

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 Idrogeologica integrativa in riscontro alle Oss.
Degli Enti partecipanti alla Seconda seduta della C.d.S.
del 28/05/25

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

DPCA0350 D 22

NOME FILE

CA350_T00GE00GEORE04_A

CODICE
ELAB.

T00GE00GEORE04

REVISIONE

SCALA:

A

—

D

C

B

A

EMISSIONE

NOV. 2025

F.UCCELLETTI-A.CONTE

E. CURCURUTO

M. CAPASSO

REV.

DESCRIZIONE

DATA


REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

Premessa	2
1 Inquadramento Geologico-Strutturale	3
2 Schema Idrogeologico	5
2.1 Schema della circolazione idrica sotterranea	7
3 Indagini geognostiche	8
3.1 Installazione piezometri a tubo aperto	10
3.2 Prove di permeabilità Lefranc	11
4 Modello Geologico e Idrogeologico di Riferimento	12
4.1 Da Pk. 0+000 a Pk 0+600 - CI01 RIO BATTINO e GALLERIA ARTIFICIALE NIEDDU GA01	13
4.2 Da Pk. 0+600 a Pk.0+900	18
4.3 Da Pk. 0+900 a Pk.1+175	20
4.4 Da Pk.1+175 a Pk. 1+520	22
4.5 Da Pk.1+520 a Pk. 2+156	24
4.6 Da Pk. 2+156 a Pk.2+266	25
4.7 Da Pk. 2+266 a Pk. 3+240	27
4.8 Tratto di collegamento alla SS127	30
5 CONCLUSIONI	35
5.1 Interferenze con la falda nei rilevati stradali	35
5.2 Eventuale necessità di drenaggi in fase di scavo	35
5.3 Interferenze con pozzi o sorgenti legittimamente utilizzati	36
5.4 Criteri di risarcimento o compensazione	36

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	


Premessa

Il presente Studio idrogeologico integrativo è stato redatto in riscontro alle richieste ed alle osservazioni emesse dagli Enti partecipanti alla seconda seduta della Conferenza dei Servizi decisoria svoltasi in data 28/05/2025 (pervenue al Proponente con lettera di trasmissione prot. 36317 del 05/12/2024, aventi ad oggetto l'intervento **"S.S. 127 Settentrionale Sarda. Completamento Circonvallazione di Tempio – Progetto Definitivo"** nel Comune di Tempio Pausania (SS)) in corso di valutazione nell'ambito del procedimento per il rilascio del Prowedimento Ambientale Unico Regionale (PAUR).

In particolare la relazione idrogeologica integrativa che segue risponde alle osservazioni:

- effettuate dal Dipartimento di Sassari Gallura dell'ARPA Sardegna che ha richiesto l'elaborazione di una apposita relazione in cui venga affrontato, in modo organico ed esaustivo, l'interferenza degli interventi dell'opera progettata con la falda,
- effettuate dal servizio V.IA., sintetizzate dal dr. geologo A.Forci, che evidenzia che sebbene lo studio geologico di progetto " *illustri correttamente il modello idrogeologico con individuazione di una falda superficiale poco produttiva nei depositi colluviali di alterazione dei graniti e nei depositi quaternari, e una seconda falda profonda, più importante, nella compagine granitica fratturata* " , andrebbero puntualizzate *"le effettive ripercussioni, o meno, dei lavori in progetto sulla falda superficiale, anche se poco importante, tuttavia, utilizzata dai coltivatori/allevatori a livello locale, oltre che a livello ambientale (emergenza di acqua, ristagni, biodiversità, etc.), visto che su quella profonda sembrerebbero esclusi problemi."*

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

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

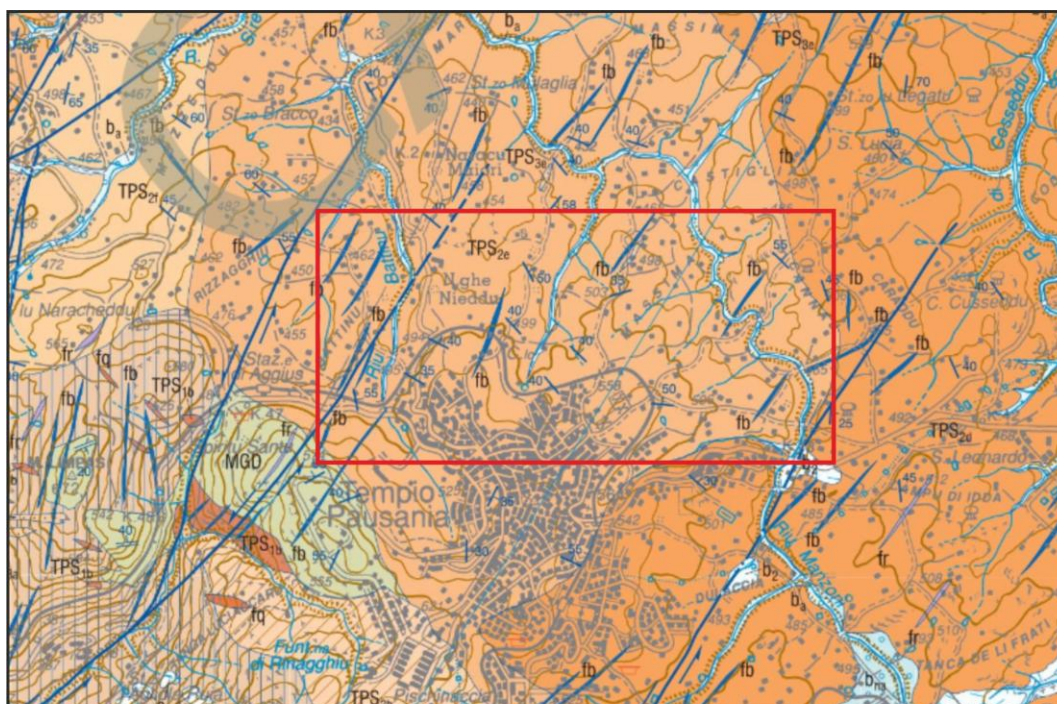
Gli elementi necessari a tale scopo sono stati ricavati a seguito dell'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto, dall'analisi diretta delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree all'interno delle quali ricade l'intervento, nonché dalle risultanze delle indagini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

1 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 metamorfoico 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.

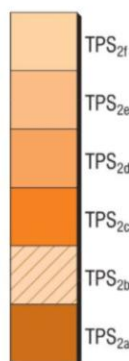
Tonaliti. Facies Rinaggu (TPS_{2b})

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 cartografia geologica tratta da ISPRA-CARG dell'area interessata dal tracciato

Nella fascia di territorio di stretto interesse progettuale sono presenti la facies Punta Lovia Avra (TPS_{2e}), 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 (TPS_{2d}), 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

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

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.

2 Schema Idrogeologico

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

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

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

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 arcoso (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)

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

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 eterogeneità dei clasti, variabile da grossolani a fini (matrice).

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)


2.1 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'acquicludo relativo

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

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.


Le falde acquifere impostate nel complesso granitoidale fratturato sono comunemente profonde, confinate o semiconfinate, 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.

3 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.

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

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 calcalcalini, 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 riassuntiva dei sondaggi effettuati nella campagna TecnoIN 2022

3.1 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 PIEZOMETRI CO	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

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

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

– Letture dei piezometri installati

3.2 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

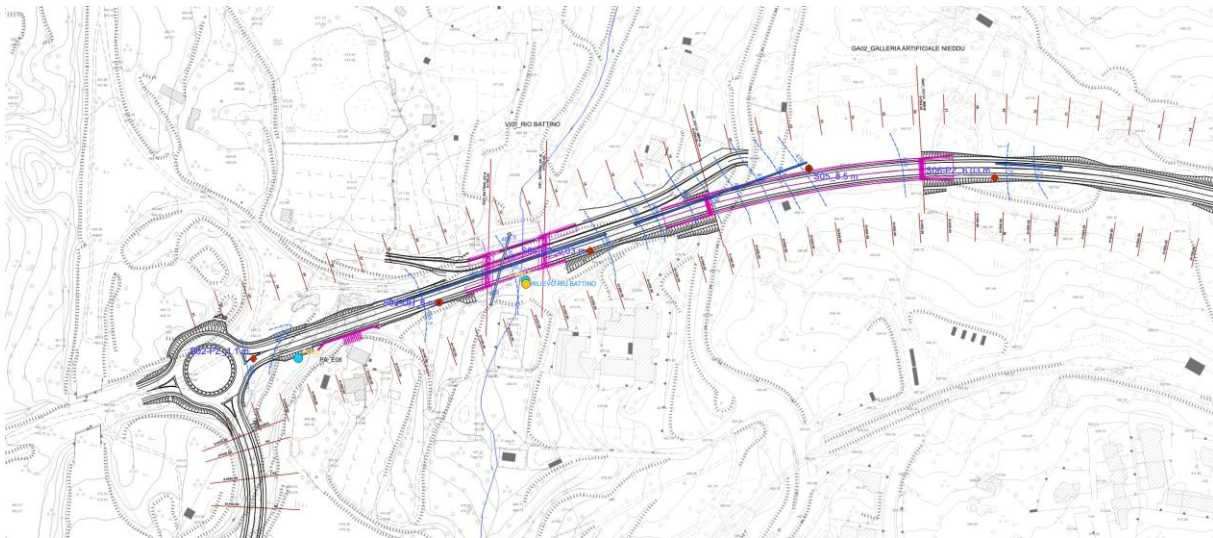
4 Modello Geologico e Idrogeologico di Riferimento

Sulla scorta dei rilievi e delle indagini eseguite è stato ricostruito il Modello Geologico di Riferimento a cui poter fare riferimento per la valutazione dell'interferenza tra falda acquifera ed opere di progetto.

