

STRADA STATALE 4 "VIA SALARIA"
**Adeguamento della piattaforma stradale e messa in
 sicurezza dal km 56+000 al km 64+000**
 Stralcio 1 da pk 0+000 a pk 1+900

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **RM368**

PROGETTAZIONE: R.T.I.: PROGER S.p.A. (capogruppo mandataria)
 PROGIN S.p.A.
 S.I.N.A. S.p.A. – BRENG S.r.l.

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
 Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli n. 23799

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



IL GEOLOGO:
 Dott. Geol. Gianluca PANDOLFI ELMI (Progin S.p.A.)
 Ordine dei Geologi Regione Umbria n. 467



Direttore Tecnico:
 Dott. Ing. Lorenzo INFANTE

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
 Dott. Ing. Michele CURIALE (Progin S.p.A.)



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
 Dott. Ing. Paolo NARDOCCI



PROTOCOLLO _____ DATA _____ 202_

GEOLOGIA E GEOTECNICA
MONITORAGGIO GEOTECNICO E STRUTTURALE
 Piano di monitoraggio geotecnico e strutturale

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:															
<table border="1"> <tr> <td>D</td><td>P</td><td>R</td><td>M</td><td>3</td><td>6</td><td>8</td><td>E</td><td>2</td><td>3</td> </tr> </table>		D	P	R	M	3	6	8	E	2	3	T01M000GETRE01C								
D	P	R	M	3	6	8	E	2	3											
		CODICE ELAB. <table border="1"> <tr> <td>T</td><td>0</td><td>1</td><td>M</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>G</td><td>E</td><td>T</td><td>R</td><td>E</td><td>0</td><td>1</td> </tr> </table>		T	0	1	M	0	0	0	G	E	T	R	E	0	1	<table border="1"> <tr> <td>C</td> </tr> </table>	C	-
T	0	1	M	0	0	0	G	E	T	R	E	0	1							
C																				
C	Emissione a seguito di validazione e istruttoria ANAS	02-2024	M. Piccolo	A. D'Alterio	L. Infante															
B	Revisione interna	10-2023	M. Piccolo	A. D'Alterio	L. Infante															
A	Prima emissione	06-2023	M. Piccolo	A. D'Alterio	L. Infante															
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO															

Sommario

1	PREMESSA	1
2	GEOLOGIA	2
2.1	Inquadramento geologico-strutturale.....	2
2.1.1	Faglie attive e capaci.....	4
2.2	Successione lito-stratigrafica.....	6
3	GEOMORFOLOGIA	9
4	MODELLO GEOLOGICO E CRITICITA’	12
5	MONITORAGGIO GEOTECNICO E GEOMORFOLOGICO	15
5.1	Sintesi degli interventi.....	15
5.1.1	Controllo dei movimenti superficiali.....	15
5.1.2	Controllo dei movimenti profondi	15
5.2	Frequenza di lettura	16
5.3	Definizione delle soglie di attenzione e di allarme	17
5.4	Sintesi delle strumentazioni di monitoraggio, fasi e relative soglie.....	19
6	MONITORAGGIO STRUTTURALE	20
6.1	Opere Monitorate e strumentazione prevista.....	20
6.2	Frequenza delle letture	21
6.3	Numero delle letture.....	22
7	ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO	23
8	CONCLUSIONI	24

1 PREMESSA

La presente relazione illustra il sistema di monitoraggio geotecnico, geomorfologico e strutturale relativo al progetto esecutivo dell'intervento “Strada Statale 4 via Salaria: adeguamento della piattaforma stradale e messa in sicurezza dal km 56+000 al km 64+000”. Il progetto interessa lo stralcio n.1 (pk 0+000 – 1+900) del lotto funzionale denominato Lotto 1 (da km 56+000 a km 64+000) di un progetto più ampio che prevede l'adeguamento della S.S. 4 “Salaria” fino alla progressiva 70+800. L'intervento previsto consiste nel potenziamento della strada statale S.S.4 “Via Salaria” mediante l'adeguamento della piattaforma esistente ad una piattaforma assimilabile, per caratteristiche tecniche, alla cat. B..

La finalità del piano di monitoraggio è di controllo / verifica delle previsioni progettuali con particolare riferimento a:

- conferma che non ci siano eventuali riattivazioni di movimenti di versante e/o estensione dei movimenti franosi, interferenti con le opere in progetto.
- verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo, mediante la misura di grandezze fisiche significative, prima durante e dopo la costruzione del manufatto.

Nel seguito quindi, dopo breve inquadramento geologico, morfologico e delle scelte progettuali sulla base dell criticità, sono sintetizzate le strumentazioni di monitoraggio previste, le frequenze di letture per le varie fasi (ante operam, corso d'opera e post operam) e le relative soglie.

2 GEOLOGIA

2.1 Inquadramento geologico-strutturale

Il tracciato di progetto si sviluppa nel settore dei rilievi preappenninici della Sabina occidentale compreso tra l’incisione valliva del torrente Farfa a Sud (località Ponte Buida -Casaprota – km 56), con quota intorno a 270 m s.l.m. e il km 58 circa della attuale SS4, a quota intorno a 359 m. s.l.m.

Il territorio attraversato dalla strada in progetto è compreso nel Foglio 357 “Cittaducale” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000.

Il tracciato in progetto ricade in un contesto geologico omogeneo in cui affiorano due domini principali:

- successione carbonatica pre-orogena, di età compresa tra il Giurassico inferiore e il Miocene medio;
- successione post-orogena rappresentata dalle serie sedimentarie marine e continentali di natura da argillosa a sabbioso-conglomeratica, trasgressive sui termini della successione sabina.

Quest’area, nel corso del Mesozoico, ha rappresentato una fascia di transizione tra la piattaforma carbonatica laziale-abruzzese ed il bacino occidentale pelagico umbro-marchigiano. In relazione all’ambiente deposizionale, in questo bacino si sono deposte formazioni geologiche costituite prevalentemente da calcari micritici ed in subordine depositi silico-marnosi con intercalazioni di materiale detritico grossolano (da calcareniti a megabrecce), depositatesi lungo la scarpata sottomarina formatasi al margine della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese.

Durante l’orogenesi appenninica (a partire dal Miocene superiore) la successione sabina è stata sollevata, deformata e variamente smembrata in blocchi che oggi si ritrovano affiancati o sovrapposti in strutture tettoniche molto complesse.

L’assetto geometrico di questa porzione di catena appenninica, rappresentata nel Foglio 357-Cittaducale, è caratterizzato dalla presenza di pieghe e sovrascorrimenti a prevalente direttrice meridiana (Fig. 1).

