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 LEI038

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	7	0	–	1	SCALA: –

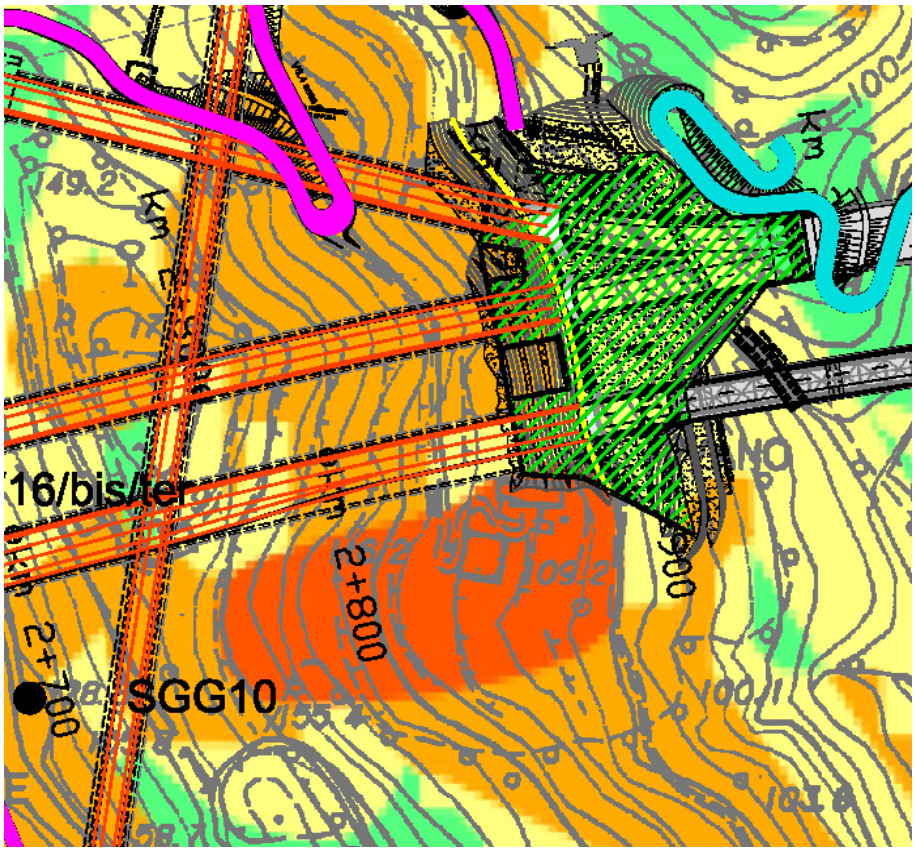
	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE	
spea ENGINEERING gruppo Atlantia	Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A				n.	data
					0	Gennaio 2016
					1	Ottobre 2016
					2	
	REDATTO:		VERIFICATO:		3	
					4	

	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 FRANA LEI038 (PG3A)

OPERA INTERFERENTE: IMBOCCO GALLERIA VOLTRI EST LATO GENOVA



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

3.4 Aree Interferenti 10

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a 10

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino 12

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

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 13

3.9 INDAGINI ESEGUITE 14

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 15

3.11 CAUSE DEL DISSESTO 24

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 24

4. ASPETTI GEOTECNICO – INGEGNERISTICI 25

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 25

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 30

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 32

4.4 QUADRO DI SISTESI 42

5. IDRAULICA 43

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE 43

6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI 44

7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 45

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 45

8. CONCLUSIONI.....58

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 novembre 2015)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata novembre 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* - Stratigrafie sondaggi
- *Allegato n.8* - Analisi di stabilità

Annessi alla Scheda:

- *Elaborato GEN0171: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana LEI-038 (Pg3a) – 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 alta (Pg3a) 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*
- *APE0004: Profilo Geotecnico - (ASSE 1 da Progr. 2+150 a Progr. 3+400)*
- *APE0181: Galleria Voltri imbocco Lato Genova – Pianta Scavi e Sezioni*
- *APE0182: Galleria Voltri imbocco Lato Genova – Berlinese "A" Sviluppata tav. 1/2*
- *APE0183: Galleria Voltri imbocco Lato Genova – Berlinese "A" Sviluppata tav. 2/2*
- *APE0184: Galleria Voltri imbocco Lato Genova – Berlinese "B" Sviluppata*
- *APE0185: Galleria Voltri imbocco Lato Genova – Berlinese "C" Sviluppata*
- *APE0186: Galleria Voltri imbocco Lato Genova – Relazione di Calcolo Opere di Imbocco*
- *APE0187: Galleria Voltri imbocco Lato Genova – Muro in terra armata - Planimetria e Particolari Costruttivi*
- *APE0188: Pozzi di Presidio Piazzale Carpenterie, Sezioni e Particolari Costruttivi*
- *APE0189: Muro in terra armata e Pozzi di Presidio - Relazione di Calcolo*
- *AUA0121: Sistemazione definitiva - planimetria, prospetto e sezioni*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata LEI 038, che risulta interferente con l'imbocco lato Genova della galleria Voltri Est.

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.

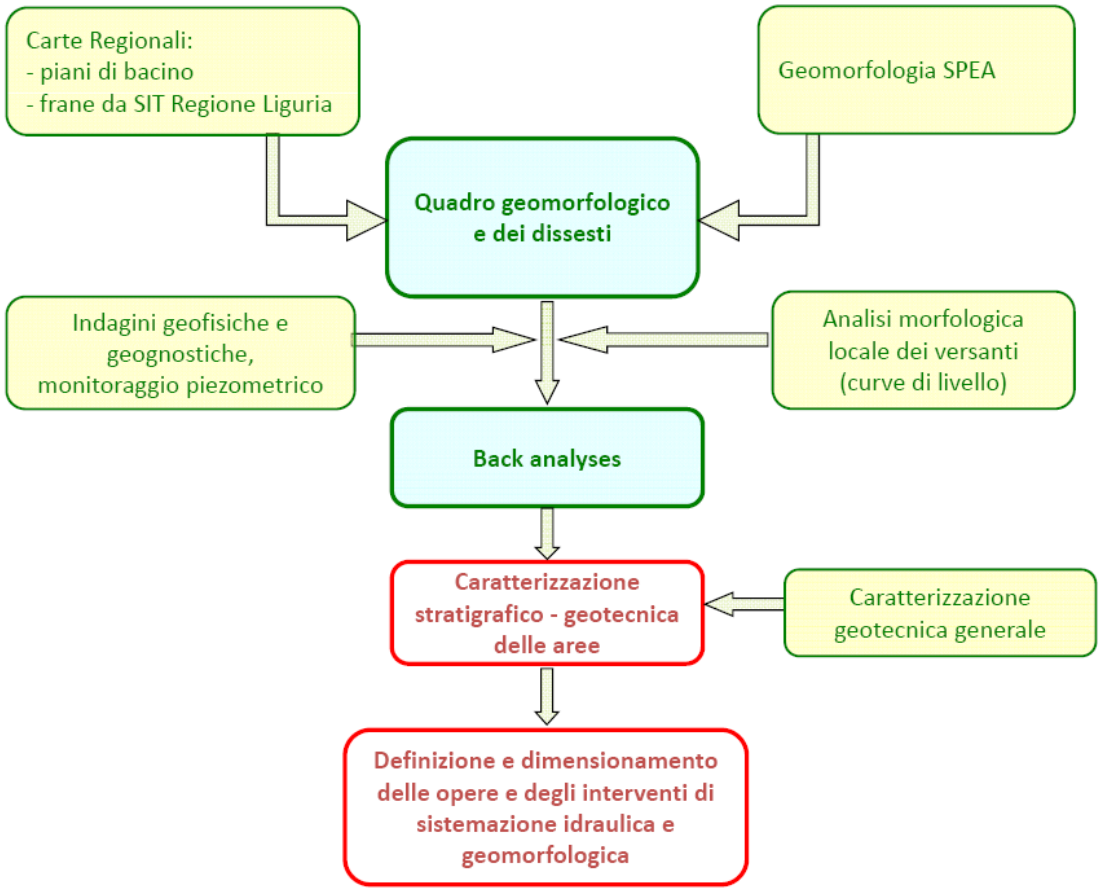


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: VOLTRI

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: AMBITI 12 e 13

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): LEI 038

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).

3.4 Aree Interferenti

L'oggetto della presente scheda è l'interferenza tra il dissesto **Pg3a** e l'imbocco lato Genova della galleria Voltri Est.

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a

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

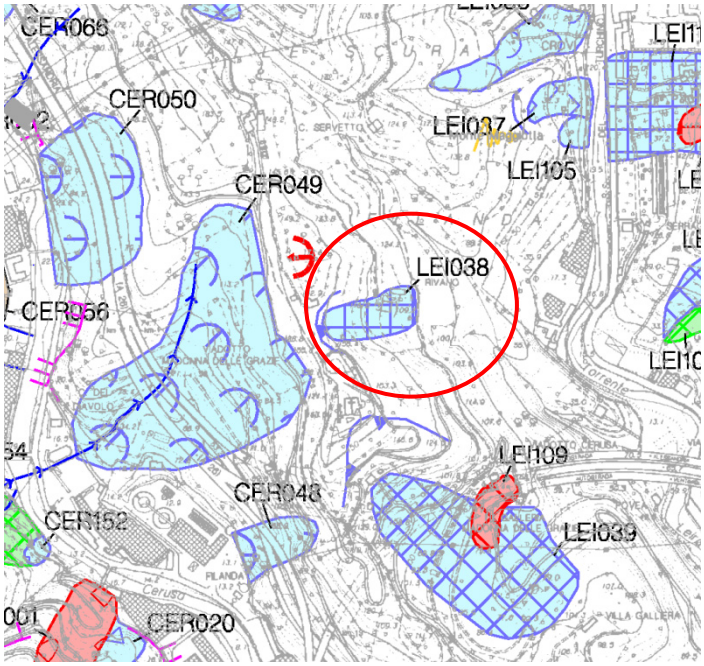
a) Tipologia di frana:

	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:

	Attiva
X	Quiescente
	Stabilizzata



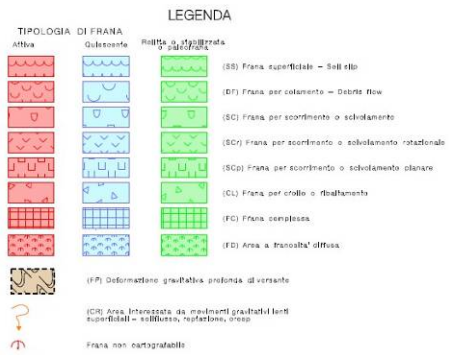


Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

3.6 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.

3.7 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 (**Figura 3-2**) identifica sul versante un dissesto quiescente coincidente con LEI 038 (seppur con una delimitazione leggermente differente rispetto alla perimetrazione riportata nella cartografia del Piano di Bacino) avente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100216800
- Tipo di movimento: Complesso
- Attività: Quiescente
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Vengono inoltre segnalate altre due aree nell'intorno di questo dissesto, caratterizzate dalla presenza di franosità superficiale diffusa quiescente (2 nella figura seguente) e dalla presenza di un movimento complesso quiescente (3 nella figura seguente), rispettivamente a ovest e sud dell'area di interesse.

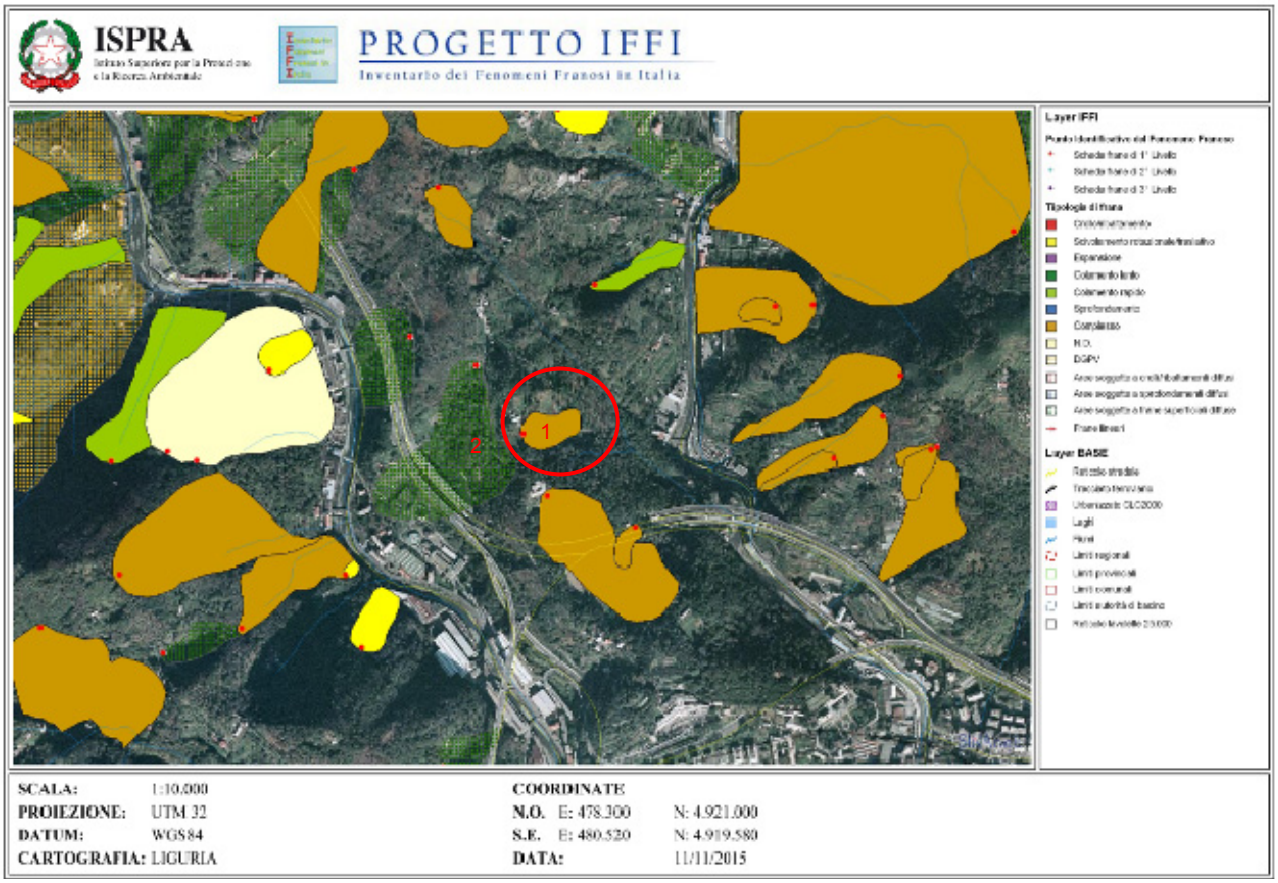


Figura 3-2 - Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg3a si imposta nell'Unità Tettonometamorfica Palmaro Caffarella e Voltri, qui rappresentate prevalentemente da Calcescisti (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 ESE 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 grigio chiaro a grigio scuro 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)

Con questo termine si indicano 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) e SAC

I metagabbri si presentano in affioramento come molto compatti, resistenti e formano lenti 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, 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.

