici più complessi e articolati del territorio sardo, dove la lunga evoluzione paleozoica e cenozoica ha prodotto un assetto litologico e strutturale estremamente variegato.

La storia geologica dell'isola, caratterizzata da successioni sedimentarie caledoniane ed erciniche successivamente coinvolte nell'Orogenesi Ercinica, intrusioni granitiche tardo-paleozoiche e fasi deposizionali mesozoico-cenozoiche, ha determinato la presenza di tre grandi complessi: basamento metamorfico paleozoico, complesso intrusivo ercinico e coperture sedimentarie e vulcaniche più recenti.

Nel settore settentrionale, dove ricade l'intervento, affiorano principalmente migmatiti e metamorfiti erciniche, localmente in contatto netto con il batolite granitico sardo-corso, qui rappresentato in larga misura dai monzograniti della sub-unità intrusiva di Catala (TPS2). I monzograniti che contraddistinguono la sub-unità di Catala (Permiano) appartengono al gruppo delle plutoniti orientate e sono caratterizzati dalla presenza di grossi fenocristalli di K-feldspato.



Sub-unità intrusiva di Catala



Monzograniti inequigranulari. Facies Punta Paoleddu (TPS₂₁)

Monzograniti a grana grossa, inequigranulari per fenocristalli euedrali di K-feldspato con taglia da 1 a 4 cm, plagioclasio, quarzo, e biotite in percentuale del 10%. Tessitura orientata per flusso magmatico.

Monzograniti inequigranulari. Facies Punta Lovia Avra (TPS_{2e})

Monzograniti a grana grossa, inequigranulari per fenocristalli euedrali di K-feldspato di taglia da 2 a 6 cm, plagioclasio, quarzo, e biotite intorno al 13%. Tessitura orientata per flusso magmatico.

Monzograniti fortemente inequigranulari. Facies Monte di La Jescia (TPS_{2d})

Monzograniti a grana molto grossa, fortemente inequigranulari per fenocristalli di K-feldspato euedrali di taglia fino a 12 cm, plagioclasio, quarzo, e biotite al 15%. Abbondanti inclusi microgranulari basici; tessitura marcatamente orientata per flusso magmatico.

Granodioriti microporfiriche. Facies Giaccone (TPS_{2c})

Granodioriti a grana fine, da equigranulari a inequigranulari, tessitura porfirica per fenocristalli anedrali millimetrici di plagioclasio, K-feldspato, quarzo, e biotite al 15%. Sporadica presenza di inclusi microgranulari scuri.

Tonaliti. Facies Rinaggiu (TPS_{2b})


Tonaliti inequigranulari a grana media, porfiriche per fenocristalli di plagioclasio, K-feldspato euedrale di dimensioni centimetriche, quarzo, e biotite intorno al 20%. Tessitura orientata per flusso magmatico.

Brecce magmatiche quarzodioritiche. Facies Riu Pedralza (TPS_{2a})

Ammasso costituito da frammenti di rocce di forma lenticolare o angolari, a composizione quarzodioritica a grana fine, inglobati in matrice granodioritica grigio chiara. Ammasso incluso nei monzograniti della facies Monte di La Jescia.

PERMIANO

Stralcio della geologia dell'area interessata dal progetto stradale tratta dalla cartografia geologica ISPRA-CARG

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

Nella fascia di territorio di stretto interesse progettuale sono presenti la facies Punta Lovia Avra (TPS2e), costituita da monzograniti a grana grossa, inequigranulari per fenocristalli euedrali di K-feldspato di taglia da 2 a 6 cm, plagioclasio, quarzo e biotite intorno al 13% e la facies Monte di La Jescia (TPS2d), costituita da Monzograniti a grana molto grossa, fortemente inequigranulari per fenocristalli di K-feldspato euedrali di taglia fino a 12 cm, plagioclasio, quarzo e biotite, abbondanti inclusi microgranulari basici. Come l'intera sub-unità, anche queste facies sono contraddistinte da tessitura orientata per flusso magmatico. Tali corpi, caratterizzati da notevole variabilità tessiturale e da evidenti fenomeni di orientazione per flusso magmatico, costituiscono il substrato litologico dominante lungo il tracciato di progetto.

A questi si associano localmente filoni sub-vulcanici di composizione basaltica e trachibasaltica, con giacitura subverticale e direzione prevalente NE-SW, coerenti con l'assetto filoniano tipico del settore nord-orientale dell'isola.

Il quadro litostratigrafico è completato da depositi di copertura eluvio-colluviali e alluvionali, entrambi di modesto spessore ma diffusi nelle piccole depressioni intercettate dal tracciato e negli impluvi principali (Riu Battinu e Riu Manzoni). Sono inoltre presenti rilevati antropici legati alle opere stradali esistenti e non completate, che costituiscono parte delle criticità geotecniche da considerare nell'interazione con il nuovo progetto.

Dal punto di vista strutturale, l'assetto dell'area è il risultato della sovrapposizione di più fasi deformative:

- due fasi erciniche, responsabili della scistosità principale del basamento;
- tre fasi mesozoiche, che comprendono sistemi di faglie normali ENE, fasi transpressive con faglie trascorrenti sinistre e successive riemersioni della piattaforma carbonatica;
- estese riorganizzazioni cenozoiche legate al rifting del blocco Sardo-Corso e alla rotazione miocenica.

Questo assetto complesso ha prodotto un alto strutturale stabile, caratterizzato da litotipi in prevalenza competenti (migmatiti, monzograniti e filoni basici) e da un'alternanza di discontinuità strutturali che controllano localmente la permeabilità del substrato e i percorsi idrogeologici.

3. Schema Geomorfologico

L'area di interesse è inserita nel settore interno della Sardegna settentrionale, contraddistinto da un insieme di aspetti geomorfologici e paesaggistici comuni negli ambienti granitici di raccordo tra quelli montani e quelli collinari. L'eredità strutturale ha svolto un ruolo importante nel modellamento dell'area dato che la maggior parte delle valli si approfondisce lungo le faglie e le fratture della tettonica alpina, orientate prevalentemente NE-SW. La morfologia si presenta quindi poco aspra, con forme prevalentemente morbide in corrispondenza di litologie a composizione monzogranitica e granodioritica, mentre sono assenti le piane alluvionali. La morfologia collinare viene interrotta solo localmente da ampie distese di depositi detritici di fondovalle. Le valli sono quindi poco approfondite e riempite di depositi prevalentemente eluvio colluviali. Sono inoltre molto diffuse tutte le morfologie connesse all'arenizzazione dei graniti ed alla successiva erosione differenziata dei blocchi da parte delle acque correnti superficiali e del ruscellamento diffuso.




– Valle moderatamente incisa tra la pk 1+000 e la pk 1+300.



Depositi eluvio-colluviali di modesti spessori che colmano una tipica vallecola poco evoluta in corrispondenza della pk 0+750.



– Valle attraversata dalla pk 2+600 e dalla pk 2+800.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

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.

4. Principali elementi geomorfologici

4.1 Forme dovute al deflusso delle acque superficiali


- Reticolo idrografico superficiale: è rappresentato dal reticolo idrografico costituente la rete di deflusso dei principali corsi d'acqua e dei loro affluenti secondari.

I lineamenti strutturali di questo settore della Gallura, strettamente correlati agli effetti della tettonica terziaria già descritti, hanno evidentemente condizionato la forma del reticolo idrografico, con corsi d'acqua impostati principalmente lungo le direttrici tettoniche NE-SW.

L'area in studio ricade nel bacino idrografico del F.Liscia. Nell'area di intervento i corsi d'acqua presenti sono a prevalente regime torrentizio e danno luogo a valli poco incise. Procedendo da Ovest verso Est, nell'area interessata dal tracciato di progetto, i principali elementi idrografici rilevati sono il Riu Spiritu Santu, non interferente con il tracciato, scorrente in direzione NNE-SSW tra le alture di M.Limpas, ad Ovest, e la Collina di Curraggia ad Est, il riu Battinu scorrente con direzione circa N-S dalle alture del Parco S.Lorenzo nell'abitato di Tempio e il Riu Manzoni, defluente con direzione N-S dall'area orientale dell'abitato di Tempio. Ambedue tali torrenti interferiscono con il tracciato.

Il loro reticolo risulta fortemente controllato dalla tettonica, determinando un pattern della rete idrografica prevalentemente angolare o sub-angolare.

- Orlo di scarpata fluviale: è rappresentata da una rottura morfologica più o meno evidente, che costituisce l'espressione di episodi più o meno prolungati di erosione da parte delle acque superficiali. Queste sono posizionate principalmente lungo i bordi degli elementi idrografici precedentemente citati, laddove l'erosione fluviale ha interessato, nel corso del tempo, le

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | Studio di compatibilità geomorfologica | |

litologie sabbiose e conglomeratiche, portando a giorno le sottostanti unità costituenti il bedrock.


- Valle a fondo piatto: è rappresentata dalle valli fluviali, in particolare tali morfologie non sono presenti nell'area oggetto di intervento ma sono se mai da collocarsi in aree limitrofe dove i reticoli fluviali sono più consistenti. Sono comunque presenti piccole superfici attraversate dai relativi corsi d'acqua e solo in parte, con modesti spessori, colmate dai depositi alluvionali attuali e recenti, restando evidente la loro genesi di ordine strutturale.

4.2 Forme strutturali

- Rilievo residuale isolato: rilievi collinari, di modesta entità, impostati su rocce di basamento cristallino paleozoico e granitoidi, considerati come forme residuali generati a causa del susseguirsi di differenti fasi tettoniche avvenute durante il meso-cenozoico, alterate in superficie, con un caratteristico colore giallo-rosato dovuto all'ossidazione dei minerali ferromagnesiaci (biotite ed anfibolo) in essa contenuti. e caratterizzati dalle macroforme tipiche dei rilievi granitici come i *tor*, gli *inselberg* e le strutture a cupola, i picchi (localmente detti «sarri»), e da microforme ricorrenti come i tafoni.
- Il processo di degradazione meteorica dei graniti è principalmente dovuto all'azione di idrolisi a causa della quale i silicati, componenti essenziali del granito, ed in particolare i feldspati (feldspato potassico e plagioclasio sodico-calcico) e i minerali ferromagnesiaci (biotite e anfiboli), aggrediti dalle acque di precipitazione leggermente acidule per la presenza dell'anidride carbonica dell'atmosfera, si decompongono, con desquamazione ed esfoliazione sferoidale di superfici compatte.

Tale processo determina, per erosione selettiva, l'approfondimento e l'allargamento delle discontinuità, costituite da lesioni e fratture di origine meccanica della roccia, prodotte dagli agenti fisici della degradazione (dilatazioni termiche differenziali, azione di cuneo delle radici) e dalle forze tettoniche.

Il processo dell'idrolisi dei silicati è massimo in condizioni di clima caldo-umido. La deflazione eolica ed eventualmente l'abrasione marina possono nel tempo rimuovere le parti rocciose distaccate, determinando nel blocco ancora inalterato la formazione di cavità tipiche, note come *tafoni*. Spesso i tafoni sono stati ulteriormente ingranditi per corrosione, l'azione di smeriglio determinata dal

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

turbino dei frammenti nelle depressioni cieche della roccia ad opera del vento. La formazione dei tafoni procede come una carie, principalmente dal basso verso l'alto, fino a causare il distacco ed il crollo anche di blocchi integri di roccia, per eccessivo assottigliamento delle loro parti di sostegno ed intercettazione di superfici di lesione.

I processi combinati dell'idrolisi e dell'erosione selettiva possono col tempo determinare l'esposizione di un ammasso di roccia isolato, il *tor*, testimone dell'antica struttura, scomposto da giunti in diversi blocchi di forma e dimensioni diverse.

Il termine tedesco di *Inselberg* (montagna isolata) è generalmente usato per descrivere un rilievo compatto con fianchi abrupti, che si eleva bruscamente su un piano. La forma deriva dal processo di ritiro parallelo dei versanti orlati dal pedemonte, sul quale si raccolgono per gravità i detriti prodotti dalla disaggregazione per idrolisi ed esfoliazione delle parti alterate. In condizioni di clima caldo-umido bordi taglienti e guglie di rocce granulari vengono presto arrotondati a causa dell'attacco chimico da parte delle acque meteoriche e per le variazioni di temperatura che possono riguardare parti più profonde. Lo smantellamento superficiale finisce col mettere a nudo una struttura sottostante più compatta e resistente, una specie di esumazione di una struttura sepolta.


La degradazione meteorica del granito, con sviluppo di superfici sferoidali interrotte dai tafoni, si è molto probabilmente impostata su blocchi strutturalmente definiti già nel Miocene (o nel Pliocene - Pleistocene) in condizioni di clima subtropicale o tropicale umido. Sembra svilupparsi maggiormente al piede dei blocchi, nella zona più umida, per risalita delle acque di capillarità.

4.3 Forme antropiche

- Area a maggior urbanizzazione e aree industriali: è rappresentata da alcune aree abitative e industriali presenti in prossimità del tracciato stradale in progetto.
- Rilevato stradale: è rappresentato dai depositi antropici costituenti il rilevato stradale.

4.4 Superfici di spianamento

- Superficie di terrazzo morfologico: ampie superfici di erosione costituenti la sommità dei pianori modellati nei depositi pleistocenici continentali sabbiosi e limosi. Si collocano in prossimità del Riu Manzoni ed interessano alcune porzioni del tracciato stradale in progetto con deboli evidenze morfologiche.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

5. Principali elementi idrogeologici

L'area interessata dal tracciato ricade nel bacino idrografico del Fiume Liscia . Il reticolo idrografico dell'area di interesse risulta caratterizzato da corsi d'acqua a prevalente regime torrentizio, che danno luogo a valli poco incise. I lineamenti strutturali di questo settore della Gallura, strettamente correlati agli effetti della tettonica terziaria già descritti, hanno evidentemente condizionato la forma del reticolo idrografico, con corsi d'acqua impostati lungo le direttrici tettoniche NE-SW. I principali corsi d'acqua attraversati dalle tre alternative di progetto sono, procedendo da ovest verso est, il Riu Battinu ed il Riu Manzoni.

Le caratteristiche idrogeologiche della zona in esame sono strettamente legate all'assetto geologico strutturale del territorio. Sulla scorta dei rilievi idrogeologici effettuati e delle indagini geognostiche eseguite è possibile distinguere le seguenti unità idrogeologiche

5.1 Unità idrogeologiche


Unità idrogeologica dei Monzograniti della Sub-Unità intrusiva di Catala : affiorano in maniera estesa nell'areale in cui è inserito il tracciato stradale in progetto. Tale unità idrogeologica comprende la facies Punta Lovia Avra (monzograniti a grana grossa inequigranulari) e la facies Monte di La Jesica (monzograniti a grana molto grossa fortemente inequigranulari); entrambe caratterizzate da una permeabilità medio bassa per fratturazione. (valori di Permeabilità $10^{-6} > K > 10^{-7}$ m/s)

La porzione superficiale di tale unità, con spessore medio di 8/10 metri, è costituita da granitoidi in facies alterata e caratterizzata da terreni da poco addensati a sciolti con granulometria variabile (Ghiaie, sabbie, siltiti, argille) e con permeabilità per porosità variabile . Il grado di permeabilità cresce proporzionalmente al grado di disfacimento della roccia granitoide, che in forma di sabbione arcosico (roccia granitoide completamente alterata, ridotta a roccia incoerente) può arrivare a valori medi di permeabilità caratterizzati da coefficiente di permeabilità maggiori di 10^{-3} m/s.

All'interno dell'unità dei monzograniti si distinguono le rocce magmatiche effusive rappresentate dai filoni basaltici del Carbonifero sup. – Permiano. Tale formazione presenta una bassa permeabilità per fratturazione (valori di Permeabilità $10^{-7} > K > 10^{-9}$ m/s)

Unità idrogeologica delle coltri

Rientrano in questa unità i depositi alluvionali (ba) e le coltri eluvio colluviali (b2). Nei primi risulta prevalente la costituente ghiaiosa mentre nei secondi si rileva una l'eterogeneità di clasti da grossolani a fini (matrice).

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

Le coltri risultano permeabili per porosità, con permeabilità medio-alta (valori di Permeabilità $10^{-4} > K > 10^{-2}$ m/s). Minore permeabilità mostrano le coltri di origine antropica (valori di Permeabilità $10^{-4} > K > 10^{-6}$ m/s)

5.2 Schema della circolazione idrica sotterranea


A seguito dell'analisi di tutte le informazioni presenti in bibliografia inerenti l'assetto idrogeologico dell'area, integrato con le misure piezometriche effettuate durante le campagne geognostiche eseguite nell'area, e con le informazioni provenienti dal rilevamento idrogeologico, è stato ricostruito uno schema di circolazione idrica sotterranea.

Dalle informazioni provenienti dai dati dei pozzi censiti e raccolti nel database del Servizio Geologico Nazionale dell'ISPRA (<http://sgi.isprambiente.it>) e dalle misure della falda a seguito dei sondaggi effettuati durante la campagna di indagine, si evince che nell'area in studio è presente una falda acquifera che permea la coltre di alterazione dei monzograniti. In tale tipo di acquifero la falda freatica superficiale, se presente, presenta portate proporzionali allo spessore della coltre di alterazione, la stessa ha carattere generalmente effimero e si imposta all'interfaccia con la formazione in facies litoide. La direzione di deflusso delle acque di falda sub-superficiali segue comunemente l'andamento della superficie topografica, con una sostanziale coincidenza tra spartiacque superficiali e sotterranei, ossia tra bacino imbrifero e bacino idrogeologico.

Il bedrock granitoide in facies litoide costituisce nell'area in esame il substrato impermeabile, il quale solo in particolari condizioni geo-strutturali può presentare permeabilità secondaria, ovvero per fessurazione. Generalmente quindi la roccia in facies litoide va a costituire l'acquiclude relativo rispetto alla coltre alterata, in grado di sostenere la circolazione idrica per la presenza di una superficie di contatto tra unità con differente permeabilità relativa.

Tale falda acquifera mostra una soggiacenza variabile tra 5 m e i 15 m da p.c e defluisce in direzioni NS NE-SW verso il mare.

Solo nelle zone disturbate tettonicamente, in presenza di faglie e/o fratture di diversa scala, interessanti i monzograniti si rileva la possibilità di formazione di acquiferi profondi che danno luogo a riserve idriche sotterranee profonde, comunemente con soggiacenza superiore a 30-40 m dal p.c, anche di discreta entità.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

Le falde acquifere impostate nel complesso granitoide fratturato sono comunemente profonde, confinate o semiconfinite, e possono presentare, quando intercettate in fase di trivellazione, un certo grado di risalienza

Le indagini geognostiche eseguite ed i relativi dati piezometrici ottenuti dalla campagna d'indagine recente hanno evidenziato, in aggiunta allo schema sopra descritto la presenza di una falda superficiale discontinua e poco produttiva, limitata agli orizzonti sabbiosi e conglomeratici più permeabili delle formazioni continentali oloceniche alluvionali .

In particolare, in corrispondenza dei numerosi affluenti dei corsi idrici, la superficie piezometrica della falda superficiale si colloca ad una profondità variabile di circa 5-10 m da p.c., con un deflusso prevalente orientato in direzione N-NE, verso il mare.

6. Indagini geognostiche

L'area di interesse progettuale, situata immediatamente a nord del centro abitato di Tempio Pausania, in Gallura, è interessata dalla presenza dei termini riferibili al batolite sardo-corso. Nell'area affiorano diverse tipologie di plutoniti, tutte comunque riconducibili all'Unità intrusiva di Tempio Pausania. In particolare, nella fascia di territorio di stretto interesse progettuale è presente la facies Punta Lovia Avra (TPS2e), appartenente alla sub-unità di Catala (Permiano), costituita da monzograniti a grana grossa, inequigranulari.

Tutto il basamento sardo, e quindi anche l'area di interesse, presenta numerose manifestazioni sub-vulcaniche, testimoniate dal complesso filoniano del Carbonifero superiore-Permiano. Si distinguono corpi filoniani a composizione basica sia alcalini che calc-alcalini, generalmente alterati, e filoni di porfidi granitici, microgranitici, aplitici e pegmatitici, con tessitura isotropa.

Lungo i diversi tracciati stradali in questa sede analizzati, i termini del complesso granitico sopra descritti si presentano sia intatti, con un grado di fratturazione di tipo fragile poco accentuato, sia fortemente alterati dai processi chimico-fisici tipici di queste litologie (arenizzazione) che ne compromettono le caratteristiche fisiche e di resistenza rispetto alla roccia madre.

Le indagini ricadono tra i comuni di Bortigiadas e Tempio Pausania, in provincia di Sassari. Nell'ambito del progetto summenzionato è stata effettuata una campagna di indagini geognostiche finalizzata alla determinazione delle caratteristiche geotecniche e alla definizione stratigrafica in chiave geolitologica.

La campagna di indagine geognostica è stata così articolata:

- n. 20 sondaggi a carotaggio continuo di cui 7 condizionati con tubo in PVC per l'esecuzione della prova sismica di tipo down-hole e n. 8 con tubo piezometrico. Di questi n. 5 con tubo da 2" e n. 3 con tubo da 3" per prelievo di campioni di acque da sottoporre alla determinazione di laboratorio chimico. n. 1 sondaggio a distruzione di nucleo attrezzato con piezometro a tubo aperto da 2";
- n. 21 prove penetrometriche SPT;
- n. 33 prelievi di campioni rimaneggiati, n. 7 prelievi di campioni indisturbati e n. 57 prelievi di campioni litoidi da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico (cfr. "Documentazione prove di laboratorio geotecnico");
- n. 12 prove dilatometriche in foro
- n. 16 pozzetti esplorativi spinti alla profondità max di 2 m dal p.c. e n. 15 pozzetti ambientali spinti alla profondità max di 1 m dal p.c.
- n. 16 prelievi di campioni rimaneggiati prelevati dai pozzetti esplorativi, da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico (cfr. "Documentazione prove di laboratorio geotecnico");
- n. 13 prove di carico su piastra in corrispondenza dei pozzetti esplorativi
- n. 5 prove penetrometriche dinamiche DPSH spinte a 15,00 m di profondità;
- georeferenziazione dei punti di indagine; per la visione di dettaglio si rimanda al documento "Georeferenziazione delle indagini" ed alle monografie allegate.

Sono state realizzate inoltre:

- n. 5 profili sismici a rifrazione
- n. 7 prove down hole
- n. 2 stendimenti di tomografia elettrica di resistività

| Sigla ID | profondità (m dal p.c.) | SPT | CI | CR | CL | Down-Hole | Piezometro |
|-----------|----------------------------|-----|----|----|----|-----------|------------|
| S01 | 25 | | | 3 | 2 | | |
| S02-PZ | 25 | | | | 4 | | X |
| S03-DH | 35 | | | | 4 | X | |
| S04-PZ | 30 | 1 | | | 2 | | X |
| S05 | 30 | 1 | | 3 | 4 | | |
| S06-PZ | 25 | 2 | 1 | | 2 | | X |
| S08-PZ | 25 | 1 | | 3 | 4 | | X |
| S08Bis-Pz | 9 | | | | | | X |
| S09-DH | 30 | | | | 4 | X | |
| S10-PZ | 25 | 2 | 1 | 2 | 4 | | X |
| S11-DH | 30 | 2 | 1 | 3 | 3 | X | |
| S12-DH | 30 | 1 | | 1 | 5 | X | |
| S13-DH | 25 | | | | 4 | X | |
| S16-PZ | 20 | | | 3 | 3 | | X |
| S17 | 25 | 2 | | | 2 | | |
| S19-DH | 30 | 1 | 1 | 2 | 3 | X | |
| S20 | 25 | 2 | | 3 | 3 | | |
| S21 | 30 | 2 | 1 | | | | |
| S22-PZ | 30 | 2 | | | 1 | | X |
| S23-DH | 30 | | | 7 | | X | |

Tabella. Tabella riassuntiva dei sondaggi effettuati nella campagna TecnoIN 2022

6.1 Installazione piezometri a tubo aperto

Sono stati installati n. 9 piezometri a tubo aperto in perfori effettuati a carotaggio continuo:

| N. | SIGLA ID | PROFONDITÀ DI PERFORAZIONE (M DAL P.C.) | PROFONDITÀ DI INSTALLAZIONE (M DAL P.C.) | TUBO PVC PIEZOMETRICO | FALDA (M DAL P.C.) |
|----|-----------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | S02-PZ | 25 | 25 | 2" | 1,1 |
| 2 | S04-PZ | 30 | 25 | 2" | 6,03 |
| 3 | S06-PZ | 25 | 25 | 2" | 3,50 |
| 4 | S08-PZ | 25 | 25 | 3" | 5,02 |
| 5 | S08Bis-Pz | 9 | 9 | 2" | 4,38 |
| 6 | S10-PZ | 25 | 25 | 2" | 5,08 |
| 7 | S16-PZ | 20 | 20 | 3" | 4,17 |
| 8 | S22-PZ | 30 | 20 | 2" | 6,12 |
| 9 | S24-PZ | 25 | 20 | 3" | 3,85 |

– Scheda sintetica dei piezometri installati

La tubazione installata è costituita da tubi ciechi e filtranti in PVC del diametro di 2" e 3" (dove è richiesto il prelievo di acque) con estremità filettate; il tratto filtrante ha finestrature trasversali di ampiezza 0,4-1,0 mm e spaziatura di 9 mm.

Per la misura del livello di falda, è stata utilizzata una sonda freaticometrica costituita da un cavo graduato alla cui estremità è posizionato un puntale che emette un segnale acustico, a contatto con il pelo libero dell'acqua.

| Sigla Id | GIUGNO | | | | | LUGLIO | AGOSTO |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 01/06/2022 | 07/06/2022 | 11/06/2022 | 13/06/2022 | 25/06/2022 | 14/07/2022 | 26/08/2022 |
| S02-PZ | 1,1 | | 1,32 | 1,37 | 2,10 | 2,36 | 2,97 |
| S04-PZ | 6,03 | | 6,25 | 6,26 | 6,45 | 6,61 | 7,00 |
| S06-PZ | 3,50 | 1,17 | 1,48 | 1,69 | 2,15 | 2,75 | 3,68 |
| S08-PZ | | | | 5,02 | 5,20 | 8,60 | 6,78 |
| S08Bis-PZ | | | | 4,38 | 4,60 | 7,40 | 5,84 |
| S10-PZ | | | | | | | 5,08 |
| S16-PZ | | | | | 4,17 | | 6,41 |
| S22-pz | | | | | 4,50 | 4,53 | 6,12 |
| S24-PZ | | | | | | | 3,85 |

Lecture dei piezometri installati

6.2 Prove di permeabilità Lefranc

Sono state eseguite n. 8 prove di permeabilità LeFranc.

Le prove di permeabilità LeFranc consistono nella misurazione della velocità di assorbimento di acqua, per immissione o estrazione, in un tratto di perforo opportunamente realizzato. Esse possono essere eseguite a carico idraulico costante, misurando la quantità d'acqua immessa o estratta, o a carico idraulico variabile, misurando i livelli dell'acqua a intervalli di tempo progressivamente crescenti.

Le prove di permeabilità consentono di valutare il coefficiente di permeabilità K del tratto di prova. Nel caso specifico le prove sono state effettuate a carico idraulico variabile.

In allegato (cfr. ALL.4) sono fornite le schede di elaborazione nelle quali, oltre ai dati misurati in campagna, si riporta il calcolo della permeabilità. Si è applicata la seguente formula dove:

$$k = \frac{A}{Cl(t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

- K=coefficiente di permeabilità (m/sec)
- A=area di base del foro (mq)
- h1-h2=altezza dell'acqua ai tempi t1 e t2 rispetto alla falda (se presente) o al fondo foro
- t1-t2=tempi corrispondenti ad h1 e h2

Cl=coefficiente di forma -valori suggeriti per il coefficiente di forma:


per L>d= L

per L<d=1*3.14*d+L

dove: L= lunghezza tratto di prova d=diametro tratto di prova

| Sigla sondaggio | Tratto di Prova (m) | | Coefficiente di permeabilità k (m/s) |
|-----------------|---------------------|------|--------------------------------------|
| S05 | 10 | 10,5 | 6.9 E-06 |
| S06-PZ | 10,5 | 11,5 | 9.6 E-06 |
| S08-PZ | 9,5 | 10 | 1.3 E-05 |
| S09-DH | 8,5 | 9 | 7.9 E-07 |
| S17 | 9 | 9,5 | 1.4 E-06 |
| S20 | 9 | 10 | 3.4 E-07 |
| S22-PZ | 8 | 9 | 4.9 E-06 |
| S23-DH | 11,5 | 12,4 | 7.5 E-06 |

Tabella riassuntiva delle prove LeFranc nella campagna TecnoIN 2022

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

7. Caratterizzazione geotecnica

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce interessati dal tracciato stradale si è fatto riferimento ai rilievi di carattere geologico svolti in sito, ai risultati della campagna di indagini richiamata nel paragrafo precedente, a conoscenze acquisite nel corso di indagini geotecniche svolte in territori limitrofi e a dati di letteratura regionale.

I terreni e le rocce che ricadono nel volume di terreno significativo ai fini geotecnici sono stati raggruppati in 5 classi, per ciascuna delle quali possono distinguersi i termini indicati nella tabella che segue.

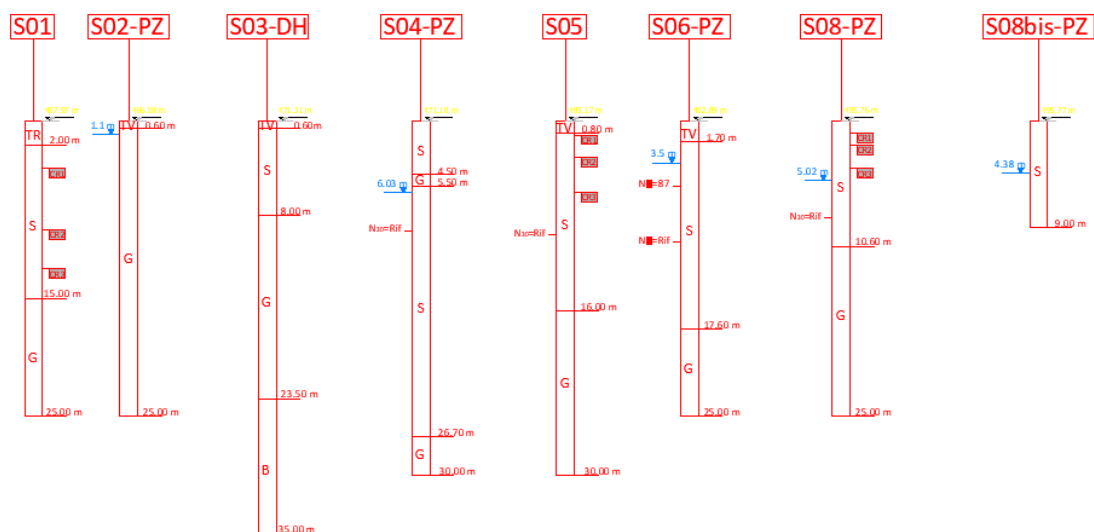
| SIGLA | DESCRIZIONE |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TR | Terreno di riporto |
| ALG | Alluvioni a grana grossa. Ghiaia e sabbia limosa. |
| S | Sabbia con ghiaia limosa derivante da alterazione avanzata del granito di base (arenizzato); colore da avana a marrone. Presenza di frammenti di quarzo del $d_{max} \leq 5$ cm, a spigoli vivi. |
| G | Granito di colore rosa mediamente fratturato. Le fratture sono prevalentemente da sub-verticali a 45° , con superfici mediamente scabre, piane, talora ondulate o irregolari, spesso alterate di colore rossastro; è presente materiale di riempimento. A tratti fortemente fratturato e generalmente prelevato in frammenti delle dimensioni della ghiaia e dei blocchi. |
| B | Basalto di colore grigio scuro-nerastro, fratturato, con frequenti patine di alterazione di colore ruggine. Le fratture sono prevalentemente sub-verticali, con superficie mediamente scabre, generalmente piane, a tratti ondulate; presenza di materiale di riempimento. A tratti fortemente fratturato e generalmente prelevato in frammenti delle dimensioni della ghiaia e dei blocchi. |

Classificazione geotecnica dei terreni e delle rocce.

Con riferimento alla classificazione geotecnica sopra riportata, nelle figure che seguono sono riportate le colonnine di sintesi dei sondaggi con la sigla dei termini individuati, la posizione dei campioni indisturbati ed i valori N30 ricavati dalle prove SPT.

CA350

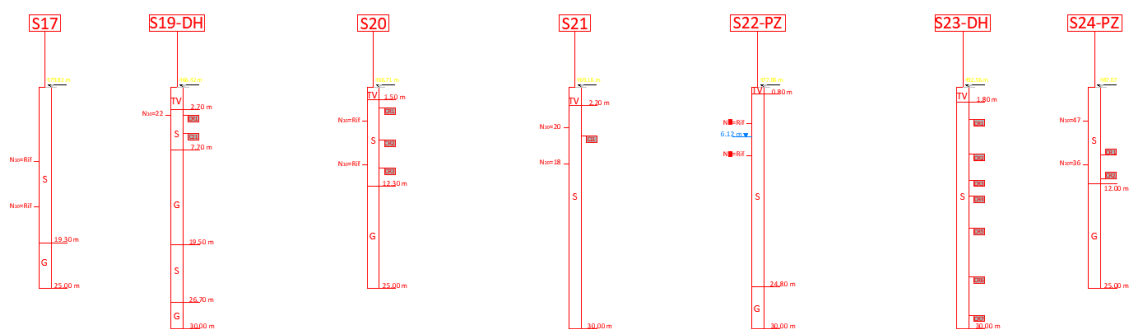
Studio di compatibilità geomorfologica




Sondaggi S01-S08bis..



– Sondaggi S09-S16.



– Sondaggi S17-S24.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

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.

Dal punto di vista geotecnico si identifica un profilo stratigrafico omogeneo con due termini prevalenti: granito rosa di base (G) e la sua parte alterata superficiale (arenizzata), rappresentata da sabbia con ghiaia limosa (S). Talora il granito è intervallato da filoni basaltici grigio scuro (B) che in alcuni casi raggiungono il piano di campagna. Nelle tre piane alluvionali che vengono attraversate dal tracciato in corrispondenza dei viadotti è sono presenti depositi di alluvioni a grana grossa (ALG).

Nel seguito, dopo avere descritto i criteri utilizzati per l'elaborazione dei risultati delle indagini, si illustrano, per ciascuno dei termini indicati in Tabella 5 1, le principali caratteristiche fisiche e meccaniche determinate con le indagini in sito e di laboratorio, alle quali si rimanda per i dettagli sui valori sperimentali analizzati nella presente relazione.

8. Caratterizzazione dei terreni e delle rocce

8.1 Caratterizzazione dei terreni

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei risultati delle analisi e prove ci si è basati sugli usuali criteri della Geotecnica e, più in generale, dell'Ingegneria (Mohr-Coulomb, Teoria dell'Elasticità, legami costitutivi tensioni-deformazioni, etc.). Per quanto riguarda l'elaborazione delle prove N_{spt} sono state prese in considerazione le seguenti relazioni di Letteratura:

| Caso ^α | Descrizione ^α |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| III ^α | sabbia con poca ghiaia e con o senza fine - SABBIA CON GHIAIA, GHIAIA CON ARGILLA E CALCARI CEMENTATI ^α |

Tabella 5-2- Espressioni di letteratura utilizzate per Densità relativa [¶]


| Espressioni di letteratura utilizzate per Densità relativa ^α | | | CASE ^α III ^α |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 8.2 ^α | <u>Skempton (1986)</u> ^α | $D_r = \left[\frac{(N_1)_{60}}{a + b \cdot \sigma'_{v0}} \right]^{0.5}$ | a=43.3 b=21.7 ^α |
| 11 ^α | <u>Gibbs and Holtz (1957)</u> ^α | $D_{r1} = \sqrt{\frac{N_{60}^{\alpha}}{17 + 24 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\rho_{sat}}}}$ | X ^α |
| 12 ^α | <u>Shultz and Mezenbach (1961)</u> ^α | $\ln(D_r \%) = 0.478 \cdot \ln(N_{spt}) - 0.262 \cdot \ln(\sigma'_{v0}) + 2.84$ | |

Tabella 5-3- Espressioni di letteratura utilizzate per Angolo di resistenza al taglio [¶]

| Espressioni di letteratura utilizzate per Angolo di resistenza al taglio ^α | | | CASE ^α III ^α |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 18 ^α | <u>Shoji and Fukuni 1982 (Japanese National Railway)</u> ^α | $\phi'_p = 0.3 \cdot N_{60} + 27$ | X ^α |
| 23 ^α | <u>Peck, Hanson and Thornburn (1956)</u> ^α | $\phi'_p = 0.28 \cdot N_{spt} + 27.2$ | X ^α |

Tabella 5-4- Espressioni di letteratura utilizzate per Modulo elastico operativo [¶]

| Espressioni di letteratura utilizzate per Modulo elastico operativo ^α | | | CASE ^α III ^α |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 38 ^α | <u>Schmertmann - Coarse sands</u> ^α | $E'_{op} = 2.0 \cdot N_{60}$ | X ^α |
| 41 ^α | <u>D'Appolonia normalconsolidated sands with gravels</u> ^α | $E'_{op} = \frac{191 \cdot 7.71 \cdot N_{60}}{10}$ | X ^α |
| 49 ^α | <u>European Conference on SPT, 1974 for gravelly sands and gravels</u> ^α | $E'_{op} = 1.2 \cdot \left(6 + \frac{N_{60}}{60} \cdot 55 \right)$ | X ^α |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

8.2 Caratterizzazione delle rocce

Per gli ammassi rocciosi i risultati disponibili provengono principalmente dalle prove di laboratorio e dai rilievi geo-meccanici in campo, i cui risultati hanno permesso di stimare i seguenti parametri geotecnici:

- resistenza a compressione monoassiale σ_{ci} ottenuta da prove di resistenza a compressione monoassiale (UCS) e da prove di carico puntuale.
- indice RQD (Rock Quality Designation) dai rilievi in situ sulle carote contenute nelle cassette catalogatrici;
- indice GSI (Geological Strength Index), che può essere calcolato tramite la conoscenza dei parametri RMR (classificazione di Bieniawski) e/o Q (classificazione di Barton)

$$GSI = RMR89 - 5 \text{ per } GSI > 23$$

Il parametro RMR è la somma di diversi fattori che dipendono dai fattori sopra esposti.

$$RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

tali fattori sono calcolabili tramite l'utilizzo della tabella proposta dallo stesso Bieniawski (Tabella 5.5).

Calcolo R1, R2 e R3

per tali parametri è stato posto un punteggio in funzione, rispettivamente, della resistenza a compressione della roccia, del valore di RQD e delle spazature tra le discontinuità secondo le tabelle esposte da Bieniawski.

Calcolo R4

il parametro R4 è sintesi di più grandezze, secondo i punteggi descritti nella sezione "E. Guidelines for classification of discontinuity conditions"

$$R4 = R4,1 + R4,2 + R4,3 + R4,4 + R4,5$$


Calcolo R5

il parametro R5 tiene conto della presenza o meno di acqua fra le discontinuità. Per l'area in esame è ragionevole considerare presenza di falda solo in corrispondenza delle aree di alluvionali nelle quali sono state registrate venute di acqua quasi al livello del piano campagna, ma a livello di sicurezza si impone un punteggio pari a 7 e relativo alla roccia "bagnata" ("wet") per tutto l'ammasso.