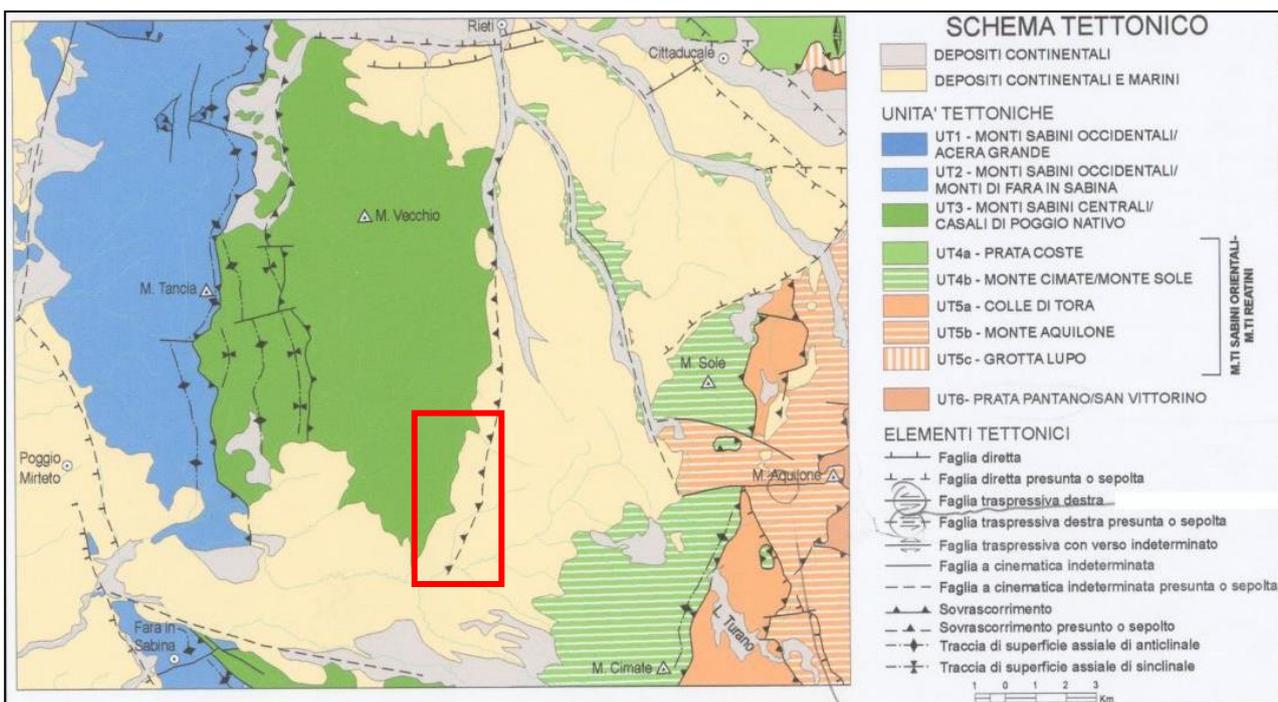


Figura 1 - Schema tettonico del Foglio 357-Cittaducale. Tratto da Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 357 Cittaducale.

L'area del Foglio interessata dall'affioramento delle successioni pre- e sin-orogeniche (ad esclusione della Faglia Sabina) è suddivisibile in sei unità tettoniche, ovvero corpi rocciosi separati da superfici di accavallamento:

UT1 – M.ti Sabini occidentali; Acera Grande Cimamonte;

UT2 – M.ti Sabini occidentali; M. Alto-M. Tancia-M.ti di Fara in Sabina;

UT3 – M.ti Sabini centrali; Casali di Poggio Nativo;

UT4 – M.ti Sabini orientali; M. Cimate-M. Sole;

UT5 – M.ti Sabini orientali; Castel di Tora-M. Porraglia-M. Aquilone;

UT6 – Prata Pantano-San Vittorino.

L'area interessata nel tracciato ricade nell'unità UT3 M.ti Sabini centrali; Casali di Poggio Nativo: tale unità tettonica è delimitata verso il basso da una superficie di sovrascorrimento mai affiorante nell'area poiché sepolta al disotto delle coperture villafranchiane e oloceniche. In superficie le formazioni coinvolte nell'UT3 vanno dalla Maiolica allo Schlier, deformate in una serie di pieghe leggermente oblique rispetto al sistema di sovrascorrimenti della struttura del M. Tancia, tale che in superficie le strutture plicative risultano troncate da quest'ultimo.

Alla fase di tettonica compressiva, terminata nel Pliocene inferiore, è seguita una fase distensiva legata all'apertura del Bacino tirrenico.

A causa della tettonica distensiva, all'interno della catena ormai interamente sollevata, si sono formate varie zone depresse in corrispondenza delle quali si sono instaurati bacini lacustri e, in quelle più importanti della zona marginale occidentale, si sono verificate anche ingressioni marine.

Nella sua fase di massima ingressione pliocenica, il mare è entrato all'interno dei rilievi fino a lambire la dorsale dei Monti di Fara in Sabina, mentre nei settori più orientali si è formata una serie di bacini continentali intramontani fra cui il Bacino reatino-cicolano, a nord del tratto di via Salaria oggetto del presente studio.

Si sono formate in questo periodo (Plio-Pleistocene) le importanti serie sedimentarie marine e continentali di natura da argillosa a sabbioso-conglomeratica, trasgressive sui termini della successione sabina.

In una fase successiva (Pleistocene medio-superiore), dopo la quasi totale emersione di quest'area, si è impostato un importante reticolo idrografico che ha dato luogo a fasi di erosione e sedimentazione fluviale che hanno dato luogo a vari ordini di terrazzi fluviali.

A nord dell'area studiata la tettonica distensiva si è manifestata su piani di faglia orientati circa E-O, con immersione verso nord; in tale zona un sistema di faglie distensive a direzione E-O caratterizza l'assetto tettonico del margine meridionale della Conca di Rieti, ribassando verso nord, a gradinata, la successione villafranchiana del Sistema del paleo Farfa, portandolo fin al disotto della copertura olocenica della Conca di Rieti.

2.1.1 Faglie attive e capaci

Nella figura seguente si riporta il database dell’ISPRA “ITHACA - Catalogo delle faglie capaci”, nella quale si evidenzia l’assenza di faglie attive o capaci interferenti col tracciato in progetto; si segnala la presenza del sistema di faglie riconducibili alla piana di Rieti.

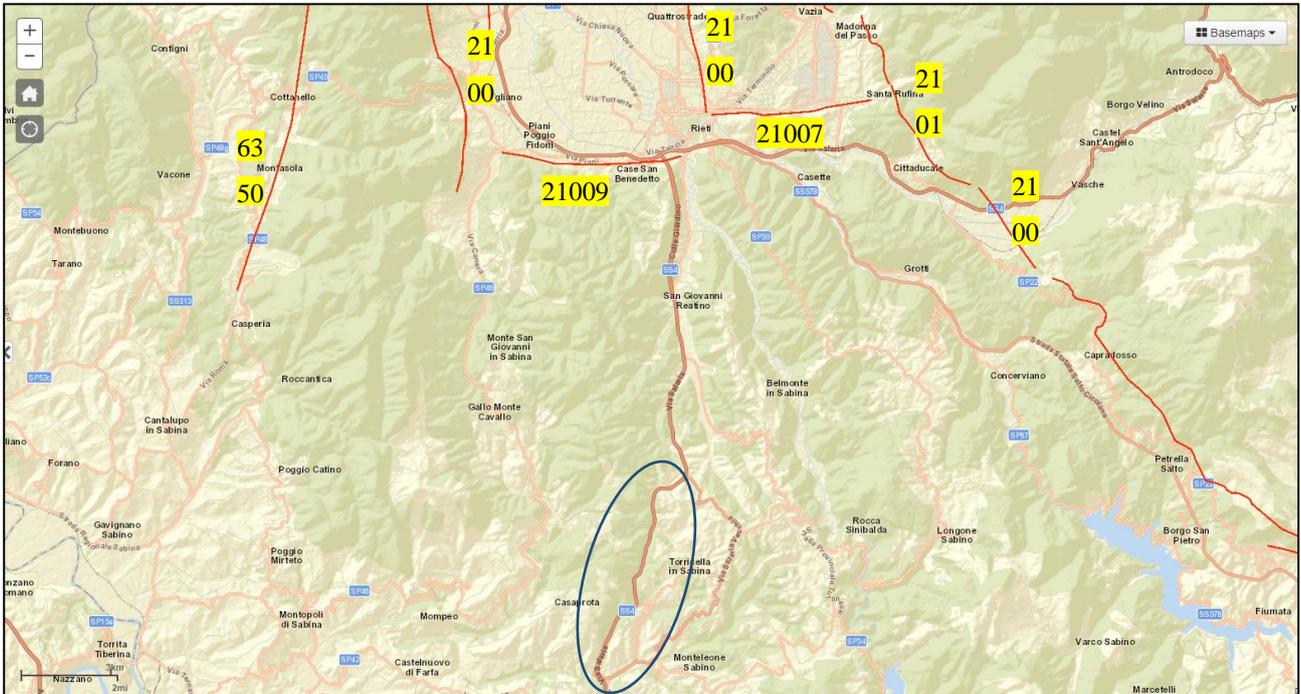


Figura 2 - Stralcio del catalogo delle faglie attive e capaci nell’aeree limitrofe al tracciato di progetto (fonte: ISPRA – ITHACA – Catalogo delle faglie capaci).

A nord di San Giovanni Reatino è visibile una serie di faglie ad andamento prevalentemente E-O e N-S le quali sono state raggruppate nel Sistema “Rieti basin” o “Conca di Rieti”, con codici di faglia che vanno da 21000 a 21009. Quest’ultima risulta essere quella più vicina all’area in esame ed è una faglia normale caratterizzata da un andamento E-O, uno strike medio di 260° e una lunghezza di 6,2 km. Nelle note si specifica che una componente laterale destra è stata osservata su piani di faglia verticali nei conglomerati Villafranchiani. Da un punto di vista sismico hanno sviluppato terremoti fino a 8 nella scala MCS, che considera gli effetti distruttivi su persone e cose (**Errore. L’origine r** **iferimento non è stata trovata.** 3).

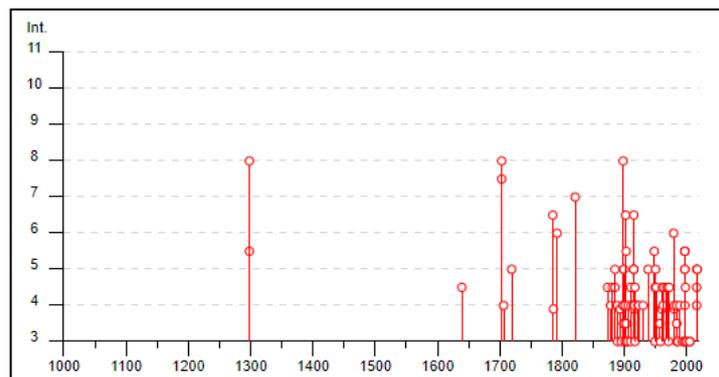


Figura 3 - Rappresentazione degli eventi sismici significativi avvenuti nel comune di Rieti (fonte: DBMI15).

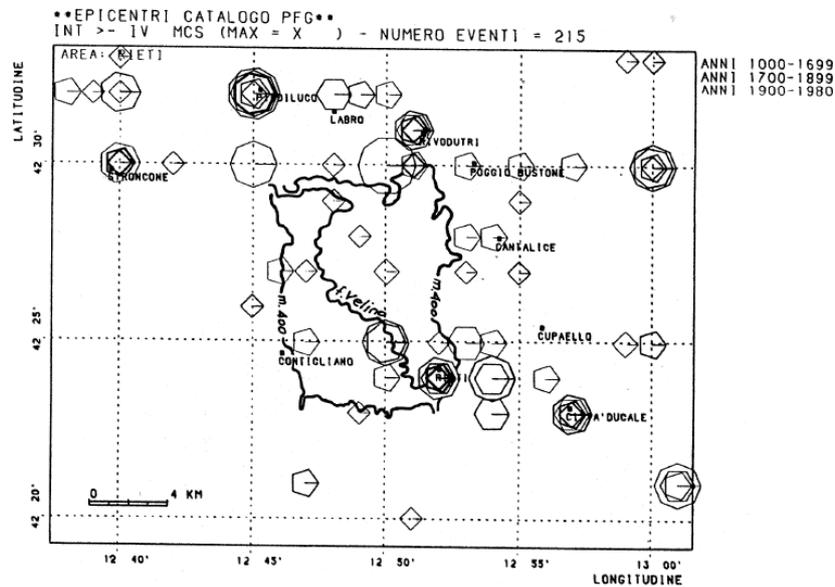


Figura 4 - Ubicazione dei principali eventi sismici nella piana di Rieti (ogni lato dei poligoni rappresenta un grado della scala MCS).

GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	21009
Fault Name	RIETI BASIN (Southern border)
Region Name	Lazio
Tectonic Environment	ND
System Name	RIETI BASIN
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	260
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	N
Fault Length (km)	6.2
Mapping Scale	1:100000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal Oblique DX
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Late Pleistocene
FINAL REMARKS	
Capability Consensus	High reliability
Study Quality	FAIR
Notes	Right-lateral component observed on subvertical fault planes in the Villafranchian conglomerates (e.g., Cavinato, 1990)
Fault Trace Reference	
Last Update	

Figura 5 - Scheda descrittiva della faglia Rieti Basin (Southern Border) – Codice 21009 dal Data Base ITHACA.

2.2 Successione lito-stratigrafica

Le unità stratigrafiche presenti nell'area esaminata possono essere distinte in due gruppi:

- depositi post-orogenesi;
- depositi pre-orogenesi.

Nel gruppo dei depositi post-orogenesi sono compresi i depositi che si sono formati dalla fine dell'orogenesi appenninica ad oggi (sedimenti marini e continentali); in questo gruppo sono stati distinti i depositi continentali più recenti (Pleistocene-Olocene) da quelli della serie marina e continentale del Plio-Pleistocene.

Nel gruppo dei depositi pre-orogenesi sono comprese le formazioni della Serie Sabina formatesi nell'ambiente di transizione della piattaforma carbonatica prima della formazione della catena appenninica.

A differenza di altre aree dell'Italia centrale, nell'ambito del settore sabino in esame non si rinvencono i depositi sin-orogenetici (formazioni in facies di flysch), formatisi durante il sollevamento della catena.

DEPOSITI ANTROPICI

- **Riporti (r):** depositi costituiti da materiali di diversa origine (sbancamenti, scavi, riporti, ecc.) e derivanti da processi di rimaneggiamento dei terreni in posto. Si tratta prevalentemente di ghiaie con ciottoli con spigoli vivi. Sono presenti lungo il tracciato stradale esistente a formare i tratti in rilevato.

COPERTURE RECENTI E DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

Si tratta di depositi legati all'attività del reticolo fluviale e ai processi morfogenetici più o meno recenti.

- **Depositi alluvionali (al):** costituiti in prevalenza da ghiaie e sabbie con limo (OLOCENE). Si rinvencono lungo l'alveo incassato del Rio dei Cerri con spessori limitati a pochi metri.
- **Depositi di versante (dv):** costituiti da ghiaie in matrice sabbioso-limosa, generalmente sciolte, a luoghi stratificati (OLOCENE). Sono presenti in maniera piuttosto limitata nei versanti, in particolare negli impluvi con spessori anch'essi limitati a pochi metri.
- **Sintema del Fosso di Montenero (UNR):** costituito da ghiaie e conglomerati, con clasti eterometrici, sub-angolosi e sub-arrotondati, con livelli e lenti di sabbie limose (PLEISTOCENE SUPERIORE). Non è interessato dal tracciato stradale. Sono presenti due lembi nei due versanti all'inizio del tratto stradale.
- **Unità di Monteleone Sabino – associazione conglomeratica (MSa):** depositi costituiti prevalentemente da conglomerati clasto-sostenuti, con ciottoli calcarei e arenacei arrotondati, intercalati a sabbie ocracee a stratificazione incrociata e livelli marnoso-argillosi, con sottili livelli torboso-lignitici. I clasti sono in contatto fra loro, da arrotondati a sub-arrotondati, con abbondante matrice sabbiosa fine o media. L'unità è prodotta da un sistema fluviale intrecciato, con canali poco profondi, con drenaggio secondo linee di flusso da nord a sud (PLIOCENE SUPERIORE). Affiorano nel primo tratto fino alla progressiva 0+480 (Fig. 3.2.1).

DEPOSITI PRE-OROGENESI

- **Scaglia Rossa (SR):** è costituita in prevalenza da calcari marnosi di colore avana-biancastro, in strati sottili e medi, con sottili intercalazioni marnose, con selce in liste e noduli (CRETACICO SUPERIORE - EOCENE). Affiora diffusamente in tutto il tratto tra le progressive 0+480 e 1+900, in particolare lungo le scarpate stradali

esistenti. L’assetto strutturale generale è di tipo monoclinale con immersione degli strati verso Sud/Sud-Est, generalmente a traversopoggio/franapoggio rispetto alle scarpate sulla corsia Sud (Figg. 6 – 7 – 8 – 9).



Figura 6 – Affioramento Unità di Monteleone Sabino



Figura 7 – Affioramento dei calcari marnosi della Scaglia rossa (Km 0+540 – Sez. 28)



Figura 8 – Affioramento dei calcari marnosi della Scaglia rossa (Km 0+580 – Sez. 30)



Figura 9 – Affioramento dei calcari marnosi della Scaglia rossa (Km 1+660 – Sez. 84)

3 GEOMORFOLOGIA

Il territorio interessato dal tracciato in progetto si sviluppa nella valle del Rio dei Cerri, affluente del torrente Farfa. Sotto l'aspetto morfologico, la configurazione attuale del paesaggio è il risultato del modellamento superficiale più recente, successivo all'emersione dei rilievi e legato principalmente al progressivo approfondimento della rete idrografica.

I caratteri morfologici del territorio risentono della situazione geologica prima delineata e in particolare della distribuzione areale dei differenti terreni, caratterizzati da diversa erodibilità.

Il paesaggio è di tipo montano, caratterizzato da rilievi accentuati che raggiungono quote comprese tra 600 e 900 m s.l.m. con media intorno a 700 m; separati da profonde e strette incisioni vallive.

Il tracciato si sviluppa in affiancamento alla profonda incisione del Rio o Fosso dei Cerri che ha eroso la copertura dei sedimenti sabbioso-conglomeratici dell'Unità di Monte Sabino fino a raggiungere le sottostanti formazioni carbonatiche, dove ha formato una valle molto stretta e incisa (Fig. 10 – 11).

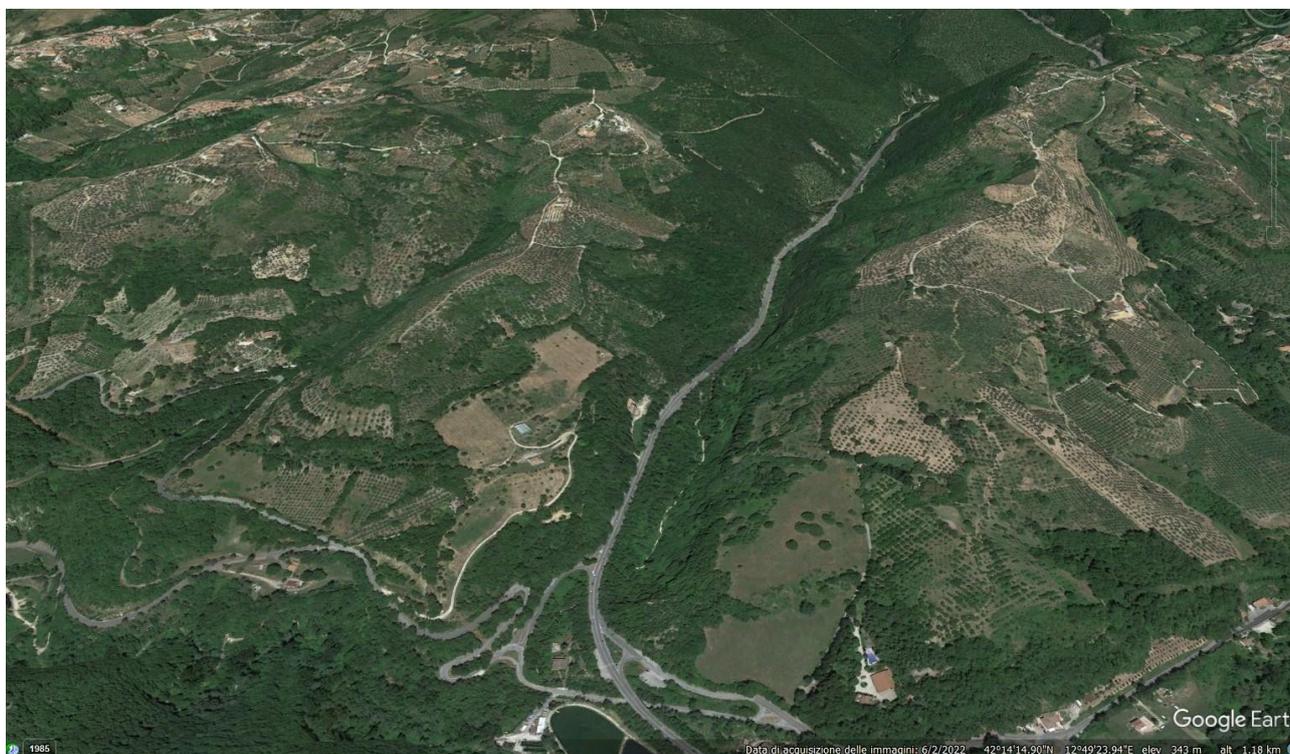


Figura 10 – Vista panoramica del tracciato da Sud-Sud_Ovest

Dal punto di vista litologico si tratta di calcari detritici e micritici, debolmente marnosi, in strati con elevato grado di fessurazione.

La natura rocciosa dei terreni affioranti, caratterizzati da infiltrazione efficace molto elevata a causa dell'elevatissima permeabilità secondaria per fessurazione e carsismo delle rocce carbonatiche, non consente che si possa sviluppare un reticolo idrografico vero e proprio. Le scarse acque di corrivazione talora incidono i versanti in fossi dai fianchi ripidi e profondi. Questi fossi, o incisioni, risultano sempre asciutti e si riattivano solo in occasione di intense precipitazioni e possono determinare modesti fenomeni di trasporto solido (debris-flow).

Il paesaggio è assimilabile alla tipologia montana caratterizzato da condizioni geopedologiche sfavorevoli o poco favorevoli allo sviluppo del suolo: la vegetazione è di tipo boschivo, ceduo, non molto sviluppata.



Figura 11 – Vista panoramica del tracciato da Nord

Nella carta geomorfologica sono riportate le forme ed i processi legati sia alle acque correnti superficiali che alla gravità (T01GE01GEOCG04).

Per quanto riguarda i fenomeni legati alla gravità, il territorio investigato non appare soggetto a fenomeni di dissesto particolarmente rilevanti. I fenomeni segnalati nel PAI e nel progetto IFFI sono in numero di tre ed ubicati in destra idrografica del Rio Cerro in corrispondenza di tre anse con erosione al piede particolarmente accentuata. Sono costituiti da fenomeni di scivolamento di strati e di detrito che non interferiscono con il tracciato stradale.

Sono anche evidenti due fenomeni di scivolamento traslativo di roccia, strato su strato, legati alla realizzazione delle scarpate stradali tra le progressive 1+580 e 1+700, che sono stati classificati inattivi in quanto stabilizzati con specifici interventi (contrafforti in cls, gabbionate e reti).

Sono presenti anche potenziali crolli di modeste dimensioni dalle scarpate stradali (tutte protette con reti metalliche, funi e barre di ancoraggio) e da quelle di erosione fluviale.

Per quanto riguarda le acque correnti superficiali sono presenti alcuni piccoli conoidi di deiezione inattivi, fenomeni di ruscellamento concentrato lungo le incisioni vallive laterali e scarpate di erosione torrentizia per lo più attive. Si segnalano almeno due deviazioni dell'alveo del Rio Cerro in corrispondenza di due meandri incassati eseguite con i lavori di costruzione della strada Flaminia.

Nella carta del rischio e della pericolosità geomorfologica, con riguardo alla strada Salaria, sono state circoscritte le aree potenzialmente pericolose nel caso di scavi per la possibilità di scivolamenti traslativi strato su strato che possono mettere a rischio la sicurezza del cantiere se non adeguatamente consolidate preventivamente agli scavi. Nella stessa

sono evidenziate anche due incisioni vallive, che vengono tagliate perpendicolarmente dagli scavi previsti in progetto, potenzialmente pericolose per fenomeni di trasporto solido che potrebbero interferire con la carreggiata Sud. Sono indicate anche le frane segnalate nel PAI e nel progetto IFFI che, come già detto, non interferiscono con il tracciato.

4 MODELLO GEOLOGICO E CRITICITA'

Il modello geologico di riferimento per il progetto dello Stralcio 1 si può osservare nella carta geologica di dettaglio, nel profilo geologico e nelle sezioni geologiche trasversali (vedi elabb. T01GE01GEOCG02, T01GE01GEOCG03, T01GE01GEOFG01 - T01GE01GEOSZ01).

A partire dall'innesto della SS4 con la ex S.S. 314 “Licinese” (**km 0+000**), **fino al 0+480**, il tracciato si sviluppa nell'ambito dei depositi sabbioso-conglomeratici dell'Unità di Monteleone Sabino.

In questo tratto sono presenti diversi affioramenti sui versanti laterali alla SS4 ed i sondaggi S01, S01-Pz ed SE01 che hanno interessato questa unità.

Le litologie prevalenti sono costituite da sabbie e ghiaie a luoghi cementate e secondariamente da livelli di limi argilloso-sabbiosi con velocità $V_s < 800$ m/s (MASW1).

Negli affioramenti si nota una pseudostratificazione con inclinazione di circa 10° - 15° e rapporti caratterizzati da strutture lentiformi.

L'ampliamento della carreggiata avviene tramite scavi molto significativi, fino a 15m di altezza, nel versante ovest tra le progressive 0+130 e 0+510 (carreggiata sud). Vista l'estrema variabilità litologica dei terreni, con grado di consistenza molto variabile (da sciolti a cementati), si ritengono necessarie opere di sostegno preventive costituite da paratie di pali, opportunamente tirantate (vedi Sez. geologica trasversale 18).

A partire dalla sezione n. 25 (progr. 0+480) il tracciato interessa, fino al km 1+900, i calcari stratificati della Formazione della Scaglia rossa, che affiorano diffusamente nelle numerose scarpate stradali, e che presentano velocità sismiche $V_s > 800$ m/s.

Sono previste n. 10 scarpate per l'ampliamento della carreggiata di cui n. 8 per la carreggiata sud e n. 2 per la carreggiata nord, indicate nella Tab. 1 dove sono riportate anche le condizioni geologico strutturali locali.

Tra le progressive **0+480 e 1+073** gli strati risultano a traversopoggio/franapoggio rispetto all'andamento della scarpata stradale, non comportando particolari problematiche rispetto allo scivolamento piano (OM da 01 a 04). La stratificazione rappresenta, comunque, la famiglia di discontinuità a maggiore persistenza e maggiore frequenza.

Le altre famiglie di discontinuità presentano orientazione nel complesso ortogonale rispetto al fronte di scavo. Risulterebbero cinematismi ammissibili di scivolamento a cuneo, che tuttavia non destano particolare preoccupazione per la modesta acclività delle rette di intersezione tra i vari giunti.

E' comunque possibile il distacco di blocchi generati dalle varie famiglie di discontinuità, generalmente con dimensioni del blocco elementare di volume dal decimetro cubo al metro cubo.

L'ammasso nel complesso è molto fratturato e rientra nella classe II (buono) secondo la classificazione RMR e SMR; l'indice di qualità dell'ammasso GSI oscilla tra 55 e 60.

Risultano necessari interventi di consolidamento dei fronti di scavo mediante barre di ancoraggio, funi e reti metalliche (rafforzamento corticale).

Tra le progressive **1+130 e 1+341** sono previste n. 2 scarpate con strati a franapoggio minore del pendio e con interstrati marnosi di 2-3 cm, che facilitano i fenomeni di scivolamento piano (OM05 – OM06). Sono possibili potenziali cinematismi di scivolamento piano lungo le superfici di strato, che possono interessare anche rilevanti volumi di roccia, essendo presenti fratture ad alta persistenza che tagliano la stratificazione stessa.

Risultano necessari, oltre ai normali interventi di rafforzamento corticale dei fronti di scavo, lavori di consolidamento preventivi agli scavi (barre di ancoraggio) da realizzarsi a monte dei fronti di scavo al fine di evitare scivolamenti lungo le superfici di strato.

Alla progressiva **1+267** gli scavi tagliano perpendicolarmente un'incisione valliva minore potenzialmente pericolosa per fenomeni di trasporto solido che, a seguito degli scavi, si troverà sospesa sulla carreggiata Sud. Si dovranno prevedere oltre alle normali opere idrauliche per il convogliamento delle acque superficiale nel tombino stradale, anche opere di intercettazione del trasporto solido.

WBS PE COMPUTI	WBS ELENCO ELABORATI PE	progressive		CARREG.	SEZIONI	GEOLOGIA		
		inizio	fine			N. SEZIONE	IMMERSIONE SCARPATA	NOTE
MS.TR.01.S	OM01	0+510	0+593	SUD	27 - 28 - 29 - 30	28 pk 0+540	N119	Traversopoggio/franapoggio - giacitura strati 157/28° - Inclinazione apparente franapoggio 22° - Ammasso molto fratturato (vedi stazione geomeccanica GM-01)
MS.TR.02.S	OM02	0+709	0+850	SUD	37 - 38 - 39 - 40 - 41 - 42 - 43	40 pk 0+780	N115	Traversopoggio/leggero franapoggio - giacitura strati 175/27° - Inclinazione apparente franapoggio 14° - Ammasso molto fratturato (vedi stazione geomeccanica GE01)
MS.TR.03.S	OM03	0+868	0+957	SUD	45 - 46 - 47 - 48	47 pk 0+920	N104	Traversopoggio/leggero franapoggio - giacitura strati 121-149/20°-24° - Inclinazione apparente franapoggio 18°
MS.TR.04.S	OM04	0+975	1+073	SUD	50 - 51 - 52 - 53 - 54	52 pk 1+020	N104	Traversopoggio/leggero franapoggio - giacitura strati 160/34° - Inclinazione apparente franapoggio 20°
MS.TR.05.S	OM05	1+130	1+270	SUD	58 - 59 - 60 - 61 - 62 - 63 - 64	60 pk 1+180	N122	Strati leggermente ondulati a franapoggio - Giacitura strati 142.146/30° - Inclinazione apparente franapoggio 28°
						63 pk 1+240		Strati a franapoggio giacitura strati 119-146/27-31° - Calcarci marnosi con interstrati marnosi 2-3cm Necessari preconsolidamenti a monte
MS.TR.06.S	OM06	1+275	1+341	SUD	65 - 66 - 67 - 68	66 pk 1+300	N122	Strati a franapoggio giacitura strati 127-133/30° - Calcarci marnosi con interstrati marnosi 2-3cm Necessari preconsolidamenti a monte
MS.TR.07.N	OM07	1+370	1+420	NORD	70 - 72	71 pk 1+400	N300	Strati a reggipoggio incl. 36°
MS.TR.08.S	OM08	1+442	1+514	SUD	73 - 74 - 75 - 76	75 1+480	N115	Strati a franapoggio leggermente ondulati giacitura strati 123/33° Necessari preconsolidamenti a monte
MS.TR.09.S	OM09	1+581	1+695	SUD	80 - 81 - 82 - 83 - 84 - 85	81 pk 1+600	N115	Strati ondulati a franapoggio con stessa inclinazione scarpata stradale esistente Inclinazione strati maggiore a monte 44° e minore a valle 25°. Sono presenti contrafforti in cls, reti e gabbionate. Necessari preconsolidamenti a monte
						84 pk 1+660		
MS.TR.10.N	OM10	1+750	1+815	NORD	89 - 90 - 91	91 pk 1+800	N295	Strati a leggero reggipoggio (inclinazione 4°-5°)

Tabella 1

Tra le progressive **1+370 e 1+420** è prevista una scarpata con strati a reggipoggio (OM7). Sono possibili distacchi di blocchi generati dalle varie famiglie di discontinuità, generalmente con dimensioni del blocco elementare di volume dal decimetro cubo al metro cubo. E' necessario l'intervento di rafforzamento corticale dei fronti di scavo.

Tra le progressive **1+442 e 1+695** sono previste n. 2 scarpate con strati leggermente ondulati, a franapoggio con inclinazione circa uguale al pendio e con interstrati marnosi di 2-3 cm, che facilitano i fenomeni di scivolamento piano (OM08 – OM09). Sono possibili potenziali cinematismi di scivolamento piano lungo le superfici di strato, che possono interessare anche rilevanti volumi di roccia, essendo presenti fratture ad alta persistenza che tagliano la stratificazione stessa. Questi scivolamenti sono già avvenuti a seguito degli scavi eseguiti per la realizzazione della strada Salaria esistente e prova ne sono anche gli interventi di consolidamento realizzati (contrafforti in cls, reti e gabbionate).

Anche qui risultano necessari, oltre ai normali interventi di rafforzamento corticale dei fronti di scavo, lavori di consolidamento preventivi agli scavi (barre di ancoraggio) da realizzarsi a monte dei fronti di scavo al fine di evitare scivolamenti lungo le superfici di strato.

Nel tratto della scarpata OM09, alla progressiva **1+632** gli scavi tagliano perpendicolarmente un'incisione valliva minore potenzialmente pericolosa per fenomeni di trasporto solido che, a seguito degli scavi, si troverà sospesa sulla carreggiata Sud. Si dovranno prevedere oltre alle normali opere idrauliche per il convogliamento delle acque superficiale nel tombino stradale, anche opere di intercettazione del trasporto solido. Attualmente vi è una canaletta in cls disposta diagonalmente alla scarpata.

Infine, tra le progressive **1+750 e 1+815** è prevista un'ultima scarpata con strati a leggero reggipoggio (OM10). Sono possibili distacchi di blocchi generati dalle varie famiglie di discontinuità, generalmente con dimensioni del blocco elementare di volume dal decimetro cubo al metro cubo. E' necessario l'intervento di rafforzamento corticale dei fronti di scavo.

Nella Tab. 2 sono riportati i tratti intermedi tra le scarpate in scavo dove sono previsti ampliamenti della carreggiata in rilevato. In questi tratti non si ravvisano particolari problematiche in quanto i rilevati possono essere intestati ed incassati nel substrato roccioso. Vanno evitate interferenze tra i rilevati ed il corso d'acqua (Rio dei Cerri) che scorre alla base degli stessi, mediante la realizzazione di muri di sostegno e/o opere di protezione idraulica.

Progressive	Sezioni di riferimento
0+570 – 0+710	31-32-33-34-35-36
1+340 – 1+ 360	68 – 69
1+400 – 1+440	71 – 72 – 73
1+520 – 1+565	77 – 78 – 79
1+670 – 1+900	85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96

Tabella 2 – Tratti in rilevato

5 MONITORAGGIO GEOTECNICO E GEOMORFOLOGICO

Lo studio geomorfologico ha evidenziato quindi diverse criticità. Il Piano di Monitoraggio, pertanto, è stato finalizzato al controllo / verifica delle previsioni progettuali della viabilità con particolare riferimento ad eventuale interferenza delle opere con queste aree interessate da riattivazioni di possibili movimenti o potenziale espansione di movimenti franosi. Il piano di monitoraggio dovrà quindi riguardare le zone attenzionate.

5.1 Sintesi degli interventi

Il monitoraggio di fenomeni franosi rappresenta la base per la realizzazione di piani e programmi che hanno come obiettivo la prevenzione dei rischi connessi all'instabilità dei versanti ed al dissesto idrogeologico. Un piano di emergenza nel caso di rischio frana deve disporre di sistemi di controllo (reti di monitoraggio) che consentano di individuare con sufficiente precisione la possibile evoluzione del fenomeno temuto in modo da rendere possibile l'attivazione dell'emergenza.

Generalmente il controllo può essere suddiviso in:

- Controllo dei movimenti superficiali;
- Controllo dei movimenti profondi.

5.1.1 Controllo dei movimenti superficiali

I principali scopi del controllo dei movimenti superficiali possono essere riassunti nei seguenti punti:

- Definizione della forma e dell'estensione dell'area in frana;
- Definizione del cinematismo del dissesto;
- Controllo dell'evoluzione dei movimenti nel tempo;
- Correlazione dei movimenti con le possibili cause.

Questi elementi possono essere valutati attraverso il rilevamento geologico di campo in cui si possano evidenziare deformazioni locali, increspature o avvallamenti a seguito della riattivazione della frana stessa per cause relative ad eventi sismici o temporali intensi.

5.1.2 Controllo dei movimenti profondi

Il piano di monitoraggio prevede l'installazione di inclinometri a monte delle paratie e clinometri in sommità ai muri di sostegno

Per ogni misura inclinometrica dovrà essere fornito l'andamento in profondità della verticalità dei punti, della verticalità cumulata, dell'azimut, del checksum per le coppie di guide e un grafico polare. Ogni misura andrà quindi confrontata con la misura di riferimento in modo da definire l'evoluzione di tutte le misure eseguite alla data di elaborazione.

5.2 Frequenza di lettura

Il programma di acquisizione dati del monitoraggio è riportato indicativamente nella tabella seguente. Le frequenze, dovranno essere adeguate alle risultanze in corso d'opera e alle tempistiche di esecuzione, inoltre sono valutate considerando una realizzazione delle opere senza interruzioni dei lavori.

In funzione dei risultati e dell'andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite in accordo con il Progettista e la D.L.

I periodi relativi all'ante operam e al post operam sono rispettivamente pari a 3 mesi dall'inizio dei lavori e 12 mesi dopo la fine dei lavori.

Tabella 3 *Frequenza delle letture su paratie e muri di sostegno.*

Tipologia di strumentazione	Corso d'opera	Fino alla conclusione degli interi lavori	Post Operam 12 mesi
Inclinometri / clinometri	1/7gg	1/30gg	1/30gg

Con riferimento al cronoprogramma dei lavori, in base ai tempi di realizzazione delle singole opere e alla durata complessiva dei lavori, sono state stimate le letture previste per singola opera:

- OS03 n.3 inclinometri per un totale di 237 letture;
- OS04 n.2 inclinometri per un totale di 122 letture;
- OS01 n.1 clinometro elettrico da parete per un totale di 55 letture;
- OS02 n.1 clinometro elettrico da parete per un totale di 55 letture.

5.3 Definizione delle soglie di attenzione e di allarme

Il controllo mediante monitoraggio si basa principalmente sulla definizione di soglie aventi lo scopo di segnalare l’instaurarsi di una situazione deformativa e/o tensionale particolare. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo in funzione dei valori di soglia definiti, vengono attuate eventuali azioni e contromisure. I valori fissati per tali soglie sono funzione dei risultati previsti dai calcoli di progetto relativamente ai parametri salienti quali spostamenti, deformazioni, tensioni, ecc.; questi limiti sono definiti come:

- Soglia di attenzione: è definito come una quota parte delle risultanze delle sollecitazioni (o delle deformazioni) di progetto; il superamento di questo limite implica l’incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve, in modo da valutare il potenziale instaurarsi di eventi e rapida evoluzione che potrebbero risultare incontrollabili.
- Soglia di allarme: definita in funzione del livello deformativo-tensionale più gravoso per una determinata situazione. Il suo superamento implica il coinvolgimento della Direzione Lavori per la valutazione di opportune contromisure.

Di seguito si riportano le soglie di attenzione (SAT) e le soglie di allarme (SAL) delle singole opere monitorate.

Tabella 4 – Soglie di attenzione e di allarme.

SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME				
DEFORMAZIONI				
OPERA	Hmax (m)	Spostamento orizz. max (mm)	Soglia di attenzione SAT (mm)	Soglia di allarme SAL (mm)
Muro OS01	6	2,5	10	20
Muro OS02	10	12	10	20
Paratia OS03	15	25	20	30
Paratia OS04	9	3,5	5	20
Trincea OM01	23	-	10	20
Trincea OM02	26	-	10	20
Trincea OM04	20	-	10	20
Trincea con preconsolidamento OM05	26	5	10	20
Trincea con preconsolidamento OM06	20	7	10	20
Trincea con preconsolidamento OM08	10	2	10	20
Trincea con preconsolidamento OM09	5	2	10	20

CELLE DI CARICO TIRANTI / CHIODI				
OPERA	Tiranti/chiodi (Ordine)	Sollecitazione SLE (kN)	Soglia di attenzione SAT (kN)	Soglia di allarme SAL (kN)
Paratia OS03	1	300	300	1000
	2	350	350	1000
	3	506	506	1000
	4	539	539	1000
	5	560	560	1000
Paratia OS04	1	200	200	600
Trincea OM01	TUTTI	-	70	100
Trincea OM02	TUTTI	-	70	100
Trincea OM04	TUTTI	-	70	100
Trincea con preconsolidamento OM05 Sez. 60	Interasse 2,5m	-	70	100
	Interasse 3,0m	-	70	100
Trincea con preconsolidamento OM05 Sez. 63	Interasse 2,5m	-	70	100
	Interasse 3,0m	-	70	100
Trincea con preconsolidamento OM06	Interasse 2,5m	-	70	100
	Interasse 3,0m	-	70	100
Trincea con preconsolidamento OM08	Interasse 3,0m	-	70	100
Trincea con preconsolidamento OM09	Interasse 3,0m	-	70	100

FESSURIMETRI			
OPERA	Apertura iniziale fessura (mm)	Soglia di attenzione SAT (kN)	Soglia di allarme SAL (kN)
Trincea con preconsolidamento OM05	a1	20% apertura iniziale	40% apertura iniziale
Trincea con preconsolidamento OM06	a1	20% apertura iniziale	40% apertura iniziale
Trincea con preconsolidamento OM08	a1	20% apertura iniziale	40% apertura iniziale
Trincea con preconsolidamento OM09	a1	20% apertura iniziale	40% apertura iniziale

L'eventuale raggiungimento della soglia di allarme comporterà la temporanea interruzione delle lavorazioni, per consentire l'interpretazione dei fenomeni deformativi in atto e la definizione delle necessarie contromisure.

5.4 Sintesi delle strumentazioni di monitoraggio, fasi e relative soglie

Nella seguente tabella si sintetizzano le strumentazioni di monitoraggio previste per le arre instabili.

Tabella 5 – Riepilogo strumentazioni di monitoraggio aree instabili

Opera	Sigla	Lunghezza/Posizione
OS03	IN01	22.0 m
	IN02	27.0 m
	IN03	27.0 m
OS04	IN04	14.0 m
	IN05	14.0 m
OS01	CL01	Testa muro
OS02	CL02	Testa muro

Il monitoraggio in operam andrà a controllare i delta aggiuntivi dei movimenti e correlare tali valori con le lavorazioni e/o con gli eventi meteorici. La soglia di attenzione sarà già un movimento significativo delle aree (indicativamente 2 cm/anno) o l'attivarsi di movimenti in zone precedentemente quiescenti. Nel caso di superamento della soglia di attenzione si provvederà ad eventuale integrazione del monitoraggio con strumentazioni sulle opere e/o viabilità e dopo aver definito eventuali problematiche sulla viabilità, si attueranno le azioni correttive. Le soglie di allarme andranno definite sulla base del trend deformativo in atto.

Nel post-operam il monitoraggio dovrà dare risultati di attenuazione del movimento rispetto al corso d'opera. Anche in questa fase, se per soglia di attenzione si intende un significativo movimento, anche se in linea col trend in corso d'opera o leggermente minore, un incremento del trend deformativo potrà già essere considerato come una soglia di allarme.

In funzione del trend deformativo le frequenze di lettura definite precedentemente potranno essere riviste.

Relativamente al sistema di lettura della strumentazione prevista, si tratta di tutti strumenti automatizzati, e quindi si prevede per ogni sezione di monitoraggio n. 1 UAD: unità di acquisizione dati + n. 1 centralina per trasmissione dati al server di monitoraggio.

Si prevede la redazione di documentazione di report di monitoraggio che saranno mensili in corso d'opera e terminati i lavori (post operam) nel primo anno si prevede la redazione di report ogni 3 mesi e poi si valuterà in base all'esito del monitoraggio.

6 MONITORAGGIO STRUTTURALE

Per il monitoraggio delle opere di sostegno con altezze significative, si prevede l'intallazione di :

- Mire ottiche;
- Celle di carico elettrica per il monitoraggio del carico dei tiranti/ancoraggi.
- Fessurimetri elettrici.

Le celle di carico sulle barre di chiodatura lavorano per attrito nell'ammasso roccioso ed il valore di azione massima si esplica in corrispondenza della frattura dove si mobilita la resistenza e quindi la sollecitazione che si ha in testa alla barra è generalmente bassa, praticamente scarica; comunque è utile il monitoraggio di suddette celle di carico in quanto, congiuntamente alle misure di mire ottiche e fessurimetri, consente di controllare lo stato della trincea.

6.1 Opere Monitorate e strumentazione prevista

La tabella seguente sintetizza per le diverse opere monitorate, la strumentazione prevista ed il numero.

Tabella 6 – Riepilogo strumentazioni di monitoraggio sulle opere di sostegno

Opera	Tipologia strumentazione	N. Strumentazione
Paratia di micropali OS03	Mire ottiche	14
	Celle di carico	14
Paratia di pali OS04	Mire ottiche	5
	Celle di carico	2
Muro di sostegno OS01	Mire ottiche	1
Muro di sostegno OS02	Mire ottiche	1
Trincea OM01	Mire ottiche	5
	Celle di carico	5
Trincea OM02	Mire ottiche	10
	Celle di carico	10
Trincea OM04	Mire ottiche	10
	Celle di carico	10
Trincea con preconsolidamento OM05	Mire ottiche	12
	Celle di carico	14
	Fessurimetri elettrici	4
Trincea con preconsolidamento OM06	Mire ottiche	6
	Celle di carico	7
	Fessurimetri elettrici	2
Trincea con preconsolidamento OM08	Mire ottiche	6
	Celle di carico	7
	Fessurimetri elettrici	2
Trincea con preconsolidamento OM09	Mire ottiche	12
	Celle di carico	14
	Fessurimetri elettrici	4

Per la localizzazione della strumentazione si rimanda agli elaborati grafici di “Monitoraggio opere di sostegno”.

6.2 Frequenza delle letture

La frequenza delle misurazioni è stata ipotizzata a partire dalle indicazioni contenute nelle “Linee Guida ANAS per il Monitoraggio Geotecnico”. La durata complessiva dei lavori è pari a 1020 giorni. Si considera una frequenza “in corso d’opera” con riferimento alla durata delle lavorazioni necessarie alla realizzazione della singola opera e una frequenza “post operam” distinta tra una frequenza di letture durante le lavorazioni di cantiere (opportunamente ridotta nel tempo) e una frequenza di letture che prosegue fino a 12 mesi dal termine dei lavori.

Una volta raggiunta la stabilizzazione delle misure, le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d’opera. Pertanto, in funzione dei risultati e dell’andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite dal Progettista e/o dalla D.L.

Per le paratie le letture previste durante la sola costruzione della singola opera sono:

- lettura di zero effettuata al momento dell’installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target);
- 1 lettura prima dell’esecuzione degli scavi di ribasso;
- 1 lettura dopo la tesatura dei tiranti;

Per i muri di sostegno le letture previste durante la sola costruzione della singola opera sono:

- lettura di zero effettuata al momento dell’installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target);
- 1 lettura dopo la realizzazione del riempimento a tergo del muro.

La frequenza delle letture successive ed effettuate dal termine della costruzione della singola opera al termine di realizzazione dell’intera infrastruttura e per l’anno successivo a quest’ultimo termine, vengono riportate nella tabella successiva in funzione della tipologia di strumentazione e del tempo trascorso dal fine lavori della singola opera.

Tabella 7 – Frequenza delle letture su paratie e muri di sostegno.

Tipologia di strumentazione	Corso d’opera realizzazione	Corso d’opera 0- 6 mesi	Corso d’opera 6-12 mesi	Corso d’opera > 12 mesi	Post Operam 12 mesi
Mire ottiche	1/7gg	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Celle di carico	3/7gg	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Fessurimetri	1/7gg	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

6.3 Numero delle letture

La tabella seguente riporta il riepilogo della strumentazione prevista per le diverse opere di sostegno, e il numero delle letture totali per tutti gli strumenti previsti.

Tabella 8 – Strumentazione di monitoraggio e letture..

Opera	Tipologia strumentazione	N. Strumentazione	N. Letture Totali
Paratia di micropali OS03	Mire ottiche	14	1064
	Celle di carico	14	2408
Paratia di pali OS04	Mire ottiche	5	275
	Celle di carico	2	206
Muro di sostegno OS01	Mire ottiche	1	46
Muro di sostegno OS02	Mire ottiche	1	46
Trincea OM01	Mire ottiche	5	225
	Celle di carico	5	385
Trincea OM02	Mire ottiche	10	540
	Celle di carico	10	1020
Trincea OM04	Mire ottiche	10	420
	Celle di carico	10	740
Trincea con preconsolidamento OM05	Mire ottiche	12	852
	Celle di carico	14	2226
	Fessurimetri elettrici	4	284
Trincea con preconsolidamento OM06	Mire ottiche	6	294
	Celle di carico	7	679
	Fessurimetri elettrici	2	98
Trincea con preconsolidamento OM08	Mire ottiche	6	384
	Celle di carico	7	952
	Fessurimetri elettrici	2	128
Trincea con preconsolidamento OM09	Mire ottiche	12	732
	Celle di carico	14	1862
	Fessurimetri elettrici	4	244

7 ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO

L'analisi dei dati di monitoraggio sarà a cura di figure professionali specifiche all'interno delle strutture organizzative dell'impresa e della Direzione Lavori. L'installazione degli strumenti e l'analisi dei dati di monitoraggio sono previsti a cura dell'Impresa esecutrice dei lavori, mentre la D.L. si riserverà di effettuare ulteriori controlli a campione mediante misure puntuali.

8 CONCLUSIONI

Il programma di monitoraggio descritto prevede la posa in opera e la lettura programmata delle strumentazioni di monitoraggio. Nei paragrafi precedenti sono state indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

Le indicazioni fornite nella presente relazione sono scaturite da considerazioni di tipo teorico e tecnico. In corso d’opera andranno quindi verificate e meglio adattate alla situazione reale valutando la possibilità di incrementare o ridurre le strumentazioni e la frequenza delle letture, in funzione del comportamento registrato.