Nell'ambito dello studio relativo alla presenza di amianto naturale 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.

I *depositi superficiali* hanno spessore molto limitato nelle zone marginali dell'area identificata come Pg3a, mentre nella porzione centrale presentano uno spessore massimo pari a circa 10m. La coltre detritica superficiale nell'area è rappresentata essenzialmente da depositi di versante e da depositi eluvio/colluviali.

Da un punto di vista geomorfologico, l'area di interesse si sviluppa lungo il versante idrografico destro del Torrente Leira. Il versante si presenta con acclività media; la zona è caratterizzata dalla presenza di alcune abitazioni e terrazzamenti, abbandonati nella pozione superiore mentre sono in buono stato di conservazione nella porzione medio inferiore (Allegato 3).

3.9 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in esame non sono state eseguite indagini a supporto del Progetto Definitivo 2011.

Nell'ambito della campagna di indagini integrativa effettuata nel 2015-2016 sono stati realizzati:

- n.3 sondaggi a carotaggio continuo, di cui uno nella porzione centrale dell'area di studio e due in corrispondenza degli imbocchi in progetto, e n. 3 a distruzione. Nei sondaggi saranno installati piezometri ed inclinometri.
- n.4 stendimenti di sismica a rifrazione, di cui uno lungo la massima pendenza del versante e tre perpendicolari al primo, in modo tale da definire in maniera più precisa lo spessore dei depositi superficiali e delle caratteristiche dell'ammasso roccioso ("Cappellaccio")

Per i certificati delle indagini eseguite, si rimanda agli allegati 7 del presente documento.

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 03/12/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante, procedendo dalla porzione sommitale fino alle quote più basse dell'area identificata come Pg3a e nel suo intorno significativo esterno, con lo scopo di affinare e integrare le conoscenze rispetto agli elementi geologici e geomorfologici in sito.

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; in Allegato 4 è riportata la planimetria con indicati tutti gli elementi significativi rilevati.

Il versante in esame è caratterizzato da acclività media, da terrazzamenti e da scarsa vegetazione nella zona identificata come Pg3a dai documenti del Piano di Bacino; nella parte medio-alta sono presenti alcune abitazioni.



Foto 1 - Panoramica dell’area.

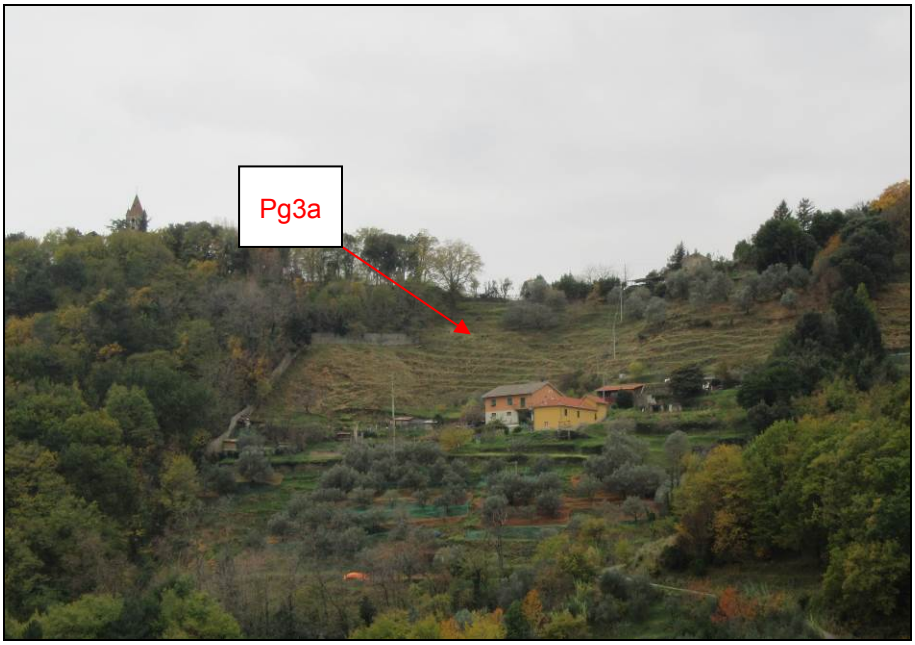


Foto 2 - Panoramica dell’area.

- La porzione sommitale del versante è adibita a pascolo ed è caratterizzata da terrazzamenti, talora con muretti a secco di limitata altezza, localmente interrotti o degradati da processi di soliflusso e di reptazione da pascolo (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**),); la porzione medio inferiore dell’area è adibita a coltivazione di ulivi con presenza di terrazzi in buono stato di conservazione.



Foto 3 - Zona a monte degli edifici.

- Nella porzione a monte si osservano diversi crolli in corrispondenza del muro perimetrale degli edifici presenti sulla cima del versante e dei muretti a secco (**Foto 4**, **Foto 5** e **Foto 6**) I muretti a secco sono in stato di abbandono e sono stati costruiti direttamente sulla coltre di alterazione del substrato (**Foto 7**).



Foto 4 – Dissesto in corrispondenza di un muro a secco (q.153 m s.m.)



Foto 5 – Dissesto in corrispondenza di un muro a secco (q.154 m s.m.)



Foto 6 – Dissesto in corrispondenza di un muro a secco (q.154 m s.m.)



Foto 7 – Dettaglio di un muro a secco

- Lungo i terrazzi nella porzione elevata del versante sono stati osservati alcuni piccoli dissesti non cartografabili che hanno interessato la coltre superficialein corrispondenza dei fronti dei terrazzi stessi (**Foto 8** e **Foto 9**), legati all'azione delle acque meteoriche e a processi di soliflusso e reptazione.

- Nella porzione nord della Pg3a, è stata rilevata una zona caratterizzata dalla presenza di erosione superficiale diffusa, compresa fra q.126 m s.m. e q 150 m s.m. (**Foto 10**), legata con ogni probabilità all'azione del calpestio degli animali da pascolo.

- Nella porzione sud dell'area, nell'intorno di q.128 m s.m., è visibile una nicchia di frana che ha fatto affiorare il substrato roccioso (**Foto 11**). Il dissesto è ascrivibile a un processo di scivolamento superficiale.



Foto 8 – Piccolo dissesto in corrispondenza del fronte di un terrazzo (q.135 m s.m.)



Foto 9 – Piccolo dissesto in corrispondenza del fronte di un terrazzo (q.140 m s.m.)



Foto 10 – Area soggetta a erosione superficiale diffusa (q.126÷150 m s.m.)



Foto 11 – Dissesto superficiale (q.128 m s.m.)

- In prossimità delle abitazioni sono presenti affioramenti di calcescisti, a testimonianza del limitato spessore dei depositi superficiali dell'area.



Foto 12 – Affioramento in prossimità delle abitazioni

- Lungo l'impluvio che attraversa l'area nella porzione orientale sono stati osservati due orli di scarpata di erosione legati all'azione delle acque meteoriche in occasione di precipitazioni intense e prolungate e delle acque di ruscellamento (**Foto 13**).



Foto 13 – Orli di scarpata di erosione ai margini dell'impluvio (q.85÷98 m s.m.)

- Anche lungo il muro perimetrale del Santuario delle Grazie si notano affioramenti di micascisti, molto alterati. Tutti gli affioramenti osservati nell'area di rilievo presentano una scistosità immergente verso SE e risultano interessati da due famiglie di discontinuità (talvolta tre) (**Foto 15**)



Foto 14 – Muro a secco senza presenza di lesioni strutturali (q.100 m s.m.)



Foto 15 – Affioramento di micascisti (q.119 m s.m.)

3.11 CAUSE DEL DISSESTO

	Materiale di riporto
X	Depositi sciolti
X	Coltre di alterazione del substrato
	Litologia del substrato
	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 la fratturazione / alterazione del substrato roccioso, la morfologia molto acclive del versante e la presenza di depositi superficiali sciolti poco addensati; 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).

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

La sezione è stata realizzata lungo la traccia riportata in Allegato 4, codificata LEI 038-Sez. A e coincidente con la sezione di verifica ed è riportata in allegato 5.

4. ASPETTI GEOTECNICO – INGEGNERISTICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica (modello geotecnico di riferimento) si è fatto riferimento a:

- dati geologici-geomorfologici descritti nel Capitolo 3;
- Progetto Definitivo – Caratterizzazione geotecnica generale (cfr. elaborato APE001); in particolare è stato fatto riferimento alla caratterizzazione basata sulle indagini eseguite in fase di progettazione definitiva per la realizzazione Galleria Voltri imbocco lato Genova (cfr. elaborato APE004). Le formazioni di interesse sono quelle riguardanti i Calcescisti (CS) e la rispettiva fascia di alterazione (CS-CAP);
- Relazione di calcolo opere di imbocco Galleria Voltri imbocco lato Genova APE0187.

Dai dati di caratterizzazione geologica e dalle osservazioni effettuate attraverso il rilievo geomorfologico svolto nel Dicembre 2015, è stato possibile confermare la seguente stratigrafia:

- 3.0 ÷ 9.0 metri da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso: depositi costituiti principalmente da sabbie limose argillose debolmente ghiaiose con rari ciottoli (C_{CS});
- 8.0 ÷ 18.0 metri da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione della formazione dei Calcescisti, avente caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla formazione di base (CS-Cap);
- Oltre 18.0 da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Calcescisti (CS).

E' stata considerata nelle analisi una superficie di falda posizionata alla base dello strato di copertura, rappresentativa di condizioni conseguenti a precipitazioni intense e prolungate.

Per determinare le caratteristiche di resistenza della coltre di copertura dell'ammasso roccioso, sono state eseguite una serie di analisi a ritroso (back analysis), condotte mediante un apposito codice di calcolo (GeoStudio 2007). È stato ricercato il valore del parametro ϕ'_{res} (con c' = 0 kPa) in grado di determinare coefficienti di sicurezza pressoché unitari (Fs ≈ 1), ossia condizioni di equilibrio limite. Le analisi sono state condotte sul modello riportato in **Figura 4-1**.

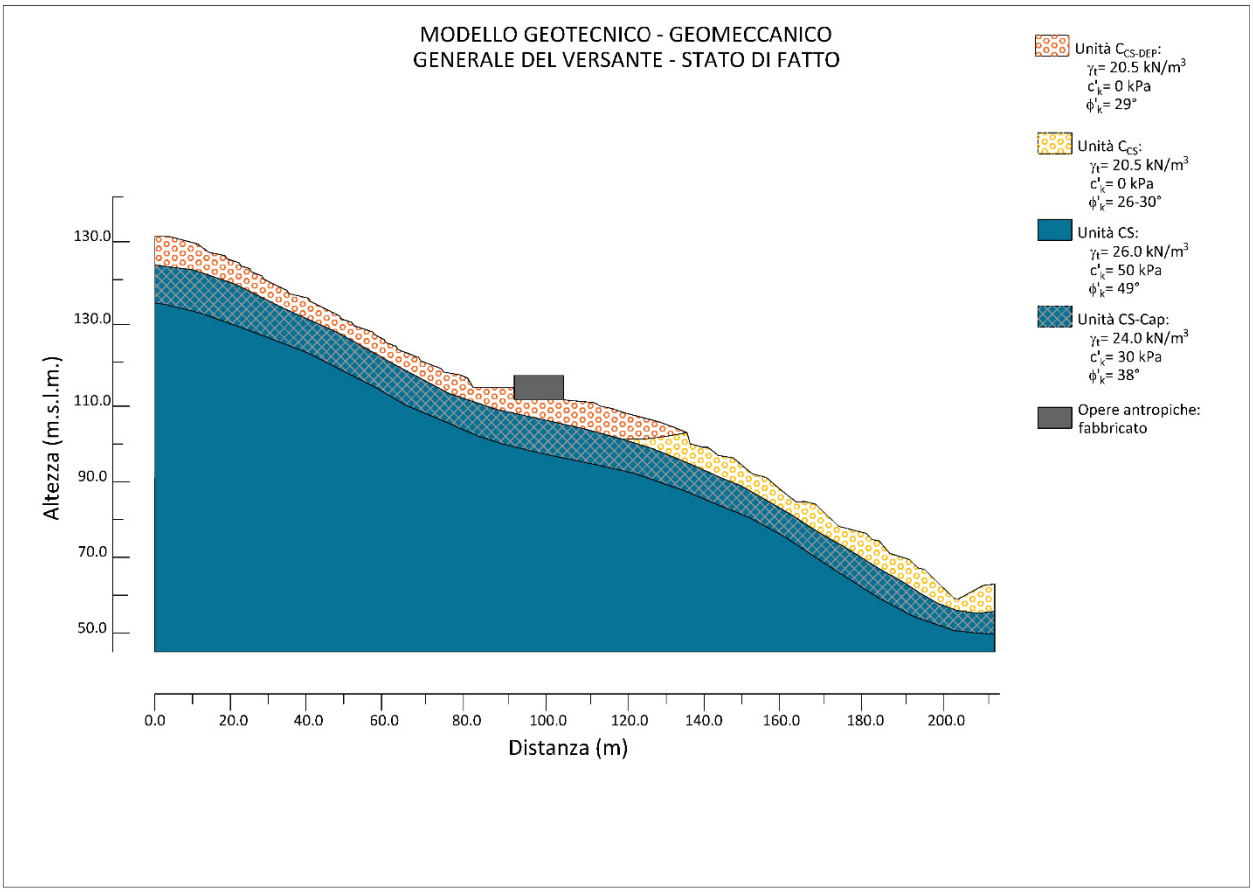


Figura 4-1 – Modello stato attuale

Il modello è stato costruito sulla base della cartografia esistente, delle evidenze morfologiche e geologiche rilevate in sito e dei risultati delle indagini geognostiche. Procedendo a favore di sicurezza, il modello è stato sviluppato individuando nella coltre superficiale due unità geotecniche distinte: una per la zona che ricade nella perimetrazione del dissesto individuata dal piano di bacino, ed una per la zona immediatamente a valle della stessa, caratterizzata da una pendenza più marcata. La sezione di verifica geotecnica è stata determinata sulla planimetria di progetto riportata in **Figura 4-4**. Essa è posta nella parte centrale dell'area Pg3a, lungo la linea di massima pendenza, ed interseca le opere in progetto a q. 95 m s.m. Al modello è stato imposto un carico distribuito in corrispondenza del fabbricato residenziale esistente (100 kN/m).