Calcolo R6

tale parametro, funzione del fronte di scavo di avanzamento, tiene conto del fatto che le discontinuità principali rispetto alla direzione di avanzamento posso essere favorevoli o sfavorevoli. In questa sede si considerano entrambe le situazioni definendo un GSImin e GSImax, ovvero, rispettivamente, i valori di GSI in corrispondenza di un fronte di scavo con inclinazione delle discontinuità sfavorevoli e favorevole.

| Parameter | | Range of values | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1 | Strength of intact rock material | Point-load strength index | >10MPa | 4 – 10MPa | 2 – 4MPa | 1 – 2MPa | For this low range – uniaxial compressive test is preferred |
| | | Uniaxial compression strength | >250MPa | 100 – 250MPa | 50 – 100MPa | 25 – 50MPa | 5-25 MPa 1-5 MPa <1 MPa |
| | Rating | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 1 0 |
| 2 | Drill core quality RQD | | 90% - 100% | 75% - 90% | 50% - 75% | 25% - 50% | < 25% |
| | Rating | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 |
| 3 | Spacing of discontinuities | | >2m | 0.6 – 2m | 200 – 600mm | 60 – 200mm | <60mm |
| | Rating | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 |
| 4 | Condition of discontinuities (See E) | | Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock | Slightly rough surfaces Separation <1mm Slightly weathered walls | Slightly rough surfaces Separation <1mm Highly weathered walls | Slickensided surfaces or gouge <5mm thick or Separation 1-5mm continuous | Soft gouge >5mm thick or Separation >5mm continuous |
| | Rating | | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 |
| 5 | Ground water | Inflow per 10m tunnel length (l/m) | None | <10 | 10 – 25 | 25 – 125 | >125 |
| | | (Joint water press)/ (major principal σ) | 0 | <0.1 | 0.1 – 0.2 | 0.2 – 0.5 | >0.5 |
| | | General conditions | Completely dry | Damp | Wet | Dripping | Flowing |
| | Rating | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 |
| B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F) | | | | | | | |
| Strike and dip orientations | | | Very Favourable | Favourable | Fair | Unfavourable | Very Unfavourable |
| Ratings | Tunnels and mines | | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| | Foundations | | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| | Slopes | | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |
| C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS | | | | | | | |
| Rating | | | 100 ← 81 | 80 ← 61 | 60 ← 41 | 40 ← 21 | <21 |
| Class number | | | I | II | III | IV | V |
| Description | | | Very good rock | Good rock | Fair rock | Poor rock | Very poor rock |
| D. MEANING OF ROCK CLASSES | | | | | | | |
| Class number | | | I | II | III | IV | V |
| Average stand-up time | | | 20 yrs for 15m span | 1 year for 10m span | 1 week for 5m span | 10 hrs for 2.5m span | 30 min for 1m span |
| Cohesion of rock mass (kPa) | | | >400 | 300 – 400 | 200 – 300 | 100 – 200 | <100 |
| Friction angle of rock mass (deg) | | | >45 | 35 – 45 | 25 – 35 | 15 – 25 | <15 |
| E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY CONDITIONS | | | | | | | |
| Discontinuity length (persistence) | | | <1m | 1.3m | 3 – 10m | 10 – 20m | >20m |
| Rating | | | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| Separation (aperture) | | | None | <0.1mm | 0.1 – 1.0mm | 1 – 5mm | >5mm |
| Rating | | | 6 | 5 | 4 | 1 | 0 |
| Roughness | | | Very rough | Rough | Slightly rough | Smooth | Slickensided |
| Rating | | | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Infilling (gouge) | | | None | Hard filling <5mm | Hard filling >5mm | Soft filling <5mm | Soft filling >5mm |
| Rating | | | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 |
| Weathering | | | Unweathered | Slightly weathered | Moderately weathered | Highly weathered | Decomposed |
| Rating | | | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

8.3 Caratteristiche fisico – meccaniche dei terreni sciolti

8.3.1 Terreno di riporto/depositi antropici (TR)

I terreni di riporto, indicati TR, sono costituiti principalmente dai materiali dei rilevati stradali dello svincolo ad inizio tracciato, al momento abbandonati. Tali depositi non sono stati oggetti di indagini dirette. Tale terreno interferisce in minima parte con il tracciato, se non per la tratta da 0+000 a 0+300, e sarà quasi del tutto asportato, e sostituito dove necessario con materiale proveniente dagli scavi. Si rimanda alla relazione geologica per ulteriori dettagli e/o inquadramenti fotografici.

8.3.2 Alluvioni a grana grossa (ALG)

I risultati degli studi geologici hanno evidenziato la presenza lungo tre tratte (da 0+160 a 0+240, da 1+020 a 1+100 e da 2+220 a 2+280) di depositi di alluvioni a grana grossa. Non sono presenti sondaggi in corrispondenza di tale unità.

Secondo le ricostruzioni geologiche si tratta di ghiaia da grossolane a medie, con elementi lapidei di varia natura, di forma prevalentemente tondeggianti, con spigoli da sub-arrotondati a sub-angolosi.

Il suo comportamento fisico-meccanico è attribuibile a quello di un terreno incoerente con alti valori di angolo di resistenza al taglio e coesione nulla; tuttavia, per terreni di questo tipo, è stato osservato sia in applicazioni pratiche che teoriche che possono instaurarsi fenomeni di coesione apparente (interlocking) dovuto all'addensamento dei grani di varia pezzatura che risultano interconnessi tra loro ed alla matrice a grana fina immersa tra la ghiaia. Tale coesione assume solitamente valori dell'ordine di 3-4 kPa.

Ai fini dei dimensionamenti è possibile utilizzare i seguenti range di variazione dei principali parametri fisico-meccanici:

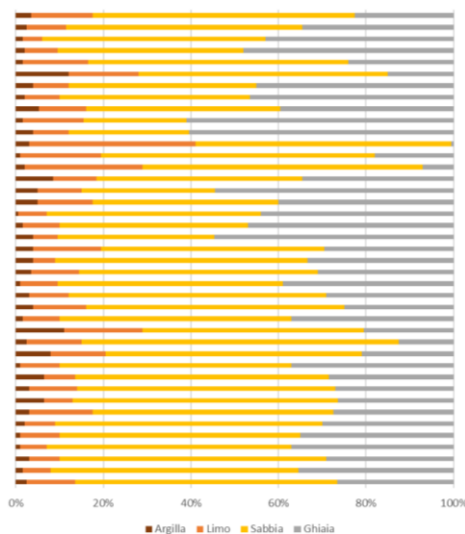
- $\gamma_s = 17,5-19,0$ [kN/m³]
- $c' = 3-4$ [kPa];
- $\varphi' = 38-40$ [°];
- $E'_{op} = 20-40$ [MPa].

8.3.3 Sabbia con ghiaia limosa (S)

Sabbia con ghiaia limosa derivante da alterazione avanzata del granito di base (arenizzato); colore da avana a marrone. Presenza di frammenti di quarzo del d_{max} di circa 5 cm, a spigoli vivi. Presente in sommità di tutti i sondaggi, ad eccezione del foro S02-PZ dove è assente.

Lungo il tracciato, da una valutazione del profilo geologico e dei sondaggi si rinviene con continuità a partire da inizio tracciato fino al km 1+300, al di sotto del terreno vegetale e raggiunge uno spessore massimo di 17,6 m (v. sondaggio S06). Nel tratto successivo, fino al km 1+700, i termini S si assottigliano, raggiungendo spessori massimi di 2-3 m (v. sondaggi S12 ed S13). Nel tratto finale gli spessori tornano ad essere considerevoli fino ad un massimo di 25-40 m (v. sondaggio S22 ed S23).

La granulometria è compresa tra la ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa e la sabbia con ghiaia limosa debolargillosa. La percentuale della frazione ghiaiosa è compresa tra 12.5 % e 61 %, quella della sabbia tra 23.5 % e 72.5 %, quella del limo tra il 4.5% e il 38% con una frazione argillosa varia tra il 0.5 % e il 12 %.



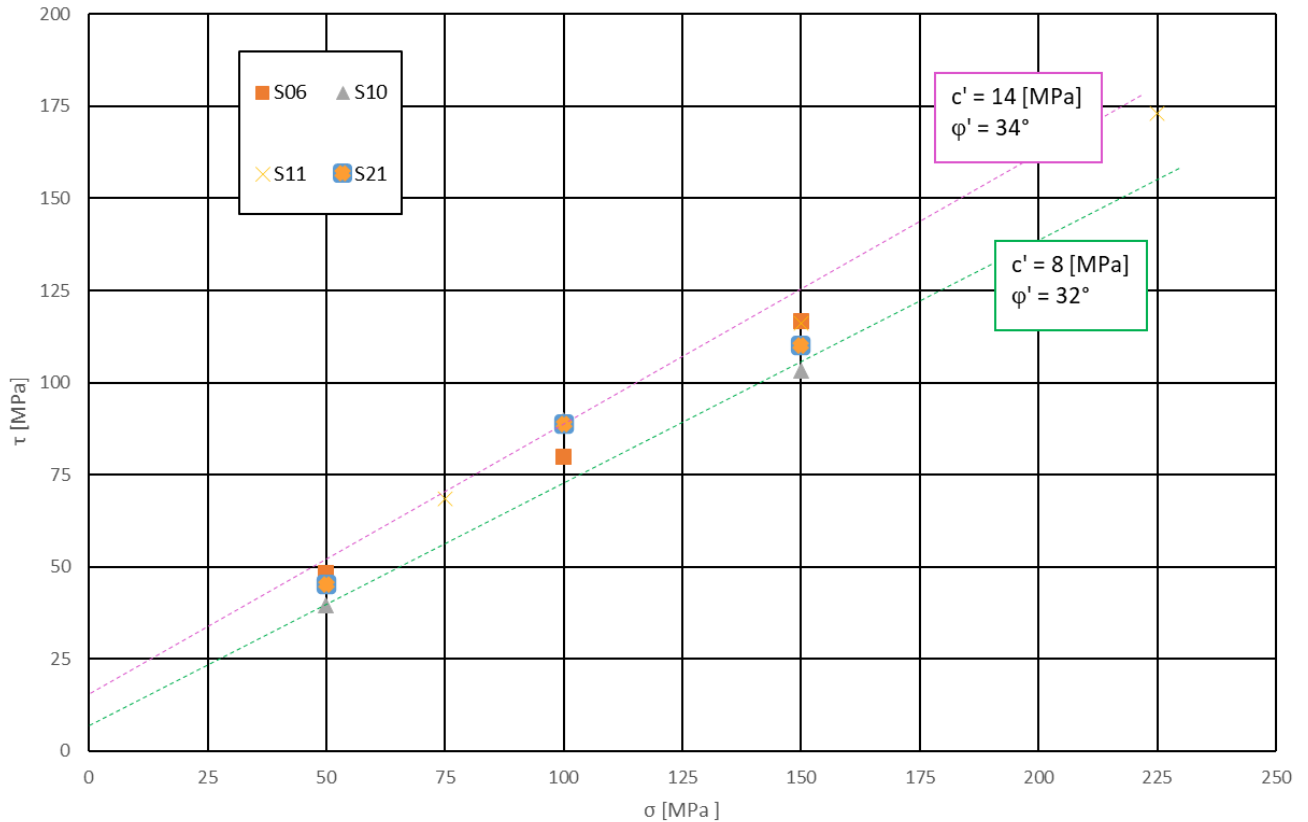
Distribuzione delle classi granulometriche nei campioni analizzati.

In laboratorio sono stati ottenuti valori del peso dell'unità di volume γ_s compresi tra 16,55 ÷ 18,9 kN/m³

Da quattro prove di taglio CD sui campioni S06-CI01, S10-CI0, S11-CI01 e S21-CI01 attraverso

l'interpolazione lineare dei risultati i seguenti valori dei parametri di resistenza al taglio:

- $c' = 8-14$ [kPa]
- $\phi' = 32-34$ [°].



Risultati delle prove di taglio diretto CD.

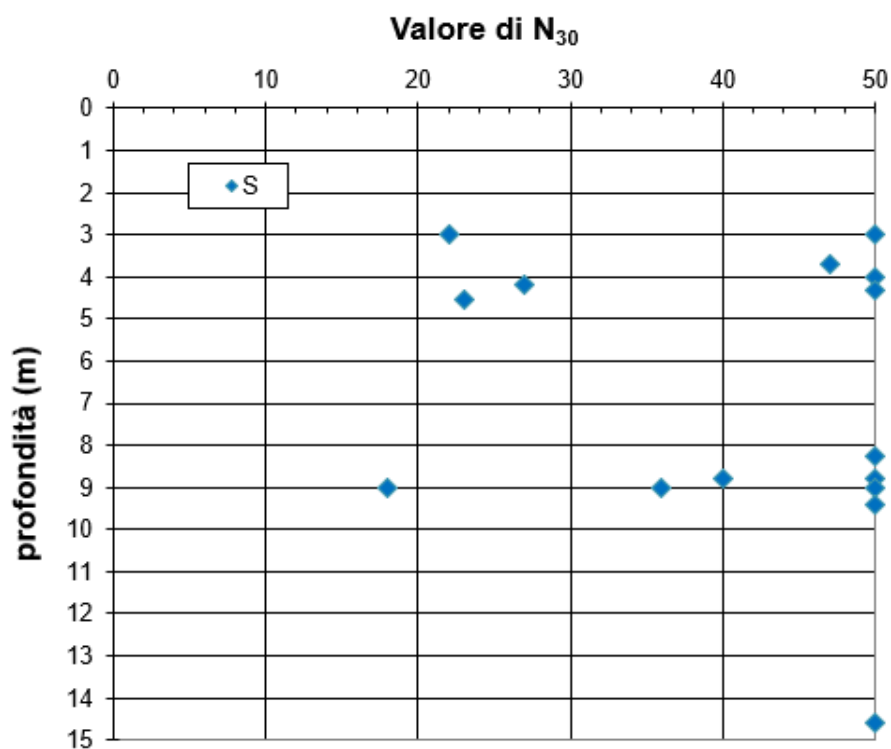
Dall'elaborazione dei risultati delle prove SPT e applicando le formule riportate nelle Tabella 5 2, Tabella 5 3 e Tabella 5 4 si sono ottenuti i seguenti intervalli di variazione delle grandezze più rappresentative:

- Valore $NSPT(30) = 18 - 50$;
- Densità relativa $Dr = 70-100\%$;
- Angolo di resistenza a taglio $\phi'' = 30^\circ - 38^\circ$;
- Modulo elastico operativo $E'_{op\ SPT} = 30 - 50$ MPa

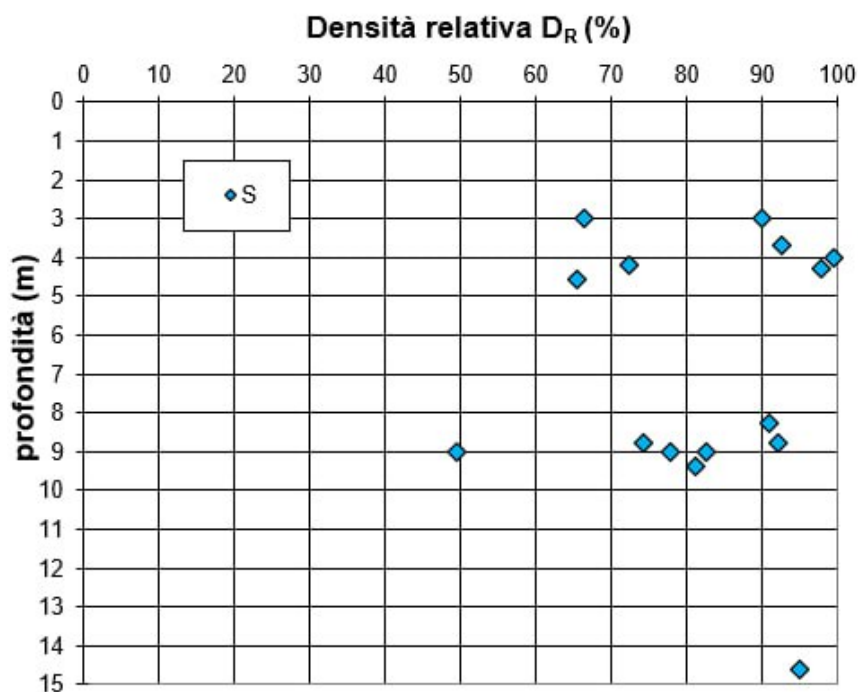
Di seguito si riportano i grafici che illustrano la variazione delle suddette grandezze in funzione della profondità di prova. .

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica



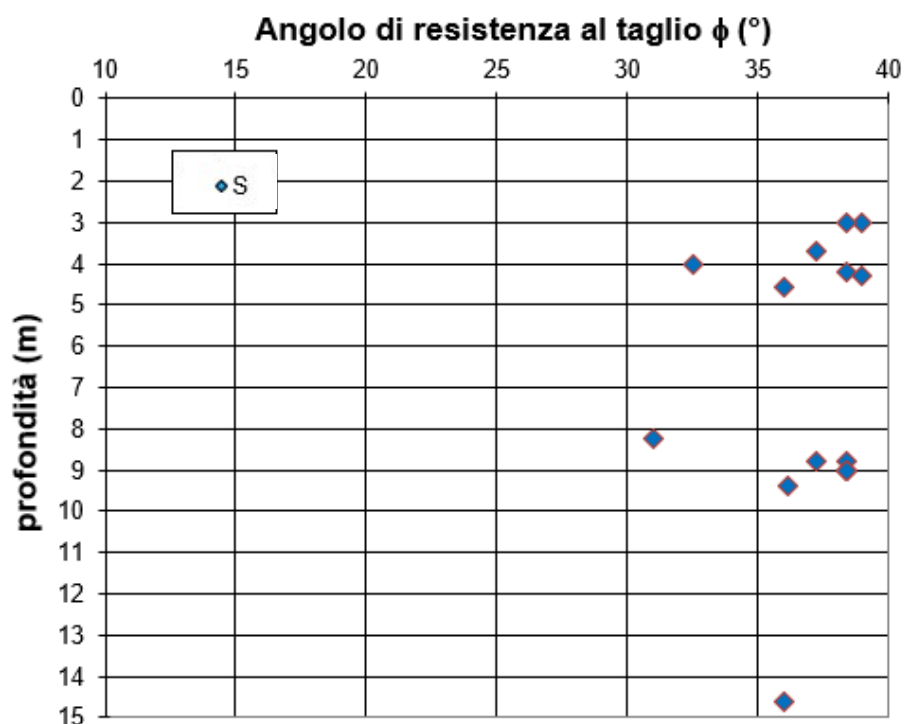
– Valori di N_{30} in funzione della profondità.