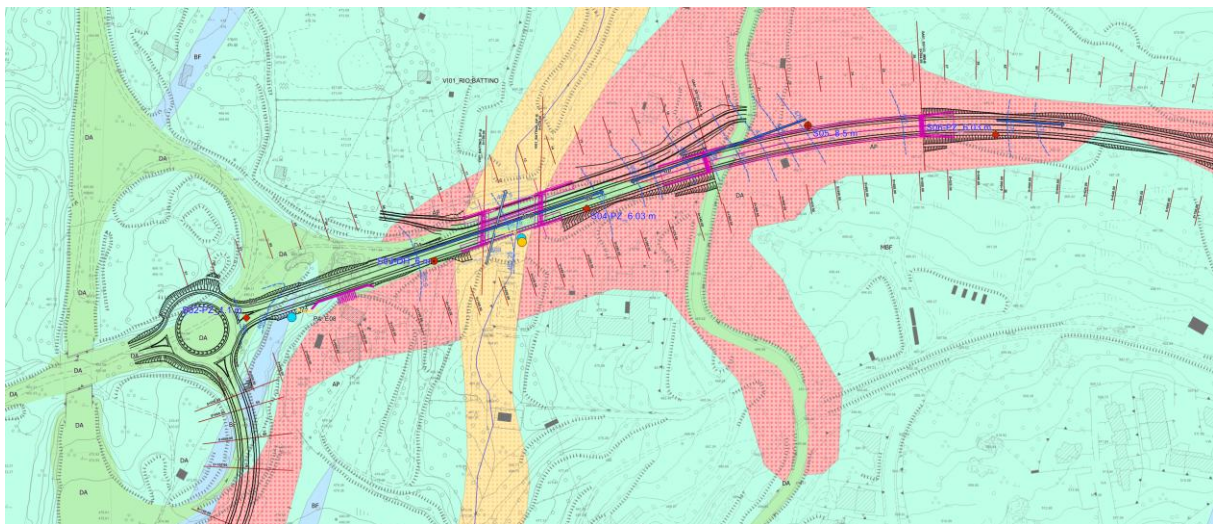
Di seguito viene analizzato il modello in riferimento alla progressive di tracciato.

4.1 Da Pk. 0+000 a Pk 0+600 - CI01_RIO BATTINO e GALLERIA ARTIFICIALE NIEDDU_GA01

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S02_PZ, S02_S03-DH; pozzetti geognostici Pz01, S05, S06-PZ, S08-PZ, S08Bis-PZ.

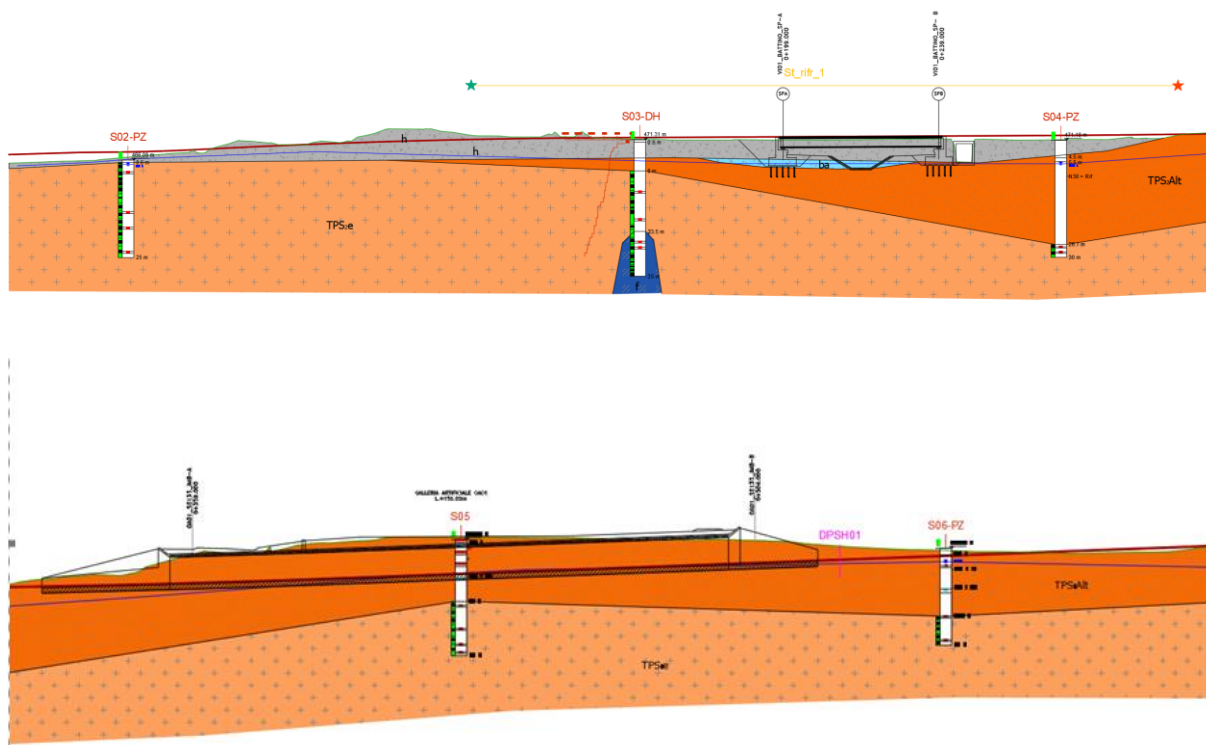


Stralcio della cartografia con tracciato ed ubicazione delle indagini tra le progressive in studio



Stralcio della cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio

Il modello geologico del primo tratto stradale risulta caratterizzato dalla presenza del complesso granitoide della Gallura -unita' intrusiva di Tempio Pausania (TPS).



Stralcio dei profili geologici tra le progressive in studio

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 da una coltre antropica, costituita dai 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

E' stata rilevata falda acquifera freatica permeante principalmente la coltre di arenizzazione dei monzograniti, sostenuta dal bedrock monzogranitico che funge da acquiclude.. I rilievi piezometrici hanno evidenziato una soggiacenza del livello della falda freatica variabile tra 1,1 m e 2,97 m dal p.c. nel S02 Pz, tra 6 e 7 m dal p.c. nel S04 PZ e tra 1,17 m e 3,68 m dal p.c. nel S06 PZ.


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

Misure del livello statico della falda acquifera in m dal p.c. nei piezometri ubicati tra le progressive in studio

Tra le progr. 0+000 e 0+600 la strada corre prevalentemente in scavo; in particolare dalla pk 0+000 alla pk 0+060 , la strada corre in rilevato ; è prevista l'asportazione della coltre superficiale ed è possibile prevedere interazione con la falda acquifera, il cui livello risulta prossimo al piano campagna, con presenza di affioramento della falda sul piano campagna. Tale condizione di prossimità o affioramento in superficie determina condizioni di potenziale elevata vulnerabilità idrogeologica della falda stessa. D'altro canto, la prossimità del bedrock al piano campagna riduce la potenzialità della falda acquifera freatica nell'area .

L'interazione con le operazioni di scotico e di bonifica preliminari alla realizzazione del rilevato risulta comunque limitata dalla breve estensione del tratto bonificato al di sotto del rilevato (60 metri) , dalla scarsa potenzialità della falda freatica nell'area e di durata limitata alla realizzazione del rilevato stradale .

Il possibile impatto fra opere e la falda riguarda quindi principalmente la qualità delle acque e la possibile contaminazione delle stesse, stante che. non essendo previsti prelievi dalla falda durante i lavori di realizzazione del rilevato ne sostituzione dei materiali scarificati con materiali con minore permeabilità , non è possibile prevedere nessun depauperamento della risorsa idrica. Per garantire la qualità delle acque di sottosuolo è opportuno di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse andranno collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di trattamento prima della restituzione al collettore naturale. Opportuna cautela dovrà essere adottata anche in fase di cantiere, prevedendo opportune

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

pavimentazioni per le aree dove avviene lo stoccaggio di materiali potenzialmente inquinanti (ad esempio oli o carburanti) .

Tra le pk 0+060 e 0+199 , per la realizzazione del tracciato sono previsti scavi con entità massima di 3 m dal p.c.

Gli scavi previsti non interferiranno con la falda acquifera, che nell'area mostra una soggiacenza di circa 4 m dal p.c (interpolazione dati piezometrici S02Pz-S04Pz)

Dalla pk 0+199 alla pk 0+239 è prevista la realizzazione del Viadotto 01 Battino. I plinti di fondazione verranno realizzati in un'area interessata dall'affioramento dei depositi alluvionali del Riu Battino , ricoperte dai terreni della coltre antropica. Tali terreni della coltre ricoprono la coltre di alterazione dei monzograniti.

Le coltri sopra descritte sono permeate da falda acquifera freatica. La soggiacenza minima della falda freatica rilevata dal piezometro S 04 PZ è di 6 m dal p.c .

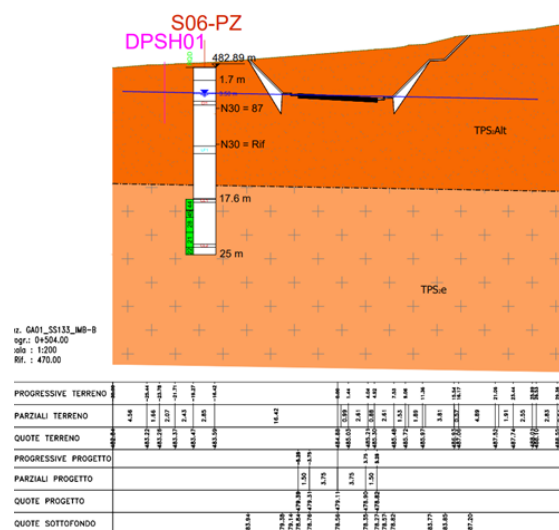
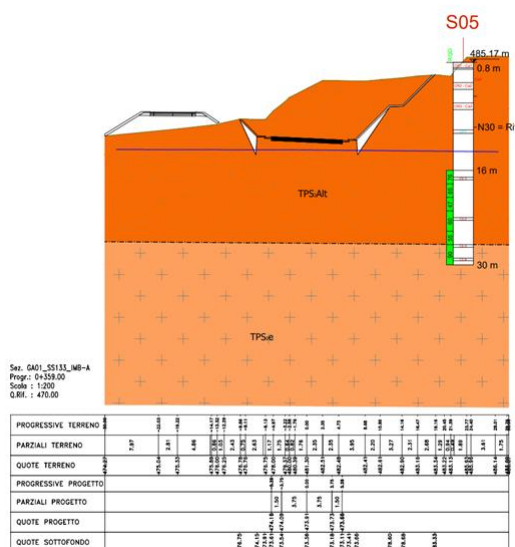
E' possibile prevedere una interazione con il fondo degli scavi per la realizzazione dei plinti di fondazione del viadotto e durante la realizzazione dei micropali di fondazione.