Sia per la zona a monte che per la zona a valle, in condizioni di equilibrio limite (FS≅1) la superficie di scivolamento critica individuata è localizzata nello strato superficiale delle

coltri di copertura. I risultati in termini di caratteristiche di resistenza delle coltri superficiali e di fattore di sicurezza sono indicati in **Figura 4-2, in Figura 4-3** e in **Tabella 4-1**.

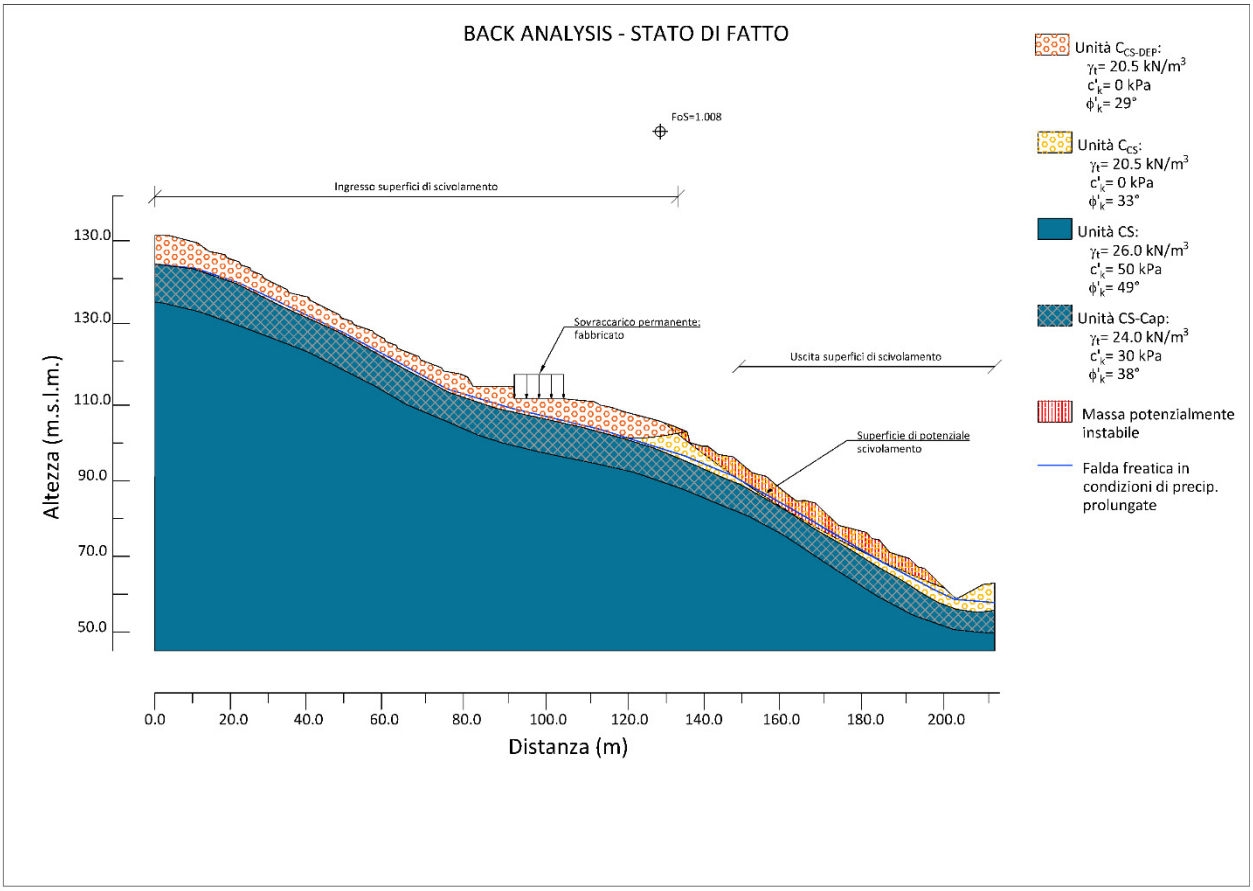


Figura 4-2 – Back Analysis stato attuale – Porzione inferiore del versante

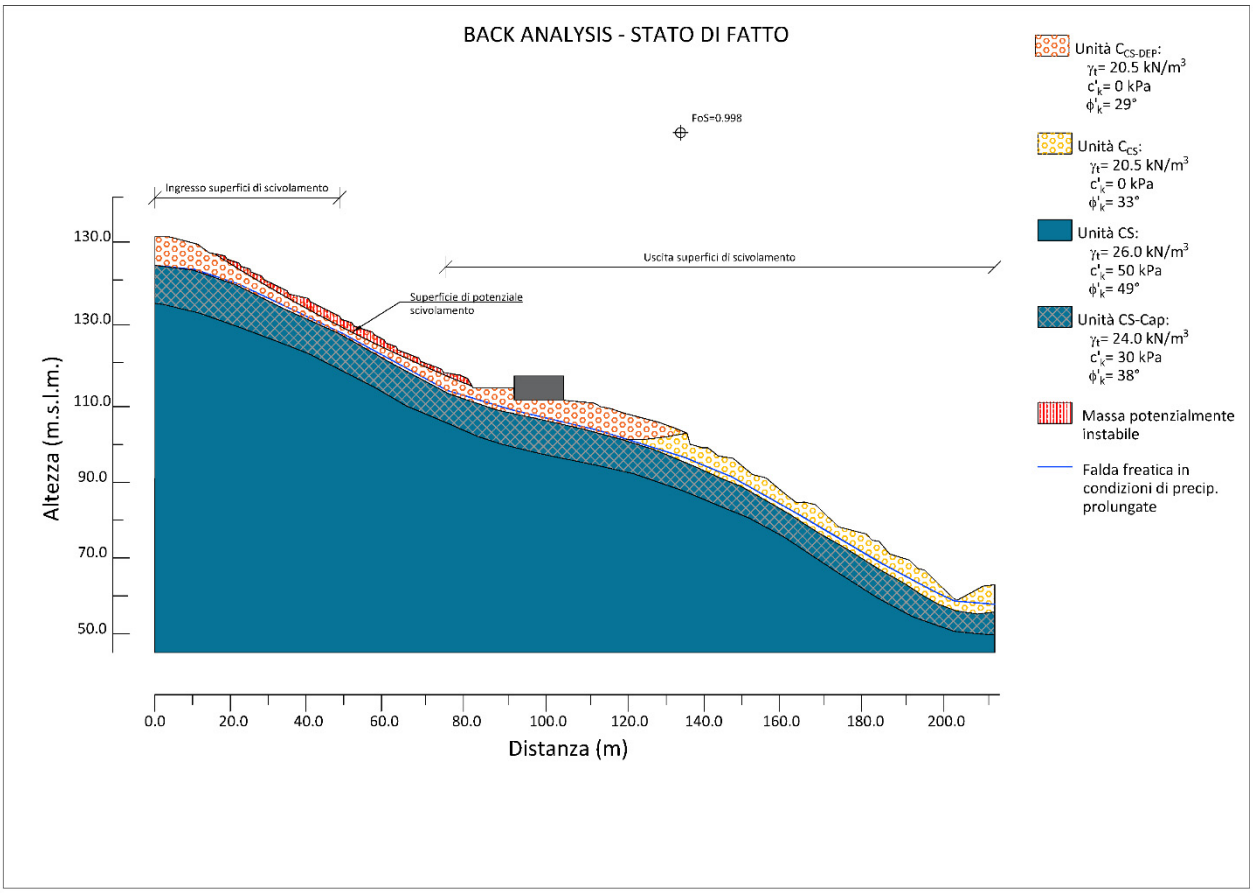


Figura 4-3 – Back Analysis stato attuale – Porzione superiore del versante

Parametri delle coperture ottenute tramite back analysis		
C_{CS}	γ_t (kN/m³)	20.5
	c' (kPa)	0.0
	φ' (°)	33
	FoS	1.008
C_{CS-DEP}	γ_t (kN/m³)	20.5
	c' (kPa)	0.0
	φ' (°)	29
	FoS	0.999

Tabella 4-1 – Risultati back analysis - Parametri di resistenza residui e fattore di sicurezza

Le back analysis effettuate mostrano che l'angolo di resistenza al taglio delle coltri superficiali che si trovano nella porzione superiore del versante rientra nell'intervallo indicato nella relazione geotecnica generale per tale parametro (cfr. APE001). Per quanto riguarda la porzione inferiore del versante, si ottiene invece un angolo di resistenza al taglio più elevato, che cade al di fuori di tale intervallo.

C_{CS}, $\phi_{residuo}$ = 33°

C_{CS-DEP}, $\phi_{residuo}$ = 29°

$\phi_{da\ caratterizzazione\ geotecnica}$ = 26 ÷ 30°

I valori di resistenza al taglio ottenuti tramite back analysis rappresentano i valori minimi in condizioni di equilibrio limite. Ai fini della valutazione della pericolosità geologica/geotecnica dell'area di influenza considerata da questo documento si sono assunti come valori caratteristici della coltre quelli residui ottenuti dalla back analysis, cautelativi rispetto alla reale condizione in sito. I parametri caratteristici utilizzati invece per

il cappellaccio e il substrato roccioso (vedi relazione e caratterizzazione geotecnica) sono quelli impiegati per il dimensionamento delle opere di imbocco della galleria Voltri lato Genova (**Tabella 4-2**) ottenuti mediante apposite prove in sito e in laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi.

Unità	Peso di volume (kN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kPa)
Coltre Inf.(C_{CS})	20.5	33	0
Coltre Sup.(C_{CS-DEP})	20.5	29	0
CS-cap	24	38	30
CS	26	49	50

Tabella 4-2 – Parametri geotecnici caratteristici impiegati

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nell'area interessata dal dissesto (LEI 038 cartografia del Piano di Bacino area metropolitana Genova) e nelle immediate vicinanze verranno realizzate le seguenti opere relative all'imbocco della Galleria Voltri lato Genova (si veda anche **Figura 4-4**)**:**

- realizzazione di una serie di paratie in micropali multitirantate (cfr. APE0186);
- sbancamento in corrispondenza dell'imbocco della galleria partendo da quota 87.5 m s.m.;
- realizzazione di un muro in CA nella parte interna del piazzale;
- realizzazione di una cabina elettrica e della sala pompe e vasca antincendio;
- realizzazione di muri in terra rinforzata e muri in terra armata per la sistemazione e stabilizzazione definitiva del versante di scavo;
- modellazione del pendio con scarpate artificiali sino alla quota massima 112 m s.m.;
- realizzazione di un piazzale alla quota 91 m s.m. in fase definitiva.

Il dissesto si trova localizzato in corrispondenza dello spigolo sinistro dell'imbocco della galleria di Voltri lato Genova. Le fasi esecutive dell'opera nella zona di interferenza con l'area di frana LEI 068 prevedono:

- Scavo della porzione di terreno da quota 91 m s.m.;
- La realizzazione di una berlinese "A" lungo tutto il perimetro che delimita il piazzale degli imbocchi delle gallerie e parte dell'area PG3a, con le seguenti caratteristiche:
  - Diametro esterno tubo acciaio = 168.3 mm con spessore = 12.5 mm
  - Diametro perforazione = 240 mm
  - Spaziatura = 0.4 m
  - Lunghezza massima = 30 m
  - Trave di coronamento in c.a. di dimensioni 0.70x0.70 m
- Multitiratantaggio della berlinese in fase di avanzamento degli scavi, secondo quanto riportato nella relazione di calcolo APE0186;
- La realizzazione di una duna in terra di altezza 2 metri;
- La realizzazione di due muri in terra rinforzata partendo da quota 80 m s.m. e 85 m s.m.;
- La realizzazione di un muro in terra armata alla base della porzione di pendio rimodellato.