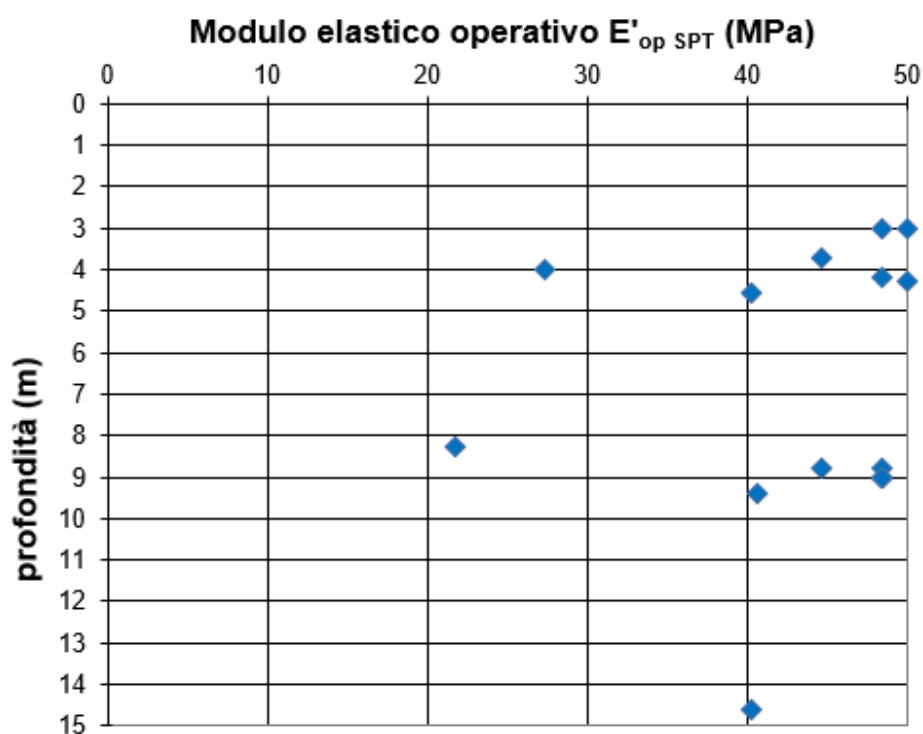
Valori di D_r in funzione della profondità.

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica

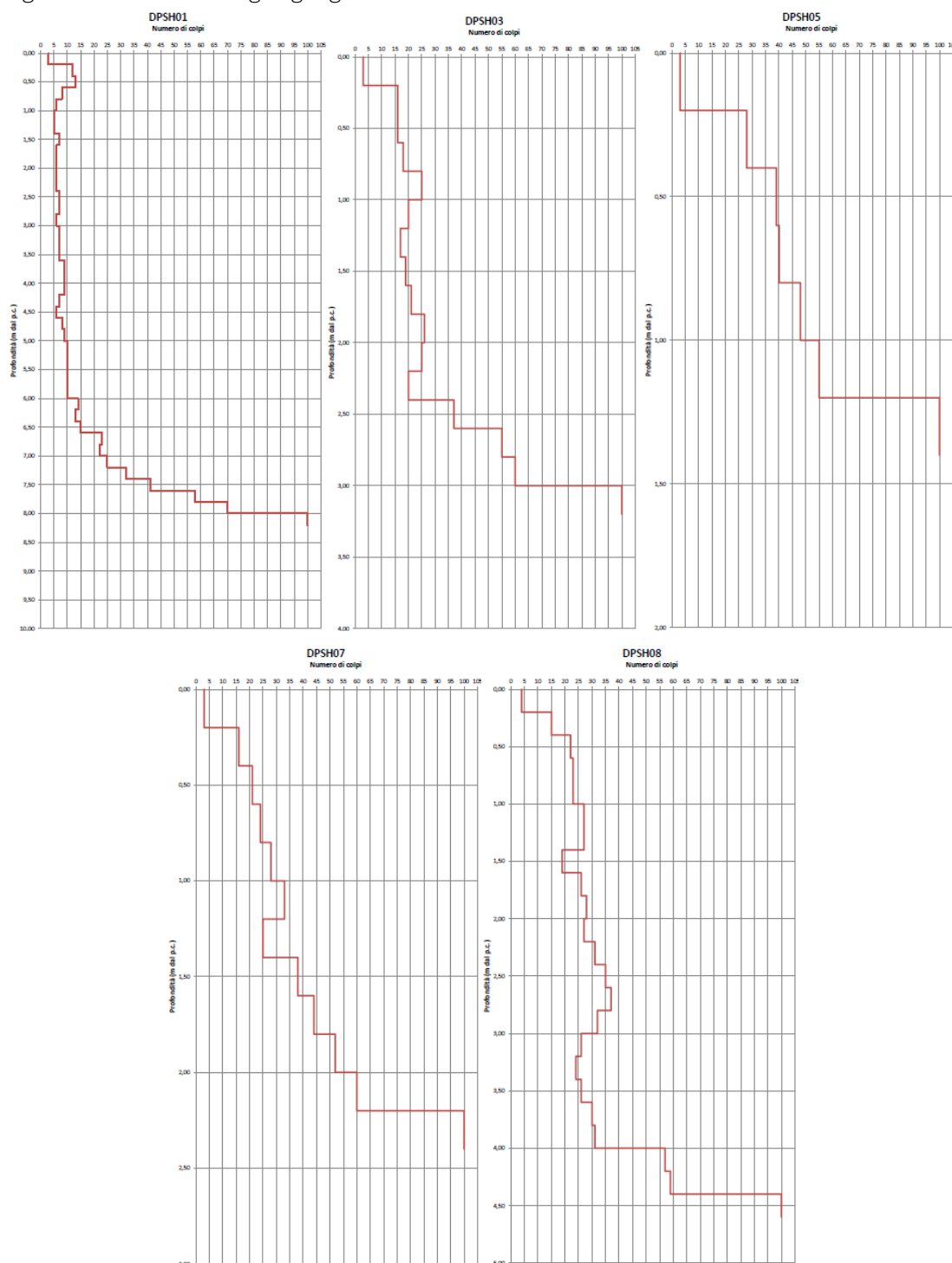


Valori di ϕ' in funzione della profondità.




Valori di E'_{op} in funzione della profondità.

Nelle seguenti figure si riportano i risultati delle prove DPSH svolte, che forniscono i valori di N20 al variare della profondità di prova. Per dettagli sulla metodologia di prova e sulle attrezzature utilizzate si rimanda agli elaborati delle indagini geognostiche.



Elenco prove penetrometriche DPSH.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

Sono state elaborate anche le prove DPSH i cui risultati, secondo Cestari (Prove Geotecniche, 1996), possono essere correlate a valori di N_{spt} :

$$NSPT = C \times N20$$

in cui N20 sono il numero di colpi alla penetrazione di riferimento EN ISO DPSH-B (20cm) provenienti dalle prove DPSH e C è un coefficiente di correlazione che varia in base allo strumento usato per le prove e in base alla litologia; in questo caso in cui è stato utilizzato un Penetrometro Pagani TG63/200 e il terreno è prevalentemente composta da sabbie e ghiaie può essere posto pari a 2, valore intermedio tra i range di variazione generici per le ghiaie (1,5-2) e le sabbie (2-2,8),

Applicando quanto sopra e avvalendosi della stessa procedura di calcolo svolta per le prove SPT si sono ottenuti i seguenti intervalli di variazione delle grandezze più rappresentative:

- Valore $N_{spt} = 6 \div 50$;
- Densità relativa $D_r = 50-90\%$;
- Angolo di resistenza a taglio $\varphi' = 29^\circ \div 33^\circ$;
- Modulo elastico operativo $E'_{op} SPT = 15 \div 30 \text{ MPa}$

Il coefficiente di permeabilità ricavato dall'elaborazione delle prove Lefranc, per la cui consultazione si rimanda alla Tabella a pag.16 alla profondità media di risulta dell'ardine di 10^{-6} cm/s .

8.4 Caratteristiche fisico – meccanica delle rocce lapidee

8.4.1 Monzogranito rosa (G)

Roccia monzogranitica di colore rosa mediamente fratturato. Le fratture sono prevalentemente da sub-verticali a 45°, con superfici mediamente scabre, piane, talora ondulate o irregolari, spesso alterate di colore rossastro; è presente materiale di riempimento. A tratti fortemente fratturato e generalmente prelevato in frammenti delle dimensioni della ghiaia e dei blocchi.

È presente lungo tutte le perforazioni al di sotto di una porzione alterata, indicata in precedenza con la sigla "S".

Le elaborazioni dei risultati delle indagini in sito e delle prove di laboratorio ha fornito i parametri geotecnici e geo-meccanici mostrati nelle tabelle che seguono:

- $\gamma_s = 25,0-26,5 \rightarrow [kN/m^3]; \uparrow$
- $c' = 15-25 \rightarrow [kPa]; \uparrow$
- $\varphi' = 40-45 \rightarrow [^\circ]; \uparrow$
- $I_{s50\%} = 3-4 \rightarrow [MPa]; \uparrow$
- $\sigma'_{ci} = 10-60 \rightarrow [MPa]; \uparrow$
- $\sigma'_{ti} = 2-6 \rightarrow [MPa]; \uparrow$
- $E_{s50\%} = 15-60 \rightarrow [GPa]; \uparrow$
- $E_{ti50\%} = 5-55 \rightarrow [GPa]; \uparrow$

| Sondaggio | | $\gamma [kN/m^3]$ | $\sigma_{ci} [MPa]$ | $\sigma_{ti} [MPa]$ | Modulo elastico tangente (50% T_{picco}) [Gpa] | Modulo elastico secante (50% T_{picco}) [Gpa] | ν (50% T_{picco}) |
|-----------|------|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
| S01 | CL01 | 24.99 | 40.81 | | 45.51 | 43.64 | 0.37 |
| S01 | CL02 | 25.20 | 64.39 | 4.11 | 49.89 | 40.29 | 0.45 |
| S02 | CL01 | 26.87 | 86.40 | 7.21 | 71.77 | 124.11 | 0.24 |
| S02 | CL02 | 24.86 | 35.74 | 4.57 | 22.72 | 24.74 | 0.36 |
| S02 | CL03 | 24.75 | 40.10 | 4.91 | 28.40 | 37.28 | 0.32 |
| S02 | CL04 | 24.80 | 19.71 | | 18.85 | 22.56 | 0.42 |
| S03 | CL01 | 25.18 | 64.29 | 6.68 | 36.22 | 49.43 | 0.29 |
| S03 | CL02 | 24.87 | 51.25 | | 71.17 | 64.98 | 0.27 |
| S03 | CL03 | 27.43 | 85.20 | | 86.97 | 69.29 | 0.24 |
| S03 | CL04 | 27.20 | 80.56 | 9.65 | 72.54 | 67.48 | 0.25 |
| S04 | CL01 | | | 5.18 | | | |
| S04 | CL02 | 25.52 | 84.50 | | 79.02 | 62.31 | 0.23 |
| S05 | CL01 | 24.94 | 66.14 | | 48.43 | 43.67 | 0.32 |
| S05 | CL02 | 24.96 | 35.52 | 6.06 | 47.26 | 40.36 | 0.39 |

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica

| Sondaggio | | γ [kN/m ³] | σ_{ci} [MPa] | σ_{ti} [MPa] | Modulo elastico tangente (50% T_{picco}) [Gpa] | Modulo elastico secante (50% T_{picco}) [Gpa] | ν (50% T_{picco}) |
|-----------|------|-------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
| S05 | CL03 | 25.30 | 79.25 | 7.20 | 81.25 | 79.42 | 0.30 |
| S05 | CL04 | 25.35 | 63.51 | | 79.91 | 49.95 | 0.32 |
| S06 | CL01 | 25.29 | 48.47 | | 38.26 | 44.25 | 0.37 |
| S06 | CL02 | 25.26 | 37.80 | 5.67 | 19.81 | 23.98 | 0.35 |
| S08 | CL01 | 24.94 | 67.37 | 4.41 | 55.98 | 53.82 | 0.32 |
| S08 | CL02 | 25.26 | 72.52 | | 77.59 | 65.02 | 0.29 |
| S08 | CL03 | 25.13 | 44.46 | | 41.99 | 44.38 | 0.33 |
| S08 | CL04 | 25.38 | 85.74 | 4.45 | 77.80 | 78.97 | 0.25 |
| S09 | CL01 | 25.38 | 88.87 | 7.49 | 75.60 | 70.27 | 0.25 |
| S09 | CL02 | 24.59 | 68.32 | | 66.52 | 61.41 | 0.34 |
| S09 | CL03 | 26.05 | 70.89 | | 71.84 | 72.18 | 0.28 |
| S09 | CL04 | 26.61 | 29.35 | 4.04 | 29.77 | 24.32 | 0.45 |
| S10 | CL01 | 26.84 | 35.02 | 6.21 | 46.97 | 43.05 | 0.34 |
| S10 | CL02 | 26.68 | 79.1 | 7.28 | 77.14 | 82.21 | 0.28 |
| S10 | CL03 | 26.19 | 53.61 | | 56.99 | 48.42 | 0.27 |
| S10 | CL04 | 26.65 | 77.87 | | 81.07 | 88.31 | 0.27 |
| S11 | CL01 | 26.42 | 16.23 | 2.29 | 19.09 | 8.65 | 0.48 |
| S11 | CL02 | 27.03 | 64.23 | 3.69 | 60.16 | 64.66 | 0.3 |
| S11 | CL03 | 26.94 | 37.46 | | 42.57 | 39.24 | 0.35 |
| S12 | CL01 | 26.72 | 10.63 | 4.50 | 11.40 | 12.81 | 0.48 |
| S12 | CL02 | 26.92 | 90.67 | 7.37 | 71.41 | 75.45 | 0.28 |
| S12 | CL03 | 26.10 | 14.28 | | 25.81 | 16.95 | 0.47 |
| S12 | CL04 | 26.61 | 83.64 | | 90.39 | 105.68 | 0.26 |
| S13 | CL01 | 27.34 | 98.03 | 9.58 | 84.27 | 73.44 | 0.25 |
| S13 | CL02 | 26.05 | 47.76 | | 57.84 | 50.25 | 0.3 |
| S13 | CL03 | 26.1 | 21.08 | | 22.78 | 17.02 | 0.35 |
| S13 | CL04 | 26.49 | 73.49 | 5.72 | 56.32 | 48.04 | 0.28 |
| S16 | CL01 | 25.99 | 82.42 | | 85.84 | 85.51 | 0.24 |
| S16 | CL02 | 25.53 | 69.6 | | 68.7 | 75.58 | 0.35 |
| S16 | CL03 | 25.49 | 52.36 | 6.70 | 60.57 | 70.44 | 0.39 |
| S17 | CL01 | 25.95 | 86.32 | | 75.44 | 78.37 | 0.26 |
| S17 | CL02 | 25.65 | 93.68 | 8.31 | 105.12 | 100.12 | 0.23 |
| S19 | CL01 | 27.1 | 69.35 | 3.34 | 71.89 | 68.58 | 0.3 |
| S19 | CL02 | 27.37 | 68 | | 78.11 | 79.55 | 0.29 |
| S19 | CL03 | 26.86 | 102.81 | | 104.51 | 108.85 | 0.24 |
| S20 | CL01 | 26.22 | 36.21 | 6.50 | 36.59 | 29.7 | 0.34 |
| S20 | CL02 | 26.61 | 65.69 | | 51.49 | 74.69 | 0.28 |

| Sondaggio | | γ [kN/m ³] | σ_{ci} [MPa] | σ_{ti} [MPa] | Modulo elastico tangente (50% T_{picco}) [Gpa] | Modulo elastico secante (50% T_{picco}) [Gpa] | ν (50% T_{picco}) |
|-----------|------|-------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
| S20 | CL03 | 27.34 | | 8.05 | | | |
| S22 | CL01 | 24.65 | 27.66 | 6.17 | 23.15 | 20.66 | 0.42 |
| S24 | CL01 | 26.44 | 17.50 | 7.24 | 27.67 | 23.85 | 0.48 |
| S24 | CL02 | 27.61 | 123.53 | 4.58 | 112.12 | 102.92 | 0.24 |
| S24 | | 27.30 | 71.03 | | 60.18 | 63.61 | 0.3 |

γ = Peso dell'unità di volume

σ_c = Resistenza a compressione (da prove di compressione uniaassiale)

σ_t = Resistenza a trazione (da prove a trazione indiretta)

ν = Coefficiente di *Poisson*

| Sondaggio | γ (kN/m ³) | I_{s50} (N/mm ²) | $\sigma_f = I_{s50} \times 24$ (N/mm ²) |
|-----------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| S04 | 26.53 | 4.27 | 102.48 |
| S20 | 27.34 | 3.48 | 83.52 |

Point Load Index I_{s50} .


Nei confronti della deformabilità dell'ammasso, le prove dilatometriche su roccia hanno fornito i seguenti risultati, con valori di modulo dilatometrico E_D 0,3-8 GPa.

| Sond. | d_a [m] | a [m] | E_D [GPa] |
|-------|-----------|---------|-------------|
| S10 | 11,5 | 12,5 | 8121 |
| S10 | 14,5 | 15,5 | 3052 |
| S10 | 20,5 | 21,5 | 1320 |
| S12 | 8,5 | 9,5 | 4785 |
| S12 | 21,5 | 22,5 | 1193 |
| S12 | 27,5 | 28,5 | 905 |
| S13 | 7,5 | 8,5 | 7900 |
| S13 | 17,5 | 18,5 | 2611 |
| S13 | 20,5 | 21,5 | 1190 |
| S19 | 10,5 | 11,5 | 475 |
| S19 | 13,5 | 14,5 | 2084 |
| S19 | 18,5 | 19,5 | 310 |

Risultati prove dilatometriche

Dall'esame delle stratigrafie dei sondaggi e da un riscontro con le cassette catalogatrici si sono ricavati valori dell'indice RQD compresi tra 0 % e 94 %.

Per la valutazione del GSI, che rappresenta un indice di qualità dell'ammasso, è stato utilizzato il sistema di classificazione proposto da Bieniawski nel 1976, il quale definisce un fattore RMR, variabile fra 0 e 100, con

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

cui tenere conto delle caratteristiche meccaniche della roccia intatta, dell'indice RQD, della spaziatura e rugosità dei giunti, della falda e della permeabilità della roccia, della posizione delle discontinuità principali rispetto alla direzione dell'avanzamento.

Dall'applicazione del metodo esposto al capitolo 5.1, con l'ausilio dei rilievi svolti durante le indagini geognostiche sui carotaggi e presenti nella documentazione delle indagini geognostiche, si sono ottenuti valori di GSI compresi tra 20 e 70. Tale marcata variazione denota una forte disomogeneità dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso.

I criteri applicati per l'utilizzo della tabella di supporto del metodo di Bieniawski, rispetto ai dati in possesso dei rilievi geo-meccanici, sono i seguenti:

1) Calcolo R1, R2 e R3

per tali parametri sono stati utilizzati i dati provenienti dalla campagna di indagini della resistenza a compressione della roccia (da prove di laboratorio), del valore di RQD (misura in situ e presente nella schede dei sondaggi) e delle spaziature tra le discontinuità (misurata in situ tramite i campioni nelle cassette catalogatrici).

2) Calcolo R4

il parametro R4 è sintesi di più grandezze, secondo i punteggi descritti nella sezione "E. Guidelines for classification of discontinuity conditions"


$$R4 = R4,1 + R4,2 + R4,3 + R4,4 + R4,5$$

R4,1: desunto tramite il calcolo della persistenza dell'ammasso; non avendo dati in situ che permettano la stima veritiera della persistenza sono stati utilizzati valori cautelative con correlati punteggi bassi da tabella, in particolare sono stati considerati persistenze tra 3-10 m e tra 10-20 m che corrispondono, rispettivamente, a 2 e 1;

R4,2: desunto dalla valutazione tramite la documentazione fotografica dei valori di apertura sui carotaggi;

R4,3: il rilievo geomeccanico fornisce informazioni in merito alla forma della superficie di discontinuità (scabrezza) dividendolo in 3 classi: piana (associata alla classe Smooth), ondulata (associata alla classe Slightly rough) e irregolare (associata alla classe Rough); i punteggi attribuiti sono dunque, rispettivamente, 1, 3 e 5;

R4,4: il rilievo geomeccanico fornisce informazioni in merito riempimento, dividendolo in 4 classi: assente (associata alla classe Soft filling >5mm), basso (associata alla classe Soft filling <5mm), medio (associata alla

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  anas GRUPPO FS ITALIANE |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

classe Hard filling >5mm) e alto (associata alla classe Hard filling <5mm); i punteggi attribuiti sono dunque, rispettivamente, 6, 4, 2 e 2;

R4,5: il rilievo geomeccanico fornisce informazioni in merito allo stato di alterazione dividendolo in 4 classi: assente (associata alla classe Unweathered), bassa (associata alla classe Slightly weathered), media (associata alla classe Moderately weathered) e alta (associata alla classe Highly weathered); i punteggi attribuiti sono dunque, rispettivamente, 6, 5, 3 e 1;

3) Calcolo R5

il parametro R5 tiene conto della presenza o meno di acqua fra le discontinuità. Per l'area in esame è ragionevole considerare presenza di falda solo in corrispondenza delle aree di alluvionali nelle quali sono state registrate venute di acqua quasi al livello del piano campagna, ma a livello di sicurezza si impone un punteggio pari a 7 e relativo alla roccia "bagnata" ("wet") per tutto l'ammasso.

4) Calcolo R6

tale parametro, funzione del fronte di scavo di avanzamento, tiene conto del fatto che le discontinuità principali rispetto alla direzione di avanzamento posso essere favorevoli o sfavorevoli. In questa sede si considerano entrambe le situazioni definendo un GSI_{min} e GSI_{max}, ovvero, rispettivamente, i valori di GSI in corrispondenza di un fronte di scavo con inclinazione delle discontinuità sfavorevoli e favorevole.

8.4.2 Basalto (B)


Il basalto, rivenuto solo nel sondaggio S03 e presente raramente in affioramento lungo il tracciato, è di colore grigio scuro-nerastro, fratturato, con frequenti patine di alterazione di colore ruggine. Le fratture sono prevalentemente sub-verticali, con superficie mediamente scabre, generalmente piane, a tratti ondulate; presenza di materiale di riempimento. A tratti la roccia è fortemente fratturata e generalmente prelevata in frammenti delle dimensioni della ghiaia e dei blocchi.

Rivenuto solo nel sondaggio S03, e presente raramente in affioramento lungo il tracciato e affiorante.

La tabella che segue mostra i parametri geo-meccanici desunti dalle prove in sito e di laboratorio.

| Sond. | γ_{med} [kN/m ³] | σ_{ci} [MPa] | Modulo elastico tangente (50% τ_{picco}) [Gpa] | Modulo elastico secante (50% τ_{picco}) [Gpa] | ν (50% τ_{picco}) |
|-------|----------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|
| S03 | 27.43 | 85.20 | 86.97 | 69.29 | 0.24 |
| S03 | 27.20 | 80.56 | 72.54 | 67.48 | 0.25 |

Prove di laboratorio campioni di rocce (B).

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

Dall'esame delle stratigrafie dei sondaggi e da un riscontro con le cassette catalogatrici si sono ricavati valori dell'indice RQD compresi tra 0 % e 75 %.

Nei confronti di σ_f si denotano valori che si aggirano attorno a 70-80 MPa e in base a quanto detto si è infine associato un valore di m_i pari a 25 da dati di letteratura e bibliografia.

Dall'applicazione del metodo esposto al capitolo 5.1, con l'ausilio dei rilievi svolti durante le indagini geognostiche sui carotaggi e presenti nella documentazione delle indagini geognostiche, si sono ottenuti valori di GSI compresi tra 20 e 85.

I criteri applicati per l'utilizzo della tabella di supporto del metodo di Bieniawski, rispetto ai dati in possesso dei rilievi geomeccanici, sono i seguenti:

5) Calcolo R1, R2 e R3

per tali parametri sono stati utilizzati i dati provenienti dalla campagna di indagini della resistenza a compressione della roccia (da prove di laboratorio), del valore di RQD (misura in situ e presente nella schede dei sondaggi) e delle spazature tra le discontinuità (misurata in situ tramite i campioni nelle cassette catalogatrici).

6) Calcolo R4

il parametro R4 è sintesi di più grandezze, secondo i punteggi descritti nella sezione "E. Guidelines for classification of discontinuity conditions"


$$R4 = R4,1 + R4,2 + R4,3 + R4,4 + R4,5$$

R4,1: desunto tramite il calcolo della persistenza dell'ammasso; non avendo dati in situ che permettano la stima veritiera della persistenza sono stati utilizzati valori cautelative con correlati punteggi bassi da tabella, in particolare sono stati considerati persistenze tra 3-10 m e tra 10-20 m che corrispondono, rispettivamente, a 2 e 1;

R4,2: desunto dalla valutazione tramite la documentazione fotografica dei valori di apertura sui carotaggi;

R4,3: il rilievo geomeccanico fornisce informazioni in merito alla forma della superficie di discontinuità (scabrezza) dividendolo in 3 classi: piana (associata alla classe Smooth), ondulata (associata alla classe Slightly rough) e irregolare (associata alla classe Rough); i punteggi attribuiti sono dunque, rispettivamente, 1, 3 e 5;

R4,4: il rilievo geomeccanico fornisce informazioni in merito riempimento, dividendolo in 4 classi: assente (associata alla classe Soft filling >5mm), basso (associata alla classe Soft filling <5mm), medio (associata alla

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

classe Hard filling >5mm) e alto (associata alla classe Hard filling <5mm); i punteggi attribuiti sono dunque, rispettivamente, 6, 4, 2 e 2;

R4,5: il rilievo geomeccanico fornisce informazioni in merito allo stato di alterazione dividendolo in 4 classi: assente (associata alla classe Unweathered), bassa (associata alla classe Slightly weathered), media (associata alla classe Moderately weathered) e alta (associata alla classe Highly weathered); i punteggi attribuiti sono dunque, rispettivamente, 6, 5, 3 e 1;

7) Calcolo R5

il parametro R5 tiene conto della presenza o meno di acqua fra le discontinuità. Per l'area in esame è ragionevole considerare presenza di falda solo in corrispondenza delle aree di alluvionali nelle quali sono state registrate venute di acqua quasi al livello del piano campagna, ma a livello di sicurezza si impone un punteggio pari a 7 e relativo alla roccia "bagnata" ("wet") per tutto l'ammasso.

8) Calcolo R6

tale parametro, funzione del fronte di scavo di avanzamento, tiene conto del fatto che le discontinuità principali rispetto alla direzione di avanzamento possono essere favorevoli o sfavorevoli. In questa sede si considerano entrambe le situazioni definendo un GSI_{min} e GSI_{max}, ovvero, rispettivamente, i valori di GSI in corrispondenza di un fronte di scavo con inclinazione delle discontinuità sfavorevoli e favorevole.

8.5 Caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dei terreni e delle rocce

Di seguito sono riportati in sintesi i parametri geotecnici che è possibile attribuire ai terreni che costituiscono il volume significativo ai fini della progettazione delle opere.

I parametri geotecnici valgono per i terreni di fondazione di tutto il tracciato e quindi per tutte le opere, in considerazione dell'omogeneità di comportamento dei vari termini desunta dai risultati delle indagini in sito e di laboratorio. Si osserva, infatti, che dall'esame del profilo geotecnico e dei dati di indagine, non si sono riscontrate situazioni particolari, tali da dover considerare parametri specifici per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione di singoli tratti in rilevato e/o viadotto e/o trincea.

Nella tabella che segue si riportano i valori dei parametri fisico-meccanici dei terreni individuati, da utilizzare per il dimensionamento geotecnico e strutturale delle fondazioni delle opere d'arte.

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica


| Sigla | γ [kN/m ³] | c' [kPa] | ϕ' [°] | E'_{op} * [MPa] |
|-------|----------------------------------|---------------|----------------|----------------------|
| ALG | 17,5-19 | 3-4 | 38-40 | 20-40 |
| S | 17-19 | 8-14 | 32-34 | 30-50 |

Tab- Caratteristiche meccaniche terreni sciolti.

*I valori di E'_{op} sono stati desunti dalle valutazioni di tutte le prove presenti tra le indagini di laboratorio e geognostiche, tra cui prove Nspt, prove DH e prove DPSH e confrontate con dati bibliografici e di letteratura.

| Sigla | γ [kN/m ³] | σ'_{ci} [MPa] | σ'_{ti} [MPa] | m_i [-] | GSI [-] | $E'_{s50\%}$ [GPa] | $E'_{t50\%}$ [GPa] |
|-------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|------------|-----------------------|-----------------------|
| G | 25-27 | 10-60 | 0.1-6 | 30-35 | 20-70 | 15-60 | 5-55 |
| B | 27 | 50-80 | 0.1-4 | 25-30 | 20-85 | 15-60 | 15-55 |

Parametrici fisico-meccanici delle rocce.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

1. Rilievi geomorfologici delle aree oggetto di studio

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.

In particolare lo studio è stato redatto a seguito e tenendo conto della Deliberazione n. 14 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino regionale, che ha adottato preliminarmente la variante al PAI, concentrata sulla parte frana, per i sub bacini specifici (pubblicata il 28 ottobre 2024), deliberazione pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Sardegna (BURAS) n. 60 che l'ha resa ufficiale


Lo studio è stato redatto seguendo i criteri 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".

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:

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

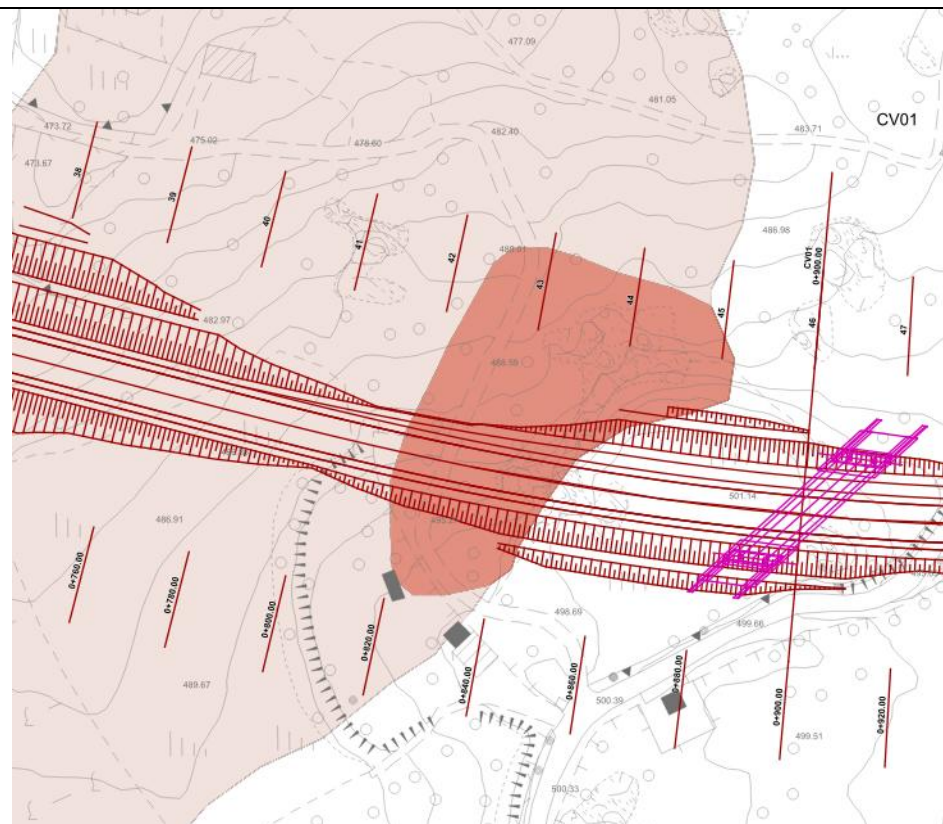
- Aree di pericolosità molto elevata da frana (Hg4): in cui sono consentiti interventi strutturali e non per il controllo dei dissesti (opere di bonifica, manutenzione e consolidamento dei versanti, opere di riqualificazione ambientale...); interventi di demolizione senza ricostruzione nello stesso sito, 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 il tracciato in progetto sussistono condizioni di interferenza del tracciato con alcune aree classificate con grado di pericolosità Hg 1 , Hg2 ed Hg3. In particolare, per quanto riguarda le aree a pericolosità media ed elevata il tracciato di progetto interferisce un'area a pericolosità Hg2 (pericolosità media), che intercetta, per un breve tratto, l'asse della CA350 rispettivamente tra le progressive 0+818 e 0+875 ed un'area a pericolosità elevata che interferisce il tracciato tra le progr. 0+040 e 0+100 e il tratto di collegamento alla SS127 tra la progr.0+050 e la progr.0+160

Di seguito si riporta le schede descrittive della A.I. intercettata, contenenti gli elementi caratteristici.

A.I. 1 CA350– Km progr.0+818-0+875

**Inquadramento
Pericolosità
geomorfologica
PAI 2024
con tracciato in
rosso**




Stralcio Carta Pericolosità Geomorfologica PAI

**Vista aerea
Google Earth
con tracciato**



Ubicazione del tracciato stradale su foto aerea (Google Earth) nell'area in studio

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

Foto



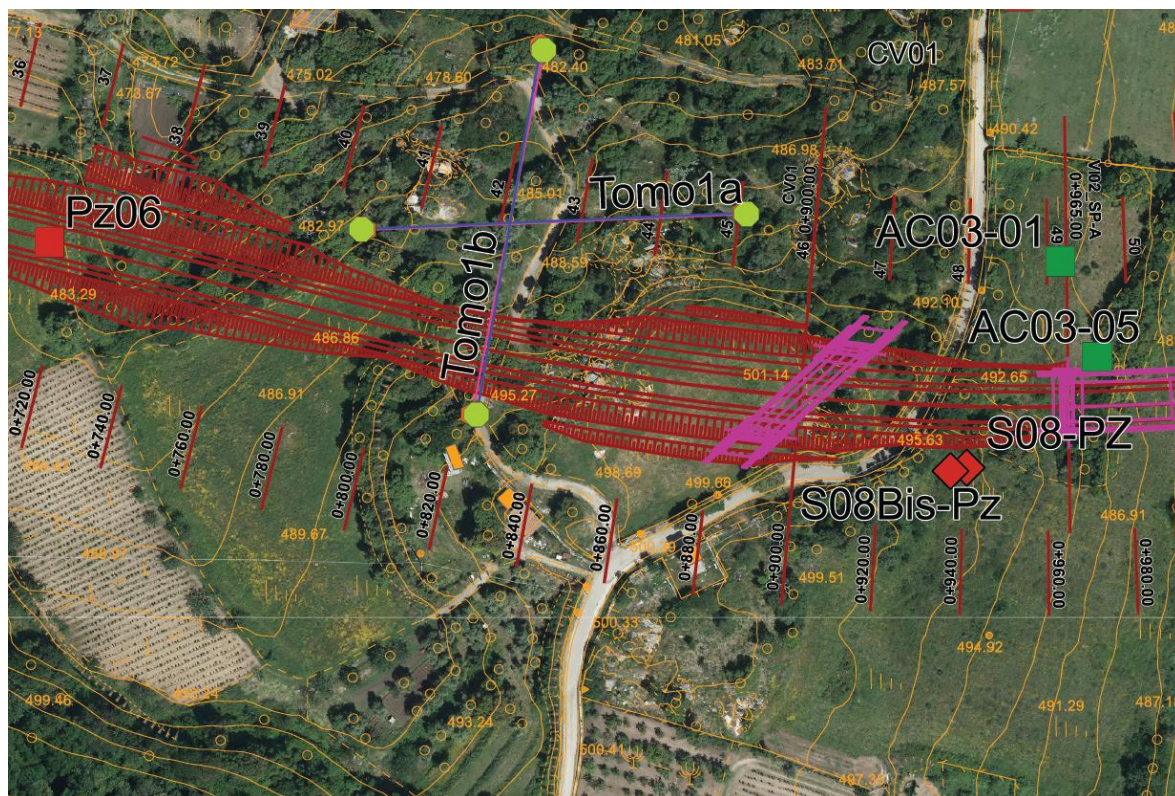
Panoramica area in studio – il versante interessato da pericolosità geologica Hg2

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica

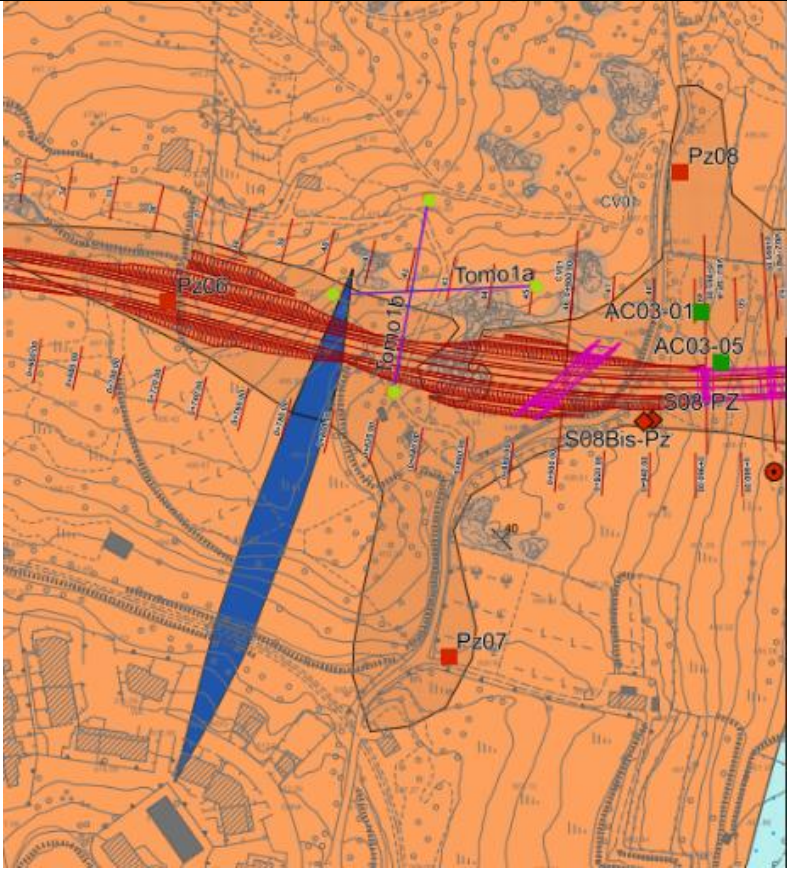
**Pericolosità
interferita**

Asse della CA350 tra la progressiva 0+818 e la progressiva 0+875 . Il tracciato corre in scavo