Tale interferenza può considerarsi limitata solo alla fase realizzativa per l'esecuzione delle fondazioni, che potranno prevedere un emungimento temporaneo della falda acquifera per il tempo necessario alla realizzazione delle opere di fondazione.

Il fermo delle azioni di emungimento ed il successivo reinterro degli scavi di fondazione , con materiale permeabile, permetterà alla falda di riassumere l'originario equilibrio. Opportuna cautela dovrà essere adottata per la realizzazione dei micropali di fondazione, adottando fanghi biodegradabili per la realizzazione delle perforazioni.

Per garantire la qualità delle acque di sottosuolo è opportuno di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse andranno collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di trattamento prima della restituzione al

Dalla pk 0+239 alla pk 0+520 è prevista la realizzazione della galleria artificiale Nieddu. L'ispessimento della coltre di arenizzazione del substrato monzogranitico determina un netto aumento della soggiacenza della falda per approfondimento dell'acquiclude. L'interpolazione dei livelli statici della falda freatica rilevata nei piezometri S04 pz (6 m dal p.c.) e S06 Pz (1,17 m dal p.c.) permette di escludere l'interazione degli scavi con la falda acquifera per la quasi totalità dell'opera, tranne nel tratto terminale in prossimità delle pk 0+500.

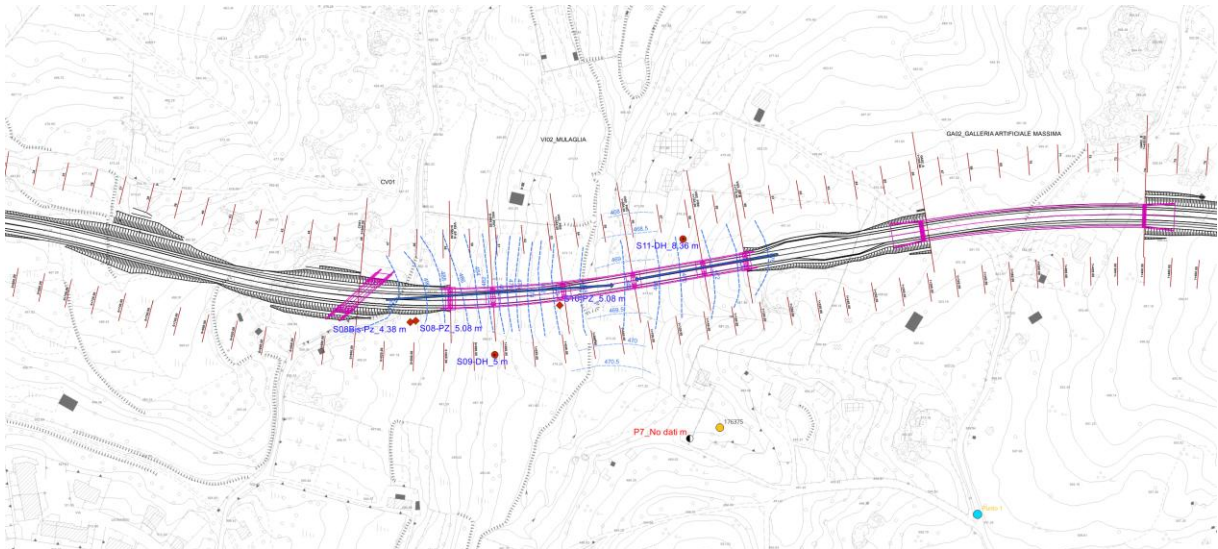


La scarsa permeabilità della coltre di arenizzazione ($9.6 \cdot 10^{-6}$ m/s), come evidenziata dalla prova Lefranc eseguita nel sondaggio S06Pz, permette di stimare una scarsa trasmissività dell'acquifero e di conseguenza uno scarso afflusso di acque di falda durante lo scavo e un modesto effetto di depressione della falda, limitato al tempo di realizzazione dell'opera.

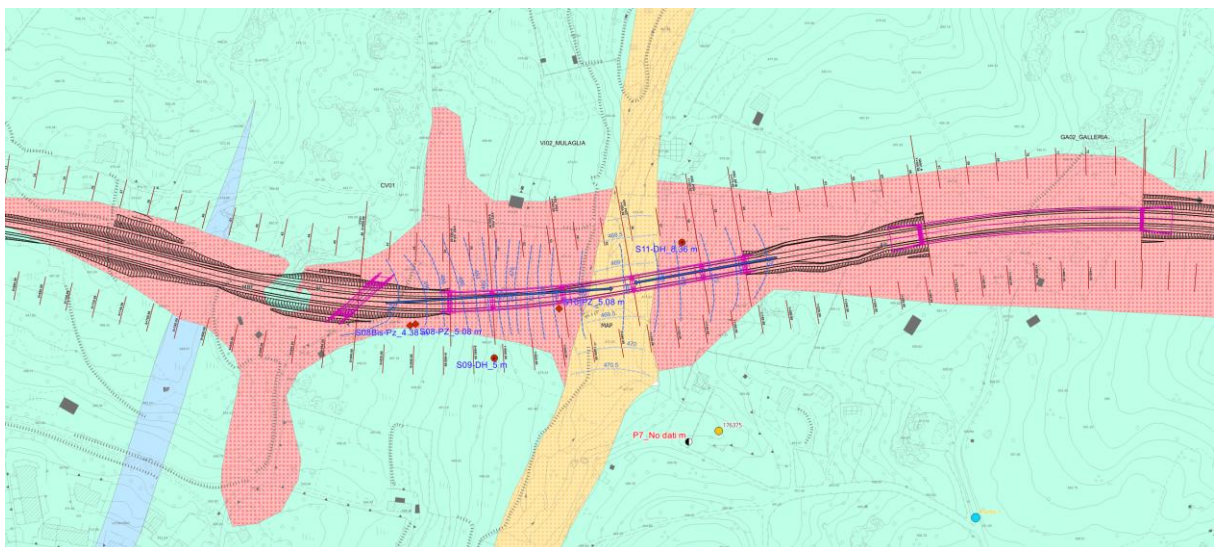
I paramenti della galleria non ostacoleranno per tale ragione il deflusso delle acque di falda .

4.2 Da Pk. 0+600 a Pk.0+900

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S06 Pz, S08Pz,



Stralcio della cartografia con tracciato ed ubicazione delle indagini tra le progressive in studio

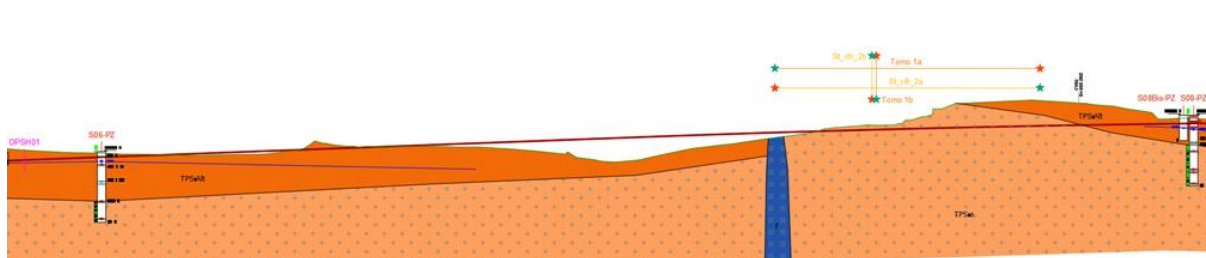


Stralcio della cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio

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.

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).

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



Stralcio dei profili geologici tra le progressive in studio

La falda acquifera permea quindi 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)

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

Misure del livello statico della falda acquifera in m dal p.c. nei piezometri ubicati tra le progressive in studio

Sebbene sia prevista l'asportazione della coltre superficiale è possibile escludere interazione con la falda , il cui livello risulta sempre più basso rispetto agli scavi di scotico e bonifica.

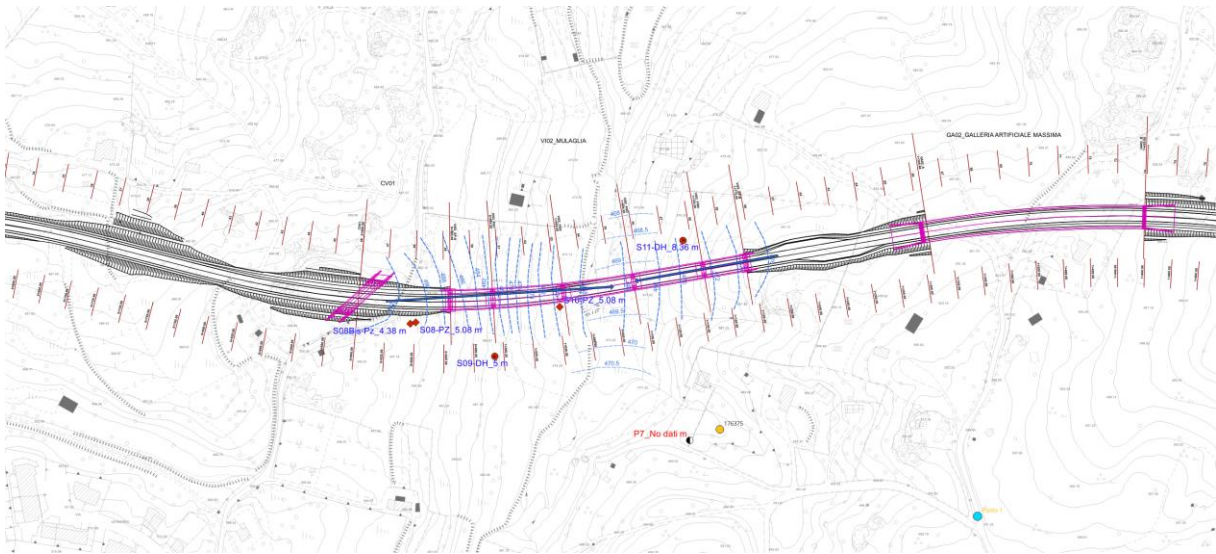
Gli scavi previsti dalla pk 0+800 alla pk 0+900 interesseranno in maggior parte l'affioramento dei monzograniti ; solo nel tratto terminale ricoperti dalla coltre di arenizzazione; la soggiacenza della falda acquifera rilevata nel piezometro S08 Pz esclude interazione con la falda acquifera.