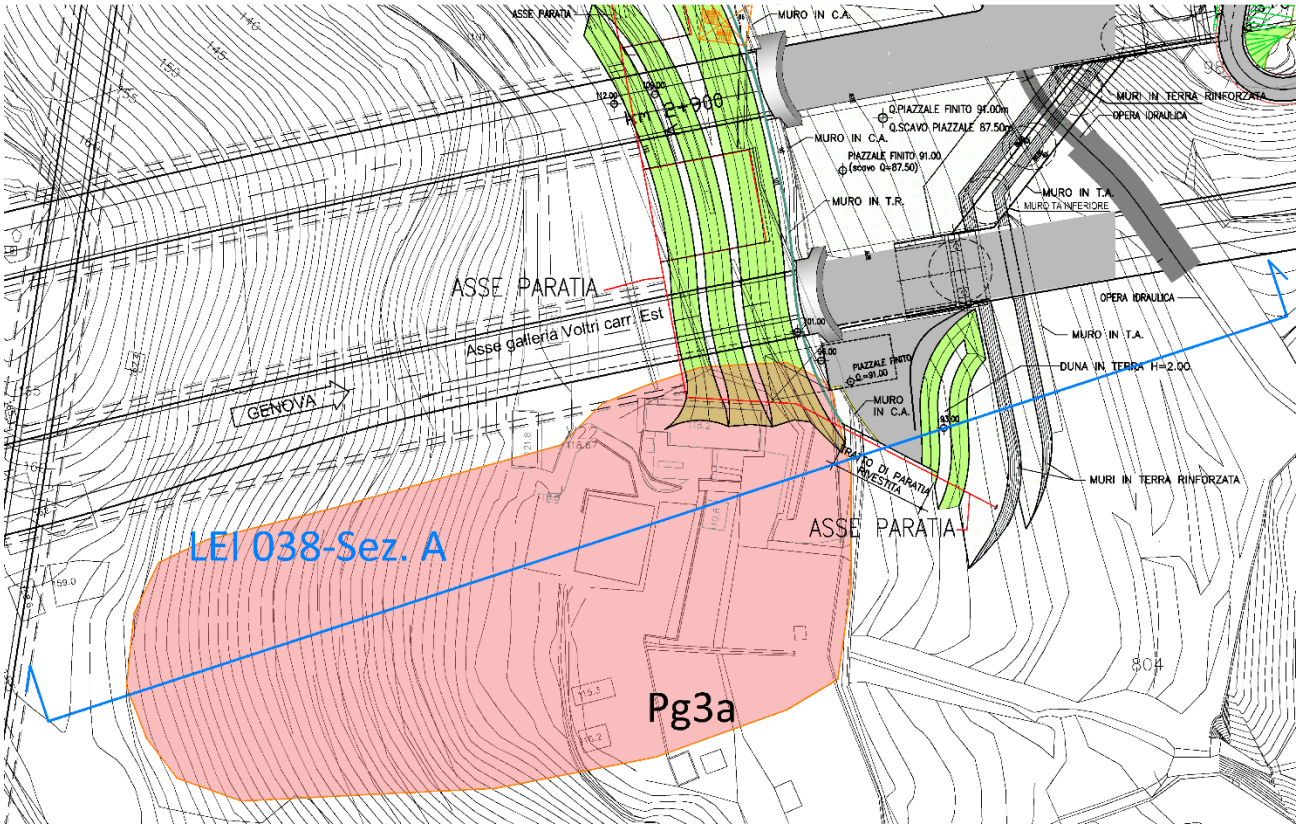


Figura 4-4 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata - Pg3

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

Per la verifica di stabilità globale delle opere previste in progetto (cfr. 4.2) è stata presa in considerazione la sezione utilizzata in fase di back analysis, localizzata nella parte centrale dell'area di frana Pg3a.

Il modello sviluppato comprende la berlinese in micropali, i muri in terra rinforzata ed il muro in terra armata previsti dal progetto definitivo (**Figura 4-5**). I tiranti sono stati rappresentati in sezione per verificare l'eventuale interferenza con le superfici di verifica di stabilità globale. Per il dimensionamento e le verifiche di stabilità locale delle opere si rimanda alla specifica relazione di calcolo.

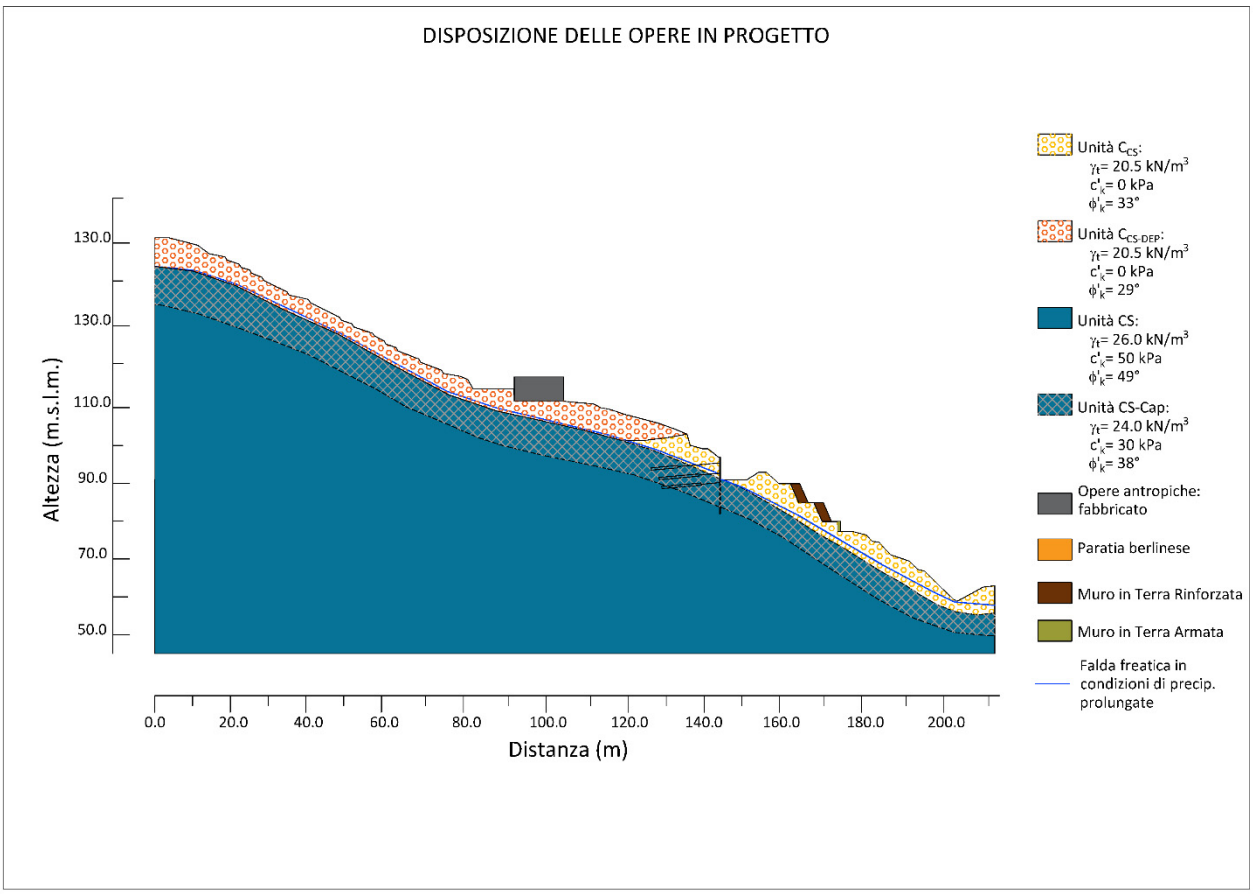


Figura 4-5 – Modello con berlinese, muri in terra rinforzata e muri in terra armata

Per le analisi di stabilità globale è stato adottato il noto approccio all'equilibrio limite, secondo il metodo di Morgenstern e Price (1965), basato su una procedura di risoluzione iterativa che consente di soddisfare sia l'equilibrio alla rotazione che quello alla traslazione orizzontale, tenendo conto sia delle forze normali che delle forze di taglio trasmesse tra i conci in cui il pendio viene discretizzato.

L'analisi è stata eseguita utilizzando il codice di calcolo GEO-SLOPE 2007, in grado di effettuare la ricerca automatica delle superfici di scivolamento caratterizzate dal rapporto minimo fra resistenze e azioni di progetto.

Tutte le verifiche sono state eseguite ai sensi delle vigenti NTC2008.

In accordo con quanto riportato al §6.8.1 delle citate norme tecniche, le verifiche sono state eseguite secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2).

In generale nelle NTC2008 (§6.2.3) è richiesto che sia soddisfatta la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, ovvero:

$$E_d = E\left[\gamma_F \times F_K ; \frac{X_K}{\gamma_M} ; a_d\right]$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \times R\left[\gamma_F \times F_K ; \frac{X_K}{\gamma_M} ; a_d\right]$$

Nelle formulazioni di cui sopra, il valore degli effetti delle azioni (E) e della resistenza (R) dipendono dai seguenti fattori:

- Azioni di progetto ($\gamma_F \times F_K$): dove F_K rappresenta il valore della generica azione caratteristica e γ_F il relativo coefficiente amplificativo (nel caso specifico appartenente al gruppo A2);
- Parametri di progetto (X_K/γ_M): dove X_K rappresenta il generico parametro meccanico caratteristico del terreno/roccia e γ_M il relativo coefficiente riduttivo (nel caso specifico appartenente al gruppo M2);
- Geometria di progetto (a_d).

Inoltre nella formulazione delle resistenze di progetto (R_d), compare il coefficiente riduttivo della resistenza del sistema geotecnico (γ_R, nel caso specifico appartenente al gruppo R2), da applicare alla resistenza (R).

L'analisi di stabilità globale all'equilibrio limite viene eseguita calcolando il coefficiente riduttivo della resistenza del sistema geotecnico ($\gamma_{R_CALC} = R/E_d$) e valutando che quest'ultimo sia maggiore o uguale al il coefficiente parziale minimo imposto dalla normativa (γ_R), funzione della tipologia di sistema geotecnico studiato (nel caso specifico $\gamma_{R2} = 1.1$).

Le analisi sono state eseguite sia in condizioni statiche (SLU) sia in condizioni sismiche (SLV).

L'analisi di stabilità è stata svolta con i parametri di progetto del cappellaccio (CS-cap) e dell'unità del substrato roccioso (CS) ridotti del coefficiente parziale per i parametri geotecnici M2, riportati in **Tabella 4-3**. Per la coltre superficiale sono invece stati impiegati i parametri di resistenza residui ricavati dalla back analysis, ai quali viene dunque applicato un coefficiente unitario come indicato nel documento "Designers' guide to EN1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – General rules" dell'Eurocodice 7.

Unità	Peso di volume (kN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kPa)
Coltre (C_{CS})	20.5	33	0
Coltre (C_{CS-DEP})	20.5	29	0
CS-cap	24	32	24
CS	26	42.6	40

Tabella 4-3 – Parametri geotecnici di progetto

La ricerca delle potenziali superfici di scorrimento è stata effettuata imponendo un'elevata resistenza delle opere inserite nel modello (berlinese, muri in terra rinforzata, muro in terra armata), ec escludendo quindi le superfici di scorrimento che interessano le stesse, le cui condizioni di stabilità locale sono già state trattate nella relativa relazione di calcolo.

La superficie di scivolamento individuata mediante l'analisi attraversa gli strati più profondi di roccia, passando al di sotto della paratia e terminando al piede del versante (**Figura 4-6**).

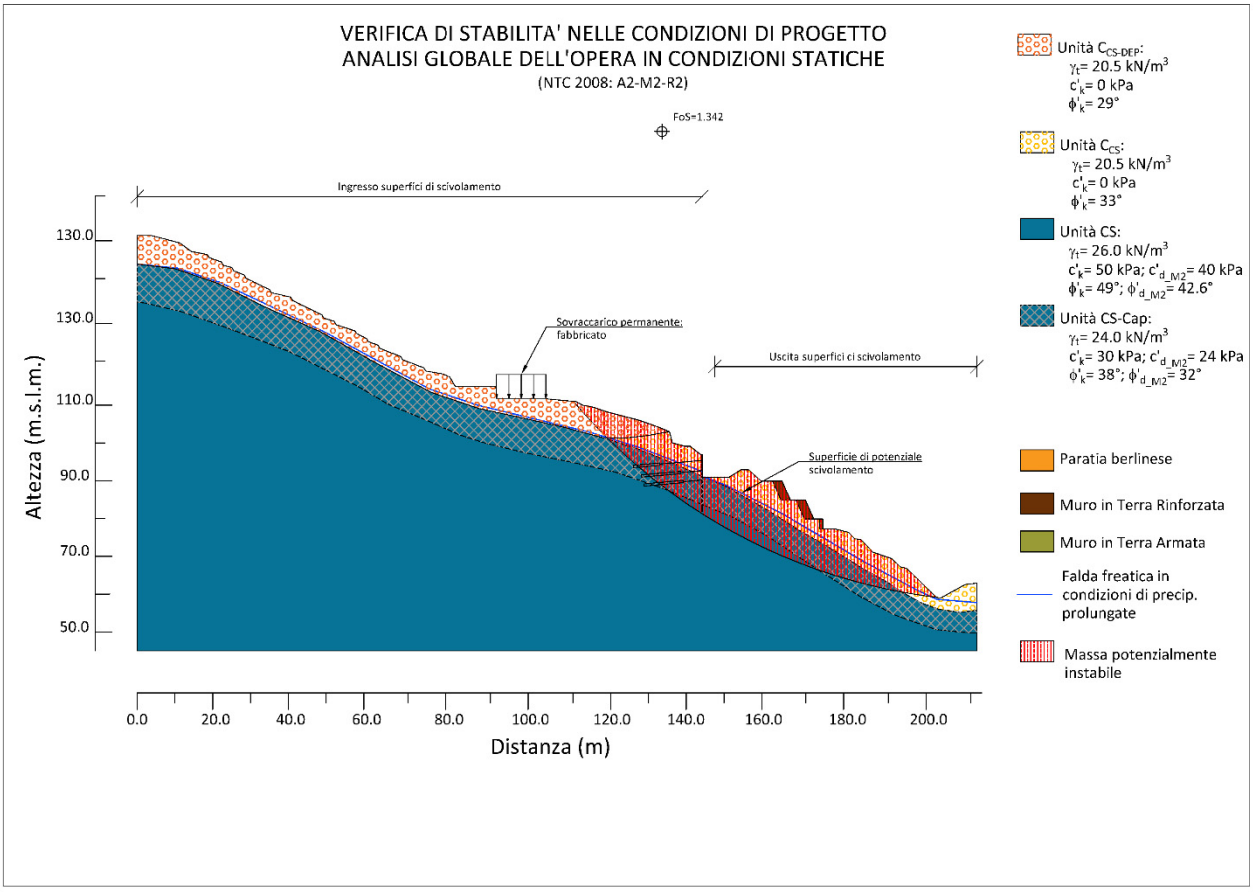


Figura 4-6 – Analisi globale dell'interazione terreno/opere in condizioni statiche – Superfici di scivolamento nella porzione inferiore del versante

La stabilità globale dell'opera è verificata, essendo il fattore di sicurezza maggiore del coefficiente parziale minimo γ_{R2}:

R_d / E_d = 1.342 > 1.1 Condizioni statiche

Al fine di valutare l'influenza delle opere in progetto sulla stabilità del versante a monte delle stesse, rientrante nella perimetrazione definita dal piano di bacino, è stata condotta anche una seconda verifica in campo statico, imponendo il passaggio delle superfici di scorrimento all'interno della porzione superiore del versante. I risultati sono mostrati in **Figura 4-7**.