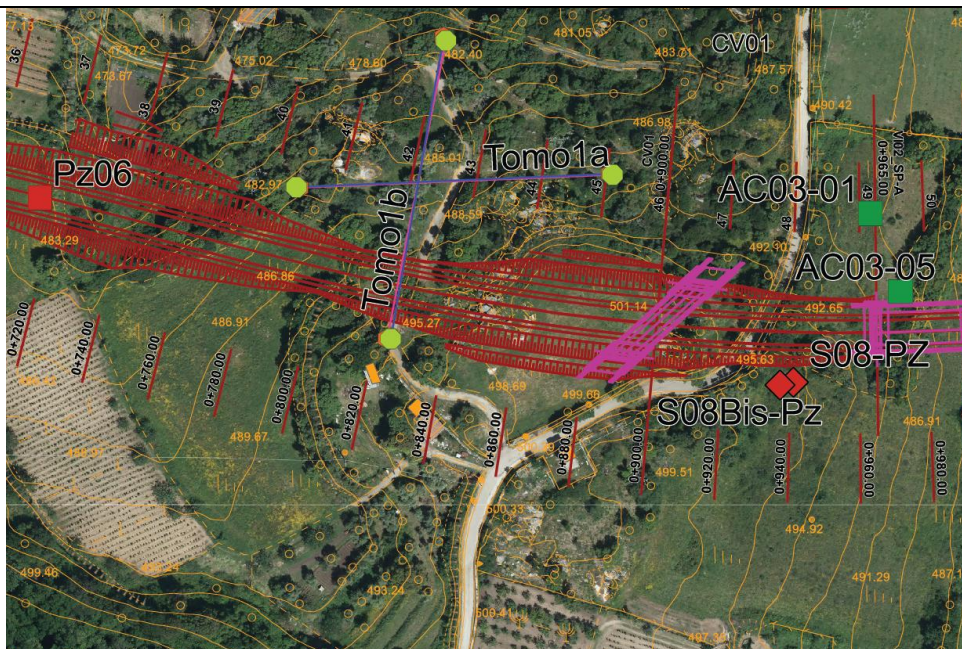
CA350

Studio di compatibilità geomorfologica

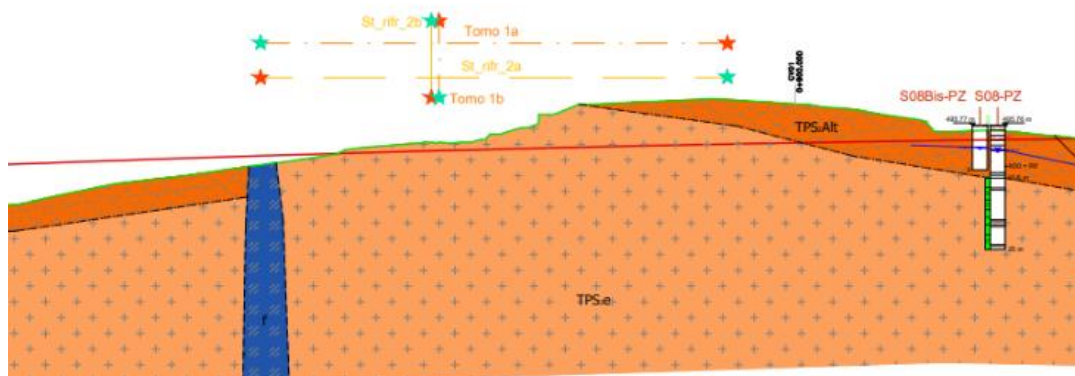
| | |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Litologia affiorante | <p>I rilievi geologici hanno evidenziato che la parte in rilevato del tracciato insiste sui terreni dell'unità monzogranitica ricoperti solo nella parte terminale del versante dalla coltre di arenizzazione del monzogranito. Nella parte sommitale del versante, segnalati nella carta geologica, si rilevano limitati affioramenti del substrato relitti dell'alterazione; la superficie del rilievo risulta omogeneamente coperta da suolo e vegetazione.</p> |
| |  |
| Indagini di riferimento | <p>Rilievo geologico e geomorfologico di superficie. Sondaggio S08_Pz-S08Pz bis – Tomografie sismiche 1a e 1b</p> |
| | |

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica



Ubicazione indagini geognostiche




Profilo longitudinale lungo l'asse stradale

Osservazioni

L'area interferita è costituita dall'estreme propaggini del versante orientale di Nuraghe Nieddu, che degradano verso l'incisione del Riu Mulaglia, vegetate e con presenza di una coltre di arenizzazione sul versante.

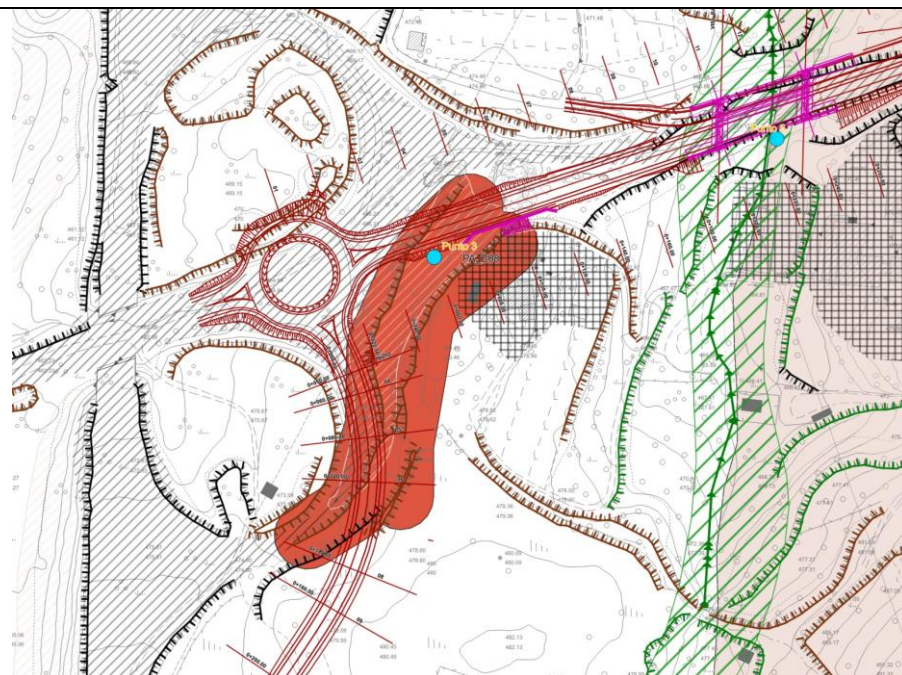
| | |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>Sia nelle aree circostanti il sito indicato nel PAI , percorse in avvicinamento all'area indicata che sullo stesso in pericolosità Hg2 sono stati osservati affioramenti costituiti da coltri di alterazione del substrato monzogranitico nella parte inferiore del versante che la sciano il posto al substrato monzogranitico nella parte sommitale del versante; la superficie del rilievo risulta omogeneamente coperta da suolo e vegetazione.</p> <p>La la frazione arenitizzata del monzogranito che caratterizza l'intera area fino ad una profondità di circa 10.60 m dal piano campagna come riscontrato dalle indagini svolte nell'area (S08 Pz).</p> <p>Il rilevamento geomorfologico non ha evidenziato presenza di dissesti attivi sul versante a monte del tracciato di progetto.</p> <p>E' stata rilevata la presenza di fitta vegetazione sul versante ; nell'area proprio a pericolosità Hg2 è presente un fabbricato e un muro di confine che non mostrano segni di cedimenti o dissesti in atto.</p> <p>Le indagini eseguite nell'area e le caratteristiche litologiche delle formazioni interessate non evidenziano quindi condizioni di potenziale dissesto tali da costituire un rischio per l'infrastruttura il progetto.</p> |
| Interventi previsti | <p>Il tracciato corre in rilevato dalla pk 0+600 alla pk 0+800 , per poi proseguire in scavo, con profondità massima di 9 m dal p.c. dalla pk 0+800 alla pk 0+900.</p> <p>La presenza dei sondaggi geognostici ubicati lungo il tracciato ha evidenziato che la parte in rilevato del tracciato insiste sui terreni dell'unità monzogranitica ricoperti a tetto dalla coltre di arenizzazione del monzogranito. Lo spessore di tale coltre varia tra i 17,60 m (S06Pz) ai 10,60 m (S08 Pz).</p> <p>La coltre di alterazione diminuisce di spessore dalla progr. 0+600 alla progr. 0+800 sino a lasciare posto all'affioramento dei monzograniti tra la progr.0+800 e 0+900</p> <p>La falda acquifera permea la coltre di alterazione tra le progr. 0+600 alla progr. 0+800 con una soggiacenza variabile tra 1,17 m e 3,68 dal p.c (S06 Pz) e tra 5 m e 8,60 m dal p.c (S08Pz).</p> |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

| | |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>Nell'area interessata dalla pericolosità Hg2, dalla pk 0+800 alla pk 0+900 , sono previsti scavi con profondità massima di 9 m dal p.c. . Gli scavi previsti interesseranno in maggior parte l'affioramento dei monzograniti ed in particolar modo l'area a pericolosità Hg2..</p> <p>Gli scavi rimodellando la pendenza del versante elimineranno ogni rischio di distacco di blocchi o di instabilità</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

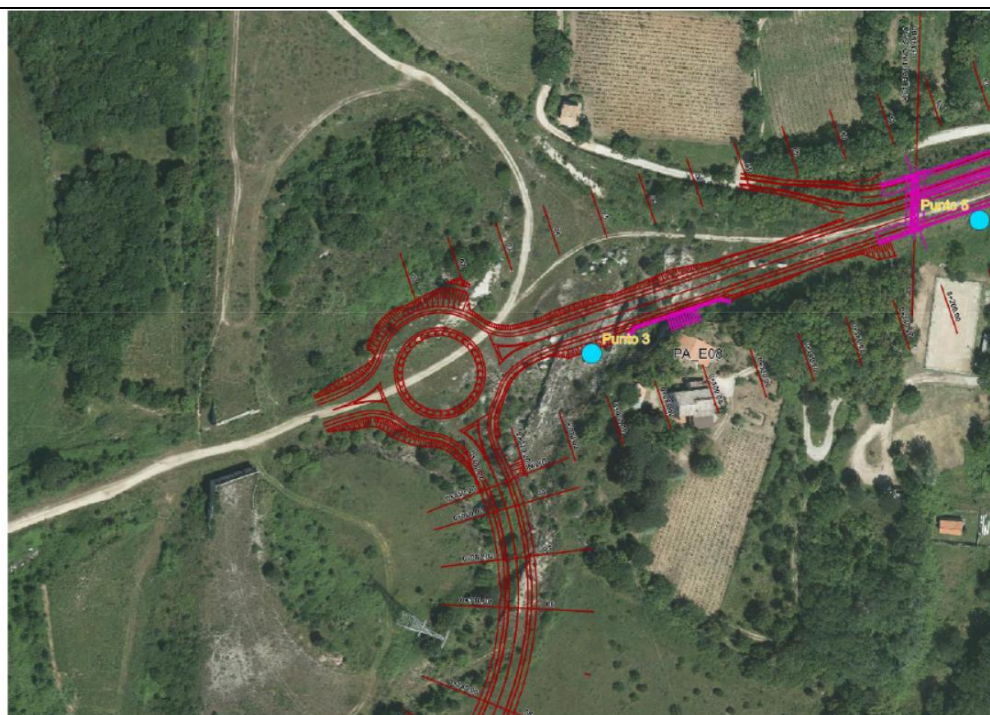
A.I. 1 CA350– Km progr.0+040-0+100 – tratto di collegamento progr.0+050 -0+160

**Inquadramento
Pericolosità
geomorfologica
PAI 2024
con tracciato in
rosso**




Stralcio Carta Pericolosità Geomorfologica PAI

**Vista aerea
Google Earth
con tracciato**



Ubicazione del tracciato stradale su foto aerea (Google Earth) nell'area in studio

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

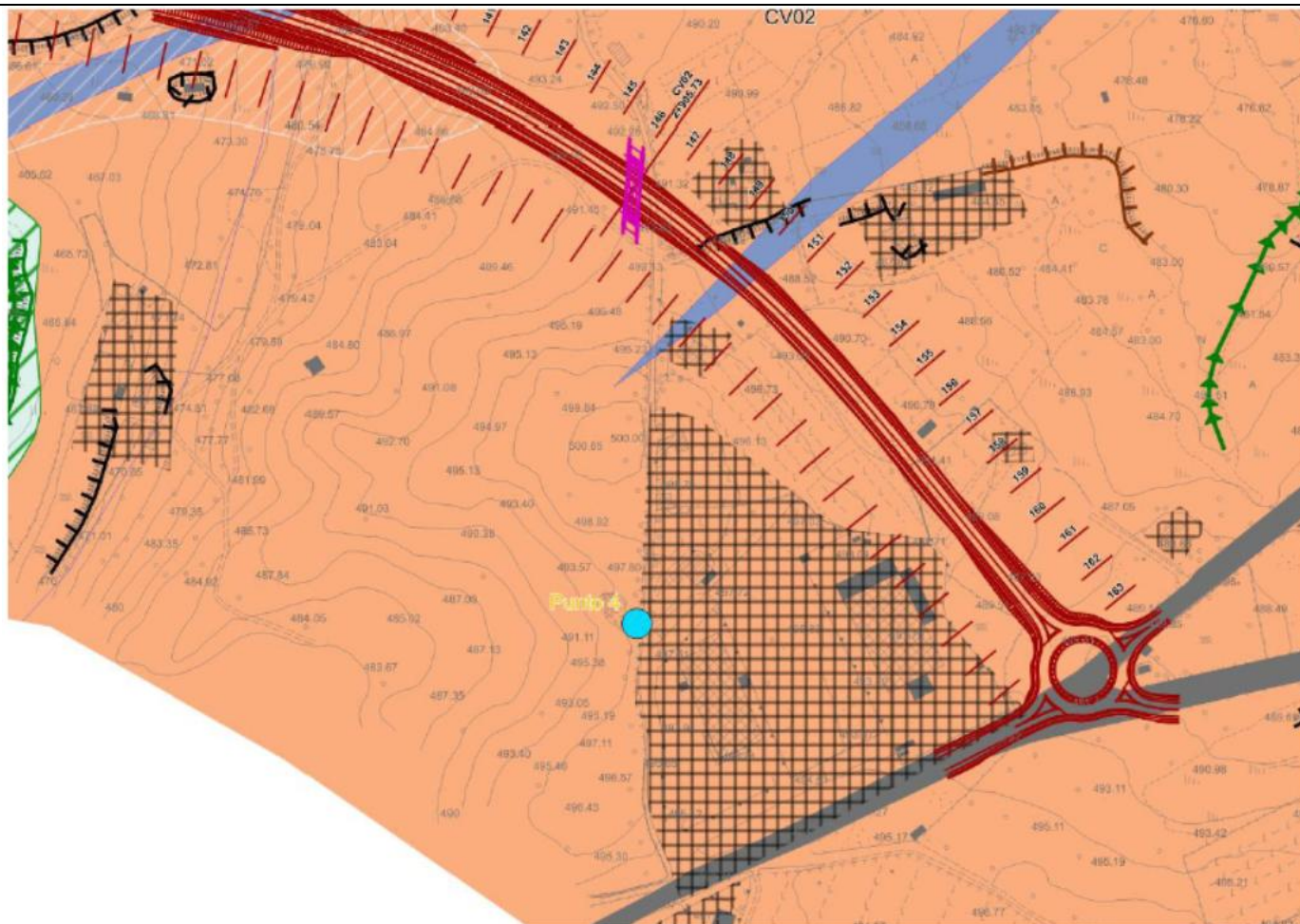
Foto



Panoramica area in studio – il versante interessato da pericolosità geologica Hg3 – punto di ripresa 3



Ubicazione punto ripresa 3



Ubicazione punto ripresa 4

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica



Panoramica area in studio – il versante interessato da pericolosità geologica

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica

**Pericolosità
interferita**

Asse principale della SS127 tra la progr.0+040-0+100 –

dalla progr. 0+000 alla progr. 0+060 , la strada corre in rilevato ; è prevista l'asportazione della coltre superficiale; dalla progr. 0+060 alla progr.0+199 la strada corre in scavo con entità massima di 3 m dal p.c.

Nel tratto di collegamento con la SS127dalla progr. 0+050 alla progr. -0+160

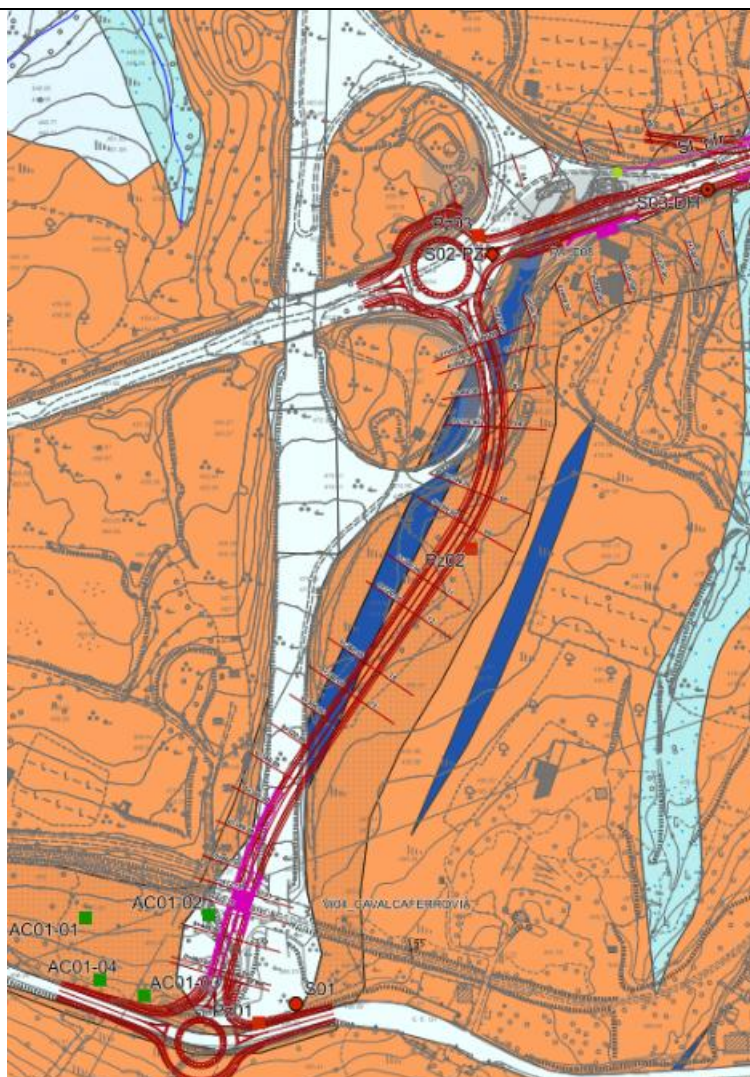
dalla progr.0+000 -0+500. Il tracciato corre in rilevato, tranne un breve tratto in scavo dalla progr. 0+180 alla progr.0+200



| | |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Litologia affiorante</p> | <p>L'asse principale del tracciato di progetto tra la progr.0+000-0+100 è caratterizzato dalla presenza dei monzograniti. La formazione risulta fortemente alterata con presenza di "graniti arenizzati" (TPS2Alt) a tetto del bedrock; . Lo spessore della coltre di arenizzazione varia da 0m lungo la verticale del sondaggio S02 PZ , agli 8 m rilevati nel S03 DH, ai 24,70 m del sondaggio S04 PZ ai 17,60 m del sondaggio S06 PZ.</p> <p>Il substrato monzogranitico è ricoperto, nella zon interessata dalla pericolosità Hg3, da una coltre antropica, costituita da blocchi di granito e materiali del rilevato stradale con spessore variabile da 0 m a 4 m, 5 m (S04Pz).</p> <p>Dalle indagini svolte in sito si rileva che sia la coltre antropica che quella di arenizzazione risultano litologicamente caratterizzate da sabbie, ghiaie e conglomerati.</p> <p>Nell'area si rileva inoltre, all'interno dell'unità dei monzograniti, la presenza di rocce magmatiche effusive rappresentate dai filoni basaltici del Carbonifero sup. – Permiano , con un corpo filiniano allungato in direzione NNE-SSW (in blu nella carta geologica)</p> |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

CA350

Studio di compatibilità geomorfologica



Indagini di riferimento

Rilievo geologico e geomorfologico di superficie.

sondaggi geognostici S01-S02_PZ, S02_S03-DH; pozzetti geognostici Pz01, Pz03 Pozzetto
Pz01,Pz02,AC01, AC02, AC02, AC04.

CA350

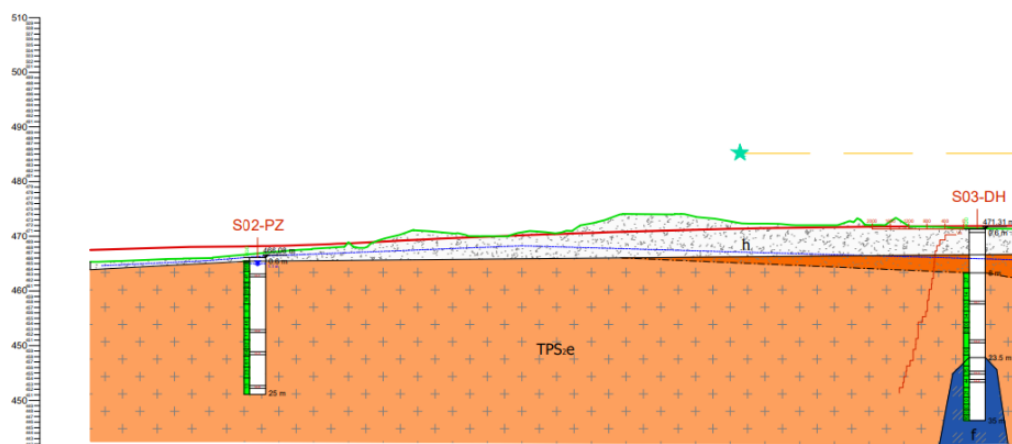
Studio di compatibilità geomorfologica



Ubicazione indagini geognostiche

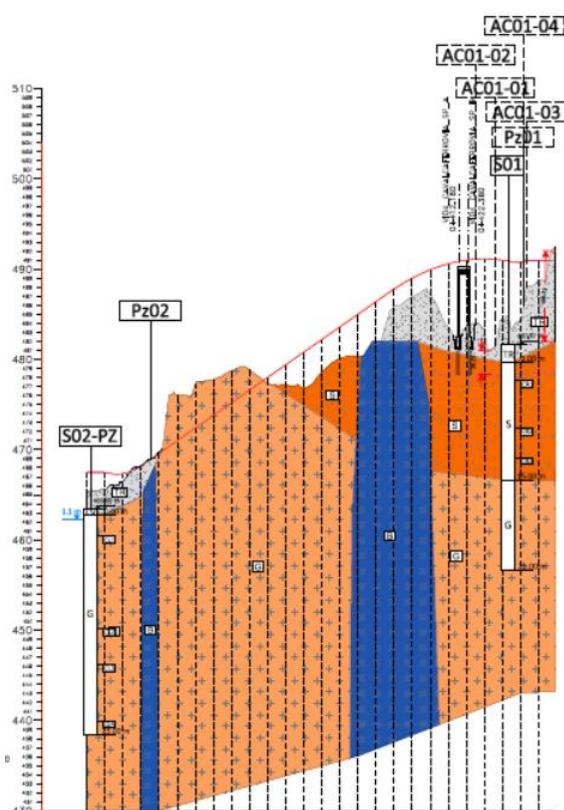
CA350

Studio di compatibilità geomorfologica



SS127 tra la progr.0+000-0+100


Progr. 0




Tratto di collegamento dalla progr.0+000 -0+500

Profilo longitudinale lungo l'asse stradale

| | |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Osservazioni</p> | <p>L'area interferita è costituita da una stretta vallecola allungata in senso NE-SW, a fondo piatto, e sulle cui sponde affiora la formazione dei monzograniti.</p> <p>Sia nelle aree circostanti il sito indicato nel PAI , percorse in avvicinamento all'area indicata che sullo stesso in pericolosità Hg3 sono stati osservati affioramenti costituiti da coltri di alterazione del substrato monzogranitico nella parte inferiore del versante che lasciano il posto al substrato monzogranitico nella parte sommitale del versante e sulle scarpate acclivi della vallecola.</p> <p>Ai piedi del scarpata del fianco orientale della vallecola si rileva la presenza di blocchi di diametro di circa 1 m, derivanti da attività di scavo.</p> <p>Il rilevamento geomorfologico non ha evidenziato presenza di dissesti attivi sui fianchi della vallecola.</p> <p>Le indagini eseguite nell'area e le caratteristiche litologiche delle formazioni interessate non evidenziano quindi condizioni di potenziale dissesto tali da costituire un rischio per l'infrastruttura il progetto.</p> |
| <p>Interventi previsti</p> | <p>Lungo l'asse principale della strada progettata tra le progr. 0+00 e 0+ 199 il tracciato corre in scavo, con profondità massima di 3 m dal p.c. .</p> <p>La presenza dei sondaggi geognostici ubicati lungo il tracciato ha evidenziato che la parte in scavo del tracciato insiste sui terreni dell'unità monzogranitica ricoperti a tetto dalla coltre di arenizzazione del monzogranito.. Lo spessore della coltre di arenizzazione varia da 0m lungo la verticale del sondaggio S02 PZ , agli 8 m rilevati nel S03 DH</p> <p>Nell'area interessata dalla pericolosità Hg3, dalla pk 0+800 alla pk 0+199 , sono previsti scavi con profondità massima di 3 m dal p.c. . Gli scavi previsti interesseranno in maggior parte l'affioramento dei monzograniti ed in particolar modo l'area a pericolosità Hg3..</p> <p>Gli scavi, rimodellando la pendenza del versante, elimineranno ogni rischio di distacco di blocchi o di instabilità.</p> <p>Per quanto riguarda il tratto di collegamento alla S.S.127 esistente Il tracciato corre principalmente in rilevato dalla pk 0+000 alla pk 0+500. I sondaggi geognostici realizzati</p> |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

| | |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>lungo il tracciato, unitamente ai rilievi geologici eseguiti hanno evidenziato la presenza dell'unità monzogranitica ricoperta a tetto dalla coltre di arenizzazione del monzogranito. Lo spessore di tale coltre è rilevante ; sulla verticale del sondaggio S02 Pz e S01 lo spessore assume valori di oltre 25 m. Tra le pk 0+000 e 0+ 080 a copertura della coltre di alterazione dei monzograniti, si rileva la presenza di una coltre antropica con spessore di circa 1.0-2.0 m. Tra le pk 0+180 e pk 0+200 il substrato monzogranitico affiora senza copertura alterata. La messa in opera del rilevato conferirà al versante una configurazione morfologica più stabile che eliminerà la pericolosità geologica dell'area interferita.</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

Compatibilità geomorfologica dell'opera in progetto e verifica delle indicazioni del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna

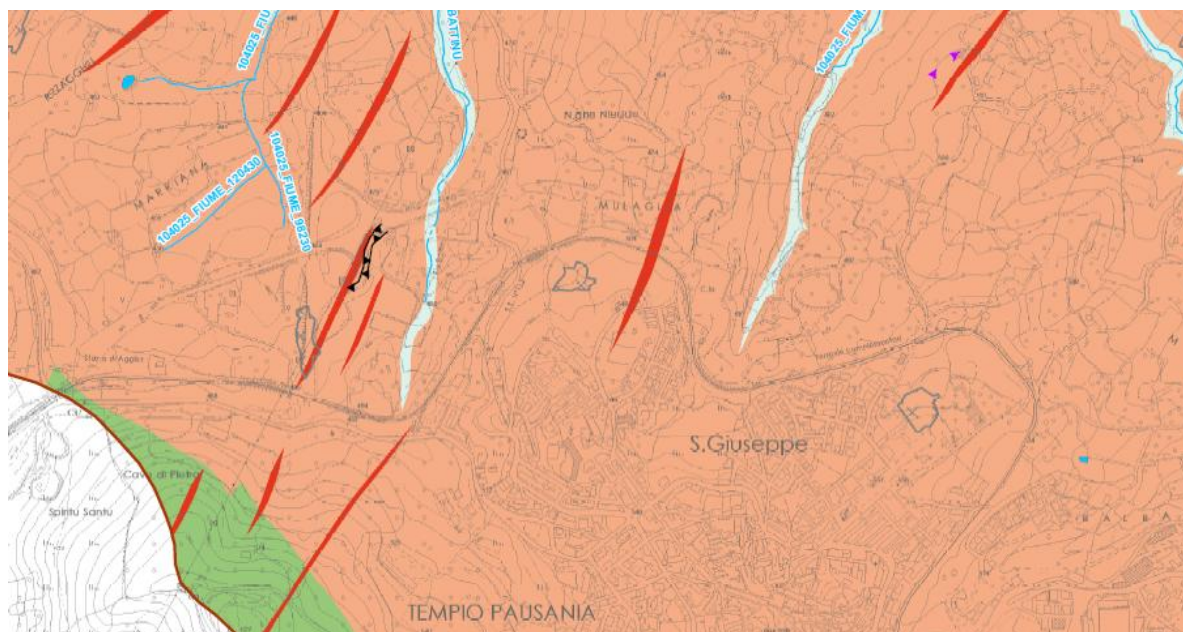
I rilievi geomorfologici eseguiti hanno evidenziato che il progettato tracciato della strada progettata, interferisce con un'area a pericolosità media Hg2 tra le progressive 0+818 e 0+875 ed un'area a pericolosità elevata tra le progr. 0+040 e 0+100 dell'asse principale e tra la progr.0+050 e la progr.0+160 del tratto di collegamento alla SS127.

L'area a pericolosità media interferita è ubicata nell'estreme propaggini del versante orientale di Nuraghe Nieddu, che degradano verso l'incisione del Riu Mulaglia, vegetate e con presenza di una coltre di arenizzazione sul versante.

I rilievi geologici hanno evidenziato che la parte valliva del versante insiste sui terreni dell'unità monzogranitica ricoperti dalla coltre di arenizzazione del monzogranito. Nella parte sommitale del versante, segnalati nella carta geologica, si rilevano affioramenti del substrato relitti dell'alterazione. Non si rilevano blocchi inglobati nella coltre, nella parte di piede del versante. Nella parte sommitale gli elementi granitoidi dai bordi smussati e arrotondati hanno dimensioni trasversali massime pari a 1 m.

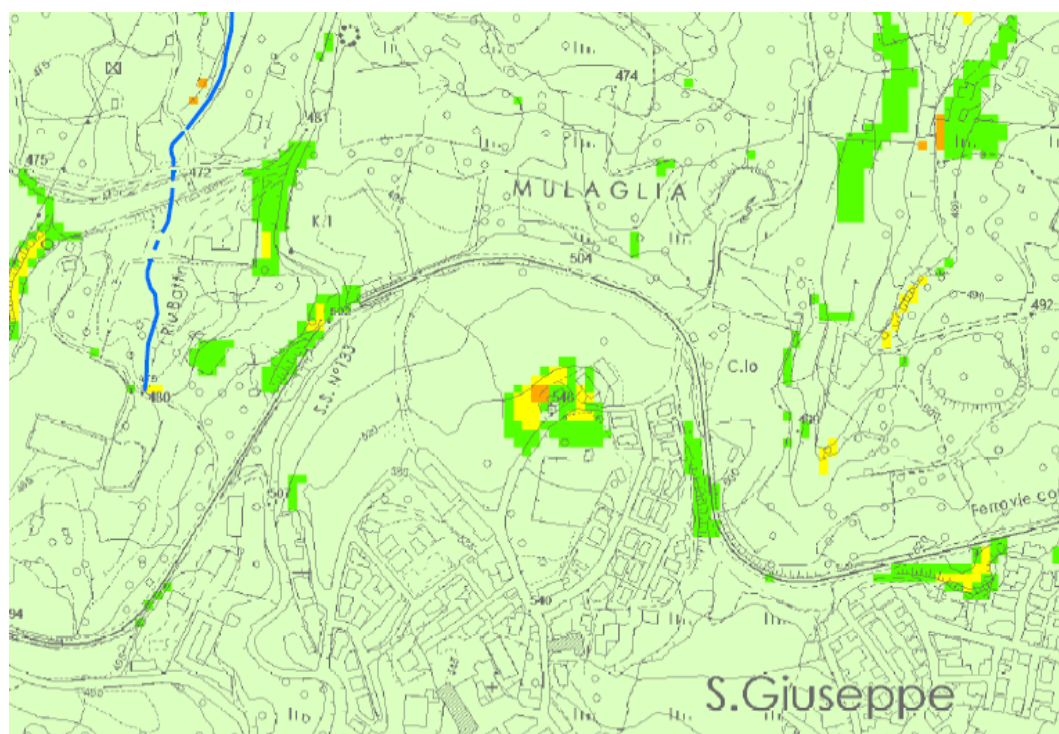
Il rilevamento geomorfologico non ha evidenziato presenza di dissesti attivi sul versante a monte del tracciato di progetto.

Tale osservazione è confermata dalla consultazione della cartografia dedicata del PAI (4322_04_FA_02_02_013C-01-Cartografia_Geomorfologica_fenomeni_Franosi_046) contenuta nell'aggiornamento relativo alla Deliberazione n. 14 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino regionale.




Stralcio Cartografia_Geomorfologica_fenomeni_Franosi_Tav_046Sub bacino Liscia

La cartografia del PAI , sulla scorta della valutazione e dell'incrocio dei fattori sopra descritti stima per l'area in studio una potenziale stabilità del versante oggetto di studio .



Stralcio Cartografia_Instabilità_Potenziale_Versanti_Tav_046

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

Tenuto conto che nell'area interessata dalla pericolosità Hg2, dalla pk 0+800 alla pk 0+900, sono previsti scavi con profondità massima di 9 m dal p.c. Gli scavi previsti interesseranno in maggior parte l'affioramento dei monzograniti ed in particolar modo l'area a pericolosità Hg2, e che gli scavi rimodellando la pendenza del versante elimineranno ogni rischio di distacco di blocchi o di instabilità è apparso superfluo procedere quindi ad una verifica della stabilità del versante o di caduta massi.

L'area a pericolosità elevata Hg3 interferita è ubicata lungo l'asse principale della strada di progetto tra la progr.0+040-0+100 e nel tratto di collegamento con la SS127 dalla progr. 0+050 alla progr. 0+160

Lungo l'asse principale, dalla progr. 0+000 alla progr. 0+060, la strada corre in rilevato; è prevista l'asportazione della coltre superficiale; dalla progr. 0+060 alla progr.0+199 la strada corre in scavo con entità massima di 3 m dal p.c.

Nel tratto di collegamento con la SS127, il tracciato corre in rilevato, tranne un breve tratto in scavo dalla progr. 0+180 alla progr.0+200

I rilievi geologici e le indagini geognostiche hanno evidenziato che L'asse della strada di progetto, tra la progr.0+000-0+100, è caratterizzato dalla presenza dei monzograniti. La formazione risulta fortemente alterata con presenza di "graniti arenizzati" (TPS2Alt) a tetto del bedrock. Lo spessore della coltre di arenizzazione varia da 0m lungo la verticale del sondaggio S02 PZ, agli 8 m rilevati nel S03 DH, ai 24,70 m del sondaggio S04 PZ ai 17,60 m del sondaggio S06 PZ.

Il substrato monzogranitico è ricoperto, nella zona interessata dalla pericolosità Hg3, da una coltre antropica, costituita da blocchi di granito e materiali del rilevato stradale con spessore variabile da 0 m a 4 m, 5 m (S04Pz).

Dalle indagini svolte in sito si rileva che sia la coltre antropica che quella di arenizzazione risultano litologicamente caratterizzate da sabbie, ghiaie e conglomerati.

Le indagini eseguite per il tratto di collegamento, unitamente ai rilievi geologici eseguiti hanno evidenziato la presenza dell'unità monzogranitica ricoperta a tetto dalla coltre di arenizzazione del monzogranito. Lo spessore di tale coltre è rilevante; sulla verticale del sondaggio S02 Pz e S01 lo spessore assume valori di oltre 25 m.

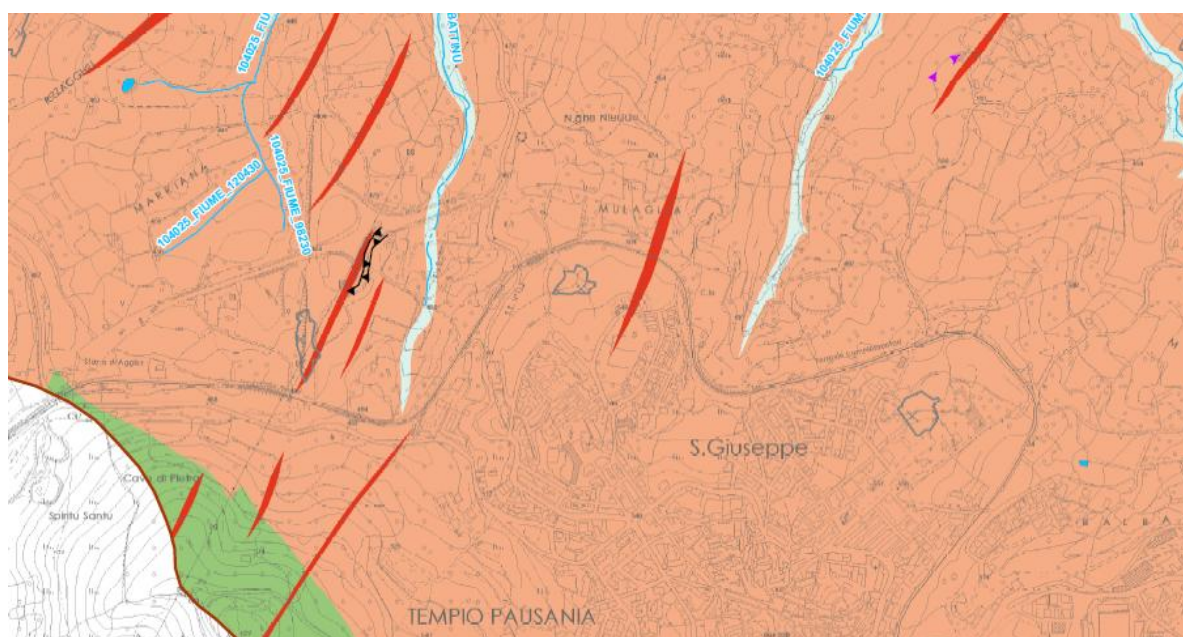
Tra le pk 0+000 e 0+080 a copertura della coltre di alterazione dei monzograniti, si rileva la presenza di una coltre antropica con spessore di circa 1.0-2.0 m. Tra le pk 0+180 e pk 0+200 il substrato monzogranitico

affiora senza copertura alterata. Tra le pk 0+180 e pk 0+200 il substrato monzogranitico affiora senza copertura alterata. Dalla pk 0+320 alla pk 0+500 nuovamente a copertura della coltre di alterazione dei monzograniti, si rileva la presenza di coltre antropica con spessore variabile tra circa 1.0 m e 10 m.