In tale ultimo tratto , per garantire la qualità delle acque di sottosuolo, defluente verso l'incisione superata dal Viadotto Mulaglia, è opportuno di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse andranno collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di trattamento prima della restituzione al collettore

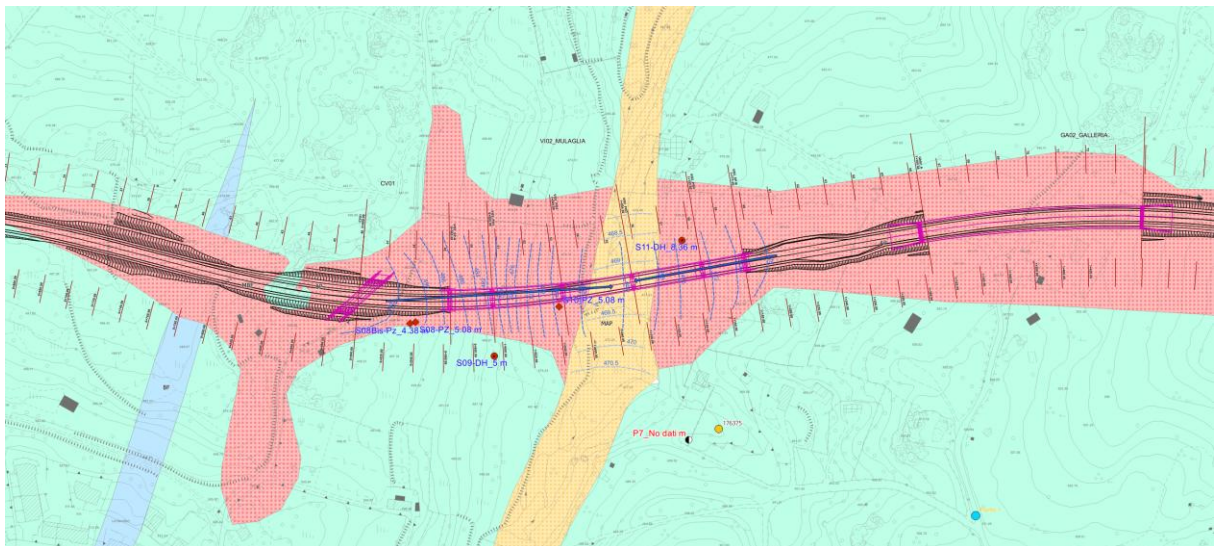
naturale. Opportuna cautela dovrà essere adottata anche in fase di cantiere, prevedendo opportune pavimentazioni per le aree dove avviene lo stoccaggio di materiali potenzialmente inquinanti (ad esempio oli o carburanti) .

4.3 Da Pk. 0+900 a Pk.1+175


Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S08Pz, S09DH, S10 Pz, S11 DH



Stralcio della cartografia con tracciato ed ubicazione delle indagini tra le progressive in studio



Stralcio della cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

Il tracciato supera l'incisione del Riu Mulaglia con il Viadotto VI 02 – Viadotto Mulaglia. I sondaggi geognostici realizzati lungo il tracciato hanno evidenziato la presenza dell'unità monzogranitica ricoperta a tetto dalla coltre di arenizzazione del monzogranito. Lo spessore di tale coltre varia in corrispondenza delle verticali dei sondaggi rispettivamente da i 10,60 m del S08Pz) ai 9,30 m del S09 DH., ai 9,20 m del S10 Pz ,ai 13 m del S11 DH. In corrispondenza dell'incisione valliva si rileva la presenza di depositi alluvionali .

La falda acquifera permea tale coltre di alterazione tra le progressive con una soggiacenza variabile tra 5 m e 8,60 m dal p.c. rilevato nel S08Pz e a 5,08 m dal p.c. nel S10 Pz.

S08-PZ				5,02	5,20	8,60	6,78
S08Bis-PZ				4,38	4,60	7,40	5,84
S10-PZ							5,08

Misure del livello statico della falda acquifera in m dal p.c. nei piezometri ubicati tra le progressive in studio

E' possibile prevedere una interazione con il fondo degli scavi per la realizzazione dei plinti di fondazione del viadotto e durante la realizzazione dei micropali di fondazione.

Tale interferenza può considerarsi limitata solo alla fase realizzativa per l'esecuzione delle fondazioni, che potranno prevedere un emungimento temporaneo della falda acquifera per il tempo necessario alla realizzazione delle opere di fondazione.

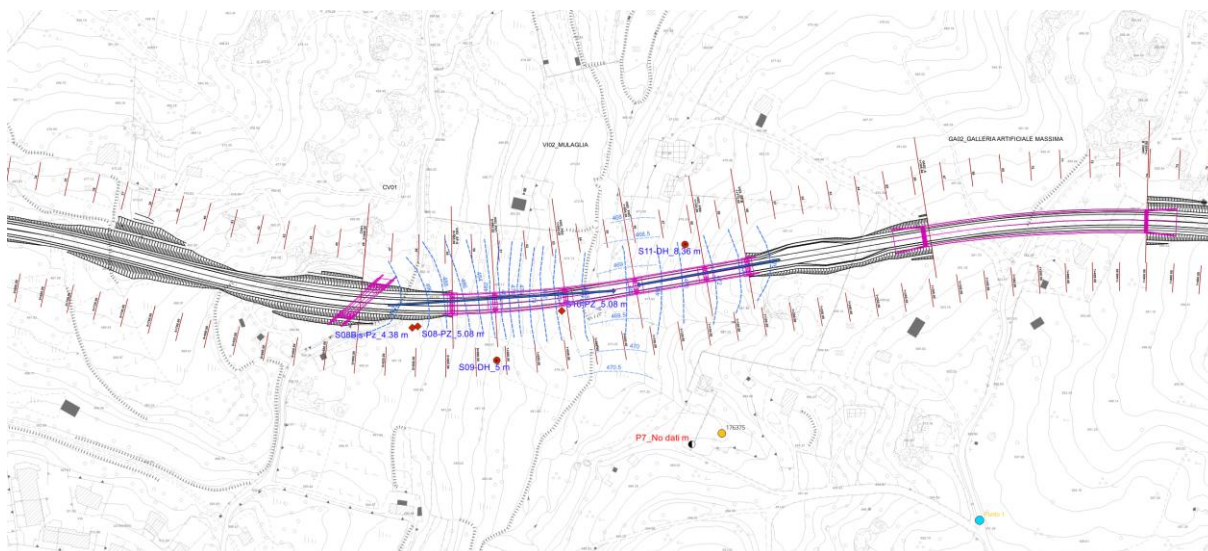
Il fermo delle azioni di emungimento ed il successivo reinterro degli scavi di fondazione , con materiale permeabile, permetterà alla falda di riassumere l'originario equilibrio. Opportuna cautela dovrà essere adottata per la realizzazione dei micropali di fondazione, adottando fanghi biodegradabili per la realizzazione delle perforazioni.

Per garantire la qualità delle acque di sottosuolo è opportuno di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse andranno collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di trattamento prima della restituzione al collettore naturale. Opportuna cautela dovrà essere adottata anche in fase di cantiere, prevedendo

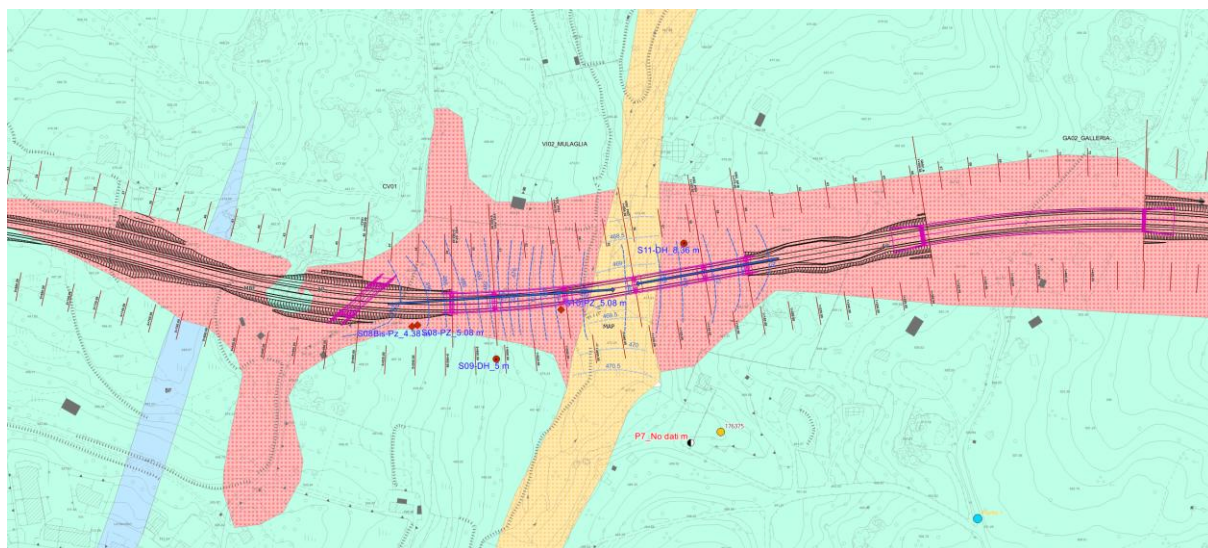
opportune pavimentazioni per le aree dove avviene lo stoccaggio di materiali potenzialmente inquinanti (ad esempio oli o carburanti) .

4.4 Da Pk.1+175 a Pk. 1+520

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S12 DH, S13 DH

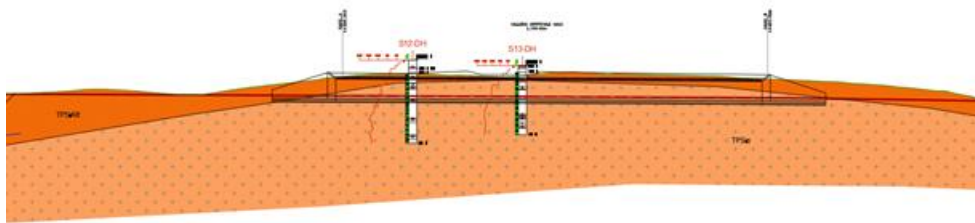


Stralcio della cartografia con tracciato ed ubicazione delle indagini tra le progressive in studio



Stralcio della cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio

Dalla pk 1+175 alla pk 1+520 il tracciato prosegue in scavo; in particolare tra le pk 1+304 e 1+459 è prevista la realizzazione della galleria artificiale GA02.- Galleria Artificiale Massima.



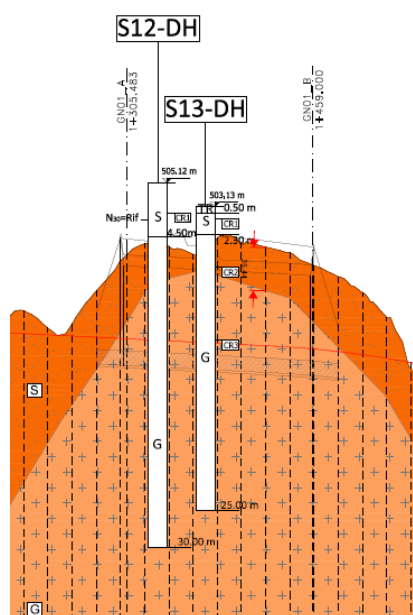
Stralcio della cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio

I sondaggi geognostici realizzati lungo il tracciato hanno evidenziato la presenza dell'unità monzogranitica ricoperta a tetto dalla coltre di arenizzazione del monzogranito. Lo spessore di tale coltre sulla scorta dei sondaggi eseguiti (sondaggi non in asse) è stimabile variabile tra 3 m e 4 m .

Lo scavo della galleria si approfondisce per una profondità massima di 11 m, interessando il substrato monzogranitico.

Non si hanno riscontri sulla falda acquifera in mancanza di sondaggi attrezzati con piezometro.

E' possibile stimare assente l'interferenza tra falda e scavi, tenuto conto della profondità degli stessi e rilevando che gli scavi interesseranno il substrato monzogranitico , normalmente caratterizzato da assenza di falda acquifera.

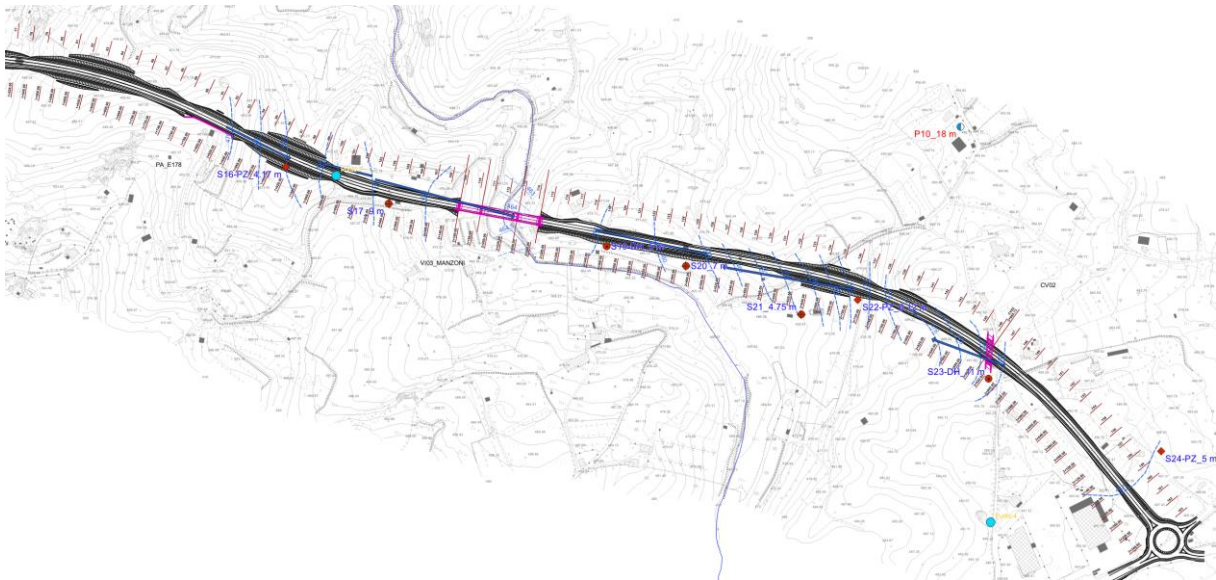


Stralcio dei profili geologici tra le progressive in studio

4.5 Da Pk.1+520 a Pk. 2+156

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S13 DH, Pozzetto Pz11, Pozzetto Pz12, Pozzetto Pz13

Dalla pk 1+520 alla pk 2+156 il tracciato prosegue principalmente in rilevato, tranne tra le pk 1+740 - 1+840 (profondità massima 7.50 m) e tra le pk 2+000 -2+156 (profondità massima 2.00 m).

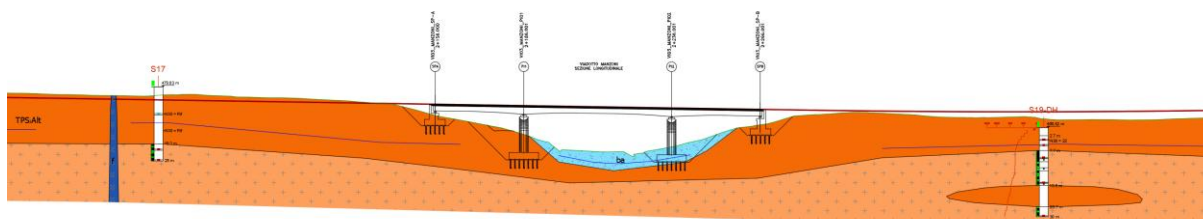


Stralcio della cartografia con tracciato ed ubicazione delle indagini tra le progressive in studio



Stralcio della cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio

I sondaggi geognostici realizzati lungo il tracciato, unitamente ai rilevati geologici eseguiti hanno evidenziato la presenza dell'unità monzogranitica ricoperta a tetto dalla coltre di arenizzazione del monzogranito. Lo spessore di tale coltre è stimabile variabile tra 15 e 20 m.



Stralcio dei profili geologici tra le progressive in studio

Non si hanno riscontri sulla falda acquifera in mancanza di sondaggi attrezzati con piezometro. E' possibile ipotizzare, considerato lo spessore della coltre di alterazione dei graniti, la presenza di falda acquifera permeante tale coltre di alterazione con una soggiacenza variabile tra 10 m e 12m dal p.

Sebbene sia prevista l'asportazione della coltre superficiale per la messa in opera del rilevato è possibile escludere interazione con la falda, il cui livello risulta sempre più basso rispetto agli scavi di scotico e bonifica.

Per gli scavi previsti è possibile escludere interazione con la falda acquifera considerata .la soggiacenza della falda acquifera, come stimata sulla scorta dei rilievi e delle indagini più vicine.

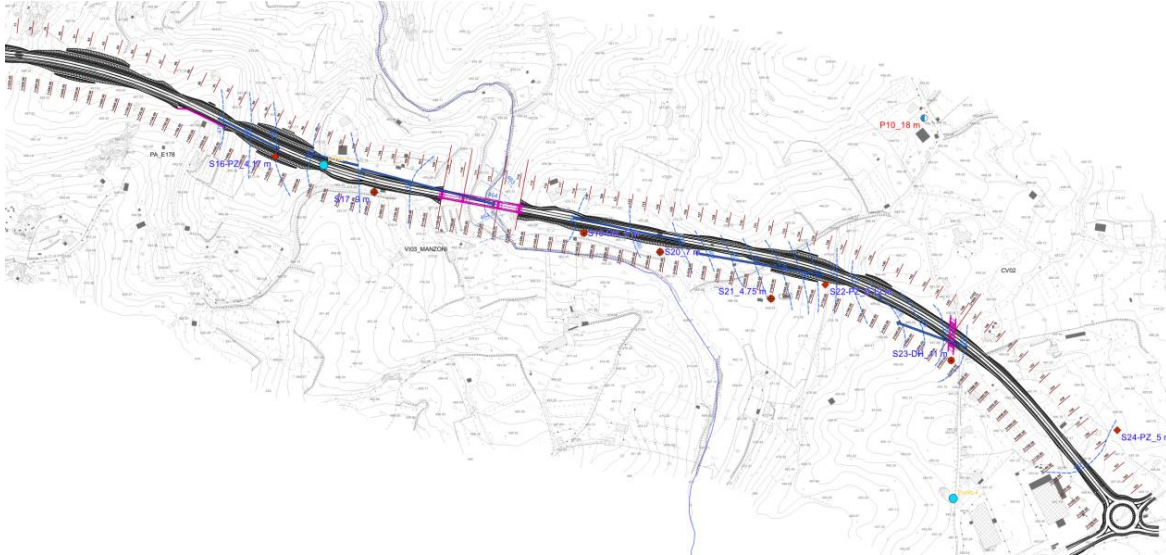
Per garantire la qualità delle acque di sottosuolo è opportuno di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse andranno collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di trattamento prima della restituzione al collettore naturale. Opportuna cautela dovrà essere adottata anche in fase di cantiere, prevedendo opportune pavimentazioni per le aree dove avviene lo stoccaggio di materiali potenzialmente inquinanti (ad esempio oli o carburanti) .

4.6 Da Pk. 2+156 a Pk.2+266

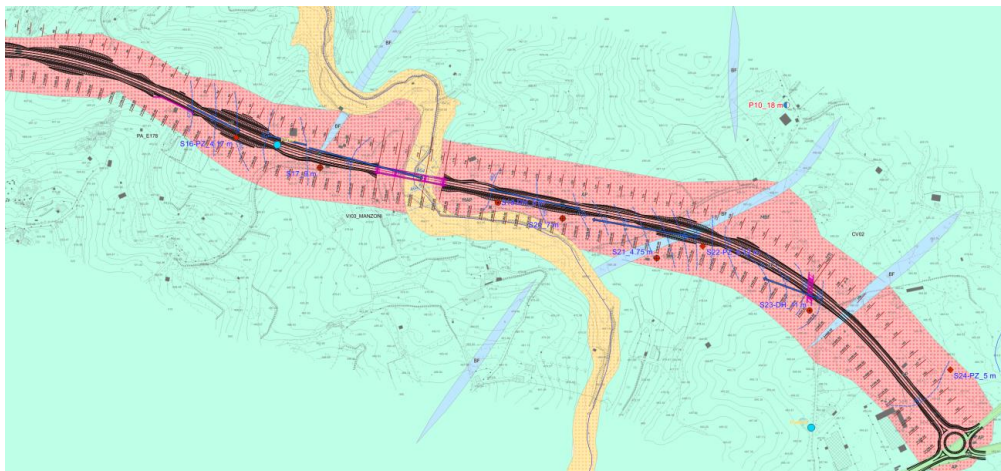
Indagini di riferimento: pozzetti geognostici Pz 12, PZ13 e Pz 14

Il tracciato supera l'incisione del Riu Manzoni con il Viadotto VI 03 – Viadotto Manzoni. I pozzetti geognostici realizzati 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 stimabile variabile tra 10 e 12 m.

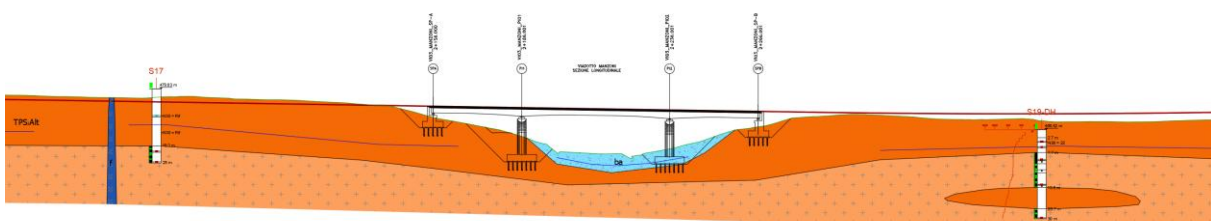


Stralcio della cartografia con tracciato ed ubicazione delle indagini tra le progressive in studio




Stralcio della

cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio



Stralcio dei profili geologici tra le progressive in studio

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

Lungo il corso dell'incisione si rilevano depositi alluvionali a grana media e grossolana.

Non si hanno riscontri sulla falda acquifera in mancanza di sondaggi attrezzati con piezometro. E' possibile ipotizzare, considerato lo spessore della coltre di alterazione dei graniti e la presenza della coltre alluvionale, la presenza di falda acquifera permeante tale coltri con una soggiacenza variabile tra 1 e 2 m dal p.c.

E' possibile prevedere una interazione con gli scavi per la realizzazione dei plinti di fondazione del viadotto e durante la realizzazione dei micropali di fondazione.

Tale interferenza può considerarsi limitata solo alla fase realizzativa per l'esecuzione delle fondazioni, che potranno prevedere un emungimento temporaneo della falda acquifera per il tempo necessario alla realizzazione delle opere di fondazione.

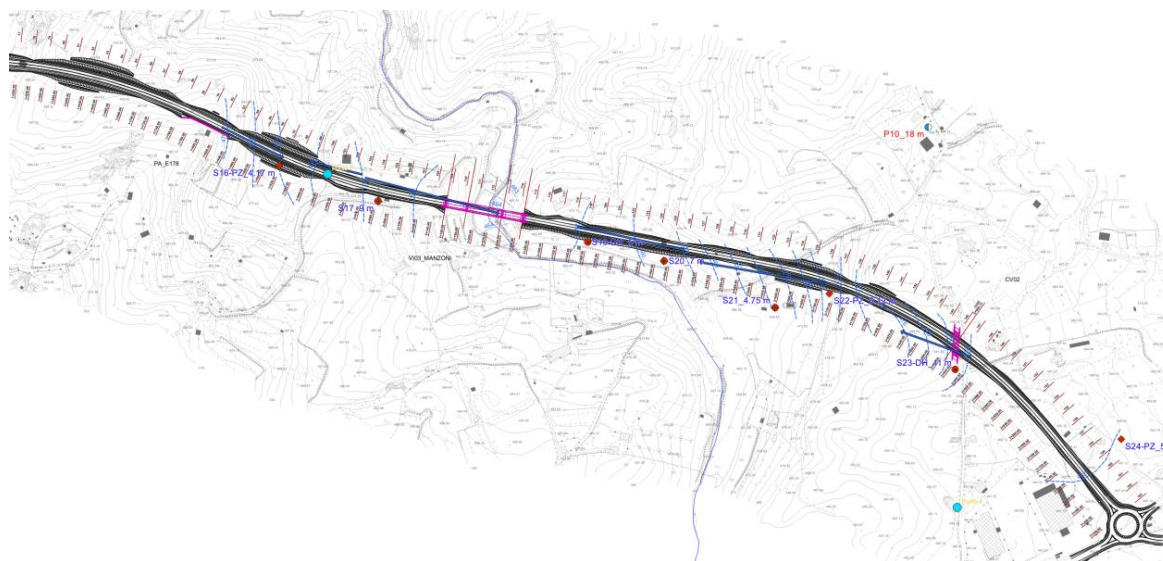
Il fermo delle azioni di emungimento ed il successivo reinterro degli scavi di fondazione , con materiale permeabile, permetterà alla falda di riassumere l'originario equilibrio. Opportuna cautela dovrà essere adottata per la realizzazione dei micropali di fondazione, adottando fanghi biodegradabili per la realizzazione delle perforazioni.

Per garantire la qualità delle acque di sottosuolo è opportuno di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse andranno collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di trattamento prima della restituzione al collettore naturale. Opportuna cautela dovrà essere adottata anche in fase di cantiere, prevedendo opportune pavimentazioni per le aree dove avviene lo stoccaggio di materiali potenzialmente inquinanti (ad esempio oli o carburanti) .

4.7 Da Pk. 2+266 a Pk. 3+240

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S23 DH, Pozzetto Pz14, Pz 15, Pz 16 e Pz 17.

Dalla pk 2+266 alla pk 3+240 il tracciato prosegue principalmente in rilevato, tranne tra le pk 2+540 - 2+600 (profondità massima 2.50 m) e tra le pk 2+740 -2+966 (profondità massima 5.00 m).



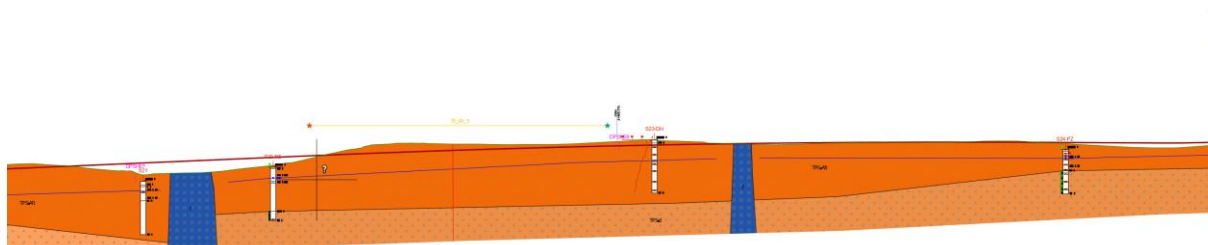
Stralcio della cartografia con tracciato ed ubicazione delle indagini tra le progressive in studio



Stralcio della cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio

I sondaggi geognostici realizzati 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 S23DH lo spessore assume valori di oltre 30 m.

Non si hanno riscontri sulla falda acquifera in mancanza di sondaggi attrezzati con piezometro. E' possibile ipotizzare, considerato lo spessore della coltre di alterazione dei graniti, la presenza di falda acquifera permeante tale coltre di alterazione con una soggiacenza variabile tra 15 m e 17m dal p.c.



Stralcio dei profili geologici tra le progressive in studio

Sebbene sia prevista l'asportazione della coltre superficiale per la messa in opera del rilevato è possibile escludere interazione con la falda , il cui livello risulta sempre più basso rispetto agli scavi di scotico e bonifica.

Per gli scavi previsti è possibile escludere interazione con la falda acquifera considerata .la soggiacenza della falda acquifera, come stimata sulla scorta dei rilievi e delle indagini eseguite

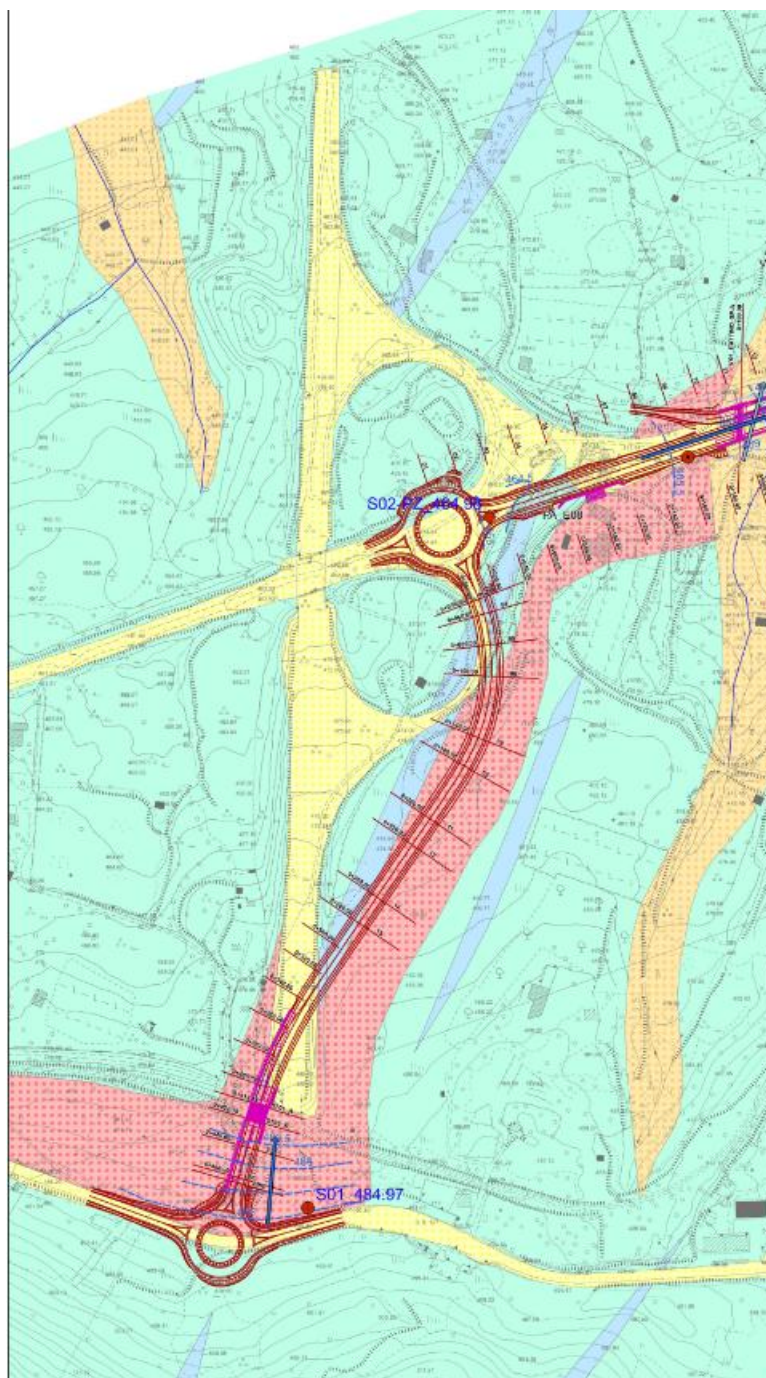
Per garantire la qualità delle acque di sottosuolo è opportuno di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse andranno collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di trattamento prima della restituzione al collettore naturale. Opportuna cautela dovrà essere adottata anche in fase di cantiere, prevedendo opportune pavimentazioni per le aree dove avviene lo stoccaggio di materiali potenzialmente inquinanti (ad esempio oli o carburanti) .

4.8 Tratto di collegamento alla SS127

Indagini di riferimento: sondaggi geognostici S01 , S02 Pz,, Pozzetto Pz01,Pz02,AC01, AC02, AC02, AC04.




Stralcio della cartografia con tracciato ed ubicazione delle indagini tra le progressive in studio



Stralcio della cartografia idrogeologica dell'area tra le progressive in studio

Per quanto riguarda il tratto di collegamento alla S.S.127 esistente si sviluppa dalla medesima rotatoria B di inizio intervento e procede in direzione sud connettendosi al km 47+600 ca della Statale , tramite una rotatoria (Rotatoria A) dopo aver superato con opera di scavalcamento della ferrovia Sassari-Tempio-Pala.

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

Il tracciato corre principalmente in rilevato dalla pk 0+000 alla pk 0+500 , tranne un breve tratto in scavo dalla pk 0+180 alla pk 0+200 (profondità massima 4,50 m). Dalla pk 0+412 alla pk 0+422,38 è prevista la realizzazione di un cavalcavia ferroviario.

I sondaggi geognostici realizzati 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. 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.


La coltre antropica tra le pk 0+000 e 0+ 080 a è permeata da una falda acquifera freatica con livello statico a circa 1 m dal p.c (S02Pz)

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

Misure del livello statico della falda acquifera in m dal p.c. nei piezometri ubicati tra le progressive in studio

La coltre di arenizzazione dei monzograniti tra le pk Dalla pk 0+320 alla pk 0+500 è permeata da una falda acquifera freatica con soggiacenza a circa 2.50 m dal p.c (S01) dal punto di quota più bassa.

Per la realizzazione dei tratti in rilevato, sebbene sia prevista l'asportazione della coltre superficiale per la messa in opera del rilevato, è possibile escludere interazione con la falda, il cui livello risulta sempre più basso rispetto agli scavi di scotico e bonifica, ad eccezione di un breve tratto tra le pk

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

0+000 e 0+ 080, dove la coltre antropica è permeata da una falda acquifera freatica con livello statico a circa 1 m dal p.c .

Tale condizione di prossimità o affioramento in superficie determina condizioni di potenziale elevata vulnerabilità idrogeologica della falda stessa. D'altro canto, la prossimità del bedrock al piano campagna riduce la potenzialità della falda acquifera freatica nell'area . L'interazione con le operazioni di scotico e di bonifica preliminari alla realizzazione del rilevato risulta comunque limitata dalla breve estensione del tratto bonificato al di sotto del rilevato (80 metri) , dalla scarsa potenzialità della falda freatica nell'area e di durata limitata alla realizzazione del rilevato stradale .

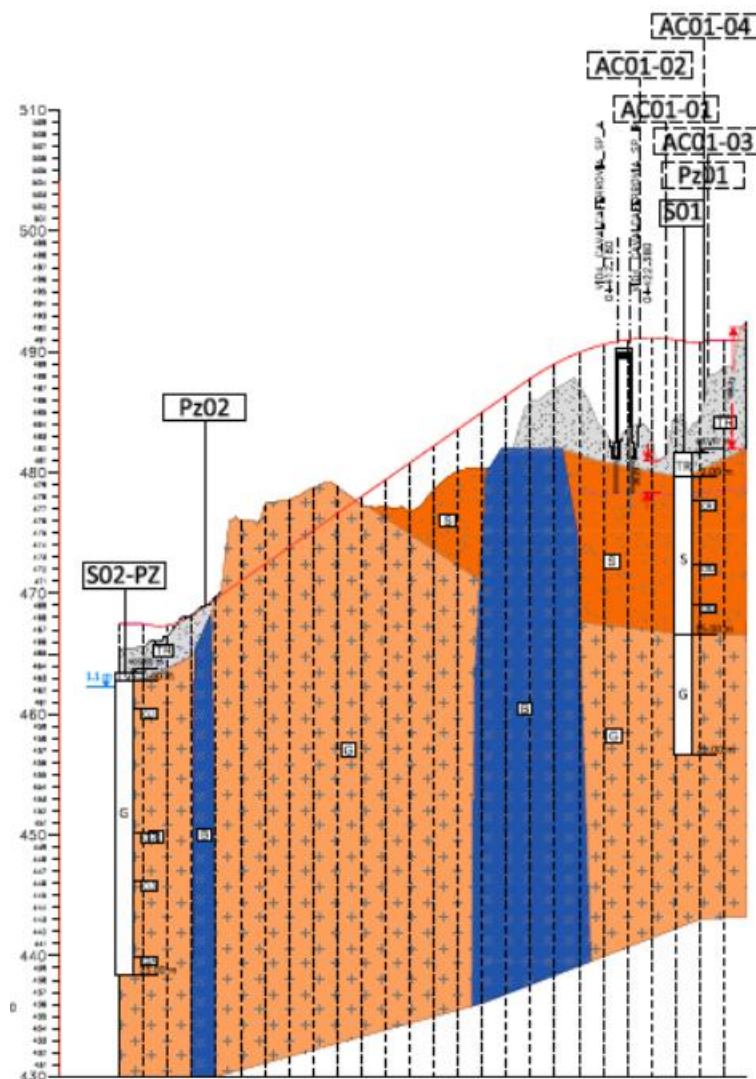
Il possibile impatto fra opere e la falda riguarda quindi principalmente la qualità delle acque e la possibile contaminazione delle stesse, stante che. non essendo previsti prelievi dalla falda durante i lavori di realizzazione del rilevato ne sostituzione dei materiali scarificati con materiali con minore permeabilità , non è possibile prevedere nessun depauperamento della risorsa idrica. Per garantire la qualità delle acque di sottosuolo è opportuno di prevedere, in sede di progettazione, un sistema di raccolta delle acque ricadenti sulla piattaforma stradale. Esse andranno collettate in un sistema separato rispetto alle acque ricadenti all'esterno della sede stradale, e convogliate (sempre a gravità, senza l'ausilio di pompe) verso specifiche vasche di trattamento prima della restituzione al collettore naturale. Opportuna cautela dovrà essere adottata anche in fase di cantiere, prevedendo opportune pavimentazioni per le aree dove avviene lo stoccaggio di materiali potenzialmente inquinanti (ad esempio oli o carburanti) .


Per gli scavi previsti è possibile escludere interazione con la falda acquifera considerata .la soggiacenza della falda acquifera, come stimata sulla scorta dei rilievi e delle indagini eseguite

Dalla pk 0+412 alla pk 0+422,38, dove è prevista la realizzazione del cavalcavia ferroviario, è possibile prevedere una interazione con gli scavi per la realizzazione dei plinti di fondazione del viadotto e durante la realizzazione dei micropali di fondazione.

Tale interferenza può considerarsi limitata solo alla fase realizzativa per l'esecuzione delle fondazioni, che potranno prevedere un emungimento temporaneo della falda acquifera per il tempo necessario alla realizzazione delle opere di fondazione.

Il fermo delle azioni di emungimento ed il successivo reinterro degli scavi di fondazione, con materiale permeabile, permetterà alla falda di riassumere l'originario equilibrio. Opportuna cautela dovrà essere adottata per la realizzazione dei micropali di fondazione, adottando fanghi biodegradabili per la realizzazione delle perforazioni.



Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

5 CONCLUSIONI

5.1 Interferenze con la falda nei rilevati stradali

Interferenze dirette/indirette con il sistema delle acque sotterranee

In riferimento alle osservazioni formulate dal PAUR relativamente alle possibili interferenze dell'infrastruttura stradale con il sistema delle acque sotterranee, le misurazioni in sito condotte durante le indagini geognostiche e riportate nell'elaborato T00EG00GENRE07 mostrano livelli di falda generalmente compresi tra 3,5 m e oltre 10 m dal piano di campagna, in funzione delle diverse zone attraversate dal tracciato. Il quadro idrogeologico risulta omogeneo e continuo, senza variazioni improvvise o incompatibili con la dinamica tipica della piana alluvionale locale.


Non vi è dunque alcuna condizione che faccia supporre scostamenti bruschi o discontinuità laterali significative: il modello idrogeologico già presentato è coerente con i dati rilevati e con la morfologia del territorio.

Per quasi tutte le progressive in cui il tracciato corre in rilevato, sebbene siano previste una scarifica superficiale ed una bonifica, gli scavi ed il corpo del rilevato restano ampiamente al di sopra della superficie piezometrica e non avvisi rileva intercettazione diretta della falda durante la realizzazione del rilevato;

Si rilevano solo ridotti intervalli di progressive, in cui il livello della falda acquifera si avvicina alla superficie di piano campagna e sono da quindi prevedibili interferenze con gli scavi di scarifica e bonifica. Per la ridotta estensione di tali progressive con interferenze e per le modalità di realizzazione dei rilevati, è possibile stimare marginale tale interferenza e ridotta al solo tempo di realizzazione dell'opera. Sono state indicate per tali tratte le principali misure di cautela e mitigazione.

5.2 Eventuale necessità di drenaggi in fase di scavo

Le operazioni di scavo ordinarie non raggiungono, se non in casi localizzati, la quota della falda. Ne deriva che:

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

- **non sono previsti rilasci significativi di acque sotterranee**, se non limitate infiltrazioni gestibili con sistemi di pompaggio temporaneo;
- eventuali drenaggi saranno convogliati in **opere di sedimentazione/filtrazione** e successivamente dispersi o recapitati in superficie secondo normativa.

Tali quantitativi risultano comunque **puntuali, di modesta entità** e non in grado di alterare in modo percepibile l'equilibrio idrogeologico dell'area.

5.3 Interferenze con pozzi o sorgenti legittimamente utilizzati

Le opere di captazione più vicine (pozzi e sorgenti censiti) si trovano:

- a distanze tali da escludere qualsiasi interferenza, sia diretta che indotta,
- esterne all'area di influenza degli eventuali drenaggi.

L'assenza di intercettazione della falda e l'impossibilità di produrre coni di depressione rendono il rischio di interazione **nullo**.


5.4 Criteri di risarcimento o compensazione

Tenuto conto che:

- non è prevista **alcuna captazione** stabile o strutturale,
- non avviene **alterazione volumetrica** del contenuto idrico della falda,
- non si generano **depressioni piezometriche** né modifiche durevoli al regime idraulico,

non sussistono al momento condizioni che richiedano la definizione di criteri di risarcimento.

Resta comunque valido, come da prassi tecnico-amministrativa, il principio per cui ogni eventuale effetto imprevisto e documentabile sarà valutato con metodi tecnici appropriati.

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

La realizzazione della nuova infrastruttura stradale avviene in un contesto idrogeologico in cui la falda può manifestarsi, in alcuni punti, in forma superficiale o stagionale nei primi orizzonti di suolo.


Tale condizione richiede un approccio esecutivo attento, finalizzato a evitare qualunque alterazione del regime piezometrico e a garantire la continuità del deflusso naturale delle acque sotterranee.

Tutte le attività saranno concepite in modo da mantenere l'intervento **interamente confinato all'interno dell'area di cantiere**, senza produzione di effetti esterni o modificativi del comportamento idrogeologico.

Nella gestione delle fasi operative in presenza di falda superficiale o stagionale, è fondamentale adottare un approccio metodico che consenta di prevenire alterazioni indesiderate al regime idrico naturale. Inizialmente, si procede con indagini e modellazione preliminare, attraverso un rilievo piezometrico condotto nelle diverse stagioni, al fine di definire con precisione le oscillazioni annuali della falda. Contestualmente, viene effettuata una caratterizzazione dettagliata della permeabilità dei terreni e degli strati potenzialmente saturi, insieme alla costruzione e all'aggiornamento di un modello idrogeologico locale che consenta di individuare con accuratezza i tratti più sensibili e le possibili interazioni tra l'opera e la falda.

Successivamente, nella fase di preparazione del piano di posa, si procede con la rimozione degli strati superficiali di terreno, eseguendo una verifica diretta delle condizioni idriche. Se necessario, vengono predisposti sistemi di drenaggio temporanei, progettati per essere non invasivi e per non mettere in comunicazione la falda superficiale con quella principale, così da limitare l'impatto sull'assetto idrogeologico preesistente.

Durante gli scavi, qualora si rilevino infiltrazioni localizzate, le operazioni vengono eseguite in modo graduale e protetto, evitando di creare fronti profondi che potrebbero favorire l'imbibizione dei terreni. Le acque di infiltrazione vengono gestite attraverso piccoli drenaggi temporanei a bassa portata, senza provocare abbassamenti estesi del livello piezometrico. Tali acque vengono poi

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	


convogliate verso apposite vasche di sedimentazione, dove subiscono un controllo prima dello scarico definitivo.

Per quanto riguarda la realizzazione dei rilevati, si procede con la compattazione progressiva degli strati, avendo cura di non ostruire i percorsi naturali del deflusso sotterraneo. Qualora sia necessario, si utilizzano geocompositi drenanti e materiali filtranti, che favoriscono la permeabilità verticale e prevengono la formazione di falde sospese artificiali.

Infine, la regimazione superficiale e i ripristini prevedono la definizione di opere di drenaggio per una corretta gestione delle acque meteoriche e il ripristino degli impluvi naturali eventualmente intercettati dal tracciato, utilizzando strutture filtranti o drenanti. Al termine delle lavorazioni, viene effettuata una verifica finale per accertare che il comportamento idrico dell'area risulti conforme alle condizioni di sicurezza e compatibilità prefissate.

Le **misure tecniche di mitigazione** adottate nel progetto sono state concepite per garantire la piena salvaguardia del regime idrico e dell'assetto idrogeologico durante tutte le fasi operative. In particolare, nella fase preliminare, è stato previsto un monitoraggio piezometrico approfondito prima dell'avvio dei lavori, accompagnato dall'aggiornamento costante del modello idrogeologico in base alle condizioni effettivamente riscontrate in sito. Qualora si rendesse necessario, sono stati previsti anche sistemi di by-pass idraulici, naturali o filtranti, così da assicurare la continuità dei deflussi e prevenire qualsiasi interruzione del flusso sotterraneo.

Durante gli scavi, le operazioni vengono condotte in modo graduale e localizzato, evitando qualsiasi abbassamento significativo del livello della falda e limitando eventuali interventi di questo tipo ai soli casi strettamente indispensabili. Le acque di infiltrazione raccolte vengono gestite tramite idonei sistemi di sedimentazione e filtrazione, così da non alterare la qualità delle acque sotterranee. Nelle lavorazioni specialistiche, come la realizzazione di pali di fondazione o micropali, si ricorre esclusivamente all'utilizzo di additivi biodegradabili, caratterizzati da una rapida degradazione naturale e pienamente conformi alle norme ambientali vigenti; questa scelta consente di evitare

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

qualsiasi rischio di contaminazione chimica della falda, garantendo sia la compatibilità idrogeologica delle operazioni sia la tutela degli orizzonti idrici superficiali.

Per quanto riguarda la costruzione del corpo stradale, viene privilegiato l'impiego di strati filtranti e materiali drenanti ad elevata permeabilità, insieme a geocompositi drenanti, utili a prevenire accumuli localizzati di acqua. Si prevede inoltre la realizzazione di dreni laterali e al piede del rilevato, soluzioni che favoriscono la continuità del flusso idrico sotterraneo. Nel caso in cui le opere in elevazione possano alterare i deflussi naturali, si procederà con la realizzazione di scatolari drenanti, tubi filtranti per l'attraversamento e altre opere sotterranee volte a mantenere l'integrità dei percorsi idrici naturali della falda.


Il mantenimento del deflusso naturale è assicurato attraverso la conservazione della permeabilità verticale del terreno naturale, ottenuta grazie all'inserimento di strati filtranti. La corretta gestione delle acque meteoriche viene garantita tramite canalette longitudinali e trasversali, mentre eventuali micro-impluvi naturali intercettati dal tracciato saranno ripristinati utilizzando by-pass superficiali o sotterranei, così da non alterare l'equilibrio idrogeologico locale.

A completamento dell'intervento, viene previsto un costante monitoraggio piezometrico nelle aree più sensibili, con controlli periodici dei livelli di falda durante tutte le fasi del cantiere. L'efficacia dei sistemi di drenaggio installati sarà verificata nel tempo e, qualora necessario, le misure adottate saranno opportunamente adeguate, così da garantire la massima sicurezza e compatibilità ambientale delle opere realizzate.

Esclusione di interferenze con la falda e con l'assetto idrogeologico

Sulla scorta di quanto relazionato nei paragrafi precedenti ed in particolare:

- delle caratteristiche idrogeologiche rilevate,
- delle profondità dei livelli piezometrici osservati lungo il tracciato,
- delle metodologie esecutive descritte,
- dell'impiego di materiali drenanti, sistemi filtranti e strutture di continuità idraulica,

Progetto Definitivo della S.S.127 "Settentrionale Sarda" Completamento circonvallazione di Tempio		
CA350	Relazione Idrogeologica Integrativa	

- dell'utilizzo esclusivo di additivi biodegradabili nelle perforazioni,
- e della completa confinabilità delle attività all'interno del perimetro di cantiere, **si esclude qualsiasi interferenza significativa tra l'opera stradale e il regime della falda superficiale o stagionale.**

L'analisi delle caratteristiche idrogeologiche, delle profondità dei livelli piezometrici e delle metodologie esecutive adottate, insieme all'impiego di materiali drenanti e sistemi filtranti, consente di escludere qualsiasi interferenza significativa tra l'opera stradale e il regime della falda superficiale o stagionale.

In particolare, l'intervento risulta compatibile con il contesto idrogeologico preesistente, come evidenziato dai punti seguenti:

- Il bilancio idrico sotterraneo rimane invariato, senza subire modifiche in conseguenza delle attività previste.
- I percorsi di deflusso naturale delle acque non vengono alterati in modo apprezzabile, preservando la dinamica originaria.
- Non si verificheranno variazioni piezometriche durature, garantendo la stabilità dei livelli idrici sotterranei.
- La risorsa idrica sotterranea non viene compromessa, mantenendo intatta la sua qualità e quantità.
- Non si producono effetti esterni al cantiere sull'assetto idrogeologico, assicurando che le condizioni idriche al di fuori dell'area di intervento restino inalterate.

Le misure adottate garantiscono dunque la **piena compatibilità idrogeologica dell'intervento**, confermando l'assenza di impatti significativi e il mantenimento delle condizioni idriche preesistenti.