Come si può osservare, in questo caso si ottiene un fattore di sicurezza FS pari a 0.998, uguale al valore di sicurezza calcolato in fase di back-analysis. Tale risultato mette in evidenza come, in condizioni statiche, la realizzazione delle opere non abbia influenza significativa sulle condizioni di stabilità del versante a monte delle stesse.

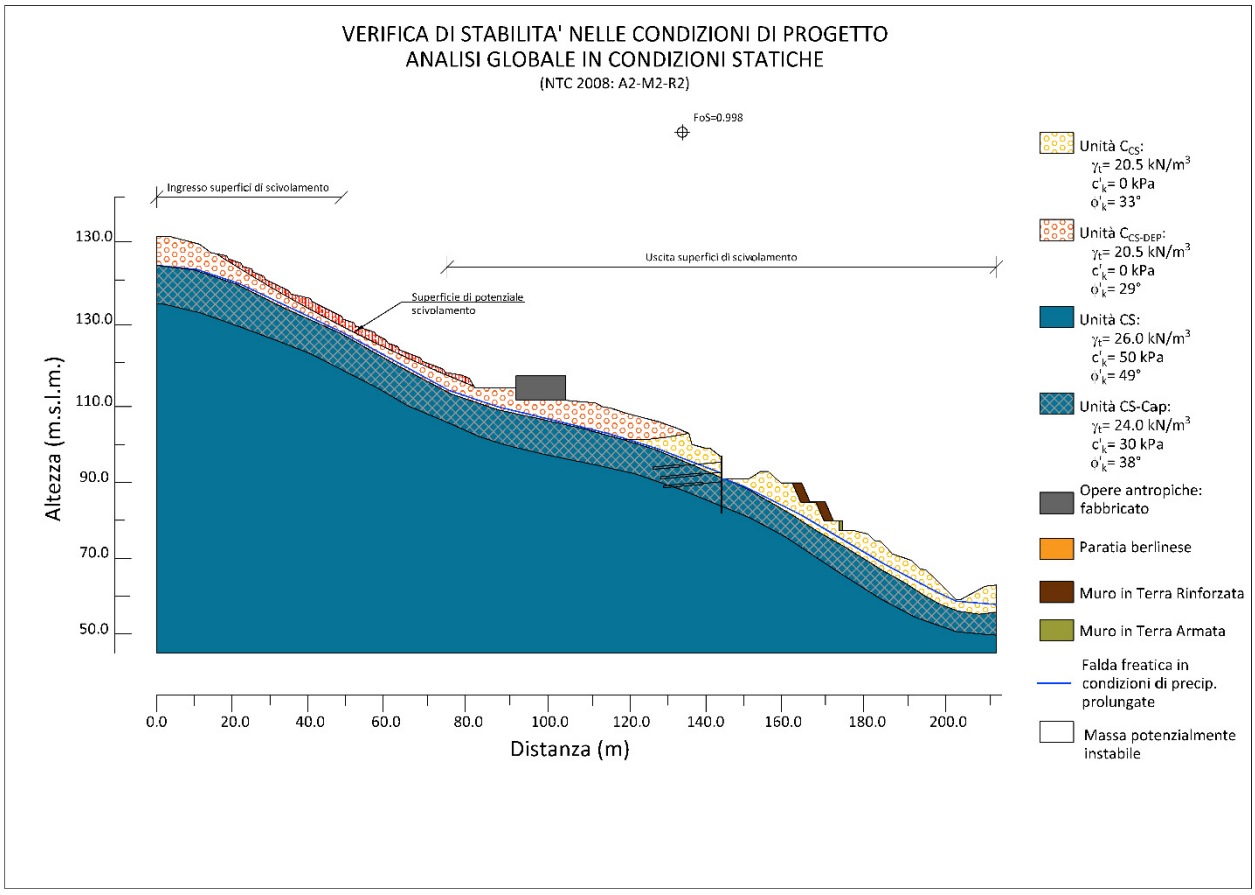


Figura 4-7 – Analisi globale dell'interazione terreno/opere in condizioni statiche – Superfici di scivolamento nella porzione superiore del versante

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte considerando una spinta pseudo statica equivalente, calcolata a partire dai seguenti valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale:

- k_H = 0.0334 g
- k_V = ±0.0167 g

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 delle NTC 2008, i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$k_H = \beta_s \cdot a_{max}$$

$$k_V = \pm k_h / 2$$

essendo:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0.20 (**Tabella 4-4**).

	Categoria di sottosuolo	
	A	**B,C,D,E**
	β_s	β_s
$0.2 < a_g$ (g) < 0.4	0.30	0.28
$0.1 < a_g$ (g) < 0.2	0.27	0.24
a_g (g) < 0.1	0.20	0.20

Tabella 4-4 – Coefficiente βs

La verifica di stabilità globale costituisce una verifica di Salvaguardia della Vita (SLV), pertanto i coefficienti sismici riportati nella tabella seguente sono relativi ad un evento con tempo di ritorno pari a 949 anni.

Per il sito in oggetto risulta:

a_g = 0.087 g

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ = 1.6 · 1.2 · 0.087 = 0.167 g

Si fa presente che nel dimensionamento delle paratie a sostegno degli scavi, coerentemente con quanto richiesto dalla normativa vigente (NTC 2008), è stata verificata la stabilità globale dell'insieme terreno-opera. Per le specifiche analisi si rimanda quindi alle relazioni di calcolo delle singole opere.

Le verifiche sono state condotte applicando la componente di spinta pseudostatica coerente con la direzione di scivolamento, mentre la componente verticale è stata assunta in entrambi i versi, come mostrato in **Figura 4-8** e **Figura 4-9**:

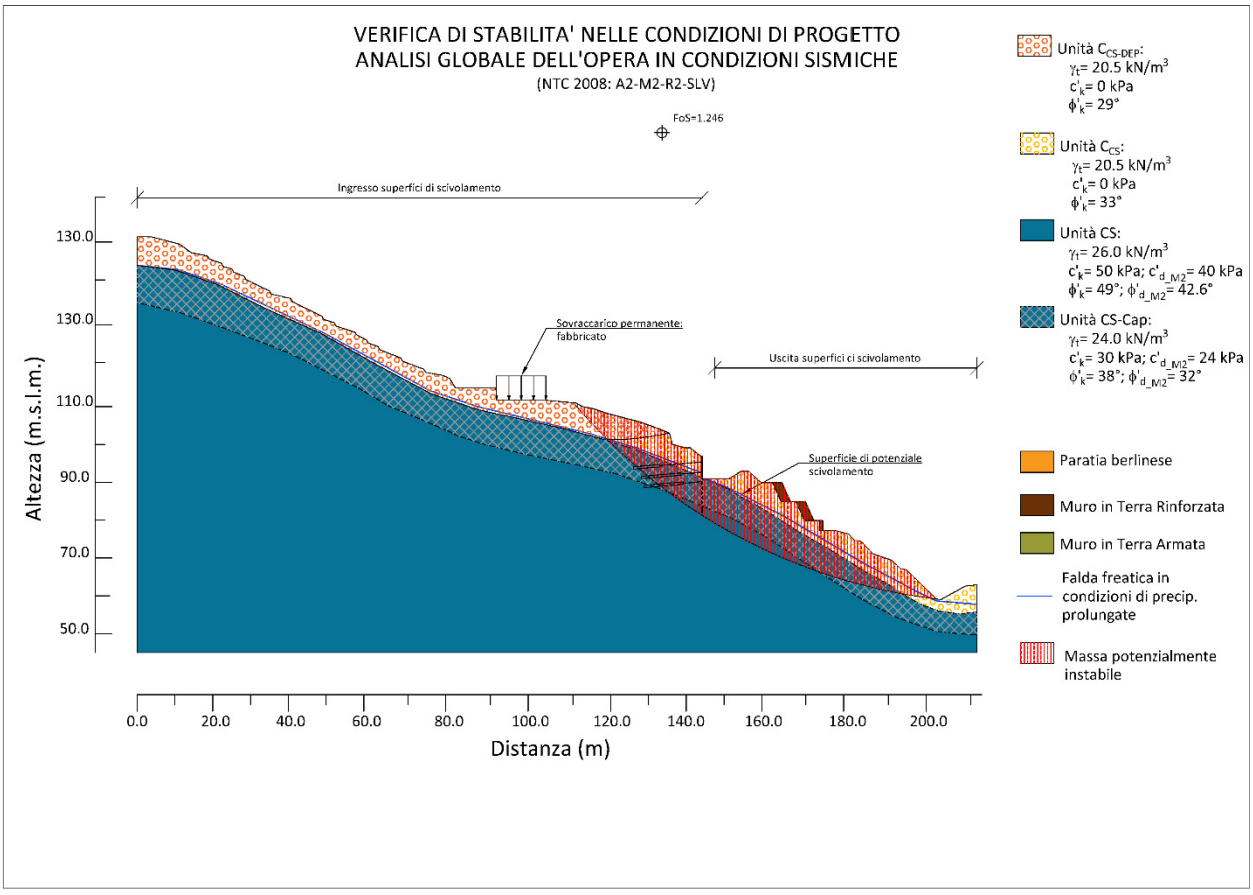


Figura 4-8 – Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni sismiche (k_V con segno positivo) – Superfici di scivolamento nella porzione inferiore del versante

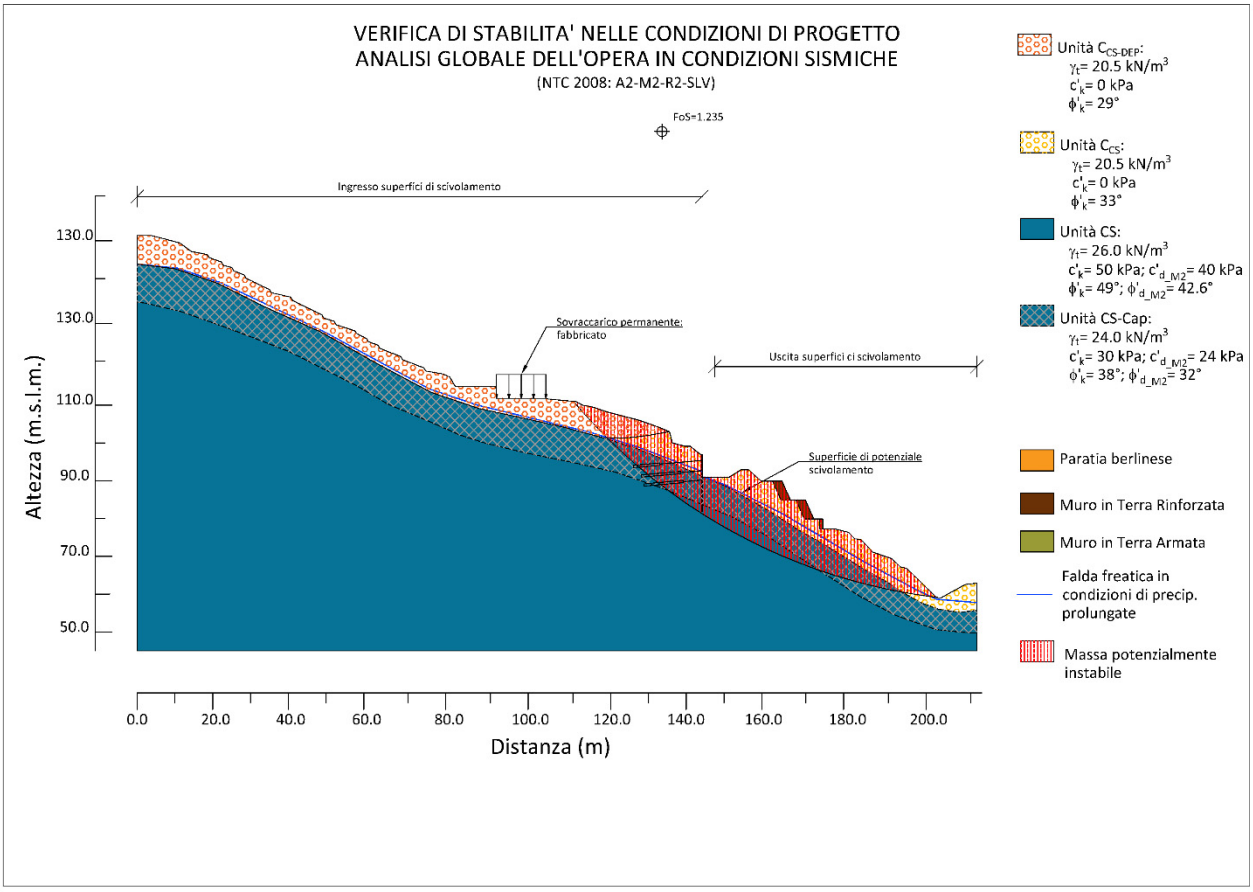


Figura 4-9 – Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni sismiche (k_V con segno negativo) – Superfici di scivolamento nella porzione inferiore del versante

Anche in questo caso le verifiche di stabilità globale dell'opera sono soddisfatte per entrambe le condizioni di carico:

R_d / E_d = 1.246 > 1.1 Condizioni sismiche, k_V positivo

R_d / E_d = 1.235> 1.1 Condizioni sismiche, k_V negativo

Analogamente a quanto fatto per le analisi in condizioni statiche, anche in condizioni sismiche sono state eseguite delle verifiche volte a valutare l'influenza delle opere in progetto sulla stabilità del versante a monte delle stesse, imponendo il passaggio delle linee di scorrimento all'interno di tale porzione del versante.

I risultati sono mostrati in **Figura 4-10** e **Figura 4-11**.

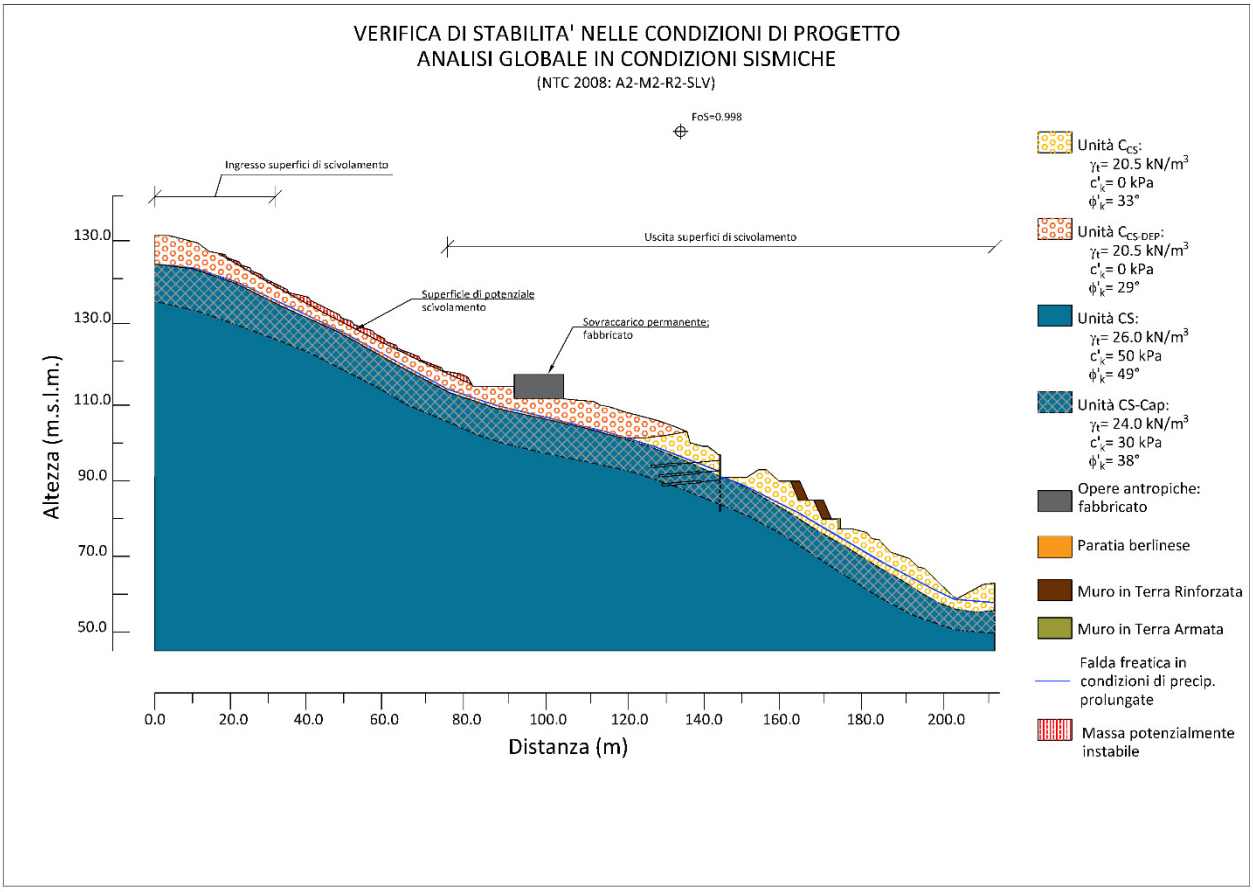


Figura 4-10 – Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni sismiche (k_V con segno positivo) – Superfici di scivolamento nella porzione superiore del versante

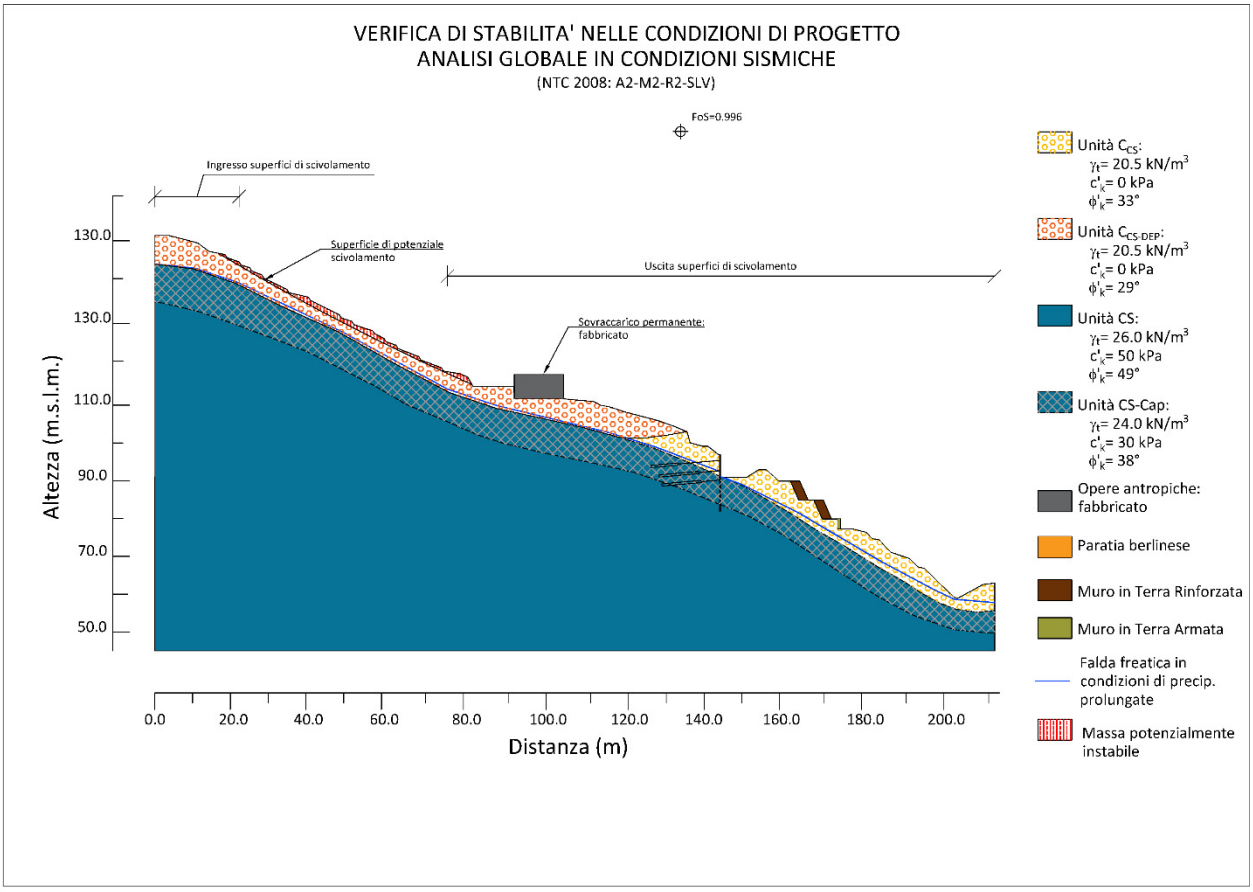


Figura 4-11 – Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni sismiche (k_V con segno negativo) – Superfici di scivolamento nella porzione superiore del versante

Come si può osservare, i fattori di sicurezza risultano minori all'unità. Tale risultato era attendibile, dal momento che in condizioni statiche il pendio risulta in condizioni di equilibrio limite. Si ricorda in ogni caso che le analisi di stabilità sono state condotte utilizzando per la coltre i valori di resistenza al taglio ottenuti tramite back analysis, che rappresentano i valori minimi in condizioni di equilibrio limite. Inoltre, esse sono state condotte solo al fine di valutare l'influenza della realizzazione delle opere di imbocco sulla stabilità del versante. I risultati ottenuti mostrano che i fattori di sicurezza non si discostano significativamente da quelli ottenuti in fase di back-analysis e in condizioni statiche, e per tanto è possibile affermare che, anche in condizioni sismiche, la realizzazione delle opere in progetto non ha influenza sulla stabilità della porzione superiore del versante.

4.4 QUADRO DI SISTESI

Nel seguito vengono riassunti i risultati delle analisi eseguite.

Le analisi ante-operam hanno indagato le condizioni attuali dell'area e possono essere intese come verifiche di stabilità a scala di versante: le analisi mostrano le condizioni critiche con fattori di sicurezza prossimi all'unità (back analysis).

Le verifiche di stabilità globale del terreno sono poi condotte nelle condizioni di post-operam e cioè in seguito ai lavori, analizzando le condizioni più gravose tenendo conto della geometria delle opere e delle fasi realizzative. Le verifiche si riferiscono all'intero versante che a porzioni significative del versante stesso, dove ritenuto rappresentativo.

ANALISI ESEGUITE	**FS min**	
	statico	**sismico**
Analisi **ante-operam** - area a monte	0.998	--
Analisi **post-operam** - area a monte	0.998	--
Analisi **ante-operam** - area a valle	1.008	--
Analisi **post-operam** - area a valle	1.342	1.235

Alla luce dei risultati delle verifiche analitiche svolte, le opere in progetto e gli accorgimenti costruttivi adottati sono tali da garantire il rispetto dei fattori di sicurezza per la zona instabile interessata dai lavori, sia durante le attività di cantiere che nell'assetto definitivo dell'area.

5. IDRAULICA

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE

Il sistema idraulico è finalizzato alla raccolta, allontanamento e recapito nel reticolo idrografico naturale dei contributi idrici intercettati, in generale, all'interno delle aree interessate dalle opere in progetto, in particolare, all'interno delle zone di dissesto. Come noto, infatti, la presenza di acqua è una delle cause dei fenomeni di dissesto.

La sistemazione idraulica è costituita da una rete principale di canalizzazioni, posta lungo le estremità perimetrali delle aree d'intervento, e da una rete secondaria interna che scarica nelle canalizzazioni principali.

La rete principale, caratterizzata normalmente da fossi a sezione trapezoidale, ha la funzione sia di raccogliere e allontanare i contributi provenienti dagli elementi di raccolta secondari, che di intercettare le eventuali acque di ruscellamento esterne.

A causa dell'elevata acclività dei versanti naturali, per limitare l'insorgere di fenomeni erosivi, è stato previsto l'utilizzo di fossi rivestiti in C.A.V. e, nei punti a maggiore pendenza, di opportuni pozzetti di dissipazione al fine di ridurre le velocità delle correnti; infine i punti di recapito nei corpi idrici ricettori esistenti sono stati protetti mediante l'impiego di massi sciolti.

La rete secondaria ha la funzione di raccogliere e allontanare verso i fossi esterni le altezze di pioggia cadute all'interno delle aree d'imbocco. A seconda della specifica sistemazione di versante prevista, sono stati adottati differenti elementi di raccolta delle acque: mezzi tubi in C.A.V., al piede di scarpate in terreno naturale; canalette rettangolari, a tergo dei muri di sostegno e canalette grigliate, in corrispondenza di piazzali carrabili.

In corrispondenza del movimento franoso in esame le acque di ruscellamento di monte vengono intercettate dal fosso rivestito perimetrale e recapitate direttamente all'impluvio esistente.

6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI

Durante le lavorazioni previste, al fine di prevenire fenomeni di erosione e/o di arretramento/espansione delle aree di dissesto, valgono le seguenti raccomandazioni:

- durante i lavori devono essere presi tutti gli accorgimenti aventi lo scopo di raccogliere e regolare la circolazione delle acque superficiali evitando ristagni e situazioni che possano comportare l'evoluzione di fenomeni erosivi; a tergo delle opere provvisorie di sostegno/contenimento delle terre devono essere sempre previsti drenaggi e/o canalette di raccolta al fine di assicurare la raccolta e smaltimento delle acque superficiali;

- i movimenti terra devono essere limitati allo stretto necessario, adottando tutti gli accorgimenti utili al fine di evitare, durante e dopo l'esecuzione, situazioni che possano comportare fenomeni di degrado delle caratteristiche meccaniche di resistenza delle coltri potenzialmente instabili (eventuali interventi di soil nailing); qualora, durante le operazioni di scavo/movimento terra, si evidenziano particolari condizioni di instabilità a breve termine, gli sbancamenti devono essere eseguiti per settori contenuti ed essere seguiti dall'immediata realizzazione delle opere di contenimento/consolidamento;

- eventuali depositi temporanei dei materiali di scavo devono essere eseguiti con pendenze delle scarpate congrue alle caratteristiche di resistenza dei materiali in modo da evitare fenomeni erosivi lungo le scarpate e/o di ristagno delle acque; la posizione di tali depositi deve essere tale da non compromettere la stabilità delle aree interessate; il depositi

- i riporti di terreno, anche provvisori, devono essere eseguiti per strati, previa predisposizione dei piani di posa (scotico, regolarizzazione e/o eventuale gradonatura) assicurando il compattamento dei terreni; devono essere comunque sempre previste opere di regimazione ed allontanamento delle acque e protezione dei fenomeni erosivi delle scarpate.

7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO

A completamento delle attività effettuate, sono state eseguite le seguenti indagini nell'area identificata come dissesto quiescente nei documenti prodotti dagli enti:

- n.3 sondaggi a carotaggio continuo, di cui uno nella porzione centrale dell'area di studio e due nella porzione settentrionale esterna all'area di rilievo, rispettivamente a 40 m circa e 100 m circa dalla zona classificata come Pg3a dai documenti del Piano di Bacino.
- n.4 stendimenti di sismica a rifrazione, di cui uno lungo la massima pendenza del versante e tre perpendicolari al primo, in modo tale da definire in maniera più precisa lo spessore dei depositi superficiali interessati dai dissesti e della zona a maggior fratturazione e alterazione dell'ammasso roccioso ("Cappellaccio").

7.1 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 7-1 – 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 entrambe i satelliti, in geometria ascendente e discendente, unitamente alle 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);
- componente est-ovest (espressa in mm);
- componente verticale (espressa in mm).

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

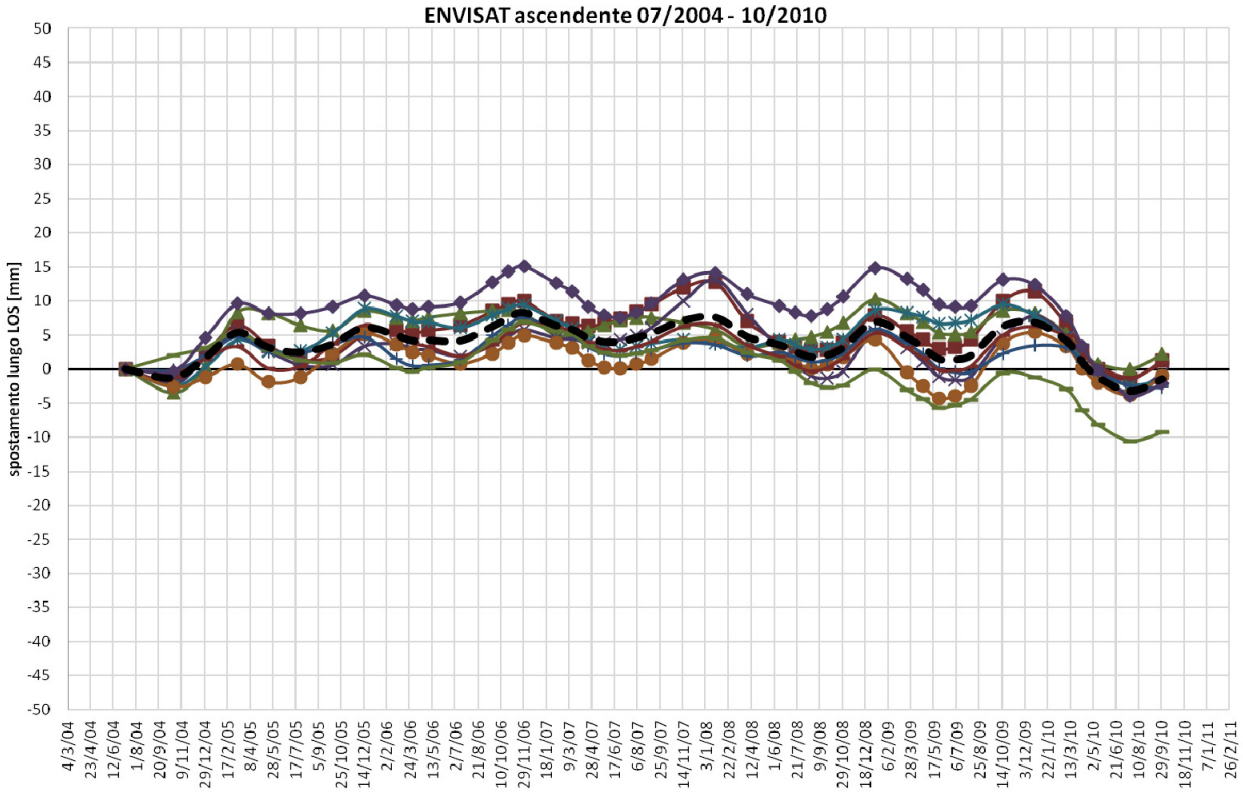


Figura 7-2 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

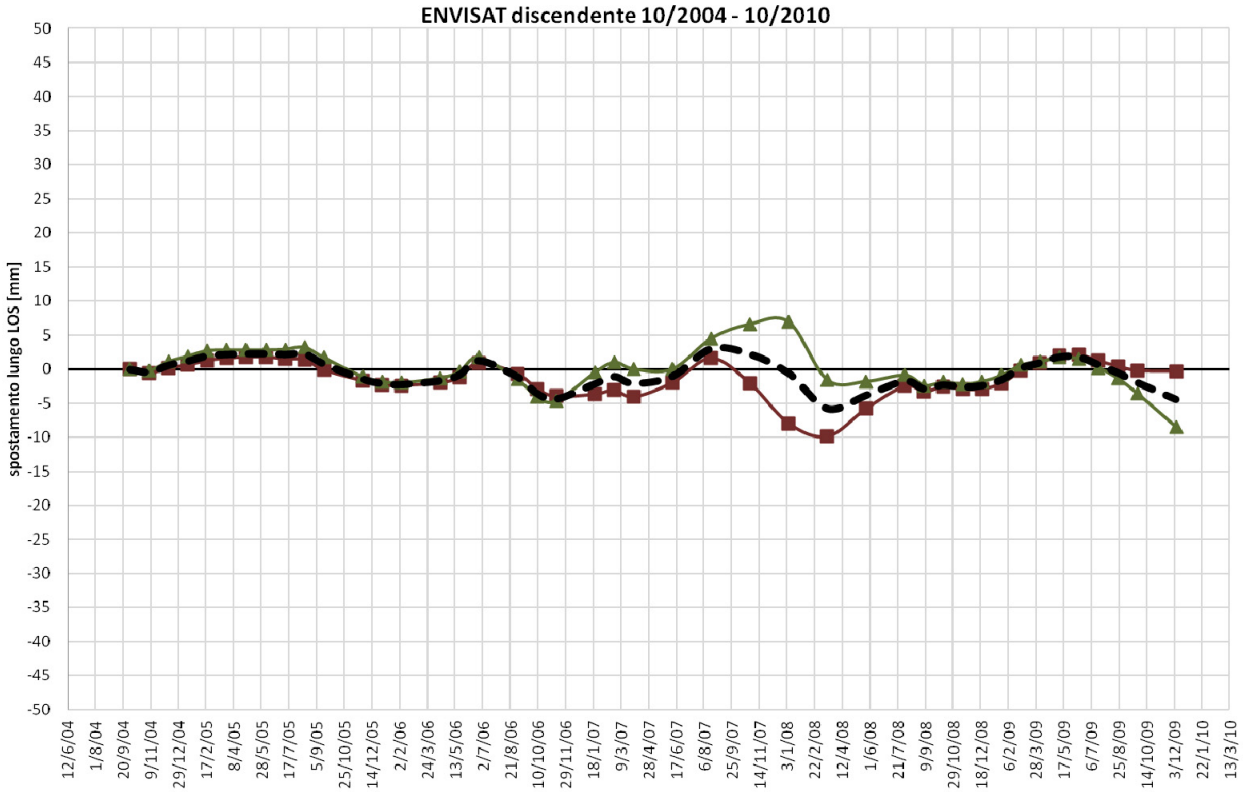


Figura 7-3 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

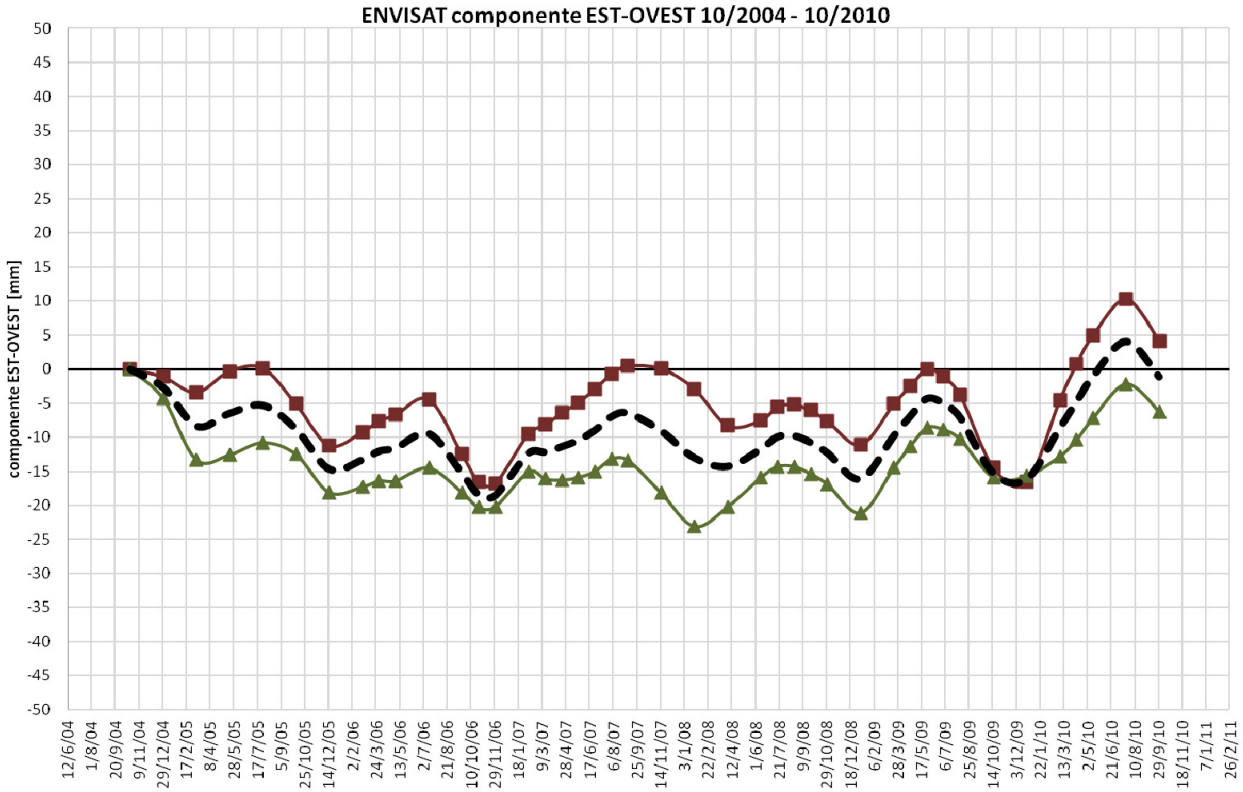


Figura 7-4 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

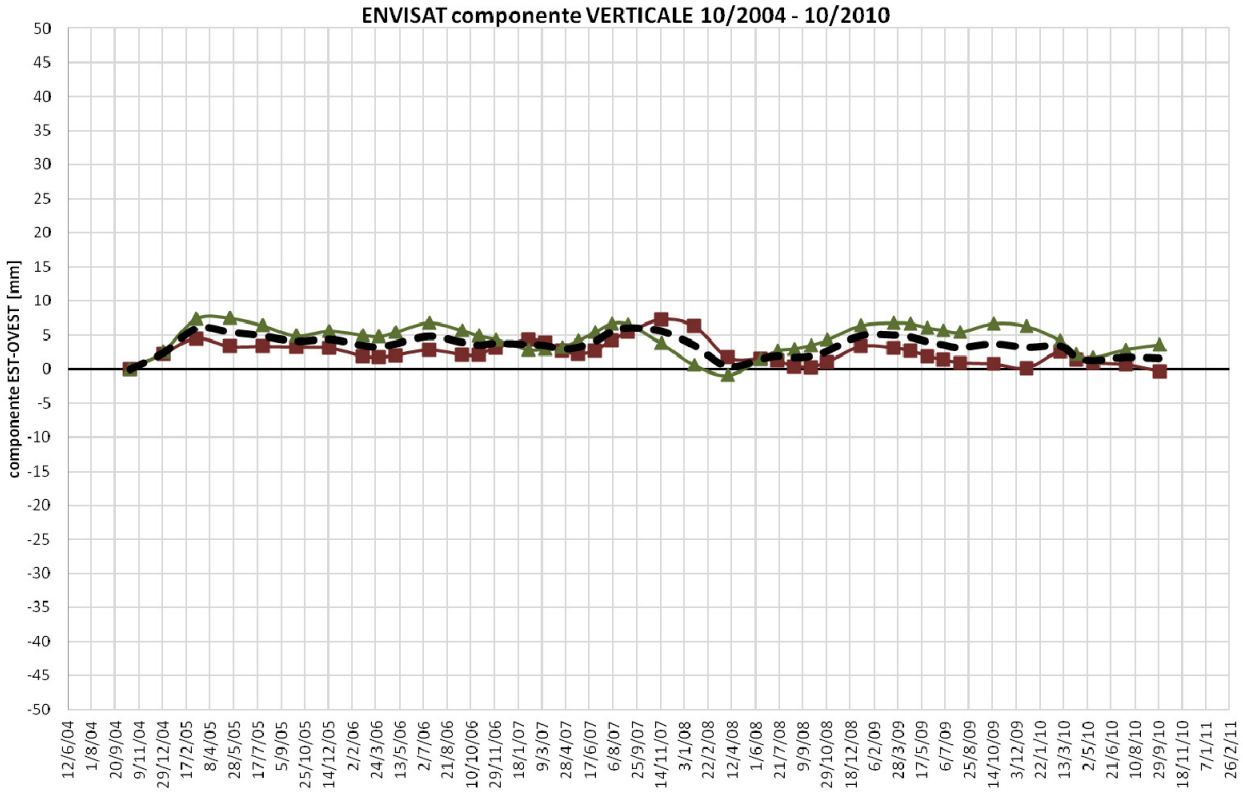


Figura 7-5 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano un abbassamento.

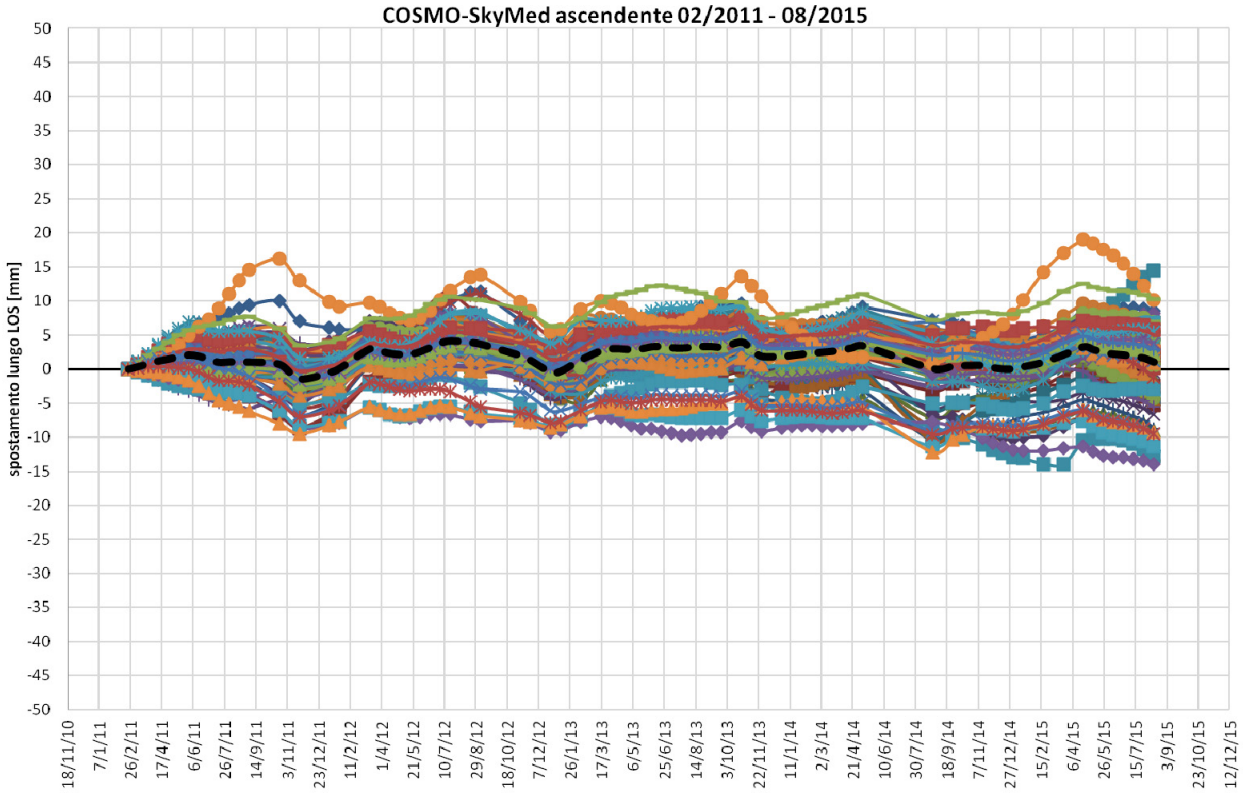


Figura 7-6 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

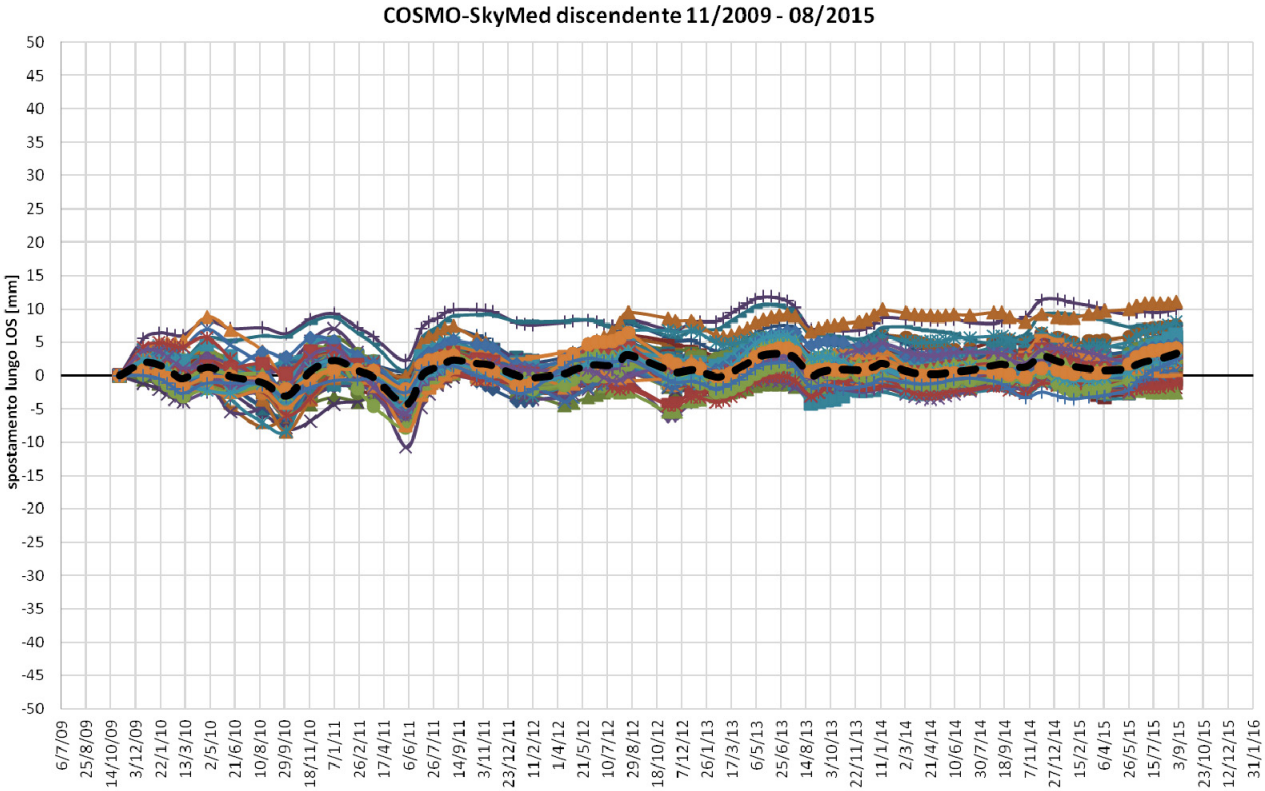


Figura 7-7 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

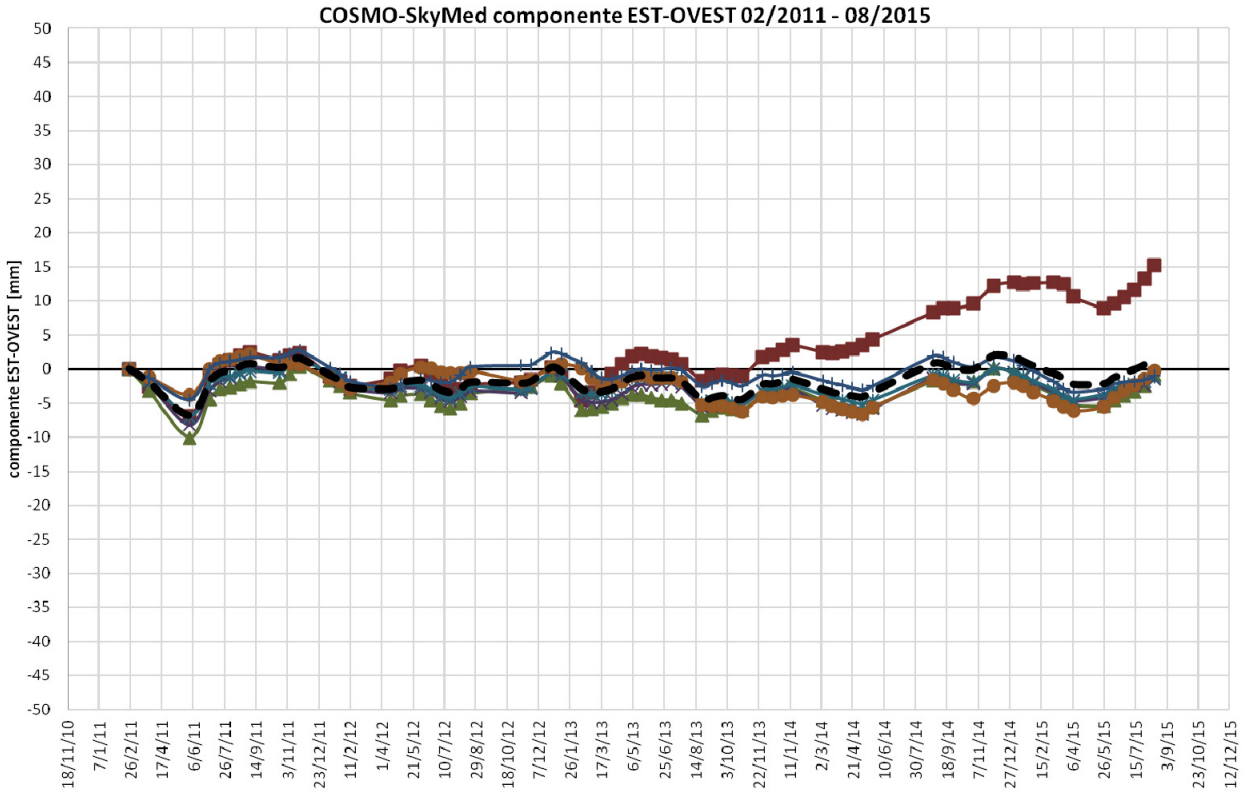


Figura 7-8 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

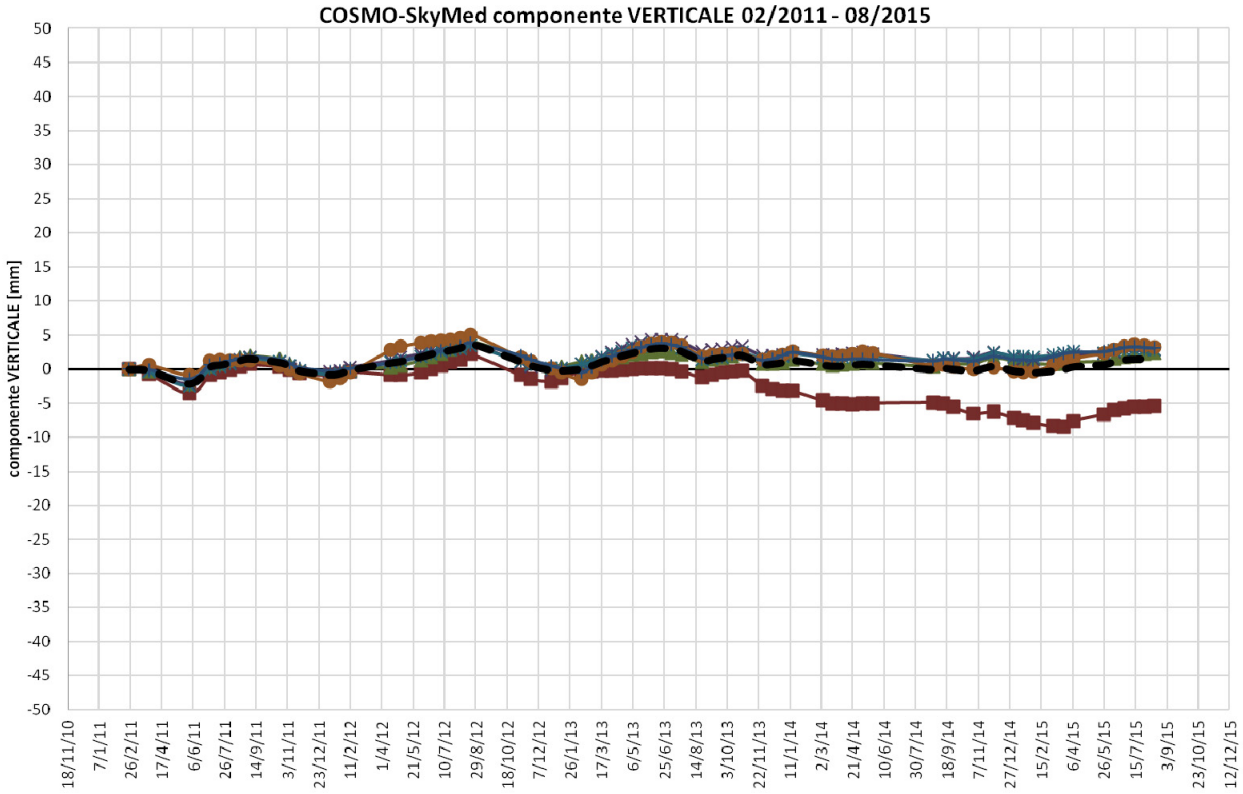


Figura 7-9 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano un abbassamento.

Le figure precedenti mostrano 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 ENVISAT e COSMO-SkyMed ascendenti e discendenti, al fine di capire se sono presenti fenomeni significativi di deformazione del terreno.

L' andamento dei pochi riscontri radar visibili dal satellite ENVISAT in orbita ascendente (n. 9 riscontri) e in orbita discendente (n. 2 riscontri), mostrano un' assenza di movimenti nel periodo 2004 – 2010.

L' analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 104 riscontri) e discendenti (n. 79 riscontri) nel periodo 2009 - 2015 non individuano spostamenti significativi.

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

8. CONCLUSIONI

In corrispondenza dell'imbocco della galleria di Voltri lato Genova, prevista all'interno del piano di realizzazione del nodo stradale e autostradale di Genova A7-A10-A12, è presente un'area di frana catalogata come Pg3a "frana quiescente" dalla cartografia del Piano di Bacino, che interferisce per una piccola parte con le opere in progetto.

Dai rilievi geomorfologici effettuati è emerso che l'area è interessata da piccoli dissesti limitati alla porzione più superficiale delle coltri detritiche presenti sul versante, ubicati perlopiù in corrispondenza dei fronti dei terrazzamenti presenti nell'area; localmente è stata rilevata la presenza di un'area soggetta a erosione superficiale diffusa, legata a processi di reptazione e soliflusso.

La presenza di un'area di suscettività al dissesto in corrispondenza delle opere di progetto ha portato alla necessità di valutare l'influenza della realizzazione delle stesse sulla stabilità dell'area di frana.

Le verifiche effettuate e descritte al §4 confermano che le opere in progetto non avranno influenza negativa sulle condizioni di stabilità della porzione superiore del versante che rientra nella perimetrazione del Piano di Bacino.

Per quanto riguarda la porzione inferiore del versante, a valle delle opere di sostegno in progetto per l'imbocco della galleria Voltri lato Genova, il pendio potrà essere considerato stabilizzato sulla base delle seguenti motivazioni:

- gli accorgimenti costruttivi adottati (paratie berlinesi, muri in terra rinforzata, muri in terra armata) e le fasi realizzative sono tali da garantire, nei confronti della stabilità del versante, il rispetto dei fattori di sicurezza sia durante le attività di cantiere che nell'assetto definitivo;

- per l'area di imbocco adiacente, la realizzazione di paratie di micropali multitirantate permette di prevenire i fenomeni di arretramento e/o espansione delle aree di dissesto contenendo le deformazioni indotte, ed evitando il degrado delle caratteristiche meccaniche di resistenza delle coltri potenzialmente instabili verso valori residui;

- le verifiche di stabilità globale delle opere sono state condotte considerando un modello geotecnico cautelativo con riferimento ai parametri di resistenza al taglio residui per le coltri superficiali potenzialmente instabili, agli spessori della coltre, al livello di falda, ecc.;

- le condizioni di stabilità del versante a lavori ultimati risulteranno migliorative rispetto alle condizioni attuali;

È stato previsto un piano di monitoraggio geotecnico, al fine di acquisire in corso d'opera 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. La

stabilità del versante a monte delle opere in progetto potrà essere valutata in maniera più approfondita alla luce dei risultati di tali indagini.

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, non avendo influenza negativa sulle condizioni di stabilità del versante interferito, 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 ed il parere della Provincia.

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 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