Nell'area si rileva inoltre, all'interno dell'unità dei monzograniti, la presenza di rocce magmatiche effusive rappresentate dai filoni basaltici del Carbonifero sup. – Permiano , con un corpo filiniano allungato in direzione NNE-SSW (in blu nella carta geologica)

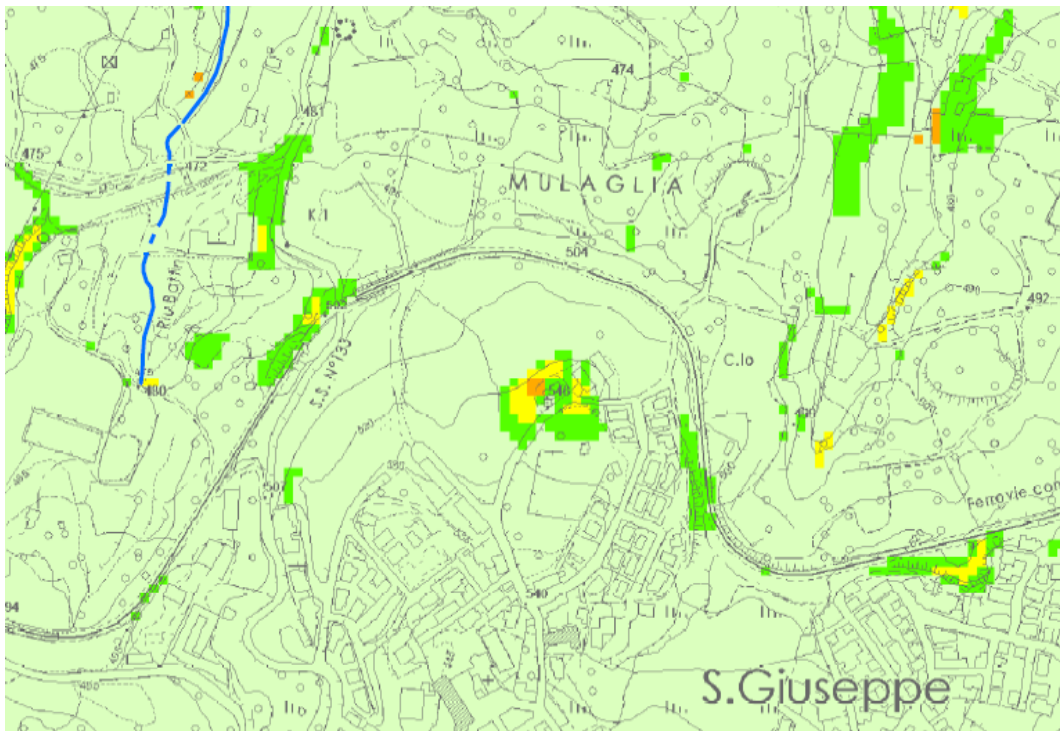
Il rilevamento geomorfologico non ha evidenziato in ambedue le zone presenza di dissesti attivi sul versante a monte del tracciato di progetto.

Tale osservazione è confermata dalla consultazione della cartografia dedicata del PAI (4322_04_FA_02_02_013C-01-Cartografia_Geomorfologica_fenomeni_Franosi_046) contenuta nell'aggiornamento relativo alla Deliberazione n. 14 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino regionale , anche se viene evidenziata la presenza di una scarpata stradale instabile.



Stralcio Cartografia_Geomorfologica_fenomeni_Franosi_Tav_046 Sub bacino Liscia

La cartografia del PAI , sulla scorta della valutazione e dell'incrocio dei fattori sopra descritti stima per l'area in studio una potenziale instabilità del versante oggetto di studio da potenziale a media .



Stralcio Cartografia_Instabilità_Potenziale_Versanti_Tav_046

Per tale area si è proceduto ad una verifica di caduta massi, tipologia di instabilità confacente alla morfologia delle scarpate.

Metodo di analisi

L'analisi di caduta massi sono state svolte mediante il programma di calcolo Rocfall prodotto dalla Rocscience, che consente di effettuare analisi in forma probabilistica della caduta massi, analizzando i percorsi di scendimento e le zone di arresto dei massi, partendo da un modello numerico della superficie topografica.

Il programma consente di studiare il problema della caduta massi attraverso due teorie:

- ❑ Lumped mass in cui il masso è schematizzato come un punto;
- ❑ Rigid Body in cui il moto viene studiato in base alla forma e dimensioni reali del blocco.

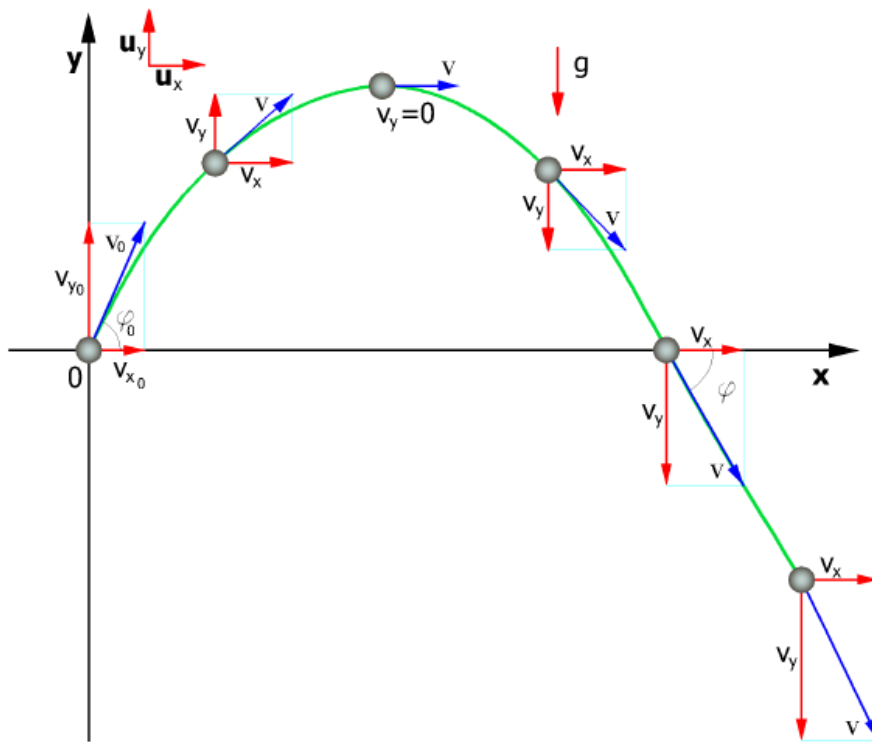
La teoria scelta per le analisi è quella del Lumped mass .

Le ipotesi del modello *Lumped mass* sono:

1) schema piano, profilo del pendio assimilabile ad una spezzata costituita da segmenti rettilinei;

2) blocco puntiforme e resistenza dell'aria trascurabile.

In tal caso la traiettoria del blocco può essere determinata utilizzando le equazioni del moto di un grave;



: Rappresentazione della traiettoria

con riferimento ad un sistema di assi cartesiani ortogonali tali equazioni sono:

$$x = x_0 + v_x t$$


$$y = y_0 + v_y t - \frac{1}{2} g t^2$$

dove:

v_x = componente orizzontale della velocità del blocco;

v_y = componente verticale della velocità del blocco;

t = tempo;

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | Studio di compatibilità geomorfologica | |

g = accelerazione di gravità

x_0 = ascissa del punto in cui blocco si distacca dal pendio o urta nel moto di caduta;

y_0 = ordinata del punto in cui blocco si distacca dal pendio o urta nel moto di caduta;

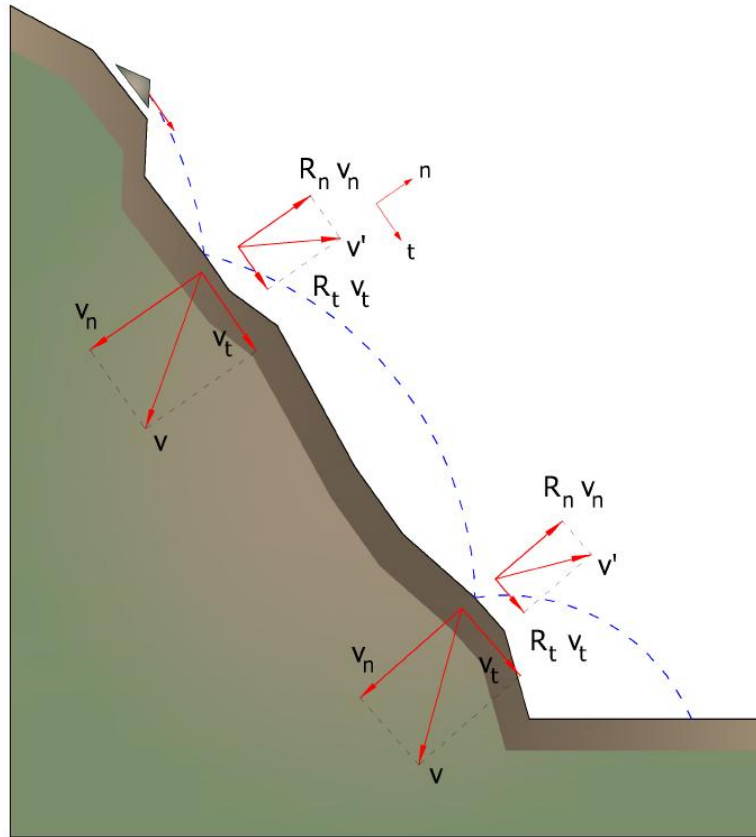
Lungo l'asse x il moto è uniforme, lungo l'asse y il moto è uniformemente accelerato.

In tal modo la traiettoria del moto risulta composta da una serie di parabole tracciate fra il punto in cui avviene il distacco ed il punto in cui il blocco urta sul pendio per la prima volta, nella fase iniziale del moto, e fra due successivi punti di impatto sul pendio, o al piede, in seguito, fino al punto finale di arresto.

Le coordinate dei punti d'impatto e le componenti della velocità si determinano risolvendo il sistema fra l'equazione (1) e l'equazione delle rette che rappresentano il profilo del pendio.

In pratica si procede dal punto in cui avviene il distacco del blocco e si risolve tale sistema di equazioni considerando di volta in volta le diverse equazioni delle rette che contengono i successivi segmenti della spezzata fino a trovare le coordinate di un punto, punto di impatto che appartiene alla parabola che rappresenta la traiettoria e ricade all'interno di uno dei segmenti della spezzata ed è pertanto anche un punto del pendio.

Tale punto rappresenta il primo punto di impatto del blocco sul pendio. Il procedimento viene ripetuto a partire da tale punto per determinare il successivo arco della traiettoria ed un nuovo punto d'impatto.



Rappresentazione dei punti di impatto, delle traiettorie del massa e del vettore delle velocità di arrivo e di partenza ad ogni rimbalzo


La perdita di energia cinetica per effetto degli attriti e degli urti può essere modellata riducendo la velocità del blocco in caduta ogni qualvolta questo urta sul pendio.

In particolare, indicando con v_n e v_t le componenti (*normali e tangenziali*) della velocità prima dell'urto, dopo l'urto v'_n , v'_t possono calcolarsi mediante le relazioni:

$$v'_n = v_n R_n$$

$$v'_t = v_t R_t$$

in cui R_n ed R_t sono detti coefficienti di restituzione variabili nell'intervallo 0-1.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

E' stato adottato il metodo di calcolo CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program), messo a punto da Pfeiffer e Bowen (1989) con lo scopo di modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma di sfere, cilindri o dischi, con sezione circolare nel piano verticale del movimento.

Per descrivere il movimento dei blocchi il modello *CRSP* applica l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale.

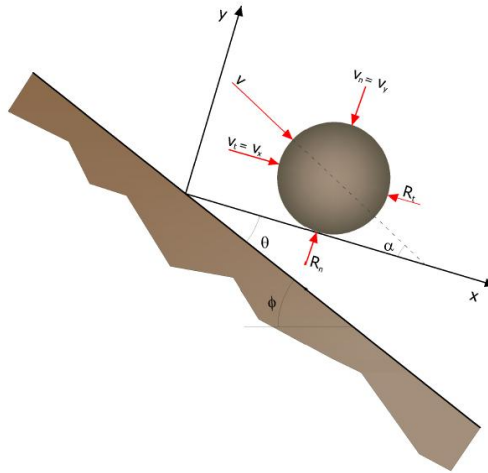
Il fenomeno dell'impatto viene modellato utilizzando come ulteriori parametri, rispetto al metodo *Lumped mass*, la rugosità del pendio e la dimensione dei blocchi.

In particolare il modello *CRSP* assume che l'angolo formato tra la direzione del blocco ed il profilo del pendio vari secondo una statistica che deve essere definita per ogni caso analizzato. Il modello tratta quindi in modo statistico anche i risultati che principalmente constano nelle velocità e nelle altezze di rimbalzo, rispetto alla superficie del pendio, durante il percorso di caduta. Il modello considera quindi le combinazioni dei movimenti di caduta libera, di rimbalzo, di rotolamento e di scivolamento, che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

L'affidabilità del modello è stata verificata attraverso confronti tra i risultati numerici e quelli ottenuti da prove in sito.

La descrizione del moto di caduta libera inizia da un punto nel quale, è nota la velocità iniziale scomposta nelle sue componenti orizzontali e verticali. Il blocco è soggetto al movimento di caduta libera fino a quando non collide con la superficie del pendio.

Dall'intersezione vengono ricavate le coordinate del punto di impatto. Il vettore della velocità di pre-impatto V , forma un angolo α con il pendio.



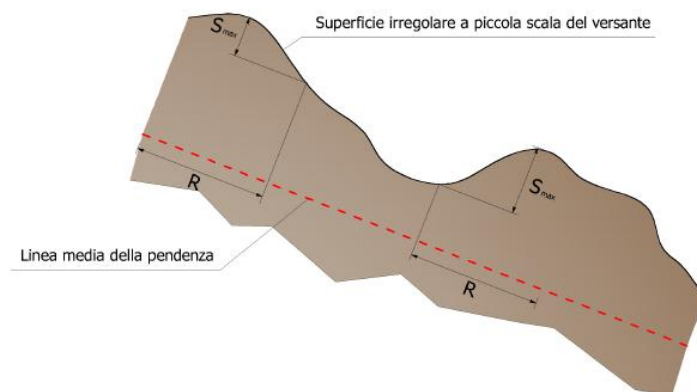
Rappresentazione della fase di impatto: a) l'angolo di impatto è definito come funzione della traiettoria del blocco;
q) inclinazione del pendio; f) variazione del pendio in funzione della rugosità locale del pendio

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio f è fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 e θ_{max} . il valore di θ_{max} dipende dalla rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco e viene determinato da misure in sito.

Detto R il raggio del blocco in esame si ha:

$$\tan \theta_{max} = S_{max}/R$$

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio viene fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 ed un valore funzione della rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco.



Influenza della rugosità del pendio sul percorso del masso, rapporto tra l'altezza delle asperità ed il raggio del blocco

La velocità che si ottiene a seguito dell'impatto viene determinata attraverso l'equazione di conservazione dell'energia totale così espressa:

$$\left(\frac{1}{2} J \omega_1^2 + \frac{1}{2} M v_{t1}^2\right) f(F) SF = \frac{1}{2} J \omega_2^2 + \frac{1}{2} M v_{t2}^2$$

dove:

M = Massa del blocco;

J = Momento d'inerzia del blocco;

ω_1 = Velocità angolare prima dell'impatto;

ω_2 = Velocità angolare dopo l'impatto;

v_{t1} = Velocità tangenziale prima dell'impatto;

v_{t2} = Velocità tangenziale dopo l'impatto;

La funzione $f(F)$ di attrito così definita:

$$f(F) = SF + \frac{(1-R_t)}{\left[\left(\frac{v_{t1}-\omega_1 R}{20}\right)^2 + 1.2\right]}$$

Mentre la funzione di scala SF :

$$SF = \frac{R_t}{\left[\left(\frac{v_{n1}}{250 R_n}\right)^2 + 1\right]}$$

Dove:

R_n = Coefficienti di restituzione normale;

R_t = Coefficienti di restituzione tangenziale;

R = Raggio del blocco;

I termini $f(F)$ e SF sono ricavabili attraverso espressioni empiriche che vengono utilizzate per valutare l'energia cinetica dissipata nelle collisioni tra blocco e pendio a causa dell'attrito e dell'urto.

L'attrito riguarda principalmente la dissipazione dell'energia prodotta dalla velocità tangenziale, l'urto quella prodotta dalla velocità normale al pendio.

Le velocità tangenziali e angolari post-collisione sono messe in relazione tra loro dalla seguente equazione:

$$v_{t2} = \omega_2 R$$

che assume che i blocchi abbandonino il contatto con il pendio ruotando, indipendentemente dalla velocità angolare precedente.

Dalla (1) si ottiene v_{t2} , mentre la velocità normale post-collisione viene ricavata dalla seguente espressione empirica:

$$V_{n2} = V_{n1} \frac{R_n}{\left[\left(\frac{V_{n1}}{9} \right)^2 + 1 \right]}$$

che intende tener conto del fatto, verificato anche sperimentalmente, che il rapporto tra le velocità normali post-impatto e pre-impatto diminuisce con l'aumentare della velocità normale pre-impatto stessa.

Dati di input

Sulla base della morfologia del versante è stata individuata 1 sezione in grado di rappresentare adeguatamente tutta l'area per cui è necessario valutare il rischio di caduta massi.

Dall'analisi degli affioramenti rilevati nella parte sommitale del versante e delle dimensioni dei blocchi è stato possibile individuare un volume rappresentativo e cautelativo del blocco passibile di distacco variabile tra 0.15 e 2 m³.

Nel calcolo dell'energia cinetica di progetto del blocco sono stati adottati i seguenti dati di input.

| γ | Diametro del masso sferico di progetto | $V_{h, iniziale}$ | $V_{z, iniziale}$ |
|-------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| 2.600 kg/m ³ | 0,15 m-0.50-2.0 m | 1 m/s | 1 m/s |

Dati di input delle verifiche effettuate

I rilievi hanno evidenziato la presenza di fitta vegetazione sul

Ad ogni singolo tratto di pendio sono stati assegnati i parametri necessari per il calcolo dell'interazione masso-versante, ossia i coefficienti di restituzione normale e tangenziale e il coefficiente di rugosità.

Il coefficiente di restituzione è utilizzato per quantificare la dissipazione d'energia dovuta all'impatto ed è definito dal rapporto tra la velocità post-impatto e la velocità iniziale. Si distinguono due componenti, tangenziale e normale, al fine di ricavare la direzione della velocità dopo il rimbalzo.


Di seguito si riportano i coefficienti assegnati al pendio in esame, individuati facendo riferimento ai dati reperiti in letteratura e tenendo conto dell'interazione dei seguenti fattori:

- ❑ natura e spessore dei terreni di superficie;
- ❑ copertura vegetale;
- ❑ velocità di caduta;
- ❑ dimensioni dei massi.

Di seguito si riportano i coefficienti assegnati al pendio in esame, individuati facendo riferimento ai dati reperiti in letteratura e tenendo conto dell'interazione dei seguenti fattori:

- natura e spessore dei terreni di superficie;
- copertura vegetale;
- velocità di caduta;
- dimensioni dei massi.

| <i>Zona</i> | <i>R_N</i> | <i>R_T</i> | <i>C</i> |
|----------------------------|----------------------|----------------------|----------|
| <i>Roccia integra</i> | 0,9 | 0,8 | 0 |
| <i>Roccia alterata</i> | 0,7 | 0,7 | 0 |
| <i>Sabbia</i> | 0,4 | 0,6 | 0 |
| <i>Detrito</i> | 0,6 | 0,6 | 0 |
| <i>Detrito fino</i> | 0,32 | 0,82 | 0 |
| <i>Detrito vegetato</i> | 0,29 | 0,8 | 0 |
| <i>Detrito con arbusti</i> | 0,3 | 0,7 | 0 |
| <i>Terreno o prato</i> | 0,31 | 0,79 | 0 |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small> |
| CA350 | Studio di compatibilità geomorfologica | |


| | | | |
|-------------------------------|-----|-----|---|
| <i>Superficie pavimentata</i> | 0,4 | 0,9 | 0 |
|-------------------------------|-----|-----|---|

Calcolo della massa di progetto md per i volumi di progetto considerati

La velocità di distacco dei blocchi è assunta conservativamente pari a 1m/s sia in direzione verticale che orizzontale, in accordo con la letteratura tecnica.

I risultati ottenuti con le analisi di caduta massi, permette di affermare che nelle condizioni prese in esame, non esistono rischi per il tracciato in progetto e che la pericolosità geologica, tra le stesse progressive, è nulla.

I report di calcolo sono allegati in calce alla relazione.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio | |  |
| CA350 | <i>Studio di compatibilità geomorfologica</i> | |

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 stati analizzati 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.

Alla luce delle analisi condotte è dimostrato in particolare che l'intervento sottoposto all'approvazione è stato progettato rispettando il vincolo:

- a) di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente - fatto salvo quello eventuale intrinsecamente connesso all'intervento ammissibile;
- b) di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio;
- c) di non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli.