autostrade per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

STUDIO SUSCETTIVITA' AL DISSESTO
SCHEDE DISSESTI PG4–PG3

DA CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO
PIANO DI BACINO – AMBITI 12 E 13
FRANA LEI109

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 **PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI**

CODICE IDENTIFICATIVO																																Ordinatore:
RIFERIMENTO PROGETTO										RIFERIMENTO DIRETTORIO												RIFERIMENTO ELABORATO										— —
Codice Commessa						Lotto, Sub–Prog, Cod. Appalto				Fase		Capitolo		Paragrafo		WBS tipologia		WBS progressivo		PARTE D'OPERA						Tip.	Disciplina		Progressivo			Rev.		
1	1	0	7	1	2	0	0	0	0	P	D	D	G	S	T	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	R	G	E	N	0	1	2	5	–	1	SCALA: –

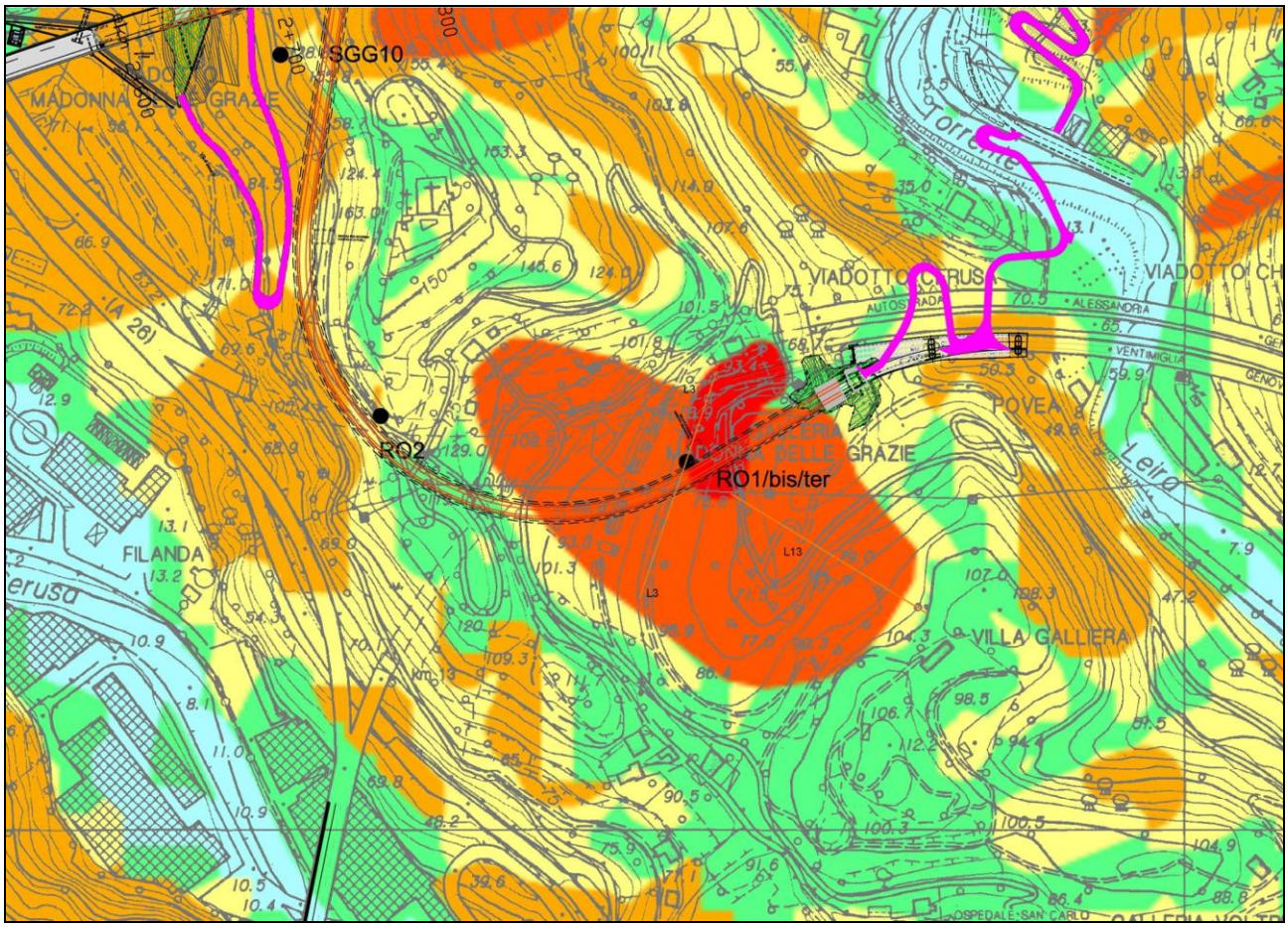
	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE	
spea ENGINEERING gruppo Atlantia	Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A				n.	data
					0	Aprile 2016
					1	Ottobre 2016
					2	
	REDATTO:		VERIFICATO:		3	
					4	

	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.
THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.

SCHEDA FRANE LEI109 (PG4)

OPERA INTERFERENTE: GALLERIA DELLE GRAZIE



INDICE

1. PREMESSA 4

2. METODOLOGIA DI LAVORO 7

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 10

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI 10

3.2 CARTOGRAFIA 10

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO 10

3.3.1 Aree Interferenti 10

3.3.2 Classificazione e caratteristiche dissesti Pg4 10

3.3.3 Interventi previsti dal Piano di Bacino 12

3.4 DISSESTI SEGNALATI DALL'INVENTARIO FENOMENI FRANOSI D'ITALIA 12

3.5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 13

3.6 INDAGINI ESEGUITE 15

3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 19

3.8 CAUSE DEL DISSESTO 29

3.9 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 29

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 30

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 30

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 33

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 35

5. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 42

5.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 42

6. CONCLUSIONI 48

Allegati alla Scheda:

- *Allegato n.1* - Stralcio Carta suscettività al dissesto da Piano di Bacino con progetto ed indagini eseguite
- *Allegato n.2* - Stralcio carta geologica (aggiornata marzo 2016)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata marzo 2016)
- *Allegato n.4* - Carta geomorfologica di dettaglio, indagini integrative e punti di ripresa fotografici
- *Allegato n.5* - Sezione geologica
- *Allegato n.6* - Scheda di sintesi
- *Allegato n.7* - Stratigrafia sondaggi e geofisica
- *Allegato n.8* - Prove di laboratorio
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità

Annessi alla Scheda:

- *Elaborato SGT0126: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana LEI109 (Pg4) – Opere interferenti: Planimetria e sezione – Sistemazione definitiva"*

1. PREMESSA

Il presente documento è finalizzato ad ottemperare la prescrizione A16 del Decreto di compatibilità ambientale del progetto "Nodo stradale e autostradale di Genova – Adeguamento del sistema A7 – A10 – A12" (Dec VIA 28/2014), la cui verifica è in capo alla Regione Liguria, che recita: "*relativamente al rispetto della normativa dei relativi piani di bacino, a seguito del recente aggiornamento dei criteri di riferimento di cui alla DGR n.1208 del 12/10/2012, attualmente in fase di recepimento da parte della Provincia, si richiama che, nel caso di interferenza delle opere in progetto con le aree classificate a suscettività al dissesto molto elevata Pg4 (frana attiva), le infrastrutture pubbliche viarie di valenza strategica sono ammesse purché venga acquisito preventivamente un apposito parere del Comitato tecnico di bacino ai sensi dell'art. 11 c. 4 lett.b) della l.r. n.58/2009 espresso in merito alle opere di consolidamento finalizzate alla stabilizzazione del dissesto; mentre, qualora le opere in progetto interagissero con aree classificate ad elevata suscettività al dissesto Pg3a (frana quiescente) o Pg3b è richiesto uno specifico parere vincolante della Provincia. Si richiama che le misure di attenzione per la prevenzione del rischio idrogeologico, definite nell'ambito dei criteri soprarichiamati, prevedono che gli elaborati geologici e geotecnici a corredo dei progetti si diano carico di considerare e valutare se sussistano pericoli di possibili interferenze per eventuali fenomeni di arretramento o di espansione di corpi o di cigli di frana presenti nell'intorno di una fascia di rispetto di almeno 100 m e, comunque, considerando un'area di estensione significativa in merito al contesto in esame.*".

I riferimenti normativi sono pertanto:

- il richiamato articolo 11, comma 4 lettera b) della Legge Regionale n.58/2009:

  "il Comitato esprime i pareri di compatibilità, rispetto ai Piani ed ai criteri ed indirizzi dell'Autorità di Bacino, in merito agli interventi di sistemazione idraulica e geomorfologica, la cui realizzazione comporta modifiche ai Piani vigenti. La Giunta Regionale può specificare, con successivo atto, le tipologie di intervento oggetto di tali pareri;"

- le "Misure di attenzione per la prevenzione del rischio idrogeologico" contenute nelle norme di attuazione dei Piani di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico degli ambiti 12e13, 14, 15, 16, 17, 18, modificate con D.G.P. n. 124 del 22/09/2014 (art. 16 ter):

  "1. *Al fine di mitigare gli effetti negativi che si possono manifestare a seguito di fenomeni di espansione di corpi franosi già cartografati nei piani o, per quanto sia possibile, di contenere il rischio dovuto a processi torrentizi indotti da intensi fenomeni pluviometrici, colate veloci di fango e detriti (debris-flow), si definiscono le seguenti misure di attenzione*.

  2. *Gli elaborati geologici e geotecnici a corredo dei progetti per il rilascio del titolo edilizio, redatti ai sensi delle NTC 2008, relativi ad istanze di opere di nuova costruzione si danno anche carico di considerare e valutare se sussistano pericoli di possibili interferenze per eventuali fenomeni di arretramento o di espansione di*

corpi o cigli di frana (ciglio, piede, fianchi) presenti nell'intorno di una fascia di rispetto di almeno 100 m e comunque considerando un'area di dimensione significativa in merito al contesto in esame.

3. *La misura di attenzione di cui al comma 2 si applica anche per interventi eventualmente previsti a margine dei perimetri delle Aree speciali di tipo A, B1 e B2.*

4. *In sede di previsione di realizzazione di interventi urbanistico edilizi od opere di viabilità in prossimità del reticolo idrografico su versante, si effettuino specifiche valutazioni in merito all'eventuale grado di esposizione degli interventi agli effetti di possibili fenomeni di colate veloci di fango o detriti (debris-flow), individuando, se del caso, opportuni accorgimenti tecnici o una migliore ubicazione degli interventi stessi nell'ottica della prevenzione di tale rischio.*"

A seguito del ricorso al T.A.R. Liguria presentato da Autostrade per l'Italia in data 21 marzo 2014 la Regione Liguria ha trasmesso la nota di memoria difensiva del 18 aprile 2014 in cui specifica che:

"*la prescrizione n. 16 si limita a richiamare la necessità di acquisire taluni pareri tecnici (del Comitato Tecnico di Bacino e della Provincia) rispetto alle parti dell'opera destinate ad essere realizzate in aree classificate dal Piano di Bacino come frana attiva o frana quiescente, secondo l'attuale regime dei piani di bacino*".

Al fine di ottemperare alla prescrizione citata ed acquisire i pareri in essa richiamati, per tutte le aree classificate, dalle cartografie dei piani di bacino, a suscettività di dissesto molto alta (Pg4) viene predisposta un'apposita scheda, in cui viene mostrato come gli interventi previsti in progetto contribuiscano alla stabilizzazione del dissesto oggetto di interferenza con le opere, determinando di fatto un effetto positivo.

Nel **capitolo 2** si descrive la metodologia di lavoro utilizzata nell'ambito della progettazione definitiva delle opere interferenti con le aree oggetto del presente documento.

Nel **capitolo 3** si riassumono gli aspetti geologici e geomorfologici dell'area del dissesto, fornendo una sintesi degli elementi cartografici pubblicati dagli Enti con i relativi interventi previsti e degli elementi rilevabili in sito utilizzabili per verificare il grado di interferenza tra elementi di progetto ed elementi di dissesto.

Nel **capitolo 4** si riassumono gli aspetti geotecnico-ingegneristici delle opere di progetto, fornendo una sintesi delle azioni intraprese dal progettista al fine di verificare il grado di interferenza tra elementi di progetto ed elementi di dissesto, evidenziando gli effetti positivi sull'area in frana derivanti dalle misure messe in atto per impedirli, ridurli o compensarli.

Nel **capitolo 5** sono presentate le indagini integrative propedeutiche al monitoraggio geotecnico previsto.

Per l'inquadramento generale dell'intera Gronda e per il dettaglio delle attività di progettazione, si rimanda agli specifici elaborati del Progetto Definitivo. Si fa in particolare riferimento ai seguenti elaborati progettuali:

- *GEO0001: Relazione geologica e idrogeologica generale*

- *GEO0002: Carta geologica – Tavola 1*
- *GEO0020: Carta geomorfologica – Tavola 1*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *TUN0005: Gallerie Naturali – Relazione di calcolo gallerie autostradali realizzate in tradizionale*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche-geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata LEI109, che risulta interferente con la galleria Delle Grazie fra le progressive chilometriche 1+300 e 1+390.

2. METODOLOGIA DI LAVORO

Ai fini dell'inquadramento geologico e geomorfologico delle aree di interesse, la prima fase del lavoro è consistita nel reperimento di tutti i dati disponibili presso vari Enti e Biblioteche universitarie, e di ogni altro dato disponibile ritenuto significativo per l'elaborazione di un modello concettuale dell'area. Sono, inoltre, stati utilizzati i dati di campagne geognostiche relative a studi pregressi ed indagini appositamente realizzate per il Progetto Definitivo.

La disponibilità, per l'area d'interesse, di documentazioni geologiche di dettaglio e di modelli geologico-strutturali di riferimento ha permesso di inquadrare fin dall'inizio le attività di studio e di analisi all'interno di un modello generale adatto alle finalità del progetto.

Lo studio (cfr. elaborato GEO001 "Relazione geologica e idrogeologica generale") si è svolto mediante lo sviluppo delle seguenti attività:

- Analisi aerofotogrammetrica finalizzata sia al controllo delle risultanze geomorfologiche pregresse ed alla loro integrazione, sia al riconoscimento dei principali lineamenti tettonici dell'area;
- Rilevamento geologico strutturale in scala 1:5.000 volto al riconoscimento dei litotipi presenti, alla definizione del loro assetto tettonico con riconoscimento e misura di elementi fragili e duttili presenti in affioramento;
- Rilievo geomorfologico con verifica delle risultanze dell'analisi aerofotogrammetrica ed integrazione dati;
- Analisi di tutte le stratigrafie dei sondaggi pregressi per integrare i dati di superficie;
- Realizzazione di apposite campagne geognostiche in sito (sondaggi, geofisica e rilievi geomeccanici) ed in laboratorio;
- Prelievo di campioni e analisi chimiche eseguiti sulle diverse litologie attraversate dai tracciati;
- Rilievo geomorfologico di dettaglio (scala 1:1.000) eseguito sulle specifiche aree in frana.

Sulla base delle attività conoscitive e di tutti i dati raccolti, è stato ricostruito il quadro geologico dell'area di studio (che interessa una fascia di larghezza variabile tra circa 2 e 4 km) e sono stati redatti i seguenti elaborati cartografici (a scala 1:5.000):

- carta geologica (GEO0002 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 2);
- profili geologici in asse ai tracciati delle opere principali;
- carta geomorfologica (GEO0020 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 3);
- carta dei vincoli (cfr. stralcio riportato nell'Allegato 1);
- carta di ubicazione delle indagini (cfr. stralcio riportato in allegato);
- carta geomorfologica specifica per le aree in frana a scala 1:1.000 (cfr. l'Allegato 4).

La caratterizzazione geotecnica delle principali formazioni geologiche presenti lungo il tracciato di progetto fa riferimento alle indagini geotecniche effettuate sia nell'ambito della fase di progettazione definitiva della Gronda di Ponente (2010-2011), sia delle precedenti fasi progettuali del medesimo progetto (2003, 2004 e 2007), sia nell'ambito di altri progetti ubicati in prossimità del tracciato della Gronda, risalenti ad anni diversi (dagli anni 70 ad oggi) reperiti da SPEA presso l'Archivio comunale di Genova, presso Consulenti e negli uffici di SPEA dedicati alla Sorveglianza e Manutenzione della rete autostradale in esercizio.

Le attività propedeutiche effettuate sono:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove penetrometriche dinamiche SPT in foro;
- prove di permeabilità Lugeon in foro;
- prove dilatometriche in foro con dilatometro da roccia;
- prove geofisiche in foro (CH e DH) per la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione Vp e di taglio Vs;
- prove di laboratorio di classificazione di resistenza e di deformabilità su campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno, prelevati nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio su provini di roccia prelevati nei fori di sondaggio;
- stendimenti di geofisica (sismica a rifrazione, a riflessione, geoelettrica);
- rilievi geostrutturali su alcuni affioramenti rocciosi rappresentativi.

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche (cfr. elaborato APE0001) tengono conto del fatto che lungo il tracciato autostradale in esame sono stati rinvenuti fondamentalmente depositi limoso – argillosi, sabbioso – ghiaiosi e unità tettoniche complesse in cui si incontrano alternanze di rocce sedimentarie (arenarie, siltiti, calcari marnosi, marne calcaree, marne, argilliti) e rocce metamorfiche (serpentiniti, serpentinoscisti, calcescisti, argilloscisti, metabasiti, meta gabbri). I parametri progettuali adottati ed i criteri di dimensionamento delle opere sono conformi ai risultati ottenuti. Le opere sono state dimensionate in conformità alla normativa vigente (NTC2008).

Tenendo conto delle necessità e della funzionalità delle opere, nella progettazione, si è cercato, per quanto possibile, di **limitare le ampiezze dei fronti di scavo**, in modo da minimizzare l'impatto sul territorio.

In particolare, le opere di maggior impatto riguardano il progetto delle aree d'imbocco. Lo sviluppo di tali progetti contempla i seguenti aspetti:

- tracciato stradale;
- geologia;
- geomorfologia;
- geotecnica;
- tunnelling;

- scavi meccanizzati;
- impianti;
- idraulica;
- strutture;
- cantierizzazione;
- vincoli ambientali, paesaggistici, Enti vari, ecc.;
- inserimento finale delle opere nell'ambiente.

Lo schema generale della metodologia di lavoro adottata è riportato nella Figura seguente.

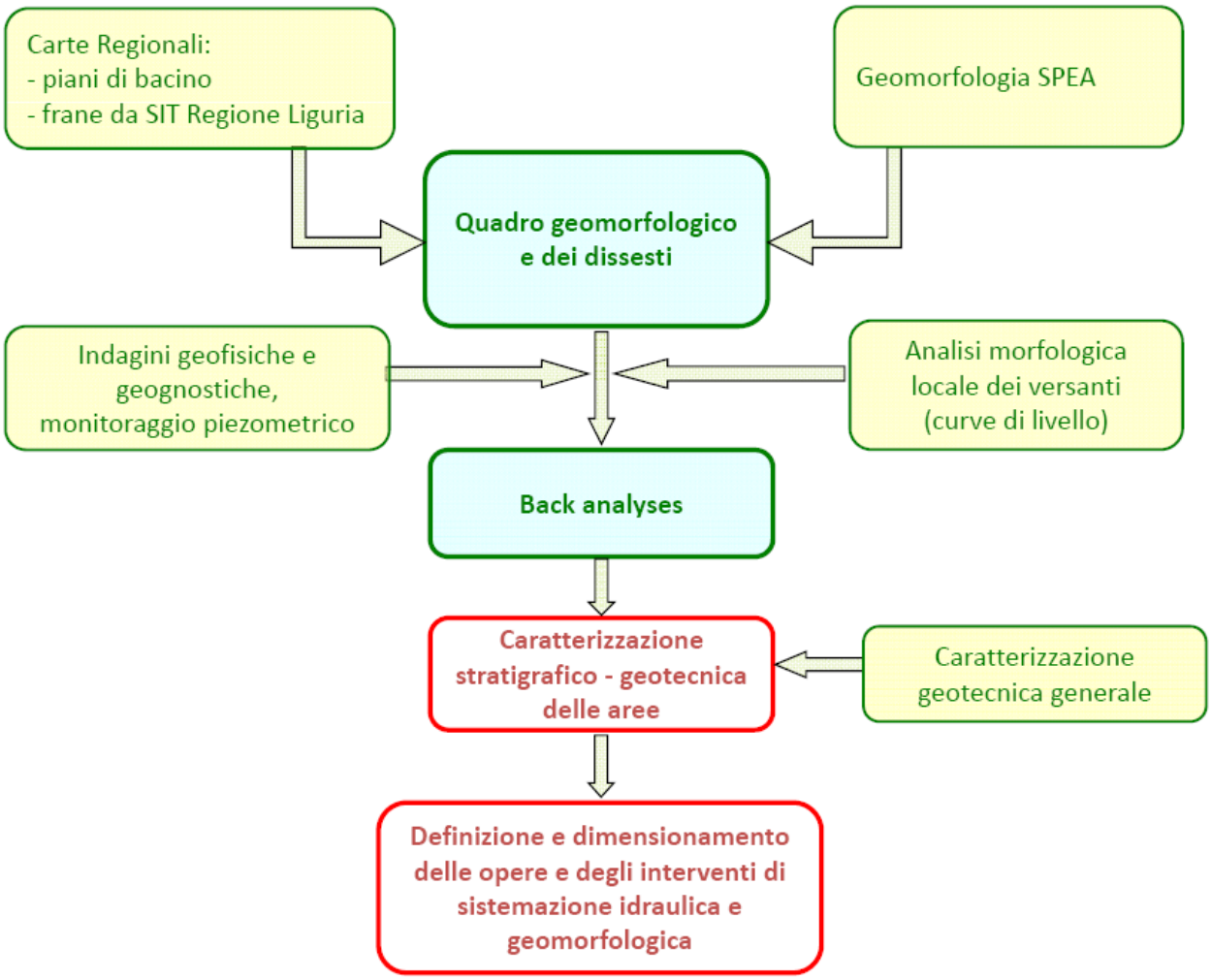


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: VOLTRI - SANTUARIO DELLA MADONNA DELLE GRAZIE

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: Ambiti 12 e 13

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): LEI109

3.2 CARTOGRAFIA

CTR 1:10.000: 213130

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO

La cartografia fa riferimento alla Carta della suscettività al dissesto fornita dalla Provincia di Genova – rev. febbraio 2015 (Allegato 1).

3.3.1 Aree Interferenti

L'oggetto della presente scheda è rappresentato dalla **Pg4** interferente con l'imbocco e la prima tratta della Galleria Madonna delle Grazie lato Genova fra le progressive chilometriche 1+300 e 1+400 circa. Nella zona di studio è stato identificato dal Piano di Bacino anche un dissesto quiescente (Pg3a), interferente con la galleria Delle Grazie fra le progressive chilometriche 1+200 e 1+380 circa; sono altresì presenti Pg3b, Pg2 e Pg1 nelle aree limitrofe, come evidenziato nella cartografia tematica allegata.

3.3.2 Classificazione e caratteristiche dissesti Pg4

Da Carta della Franosità reale Piano di Bacino (**Figura 3-1**).

a) Tipologia di frana:

	Superficiale (SS)
	Colamento (DF)
	Scorrimento o scivolamento (SC)
	Scorrimento o scivolamento rotazionale (SCr)
	Scorrimento o scivolamento planare (SCp)
	Crollo o ribaltamento(CL)
X	Complessa (FC)
	Area a franosità diffusa (FD)

	Deformazione gravitativa profonda di versante
	Area interessata da movimenti gravitativi lenti superficiali - soliflusso, reptazione, creep
	Frana non cartografabile

b) Stati di attività:

X	Attiva
	Quiescente
	Stabilizzata

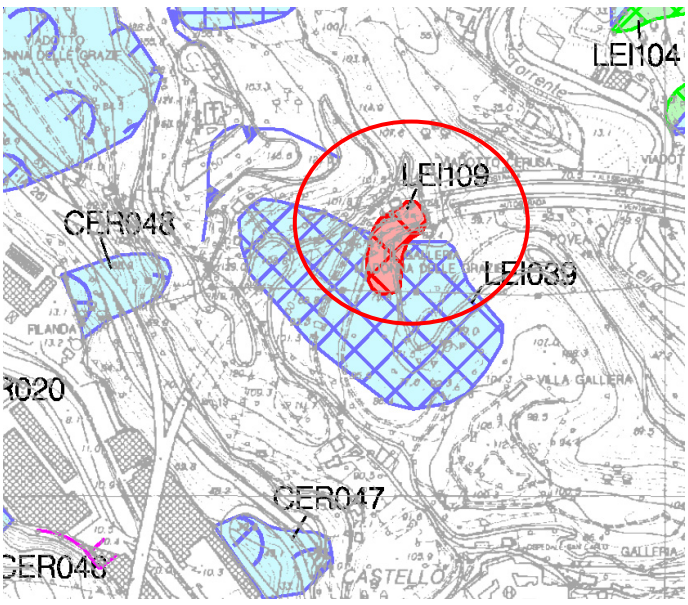


Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

3.3.3 Interventi previsti dal Piano di Bacino

Il Piano degli interventi di mitigazione del rischio del Piano di Bacino non prevede alcun intervento specifico relativo alla frana in oggetto.

3.4 DISSESTI SEGNALATI DALL'INVENTARIO FENOMENI FRANOSI D'ITALIA

Al fine di fornire un quadro completo di tutti i dati bibliografici relativi alla pericolosità connessa a movimenti franosi, di seguito si riporta quanto segnalato dall'Inventario Fenomeni Franosi d'Italia (IFFI) per l'area in esame (http://www.isprambiente.gov.it).

La cartografia IFFI (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) identifica sul versante un dissesto attivo coincidente con LEI 109 avente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100216902
- Tipo di movimento: Complesso
- Attività: Attivo/riattivato/sospeso
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Viene inoltre segnalata un'altra frana nella medesima zona classificata come frana complessa quiescente (2 nella figura seguente).



Figura 3-2 –– Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame, in cui è inclusa la Pg4, si imposta nelle Unità Tettonometamorfiche Palmaro Caffarella e Voltri; i litotipi prevalenti sono i calcescisti del Turchino (TUR), con intercalazioni di metagabbri (MG) e metabasiti (MB). Al contatto tra calcescisti e metabasiti, si sviluppano bande di scisti a actinolite/tremolite e clorite indicati come "SAC" (Allegato 2).

Calcescisti (CS)

Con questo termine si indicano metasedimenti di varia composizione: si riconosce un'alternanza di scisti carbonatici più o meno filladici o marmorei e di scisti quarzoso micacei.

Sono caratterizzati da una scistosità marcata, legata a diverse generazioni di deformazioni. La foliazione principale riportata in carta, definita da minerali in facies scisti verdi, ha allineato, oltre alla superficie litologica originaria, anche altre superfici tettoniche che non risultano più differenziabili. La foliazione principale risulta piegata più o meno blandamente dalle successive fasi deformative; la giacitura della scistosità principale nell'area risulta immergente per lo più verso SSE con inclinazioni prossime alla verticale.

I calcescisti carbonatici appaiono di colore da marrone (superficie debolmente alterata) a grigio (frattura fresca), mentre se sono più profondamente alterati assumono colorazioni rossastre.

Gli scisti quarzoso micacei, invece, assumono delle tonalità più scure, con colorazioni solitamente da grigie chiare a grigie scure in frattura fresca; sono rocce che spesso si alterano, assumendo tonalità arancione - ocra e si disgregano fino a generare spesse coltri di disfacimento.

Metabasiti (MB)

Sono rocce derivate da originari basalti o gabbri per le quali non è stato possibile riconoscere il protolito in maniera continua. Solo a livello degli affioramenti, quando possibile, sono stati distinti i metabasalti. Questi si presentano sia compatti che scistosi a grana fine frequentemente a tessitura listata di spessore da millimetrico a centimetrico a prevalenti albite + epidoto e anfibolo + clorite.

Metagabbri (MG)

I metagabbri si presentano in affioramento come molto compatti, resistenti e formano lenti di qualche centinaio di metri, distribuite all'interno sia dei Calcescisti, sia delle Serpentiniti. Sono stati distinti in affioramento due categorie di metagabbri: un tipo preserva minerali di paragenesi eclogitica (non affiorante nell'area), mentre l'altro mostra una spiccata retrocessione metamorfica in facies scisti verdi. Quando non è stato possibile definire a quale di queste categorie appartenessero alcuni metagabbri, li si è indicati con il termine litologico generico.

I Metagabbri in facies scisti verdi sono di colore verde e bianco in frattura fresca, in alterazione assumono colorazioni ocra. Hanno grana da medio a fine e struttura talvolta foliata. Tale foliazione è continua e marcata dall'alternanza tra livelli centimetrici a pirosseni ed anfiboli (retrocessi) ed altri a quarzo: spesso mostrano tessitura di tipo flaser. Questa roccia si presenta in affioramento come molto compatta e resistente.

Scisti a actinolite/tremolite (SAC)

È stata evidenziata la presenza di scisti ad anfibolo della serie tremolite-actinolite e clorite, ± diopside, ± carbonato (abbreviazione: SAC), tipicamente collocati al contatto tra calcescisti e metabasiti, in livelli da centimetrici a decimetrici, che hanno subito eventi multipli di deformazione e ricristallizzazione in facies metamorfica degli scisti verdi. Si tratta di rocce marcatamente foliate, ricche in anfibolo (comunemente con habitus aghiforme) e clorite; generalmente alla macroscala si apprezza una evidente eterogeneità litologica. Gli scisti a clorite-tremolite probabilmente derivano da protoliti a composizione basica, che hanno subito eventi multipli di deformazione e ricristallizzazione nella facies metamorfica degli scisti verdi. Sono state riscontrate nel sondaggio geognostico realizzato in prossimità dell'imbocco (RO1) mentre non sono state rilevate in superficie ma sono riportate in carta con un andamento conforme alla struttura locale.

I *depositi superficiali* sono rappresentati essenzialmente da depositi di versante, depositi eluvio/colluviali e depositi alluvionali lungo il corso del Torrente Leiro.

L'assetto strutturale complessivo è dato da una deformazione omogenea prevalentemente plicativa. Le alternanze tra calcescisti, serpentiniti, SAC e metagabbri sono infatti il risultato di un piegamento a carattere isoclinale (evento deformativo D2) che definisce l'assetto della foliazione principale e controlla la distribuzione degli elementi geometrici a tutte le scale. Il terzo evento plicativo causa un'ondulazione a grande scala della foliazione principale e determina lo sviluppo di un clivaggio di fratturazione a spaziatura decimetrico-metrica, poco inclinato e parallelo all'orientazione del piano assiale delle pieghe. Tale clivaggio può in certi casi evolvere in zone di taglio fragili con associate brecce e cataclasiti.

Da un punto di vista geomorfologico, l'area di interesse si sviluppa lungo il versante idrografico destro del Torrente Leiro. Il versante si presenta, nell'area limitrofa all'imbocco, con acclività piuttosto elevata, roccia affiorante/subaffiorante e con vegetazione ad alto fusto ed arbustiva; immediatamente a nord sono presenti gli imbocchi di tre gallerie autostradali dell'interconnessione A10-A26 (Allegato 3) mentre a SW ed W è presente un'area prativa del Parco di Villa Duchessa di Galliera adibita ad allevamento di daini. .

3.6 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in esame (cfr. Figure seguenti), per il Progetto Definitivo 2011, è stato realizzato un sondaggio a carotaggio (RO1) attrezzato con inclinometro, due sondaggi a distruzione per l'esecuzione di prove Cross Hole e due stendimenti di geofisica (L3-L13). Tutte le indagini sono ubicate all'interno della frana quiescente posta al di sopra del primo tratto della galleria.

Dalla stratigrafia del sondaggio RO1, lo spessore dei depositi di copertura è pari a circa 1.5 m mentre la fascia ad intensa alterazione arriva fino a circa 20 m; da 20 m a f.f si passa a calcescisti e micascisti.

La soggiacenza dell'acqua – misurata il 13/07/2011 – risultava essere -28.44 m da p.c.; purtroppo l'inclinometro installato è risultato ostruito e non più utilizzabile.

Sul geoportale della Regione Liguria (http://geoportale.regione.liguria.it/geoportal/catalog/main/home.page) sono presenti i dati stratigrafici relativi a n. 5 sondaggi effettuati nell'area del Santuario e del dissesto segnalato come attivo.

Nelle figure seguenti vengono riportati ubicazioni e schede stratigrafiche; tali indagini mostrano come il substrato, rappresentato da calcescisti, sia stato sempre rinvenuto a profondità molto limitate (massimo 3 m).

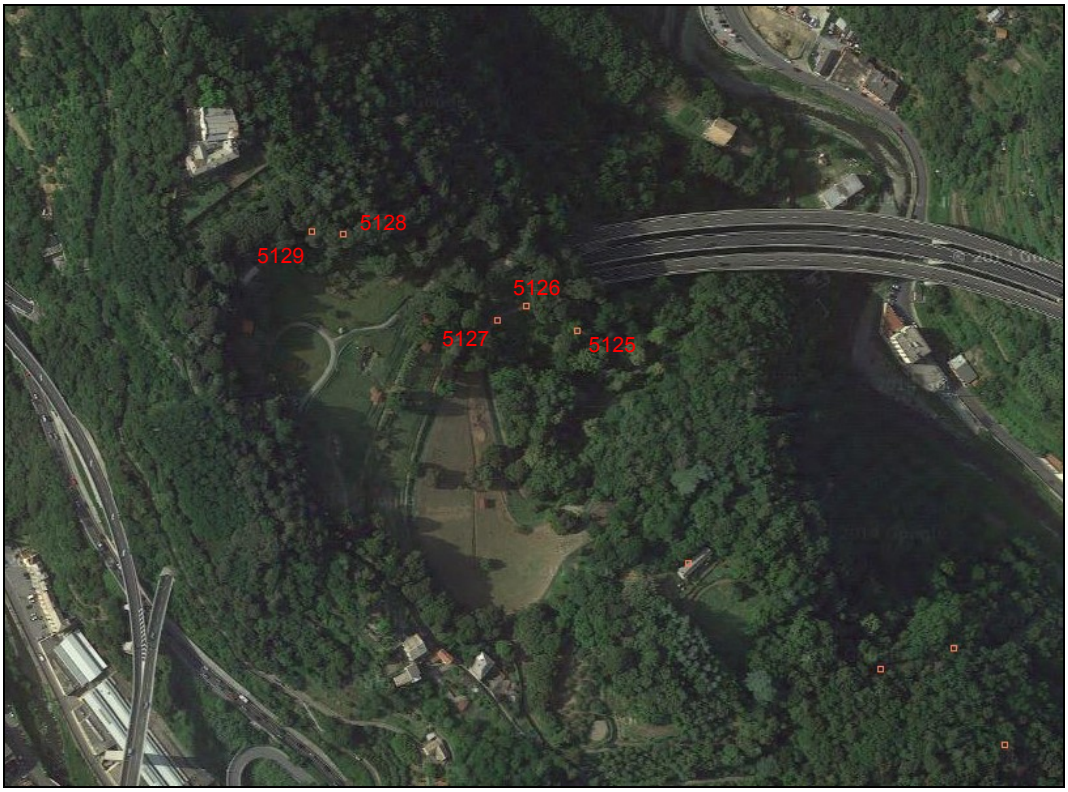
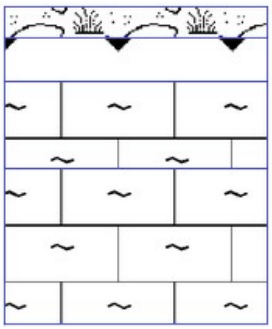


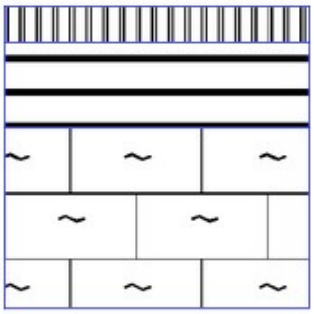
Figura 3-1 – Ubicazione indagini da sito Regione Liguria

Sondaggio: **010025-5125**
Indagine: del: **5/9/1996**
VILLA DUCHESSA DI GALLIERA VOLTRI



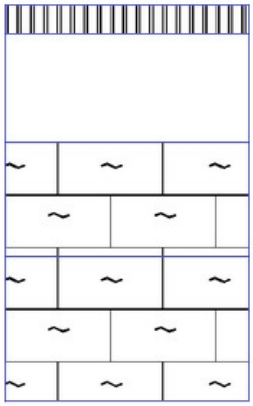
0 m - TERRENO VEGETALE (0.3 m)
0.3 m - RIPORTI (0.9 m)
1.2 m - CALCESCISTI (2.8 m)
4 m - CALCESCISTI (6 m)
10 m -

Sondaggio: **010025-5126**
Indagine: del: **5/8/1996**
VILLA DUCHESSA DI GALLIERA VOLTRI



0 m - MANUFATTI (0.2 m)
0.2 m - ARGILLITI (2.8 m)
3 m - CALCESCISTI (8 m)
11 m -

Sondaggio: **010025-5127**
Indagine: del: **5/8/1996**
VILLA DUCHESSA DI GALLIERA VOLTRI



0 m - MANUFATTI (0.2 m)
0.2 m - CODICE NON DEFINITO (2.8 m)
3 m - CALCESCISTI (3 m)
6 m - CALCESCISTI (4 m)
10 m -

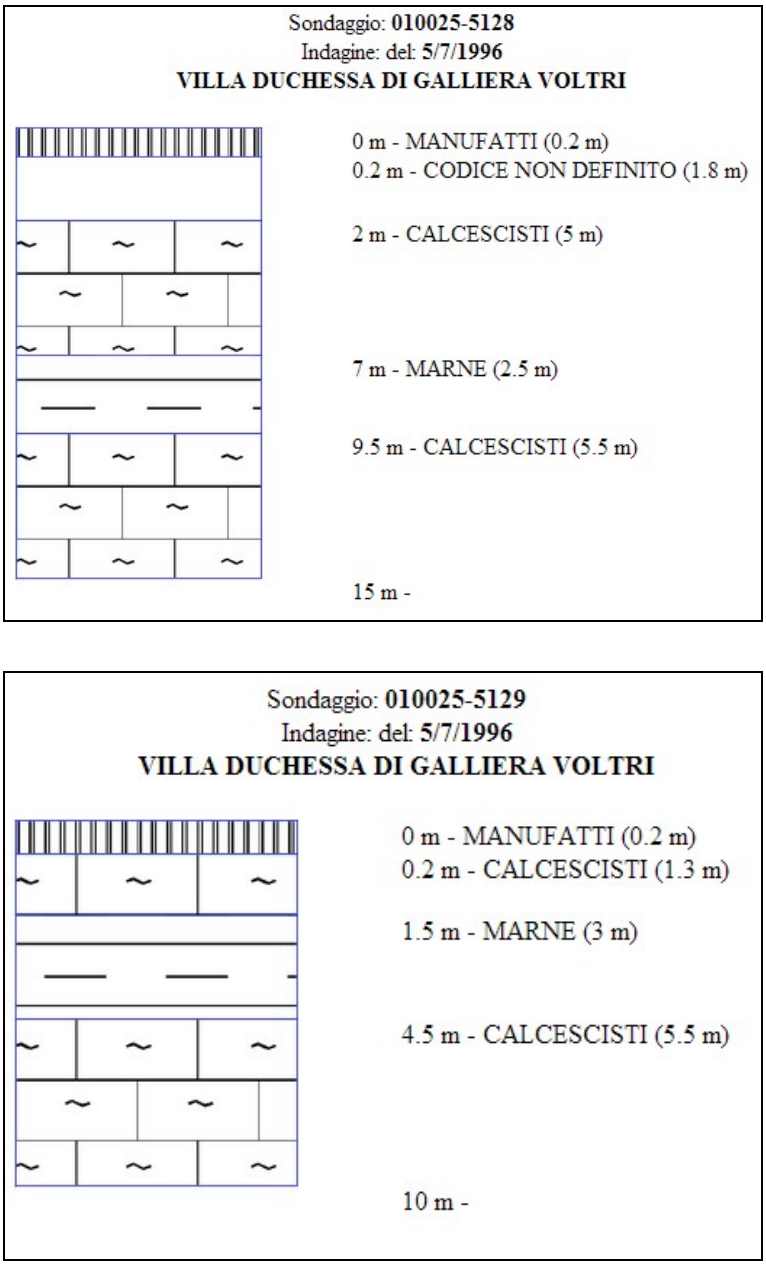


Figura 3-2 – Schede stratigrafiche da sito Regione Liguria

Nell'ambito della campagna di indagini integrativa effettuata nel 2015-2016, nell'intorno dell'area di studio sono stati eseguiti nove sondaggi di cui quattro a carotaggio - due all'interno dell'area Pg4 (IG9 e F10) e due all'interno dell'area Pg3a limitrofa (F11 e F12) - e cinque a distruzione, con installazione di inclinometri e piezometri. In corrispondenza di RO1 è stato sostituito l'inclinometro ostruito (RO1 bis) ed è stato realizzato un piezometro a distruzione (**Figura 3-3**); inoltre sono state eseguite alcune ulteriori stese di geofisica a rifrazione.

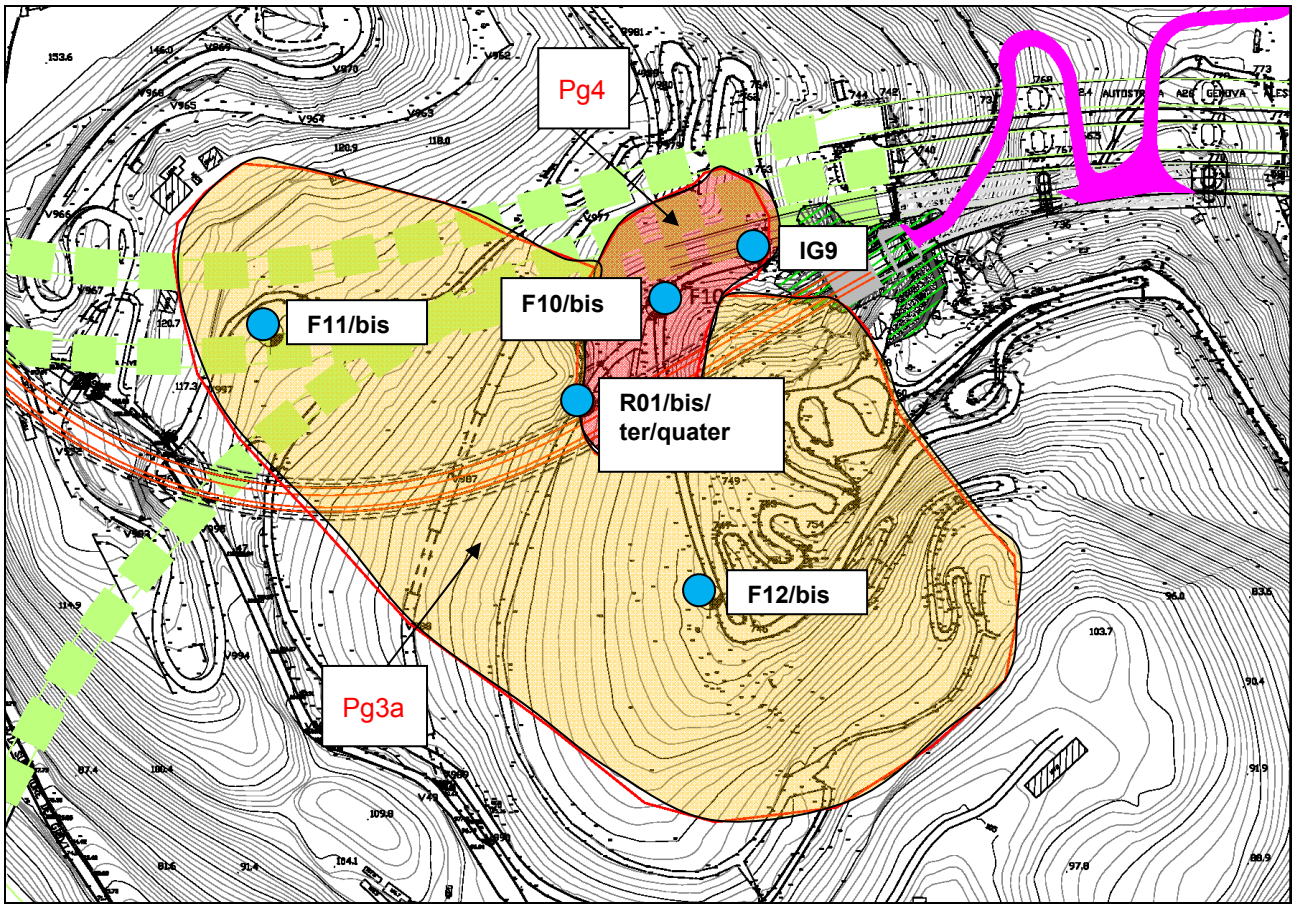


Figura 3-3 - Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini

Le stratigrafie dei sondaggi realizzati nel 2015-2016 possono essere schematizzate come segue:

- Sondaggio IG9: il substrato roccioso è stato rinvenuto a -4 m circa da p.c., al di sotto dei depositi limoso sabbiosi superficiali e della regolite. Il substrato è costituito fino a fondo foro da calcescisti con differenti gradi di fratturazione e alterazione. Durante la perforazione non è stata riscontrata la presenza della falda.
- Sondaggio F10: il substrato roccioso è stato rinvenuto a circa -8 m dal p.c., al di sotto dei depositi limoso sabbiosi superficiali e della regolite. Il substrato roccioso è costituito da calcescisti completamente alterati e localmente degradati in sabbia limosa fino a circa -14 m da p.c., a cui seguono scisti cloritici alterati e mediamente fratturati sino a una profondità di circa -25 m da p.c.; da questa profondità fino a fondo foro sono presenti calcescisti compatti poco fratturati. Durante la perforazione non è stata riscontrata la presenza della falda.

La stesa sismica T10, che interessa l'area Pg4, mostra gradienti e geometrie delle curve di velocità abbastanza regolari, suggerendo condizioni di fratturazione/alterazione dell'ammasso contenute.

Per i certificati delle indagini eseguite, sia di sito che di laboratorio, si rimanda agli allegati 7 e 8 del presente documento.

3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 19/02/2016 è stato effettuato un sopralluogo nella zona classificata come Pg4, procedendo dalle quote più elevate fino alle quote più basse e nel suo intorno significativo, con lo scopo di affinare e integrare le conoscenze rispetto agli elementi geologici e geomorfologici in affioramento.

Particolare attenzione è stata prestata all'identificazione e rilevamento degli elementi e delle morfologie caratteristiche dei processi di dinamica gravitativa e, in generale, degli indicatori geomorfologici di potenziali o reali cinematismi.

Di seguito viene descritto quanto evidenziato durante il sopralluogo mentre in Allegato 4 è riportata la planimetria in scala 1:1000 con indicati tutti gli elementi significativi rilevati.

- L'area oggetto di studio è situata a valle del Santuario delle Grazie, nella porzione settentrionale del parco di Villa Galliera; la zona è caratterizzata da acclività medio elevata e dalla presenza di vegetazione ad alto fusto e arbustiva (**Foto 1**);



Foto 1 - Panoramica dell'area.

- L'area della Pg4 è collocata sul versante sinistro della "Vallecola del Leone", al di sotto di un edificio in ristrutturazione al momento del sopralluogo. L'area è caratterizzata da vegetazione al alto fusto ed acclività abbastanza elevata; alla base del dissesto è presente una strada sterrata da cui si discosta una rampa di recente costruzione che collega l'edificio alla zona ove sono presenti i daini.

- Lungo la strada sterrata che corre alla base dell'edificio, nell'intorno di q.80 m s.m., sono visibili degli interventi di ingegneria naturalistica – sono stati realizzati due ordini di palificate doppie e dei lavori di riprofilatura del versante compreso fra la strada e l'edificio a q.93 (**Foto 2**). Questa zona, con ogni probabilità, è stata interessata in passato da un fenomeno gravitativo di cui attualmente non si osservano evidenze; tale fenomeno è, con ogni probabilità, di tipo corticale in quanto non sono state osservate lesioni strutturali in corrispondenza dell'edificio alla sommità.



Foto 2 – Palificate doppie lungo la strada verso la Valle del Leone, a valle dell'edificio sito a q. 93 m s.m. (q.80 m s.m.).

- Sul muro a secco posto sul lato monte della nuova pista che collega l'edificio di q.93 m s.m. circa alla strada sottostante, è stata osservata una lesione.

- Lungo la strada a monte dell'imbocco delle gallerie dell'autostrada esistente Genova-Alessandria (A26) e sul versante a valle della cabina elettrica sono stati rilevati alcuni dissesti superficiali che interessano limitate porzioni affioranti di ammasso roccioso e all'interno dei detriti sciolti superficiali, anch'essi legati allo stato di fratturazione e alterazione dei litotipi e all'azione delle acque di ruscellamento (Foto 3, Foto 4, Foto 5).



Foto 3 – Dissesto in detrito superficiale lungo la strada a monte dell'imbocco delle gallerie autostradali esistenti (q.117 m s.m.).



Foto 4 – Dissesto non cartografabile in roccia lungo la strada a monte dell'imbocco delle gallerie autostradali esistenti (q.99 m s.m.).



Foto 5 – Orlo di scarpata di frana in deposito superficiale a valle della cabina elettrica di q.81 m s.m. (q.65 m s.m.).

- All'interno del prato adibito a pascolo sono stati osservati alcuni dissesti non cartografabili in corrispondenza dei muretti a secco che delimitano i terrazzi antropici presenti nell'area (**Foto 6**, **Foto 7** e **Foto 8**).



Foto 6 – Piccolo dissesto non cartografabile in corrispondenza di un muretto a secco all'interno del prato adibito a pascolo (q.110 m s.m.).



Foto 7 – Piccolo dissesto non cartografabile in corrispondenza di un muretto a secco all'interno del prato adibito a pascolo (q.112 m s.m.).



Foto 8 – Piccolo dissesto non cartografabile in corrispondenza di un muretto a secco all'interno del prato adibito a pascolo (q.116 m s.m.).

- in tutta l'area adibita a pascolo (area Pg3a), sono presenti opere di ingegneria naturalistica realizzate al fine stabilizzare fenomeni gravitativi di natura corticale, causati con ogni probabilità da processi di reptazione e dal cattivo drenaggio delle acque (**Foto 9**, **Foto 10** e **Foto 11**). Localmente si nota la presenza di ristagni d'acqua sottolineata da canneti.



Foto 9 – Opere di ingegneria naturalistica di stabilizzazione superficiale all'interno dell'area adibita a pascolo (q.100 m s.m.).



Foto 10 – Area soggetta a fenomeni gravitativi superficiali e opere di ingegneria naturalistica di stabilizzazione all'interno dell'area adibita a pascolo (q.76÷88 m s.m.).



Foto 11 – Fenomeni gravitativi superficiali nella zona sud orientale dell'area e opere di ingegneria naturalistica di stabilizzazione all'interno dell'area adibita a pascolo (q.76÷88 m s.m.).

- Lungo il sentiero che risale sul versante destro della "Valle del Leone", a q.73 m s.m. circa, è stato rilevato un dissesto in roccia che ha compromesso il transito lungo il camminamento, interrompendolo in corrispondenza del primo tornante (Foto 12 e Foto 13). Il dissesto, sviluppatosi in ammasso roccioso alterato e fratturato, è attualmente interessato da lavori di sistemazione (disgaggio delle porzioni di detrito superficiale e blocchi rocciosi più instabili nella zona altimetricamente più elevata e costruzione di un muro lungo la strada a valle per la messa in sicurezza della strada stessa e il ripristino dell'agibilità del sentiero). Risalendo lungo il sentiero interrotto sono stati osservati altri piccoli dissesti in detrito superficiale, caratterizzati da estensione areale limitata (inferiore a 5m^2) e da profondità della nicchia sempre inferiore a 1 m.



Foto 12 – Dissesto in roccia in corrispondenza del primo tornante del sentiero (q.73 m s.m.).

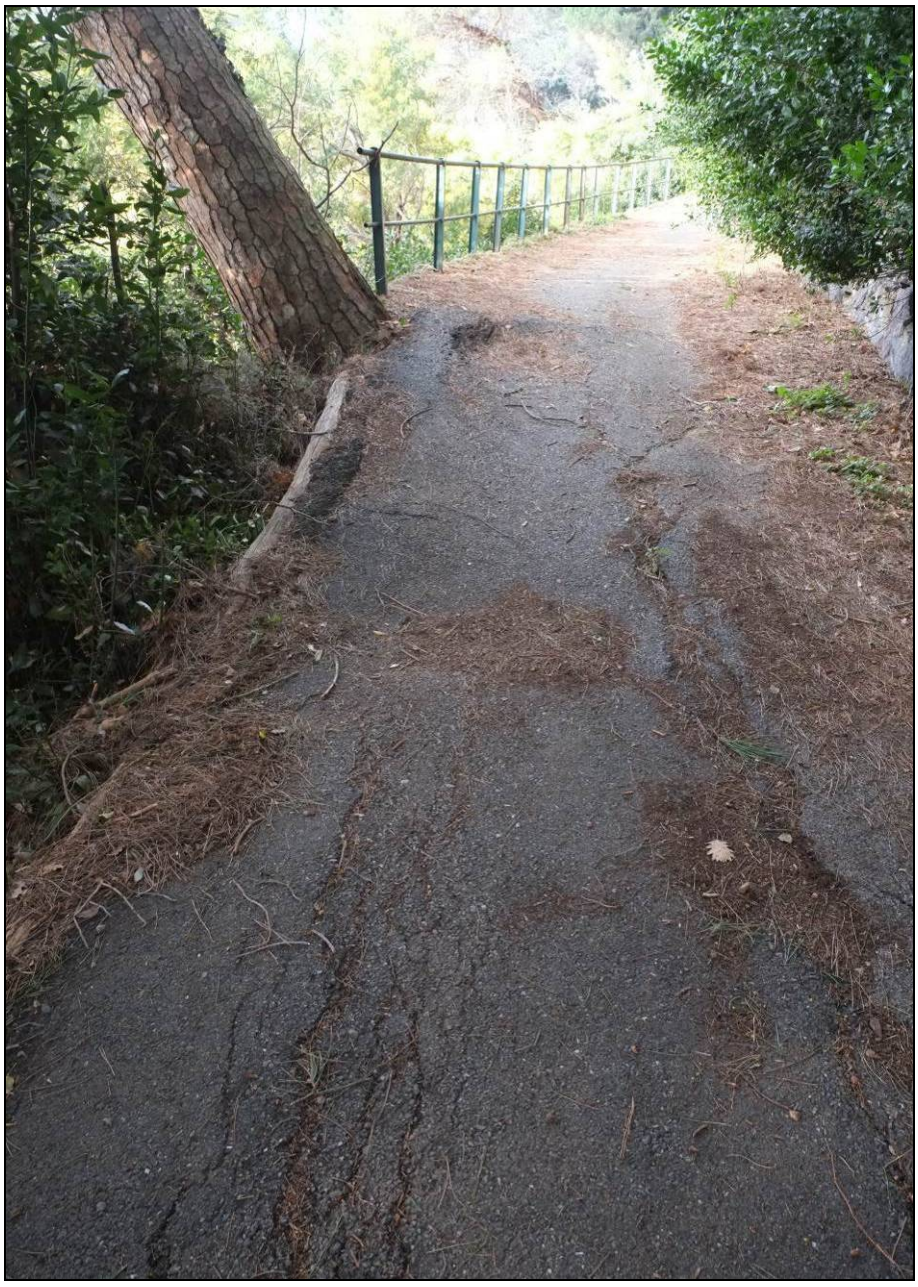


Foto 13 – Cedimento del lato valle della strada nella porzione NE dell'area Pg3a del sentiero (q.126 m s.m.).

- Tutti gli affioramenti osservati nell'area di rilievo presentano una scistosità immergente verso SE e risultano interessati da due famiglie di discontinuità (talvolta tre) con caratteristiche tali da conferire agli ammassi rocciosi una qualità mediocre (Foto 14).



Foto 14 – Affioramento di micascisti

3.8 CAUSE DEL DISSESTO

	Materiale di riporto
X	Depositi sciolti
X	Coltre di alterazione del substrato
X	Litologia del substrato
X	Giacitura del substrato
X	Fratturazione/tettonizzazione del substrato
X	Morfologia del versante (acclività)
X	Precipitazioni meteoriche
X	Erosione diffusa
	Erosione incanalata
	Falda
	Cause antropiche

Come cause predisponenti del dissesto si possono evidenziare lo stato di fratturazione / alterazione del substrato roccioso, la sua natura litologica e la presenza di depositi superficiali sciolti poco addensati, localmente con spessore metrico; le cause innescanti dei dissesti rilevati sono imputabili all'azione delle acque meteoriche in occasione di precipitazioni intense (ruscellamento concentrato) e prolungate (formazione all'interno dei depositi superficiali di una falda acquifera effimera).

3.9 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

La sezione è stata realizzata lungo la traccia riportate in Allegato 4, codificate LEI109-Sez. A, coincidente con la sezione di verifica.

In Allegato 5 è riportata la sezione geologica interpretativa realizzata.

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica (modello geotecnico di riferimento) si sono utilizzati:

- dati geologici-geomorfologici descritti nel Capitolo 3;
- Progetto Definitivo – Relazione di calcolo gallerie autostradali realizzate con tradizionale (cfr. elaborato TUN0005);
- Progetto Definitivo – Caratterizzazione geotecnica generale (cfr. elaborato APE0001); in particolare è stato fatto riferimento alla caratterizzazione basata sulle indagini eseguite in fase di progettazione definitiva. Le formazioni di interesse sono quelle dei calcescisti (CS) e della relativa fascia di alterazione (CS-CAP) nonché i depositi sciolti di copertura dei calcescisti (unità C_{CS}). Nella sezione di interesse inoltre, il tracciato della galleria, interseca una fascia di Cloritoscisti (inclusi nell'unità delle Metabasiti (MB) e della relativa fascia di alterazione (MB-Cap)).

Dai dati di caratterizzazione geologica e dalle osservazioni effettuate attraverso il rilievo geomorfologico, è stato possibile confermare la seguente stratigrafia:

- 2.5 ÷ 10.0 m da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso: depositi costituiti principalmente da sabbie limose argillose debolmente ghiaiose con ciottoli;
- Da 2.5 ÷ 10.0 m a 12.5 ÷ 20.0 m da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione dei Calcescisti e dei Cloritoscisti, avente caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alle formazioni di base (CS-Cap e MB-Cap);
- Oltre 12.5 ÷ 20.0 da p.c. – SUBSTRATO: formazioni di base, costituita da Calcescisti (CS) e Cloritosciti (MB).

L'opera in oggetto, in corrispondenza della potenziale interferenza con la frana LEI109, è caratterizzata da coperture dell'ordine dei 10 m. Nell'analisi dell'influenza delle opere sulla stabilità del versante si è ritenuto quindi opportuno fare riferimento ai parametri geotecnici per coperture ridotte riportati nella relazione di caratterizzazione geotecnica generale APE0001, relativa alle opere all'aperto.

Nella coltre di copertura dell'ammasso roccioso sono stati distinte tre differenti tipologie di deposito in funzione della loro genesi; in particolare:

- Depositi di copertura in posto: derivanti da processi di fratturazione e alterazione dell'ammasso roccioso (coltre di copertura s.s.);
- Depositi di copertura interessati da processi gravitativi quiescenti: coltre di copertura dell'ammasso roccioso interessata da fenomeni di dinamica geomorfologica che non mostrano evidenze di movimenti in atto;
- Depositi di copertura interessati da processi gravitativi attivi: coltre di copertura dell'ammasso roccioso interessata da fenomeni di dinamica geomorfologica che mostrano evidenze di movimenti in atto o recente.

Come già evidenziato al §3.7 all'interno dell'area classificata come Pg4 sono stati realizzati due ordini di palificate doppie e lavori di riprofilatura del versante. Non sono stati rilevati indicatori morfologici della presenza di un processo gravitativo attivo. Per questo motivo, nelle analisi di stabilità si è scelto di considerare i depositi di copertura come un'unica unità geotecnica, alla quale sono stati attribuiti i parametri medi dell'intervallo di variazione che caratterizza questa tipologia di terreni (si veda APE0001), parametri comunque cautelativi.

Per poter valutare l'influenza dello scavo della galleria sulla stabilità globale del versante, è stato sviluppato un apposito modello numerico ad elementi finiti attraverso il quale è stato ricostruito lo stato attuale in termini di campo tensio-deformativo ed è stato calcolato il fattore di sicurezza nei confronti di eventuali ulteriori processi di dinamica morfologica (analisi stabilità globale).

Come sezione significativa ai fini della verifica di stabilità è stata considerata l'intera sezione geologica. Essa attraversa interamente l'area di frana Pg4 lungo la linea di massima pendenza, intercettando il tracciato della galleria delle Grazie. L'interazione tra la sezione di verifica e la galleria è mostrata nella **Figura 4-3**. Come si può osservare, la sezione interseca anche altre tre gallerie esistenti, facenti parte del tracciato dell'autostrada A26, considerate all'interno del modello ad elementi finiti.

Il modello numerico è stato implementato utilizzando un codice di calcolo appositamente sviluppato per applicazioni di tipo geotecnico (MIDAS GTS NX 2015 V.2.1), attraverso il quale è possibile tenere conto sia del comportamento elasto-plastico non lineare tipico dei materiali geotecnici, sia dell'effettiva storia di carico cui essi sono sottoposti.

Sono state sviluppate analisi non lineari per successivi passi di carico (staged construction) attraverso le quali sono state simulate le variazioni nello stato tensio-deformativo dell'ammasso roccioso per effetto delle successive fasi costruttive.

Le analisi di stabilità globale sono state condotte mediante l'approccio SRM (Strength Reduction Method, Griffith et. al. 1999; Matsui, 1990) che consente di utilizzare il modello numerico ad elementi finiti per individuare le superfici di scivolamento caratterizzate dal minimo fattore di sicurezza.

Il metodo definisce come fattore di sicurezza (FoS) il minimo coefficiente riduttivo della resistenza al taglio delle unità geotecniche tale per cui si attiva un cinematismo (i.e. l'analisi numerica non raggiunge convergenza).

L'approccio, basandosi sul modello numerico ad elementi finiti, consente di tenere conto non solo della resistenza dei materiali, ma anche della loro deformabilità, della presenza di elementi strutturali e della storia di carico (come ad esempio le variazioni di stato tensionale dovute alla realizzazione della galleria).

In **Figura 4-1** è riportata la maglia ad elementi finiti utilizzata, in cui sono evidenziate le differenti unità geotecniche considerate per l'analisi.

Le gallerie esistenti sono state modellate riproducendo l'effettiva geometria delle relative sezioni e tenendo conto della presenza dei rivestimenti mediante l'introduzione di elementi finiti monodimensionali tipo trave disposti lungo il contorno degli scavi. Procedendo a

favore di sicurezza, lo spessore del rivestimento è stato considerato pari a 0.6 m per tutti gli elementi modellati.

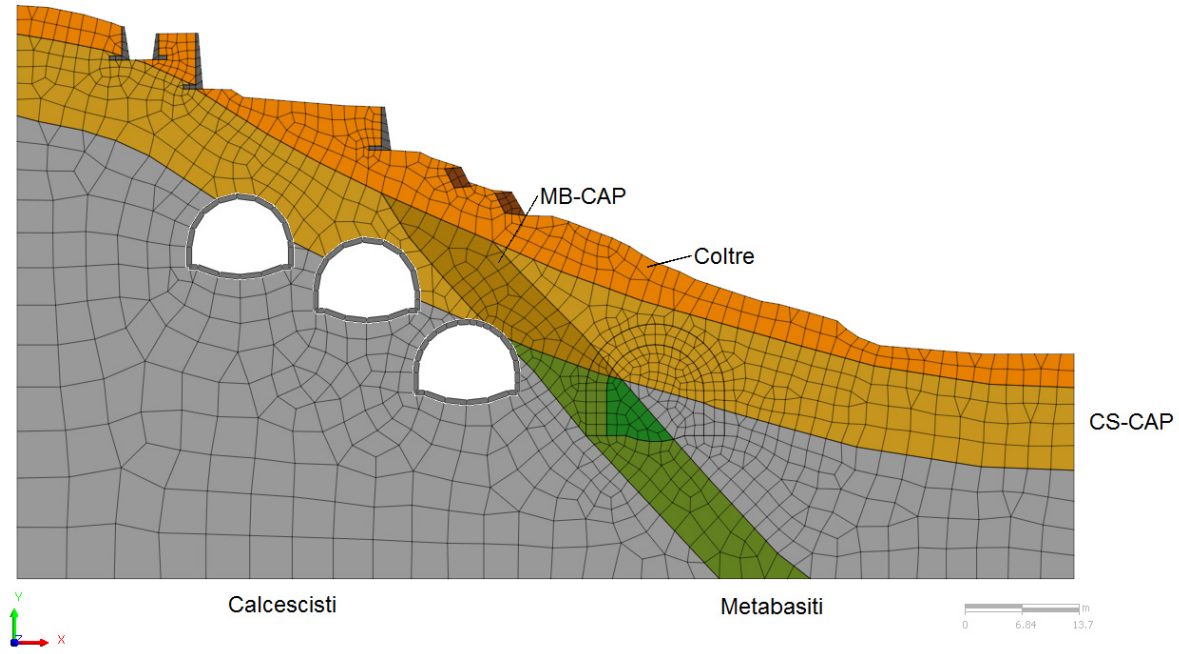


Figura 4-1 – Modello geotecnico ad elementi finiti – Stratigrafia

I valori dei parametri geotecnici utilizzati sono riportati in **Tabella 4-1**.

I parametri di rigidezza della fascia di cloritoscisti (MB) sono stati desunti per analogia da quelli delle metabasiti (MB), considerando un fattore di abbattimento delle rigidezze pari a 2, al fine di tenere conto della elevata deformabilità di tale tipologia di ammasso roccioso.

Si fa anche notare come, al fine di evitare problemi di instabilità numerica del modello ad elementi finiti, nella definizione delle caratteristiche geotecniche delle coltri si sia tenuto conto di una coesione efficace di 0.5 kPa. Tale valore, essendo molto limitato, permette di evitare problemi numerici senza però influire significativamente sul risultato delle verifiche di stabilità globale.

Strato	Peso di volume (kN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kPa)	Modulo di deformabilità (kPa)
Coltre	20.5	28	0.5	8500
CS-CAP	24	29	75	600000
MB-CAP	24	29	75	300000
CS	26.5	37	130	8000000
MB	26.5	37	130	4000000

Tabella 4-1 – Parametri geotecnici caratteristici impiegati

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nell'area interessata dal dissesto (codificata LEI109 nella cartografia del Piano di Bacino) è previsto il passaggio della galleria delle Grazie, con un ricoprimento in calotta di circa 10 m in corrispondenza della sezione considerata per le verifiche di stabilità globale del versante.

La galleria delle Grazie è caratterizzata da una lunghezza pari a circa 1314 m e verrà realizzata mediante metodo di scavo tradizionale. Essa sarà rivestita in calcestruzzo ed avrà un avrà un diametro equivalente di scavo pari a 12.5 m.

In **Figura 4-2** è riportata la sezione tipo della galleria così come concepita in fase di progettazione definitiva, caratterizzata da una pavimentazione comprendente un pavimentato da 8 m e dalla presenza di una via di emergenza al di sotto del piano viario.

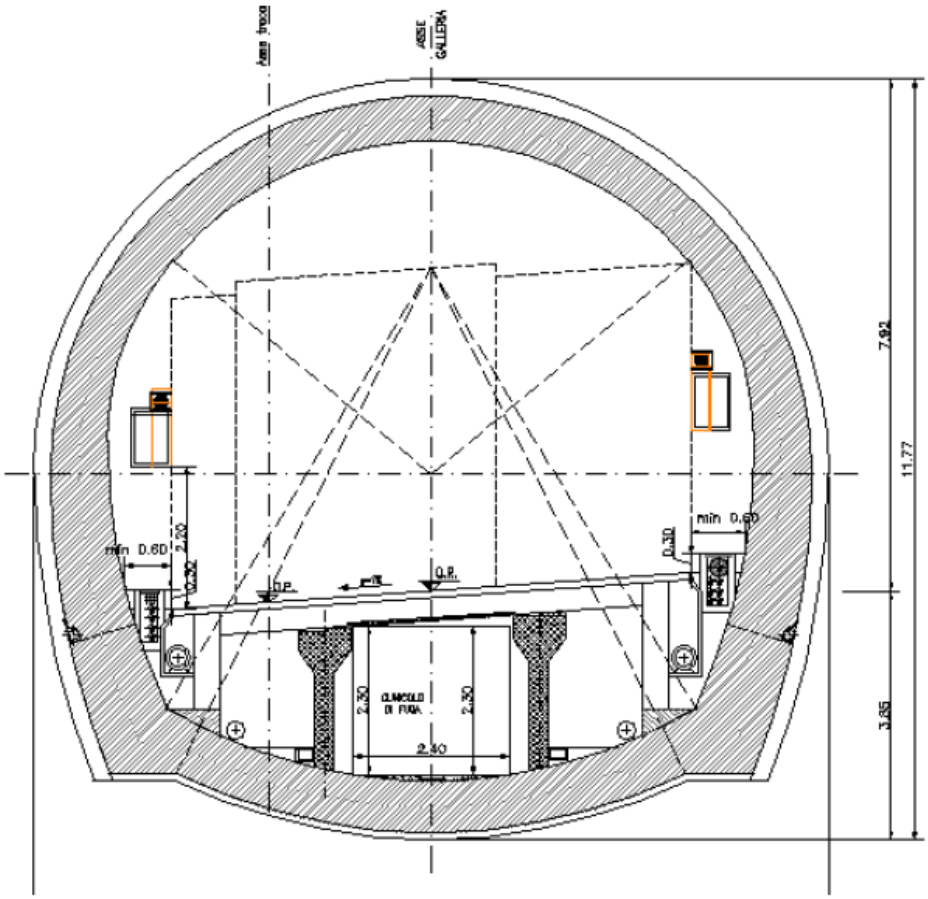


Figura 4-2 – Sezione tipo Galleria delle Grazie – Sezione stradale a 1 corsia

La possibile interferenza dell'opera con la stabilità globale del versante è legata alla variazione di stato tensionale nell'ammasso roccioso che si avrà per effetto delle convergenze del profilo di scavo.

In **Figura 4-3** è riportata una vista planimetrica dell'area in oggetto sulla quale è riportata sia la sezione di verifica che il tracciato previsto della Galleria delle Grazie.

Viste le ridotte coperture in prossimità degli imbocchi, è prevista la possibilità di realizzare lo scavo con l'utilizzo di pre-trattamenti al fronte e perimetrali mediante jet-grouting.

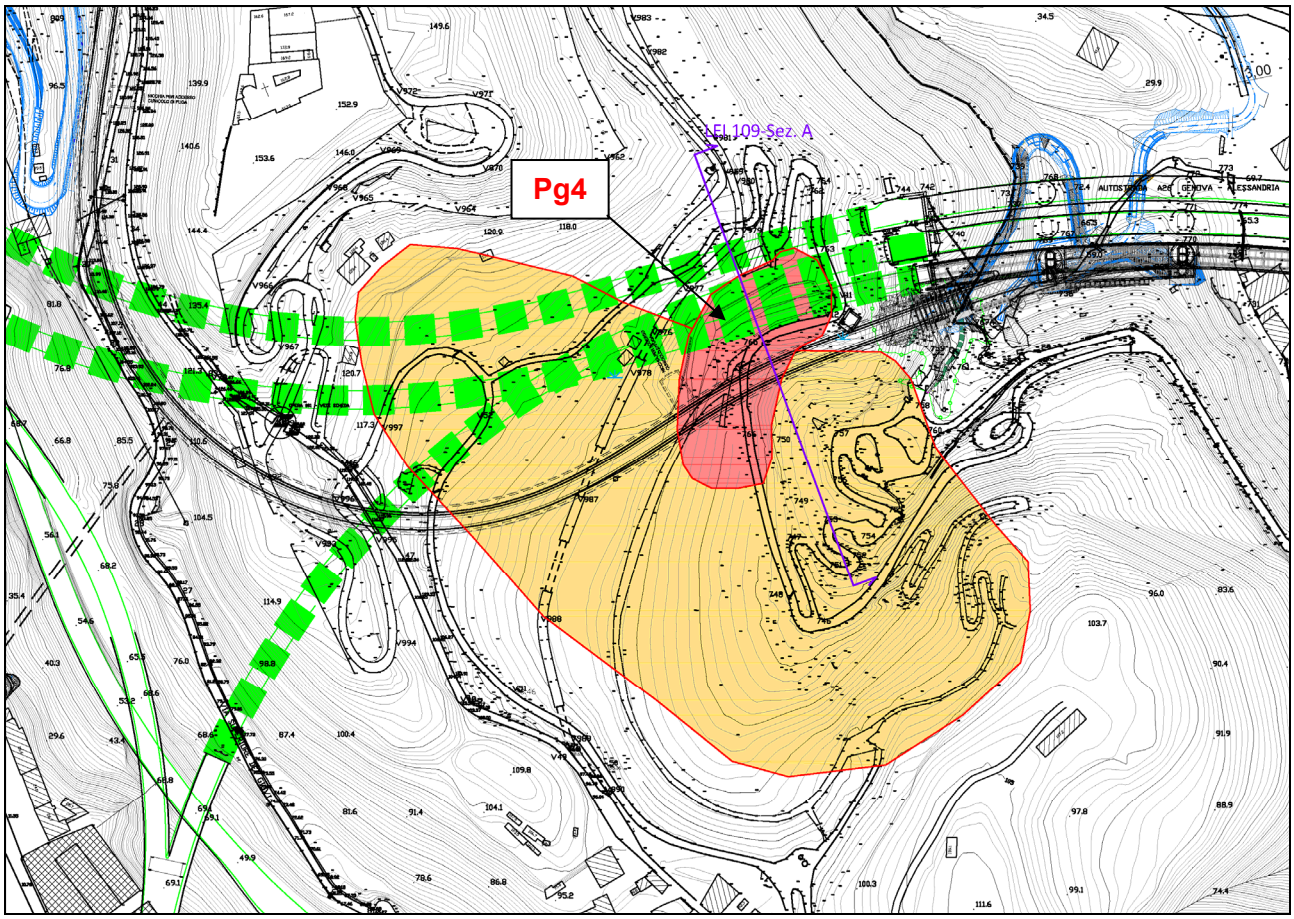


Figura 4-3 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata e del tracciato della galleria

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

La verifica dell'influenza delle opere in progetto sulla stabilità globale del versante è stata eseguita utilizzando il modello numerico ad elementi finiti descritto al §4.1.
Dal momento che, come già evidenziato, si è prevista la possibilità di realizzare gli scavi con l'utilizzo di pre-trattamenti in jet-grouting, nel caso in esame l'influenza delle opere sulla stabilità del versante è stata analizzata sia nel caso in cui i trattamenti vengano realizzati, sia nel caso opposto.
La verifica di stabilità è stata eseguita per passi (staged construction), dallo stato attuale fino alla realizzazione del rivestimento finale in entrambi i casi.

Il modello numerico considera le seguenti fasi:

1. Equilibrio geostatico iniziale;
2. Eventuale realizzazione dei pre-trattamenti in jet-grouting;
3. Realizzazione dello scavo della galleria;

Il modello di calcolo è stato sviluppato considerando l'effettiva geometria di scavo della galleria, in modo da poter modellare in maniera adeguata l'influenza dei trattamenti in jet-grouting, che saranno distribuiti solamente all'esterno dell'arco superiore della galleria. Lo spessore del trattamento considerato per le analisi della sezione in oggetto è pari a 2.5 m. I parametri meccanici utilizzati per simulare i trattamenti in jet-grouting sono stati definiti sulla base di valori tipici di letteratura ottenibili in materiali simili a quelli presenti nel caso in esame, e sono riportati nella **Tabella 4-2** seguente.

Strato	Peso di volume (kN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kPa)	Modulo di deformabilità (MPa)
Jet-Grouting	23	0	2500	10000

Tabella 4-2 – Parametri meccanici dei materiali trattati con jet-grouting

In **Figura 4-4** e **Figura 4-5** sono riportate le mappature ottenute per lo stato tensionale iniziale del modello numerico, in termini di sforzi totali verticali (σ_{yy}) e orizzontali (σ_{xx}).

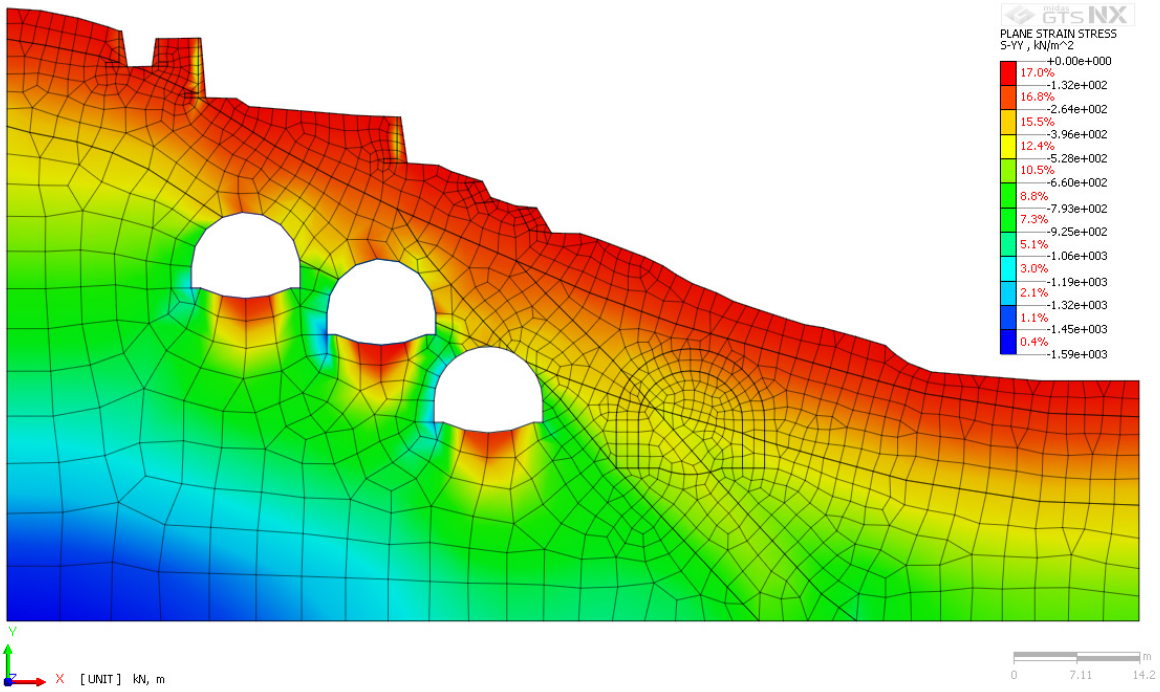


Figura 4-4 – Modello FEM per l'analisi delle condizioni attuali del versante
Stato di sforzo verticale

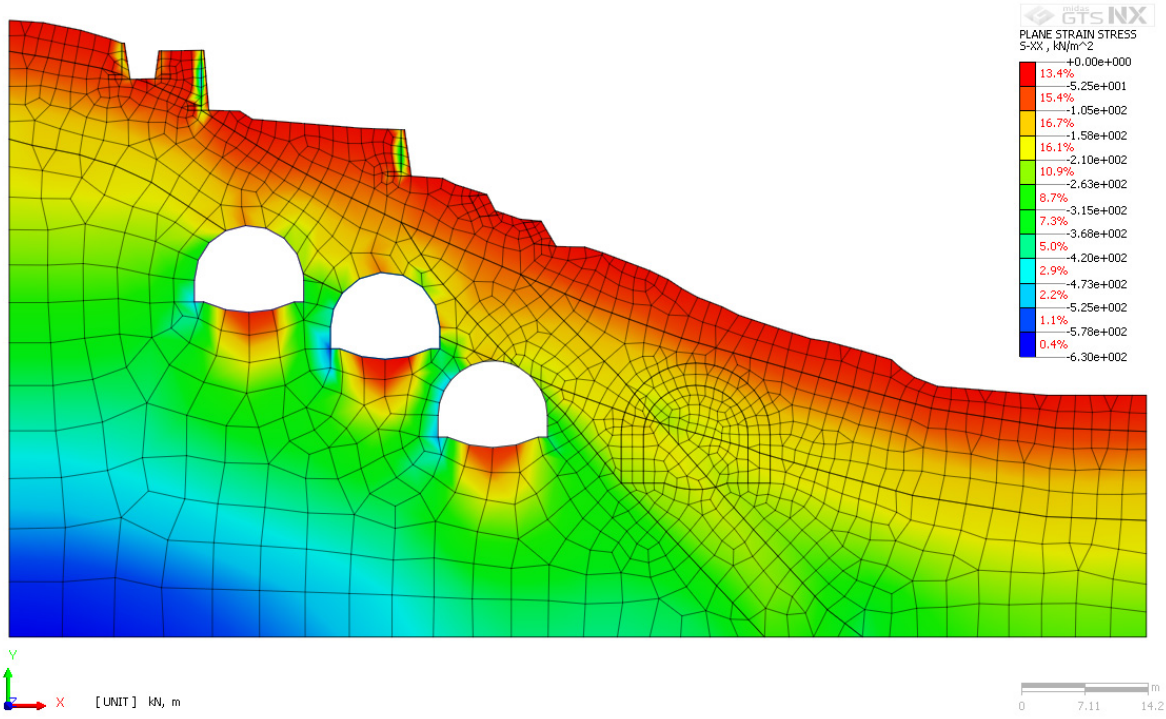


Figura 4-5 – Modello FEM per l'analisi delle condizioni attuali del versante
Stato di sforzo orizzontale

In **Figura 4-6** sono mostrati i risultati dell'analisi di stabilità globale in condizioni attuali. I risultati sono riportati in termini di minimo fattore di sicurezza ottenuto e relativo cinematismo. Il fattore di sicurezza minimo ottenuto allo stato attuale è pari a 1.37.

La parte del pendio caratterizzata dalle deformazioni massime è quella interessata dalle pendenze maggiori, nella parte centrale della sezione. Il potenziale cinematismo coinvolge solamente lo strato superficiale della coltre e non interessa la fascia di alterazione dei calcescisti sottostante.

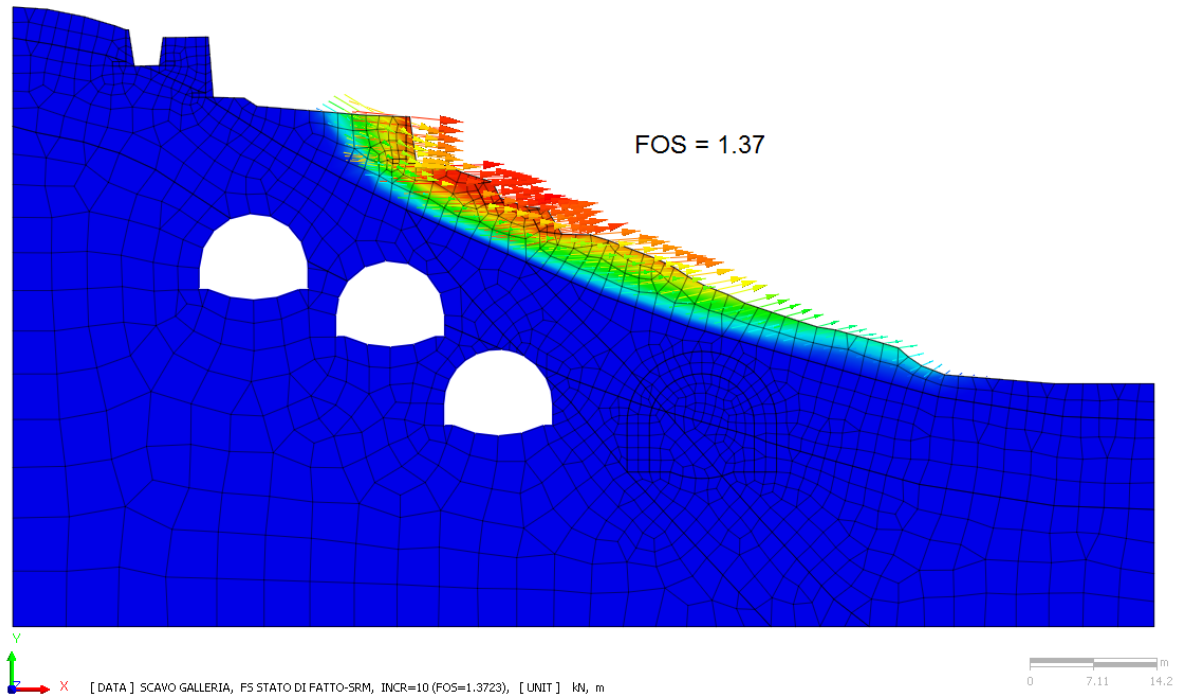


Figura 4-6 – Analisi stabilità globale allo stato attuale

Le verifiche in condizioni di progetto sono state svolte a valle del terzo passo di carico, ipotizzando due differenti procedure di scavo:

1 – Scavo senza pre-trattamenti in Jet-grouting (Passo di carico 2 escluso dall'analisi)

2 – Scavo con pre-trattamenti in Jet-grouting (Passo di carico 2 incluso nell'analisi)

In **Figura 4-7** è riportata la mappatura degli spostamenti alla fine delle operazioni di scavo nel caso in cui non vengano eseguiti i pre-trattamenti.

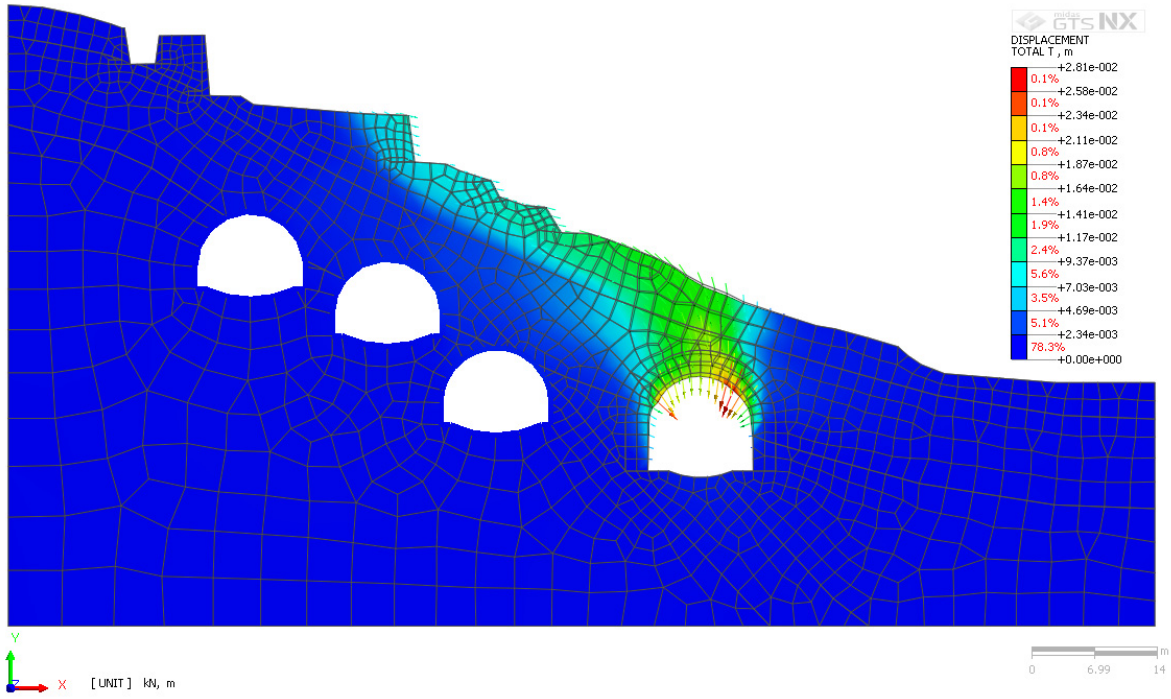


Figura 4-7 – Modello FEM – Scavo senza pre-trattamenti in jet-grouting
Mappatura spostamenti alla fine delle operazioni di scavo

I valori massimi delle convergenze in questo caso risultano pari a 28 mm.

Per quanto riguarda gli spostamenti in superficie indotti dallo scavo, i massimi valori sono stati ottenuti sul versante direttamente al di sopra della galleria, e risultano dell'ordine dei 16 mm.

L'analisi di stabilità globale in condizioni di progetto è stata eseguita a partire dallo stato tensio-deformativo che si ottiene a valle dell'esecuzione dello scavo. In **Figura 4-8** è riportato il risultato dell'analisi di stabilità globale in termini di minimo fattore di sicurezza ottenuto e relativo cinematismo.

Come si può osservare, nel caso in cui non vengano eseguiti pre-trattamenti si ottiene un fattore di sicurezza pari a 1.18, sempre superiore all'unità, ma in riduzione rispetto al fattore di sicurezza in condizioni attuali (FoS = 1.37). Il cinematismo in condizioni di collasso è simile a quello che si ottiene in condizioni attuali, ma si può osservare un richiamo delle deformazioni nella parte inferiore del versante dovuto alla realizzazione dello scavo senza pre-trattamenti.

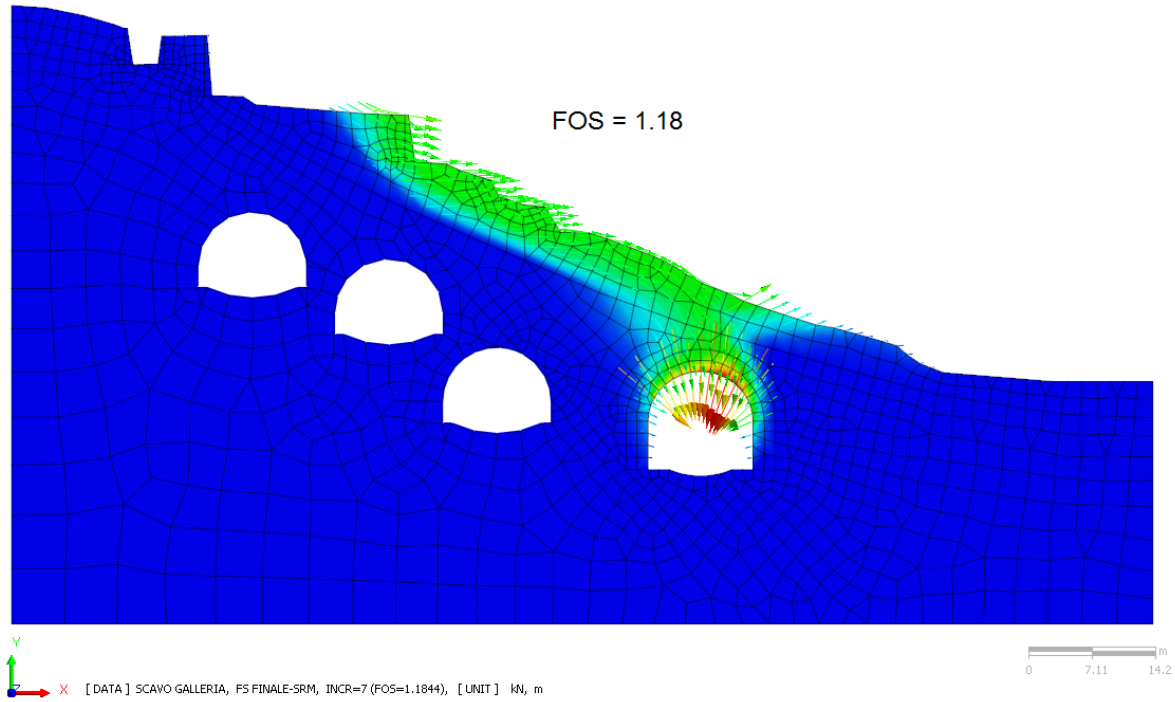


Figura 4-8 – Scavo senza pre-trattamenti in jet-grouting
Analisi stabilità globale alla fine delle operazioni di scavo

In **Figura 4-9** è riportata la mappatura degli spostamenti alla fine delle operazioni di scavo nel caso in cui si realizzi lo scavo con l'utilizzo dei pre-trattamenti. Visti i ridotti valori degli spostamenti ottenuti, la mappatura-colori utilizzata in figura è stata modificata rispetto a quella utilizzata in **Figura 4-7** per migliorare la leggibilità dei risultati dell'analisi.

I valori massimi delle convergenze in questo caso risultano dell'ordine dei 2 mm.

Per quanto riguarda gli spostamenti in superficie indotti dallo scavo, anche in questo caso i massimi valori sono stati ottenuti sul versante direttamente al di sopra della galleria, e risultano di poco inferiori ai 2 mm.

L'analisi di stabilità globale in condizioni di progetto è stata eseguita a partire dallo stato tensio-deformativo che si ottiene a valle dell'esecuzione dello scavo. In **Figura 4-10** è riportato il risultato dell'analisi di stabilità globale in termini di minimo fattore di sicurezza ottenuto e relativo cinematismo.

Il minimo fattore di sicurezza ottenuto in queste condizioni è pari a 1.36, valore analogo a quello ottenuto in condizioni attuali (1.37 di **Figura 4-6**). Come si evince dal confronto tra le figure, il cinematismo non presenta evidenze di richiamo al di sopra della galleria dovuti alla realizzazione dello scavo, ed ha forma affine a quella ottenuta in condizioni attuali.

Sulla base delle analisi descritte si conclude che la realizzazione della Galleria delle Grazie non ha effetti significativo sulla stabilità globale del versante soprastante.

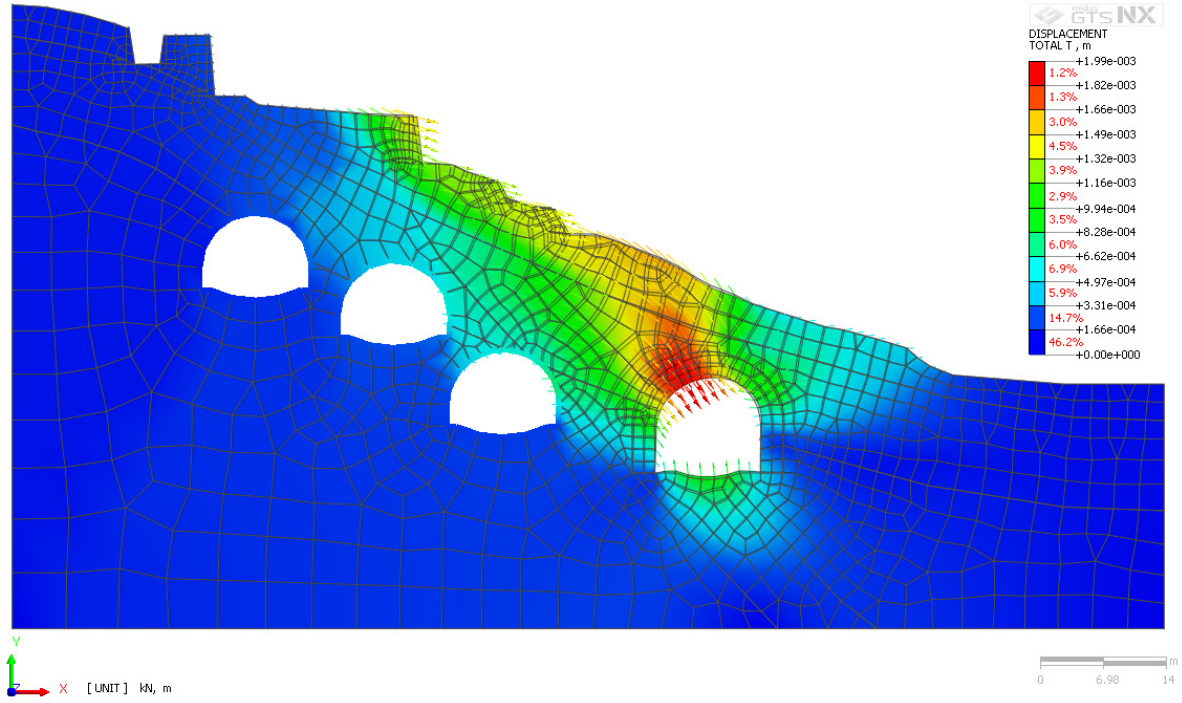


Figura 4-9 – Modello FEM – Scavo con pre-trattamenti in jet-grouting
Mappatura spostamenti alla fine delle operazioni di scavo

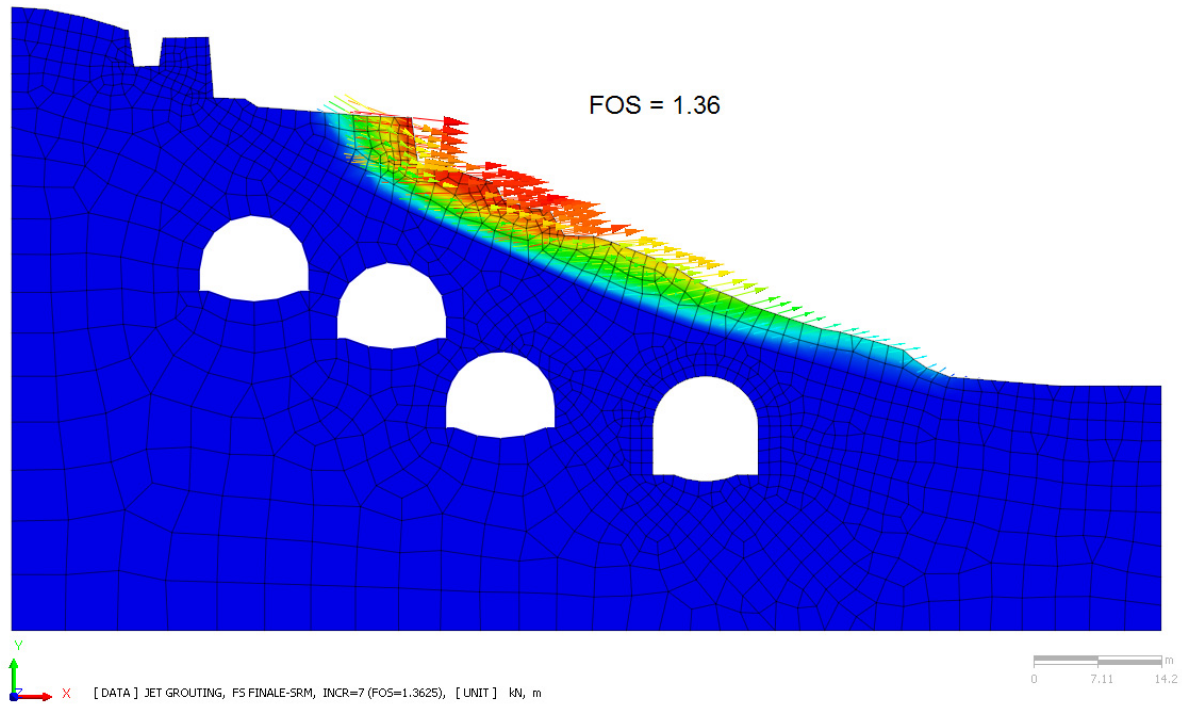


Figura 4-10 – Scavo con pre-trattamenti in jet-grouting
Analisi stabilità globale alla fine delle operazioni di scavo

5. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO

A completamento delle attività effettuate, sono state eseguite nel 2015-2016 le indagini di seguito descritte:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo e n. 5 sondaggi a distruzione di nucleo, con installazione di inclinometri e piezometri nell'intera area del Parco della Duchessa di cui n. 2 a carotaggio ed 1 a distruzione in prossimità della Pg4;
- n.1 stendimento di geofisica a rifrazione in corrispondenza della Pg4.

5.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI

A scala dell'intero progetto è stato attivato uno studio dei movimenti mediante analisi interferometrica da satellite.

L'interferometria costituisce oggi un valido strumento operativo per il monitoraggio da remoto di vaste aree della superficie terrestre, quali quelle interessate dal progetto della Gronda, senza la necessità di installare strumentazione a terra.

Sono stati acquisiti i dati di archivi storici di immagini satellitari relativi all'intera area di intervento.

L'utilizzo dei dati satellitari ENVISAT e COSMO-SkyMed, entrambe in doppia geometria, ha permesso di studiare le deformazioni dell'area analizzata (Figura 5-1) relative ad un periodo temporale che va da Luglio 2004 ad Agosto 2015.

In particolare:

- l'elaborazione con dati ENVISAT ascendenti è relativa al periodo 07/2004 – 10/2010 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 170.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (43 immagini ENVISAT acquisite in geometria ascendente con angolo d'incidenza di 22,84° e risoluzione a terra di 25 m x 5 m).
- l'elaborazione con dati ENVISAT discendenti è relativa al periodo 10/2004 – 10/2010 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 165.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (50 immagini ENVISAT acquisite in geometria discendente con angolo d'incidenza di 22,83° e risoluzione a terra di 25 m x 5 m).
- l'elaborazione con dati COSMO-SkyMed ascendenti è relativa al periodo 02/2011 – 08/2015 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 2.540.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (76 immagini COSMO-SkyMed acquisite in

geometria ascendente con angolo d'incidenza di 33,97° e risoluzione a terra di 3 m x 3 m).

- l'elaborazione con dati COSMO-SkyMed discendenti è relativa al periodo 11/2009 – 08/2015 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 2.735.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (84 immagini COSMO-SkyMed acquisite in geometria discendente con angolo d'incidenza di 26,65° e risoluzione a terra di 3 m x 3 m).



Figura 5-1 – Area d'interesse. Immagine ottica ottenuta da Google con sovrapposizione dell'area analizzata (poligono arancione) e del tracciato dell'infrastruttura prevista (linea grigia)

Le deformazioni misurate si riferiscono a punti della scena a terra caratterizzati da una risposta coerente al segnale radar, denominati *Persistent Scatterer (PS)* e sono relative temporalmente alla prima data di ciascun dataset e spazialmente ad un punto di riferimento, tra quelli selezionati, assunto come riferimento e considerato "fermo".

Il punto di riferimento è stato selezionato tra tutti i PS disponibili attraverso un'analisi statistica, a partire dall'ipotesi che la maggior parte dei PS siano quasi completamente

fermi. L'ipotesi è, quindi, che il punto di riferimento sia fermo e non sia soggetto a movimenti di nessun genere.

Per ciascuna delle elaborazioni singola geometria (ascendente o discendente) e per ciascun punto di misura selezionato vengono fornite le seguenti informazioni:

- **Evoluzioni temporali dello spostamento dei PS**: si tratta dello spostamento dei PS, espresso in millimetri, e riferito alla prima data dello stack, fornito in corrispondenza di ciascuna data d'acquisizione nel periodo analizzato. Le evoluzioni temporali sono stimate lungo la LOS (linea di vista) e si riferiscono ad un punto di riferimento considerato "stabile".

L'uso di due geometrie d'acquisizione, ascendente e discendente, permette di misurare la stessa deformazione lungo due direzioni di vista differenti. In linea di principio, a partire da questa duplice informazione è possibile descrivere meglio il movimento reale di un punto a terra, estraendo le sue componenti lungo la verticale e lungo la direzione est-ovest.

Non essendo sempre possibile avere selezionato lo stesso punto a terra con le due geometrie, le componenti E ed H delle misure sono relative ad un'area di dimensione fissata (cella di risoluzione) in cui sono presenti più punti selezionati con entrambe le geometrie, In pratica, vengono mediate le misure relative a tutti i PS che cadono nella stessa cella di risoluzione a terra ottenute sia con la geometria ascendente che quella discendente. La scomposizione, quindi, si riferisce a tale cella e prende in input i valori mediati delle misure ascendenti e discendenti.

Per quanto riguarda i dati ENVISAT la cella di risoluzione usata è di 60 m x 60 m (circa 3 volte il *pixel spacing* in range delle immagini SAR), mentre per i dati COSMO-SkyMed la dimensione della cella utilizzata è di 20 m x 20 m (circa 10 volte il *pixel spacing* delle immagini SAR). La scelta della dimensione della cella di risoluzione usata, oltre che dal pixel spacing dell'immagine SAR, dipende anche dalla dimensione media delle strutture a terra.

Per i dati COSMO-SkyMed, sono state scelte le date di acquisizione discendenti comprese tra il 24/02/2011 e il 14/08/2015 con l'esclusione delle date 08/06/2014 e 10/07/2014 perché troppo distanti temporalmente dalle date ascendenti più vicine (più di 20 giorni). Ovviamente non sono state considerate le date discendenti che precedono la prima data dello stack ascendente. Infine, in corrispondenza delle date selezionate sono state interpolate solo le misure ascendenti e il risultato è stato combinato con le rispettive misure discendenti per calcolare la componente del movimento lungo la direzione verticale e la direzione est-ovest.

Per quanto riguarda il dataset ENVISAT, sono state scelte le date di acquisizione ascendenti comprese tra il 22/10/2004 e il 01/10/2010. La data ascendente 09/07/2004 è stata esclusa perché precede di 86 giorni la prima data dello stack discendente. In corrispondenza delle date selezionate sono state interpolate solo le misure discendenti e il

risultato è stato combinato con le misure ascendenti per calcolare la componente del movimento lungo la direzione verticale e la direzione est-ovest.

Vengono fornite la:

- **Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS**: si tratta della componente est-ovest dello spostamento dei PS, espresso in millimetri, e riferito alla prima data comune alle acquisizioni ascendenti e discendenti forniti in corrispondenza delle date di una delle due geometrie (ascendente o discendente)
- **Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS**: si tratta della componente verticale dello spostamento dei PS, espresso in millimetri, e riferito alla prima data comune alle acquisizioni ascendenti e discendenti forniti in corrispondenza delle date di una delle due geometrie (ascendente o discendente).

La convenzione utilizzata è la seguente: i valori negativi indicano un allontanamento dal sensore nel caso di misure lungo la LOS, un abbassamento nel caso delle componenti verticali o uno spostamento verso ovest nel caso delle componenti est-ovest; i valori positivi indicano il comportamento opposto dei punti di misura

Per l'area in esame, oggetto della presente scheda, di seguito si riportano le evoluzioni temporali dei PS, per il solo satellite dati COSMO-SkyMed nella sola geometria ascendente. Non sono, pertanto, disponibili, le componenti est-ovest e verticale.

Per tutti i grafici in ascissa è riportato il tempo (espresso in gg/mm/aa) mentre in ordinata, in relazione all'elaborazione, è riportato:

- spostamento lungo LOS (espresso in mm);

Con linea tratteggiata colore nero è riportato il valore medio degli spostamenti.

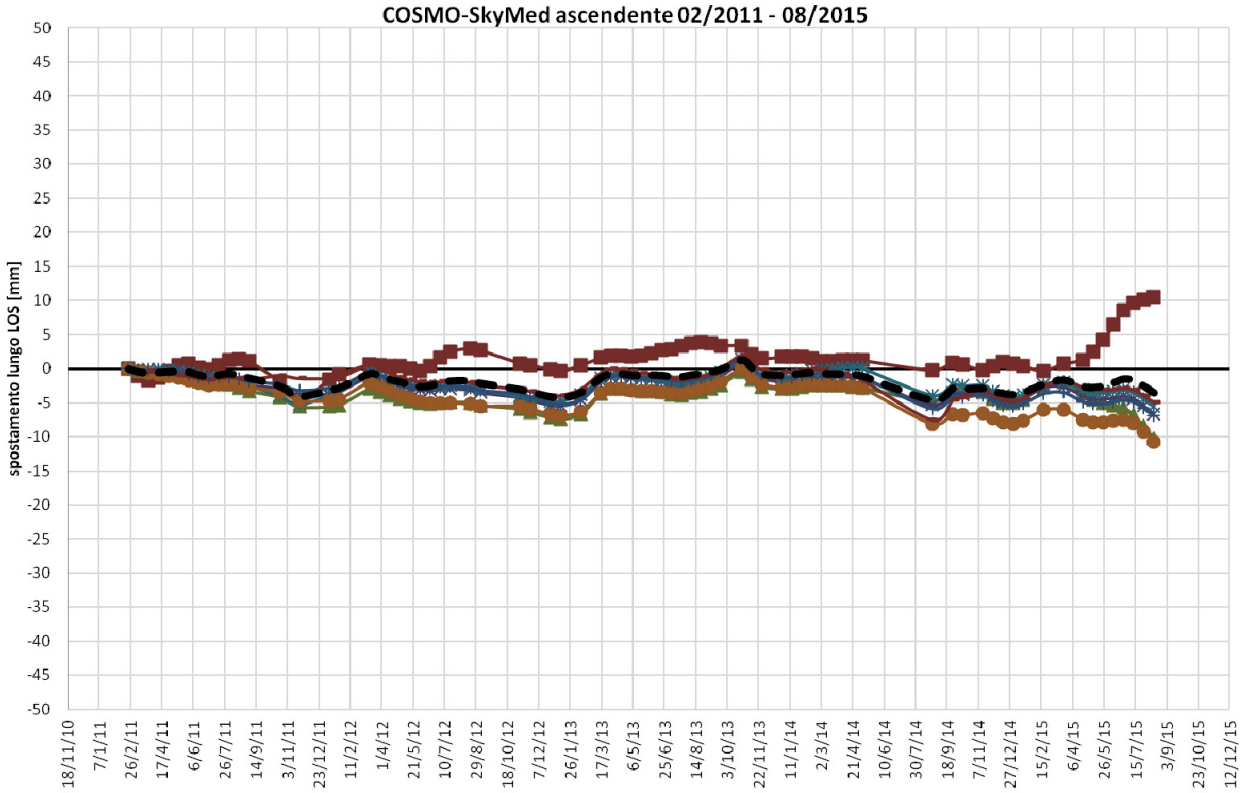


Figura 5-2 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

Le figura precedente mostra le evoluzioni temporali (lungo LOS, componenti est-ovest e verticali) dei singoli punti visibili nell'area in esame, ottenute con l'analisi PSP-IFSAR da dati COSMO-SkyMed ascendenti, al fine di capire se sono presenti fenomeni significativi di deformazione del terreno.

L'analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 8 riscontri) nel periodo 2009 - 2015 non individuano spostamenti significativi, a meno di un riscontro che ha mostrato uno spostamento nel periodo 02/2015 – 07/2015 successivamente stabilizzatosi. Tale spostamento è da considerarsi anomalo in quanto non coerente con il versante.

Per una maggiore comprensione di eventuali fenomeni di spostamento superficiale e al fine di confermarne l'assenza o valutarne l'evoluzione e consentire un'eventuale integrazione con altre tecniche di monitoraggio, è, inoltre, previsto che il monitoraggio interferometrico continui anche durante la fase di costruzione dell'infrastruttura autostradale.

6. CONCLUSIONI

Al di sopra della galleria delle Grazie è presente un'area di frana catalogata come Pg4 "frana attiva" dalla cartografia del Piano di Bacino.

Nella zona interessata dalla perimetrazione è stata riscontrata in sito la presenza di opere di ingegneria naturalistica, realizzate al fine di stabilizzare la porzione di pendio a valle dell'edificio a q. 93 m s.m.. Allo stato attuale non si osservano evidenze di fenomeni gravitativi in atto.

Sono state svolte analisi numeriche di stabilità del versante in esame al fine di valutare l'influenza dell'intervento di realizzazione della galleria previsto nel progetto definitivo.

Dal momento che nella zona interessata, che si trova in prossimità dell'imbocco est della galleria, sono presenti coperture ridotte, dell'ordine dei 10 m, le analisi in condizioni di progetto sono state eseguite considerando sia il caso in cui non vengano utilizzati pre-trattamenti al fronte e perimetrali mediante jet-grouting.

Le analisi hanno mostrato come lo scavo in assenza di pre-trattamenti provochi una marcata riduzione del fattore di sicurezza globale del versante rispetto alle condizioni attuali.

Al contrario, nel caso in cui si faccia ricorso ai pre-trattamenti, la stabilità dell'area non viene influenzata in maniera significativa, si può concludere quindi che, in questo caso, la realizzazione della galleria non interferisce negativamente con le condizioni di stabilità dell'area di frana LEI109.

È stato previsto un piano di monitoraggio geotecnico, al fine di acquisire in corso d'opera il maggior numero possibile di informazioni qualitativamente significative, in modo da seguire tutte le fasi realizzative degli interventi e controllare che i valori di spostamento delle strutture siano compatibili con la funzionalità statica delle opere e congruenti con quelli stimati in progetto.

Il suddetto piano di monitoraggio geotecnico, sarà, altresì, integrato con un piano di acquisizione di immagini satellitari elaborate con i metodi dell'interferometria radar, a favore di una visione più completa dell'evoluzione dei fenomeni studiati.

Alla luce di quanto sopra, si ritiene che gli interventi previsti nel progetto, potendo non inficiare in alcun modo la stabilità dell'area in oggetto, siano tali da poter acquisire il parere del Comitato Tecnico di Bacino ai sensi dell'art. 11 c. 4 lett. b) della LR n.58/2009.

ALLEGATI

- *Allegato n.1* - Stralcio Carta suscettività al dissesto da Piano di Bacino con progetto ed indagini eseguite
- *Allegato n.2* - Stralcio carta geologica (aggiornata giugno 2015)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata giugno 2015)
- *Allegato n.4* - Carta geomorfologica di dettaglio, indagini integrative e punti di ripresa fotografici
- *Allegato n.5* - Sezione geologica
- *Allegato n.6* - Scheda di sintesi
- *Allegato n.7* - Stratigrafia sondaggi e geofisica
- *Allegato n.8* – Prove di laboratorio
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità