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 CER001

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	0	–	2	SCALA: –

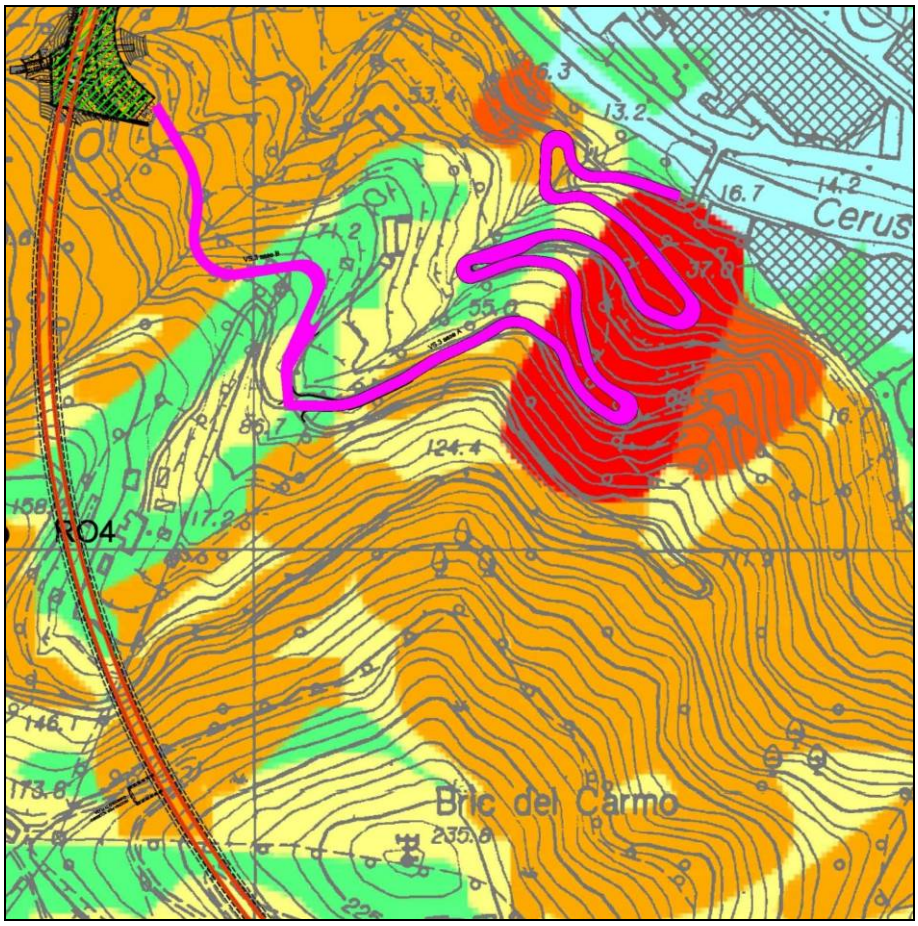
	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE	
spea ENGINEERING gruppo Atlantia	Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A				n.	data
					0	Novembre 2015
					1	Aprile 2016
					2	Ottobre 2016
	REDATTO:		VERIFICATO:		3	
					4	

	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 CER001 (PG4)

OPERA INTERFERENTE: VIABILITÀ DI SERVIZIO VS.03



INDICE

1. PREMESSA 4

2. METODOLOGIA DI LAVORO 8

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 11

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI 11

3.2 CARTOGRAFIA 11

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO 11

3.3.1 Aree Interferenti 11

3.3.2 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg4 11

3.3.3 Interventi previsti dal Piano di Bacino 13

3.4 DISSESTI SEGNALATI DALL'INVENTARIO FENOMENI FRANOSI D'ITALIA 13

3.5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 15

3.6 INDAGINI ESEGUITE 16

3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 17

3.8 CAUSE DEL DISSESTO 27

3.9 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 27

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 28

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 28

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 32

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 33

4.4 QUADRO DI SISTESI 43

5. IDRAULICA 44

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE 44

6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI 45

7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 46

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 46

8. CONCLUSIONI.....56

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* - Stratigrafia sondaggi e geofisica
- *Allegato n.8* - Prove di laboratorio
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità

Annessi alla Scheda:

- *Elaborato GEN0121: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana CER001 (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*
- *APE2118: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M060-Muro di controripa – Piante, prospetti e sezioni*
- *APE2119: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M061-Muro di sottoscarpa – Piante, prospetti e sezioni*
- *APE2120: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M062-Muro di controripa – Piante, sezioni e prospetti*
- *APE2121: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M063-Muro di controripa – Piante, sezioni e prospetti*
- *APE2122: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M064-Muro di controripa – Piante, sezioni e prospetti*
- *APE2123: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M065-Muro di controripa – Piante, sezioni e prospetti*
- *APE2124: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse B – M066-Muro di controripa – Piante, sezioni e prospetti*
- *APE2125: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse B – M067-Muro di controripa – Piante, sezioni e prospetti*
- *APE2126: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse B – M068-Muro di controripa – Piante, sezioni e prospetti*
- *APE2127: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A –Opere di sostegno-Relazione di calcolo*
- *IDR1207: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri-Viabilità di accesso Cantiere piazzale gallerie Borgonuovo-Bric del Carmo – Sistema di drenaggio piattaforma – Planimetria idraulica*
- *IDR1208: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri-Viabilità di accesso Cantiere piazzale gallerie Borgonuovo-Bric del Carmo – TB33-34-Tombini idraulici – Sistemazione idraulica definitiva – Planimetria e profili*
- *IDR1209: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri-Viabilità di accesso Cantiere piazzale gallerie Borgonuovo-Bric del Carmo – TB35-36-Tombini idraulici – Sistemazione idraulica in fase di cantiere – Planimetria e profili*
- *STD1011: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Planimetria di insieme VS03 - VS04 - VS05 - VS06*
- *STD1012: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Planimetria progetto, stato di fatto, tracciamento e sezioni tipo Assi A e B - tav 1/2*
- *STD1013: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Planimetria progetto, stato di fatto, tracciamento e sezioni tipo Asse C - tav 2/2*
- *STD1014: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Profilo longitudinale Assi A e B - tav 1/2*

- *STD1015: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Profilo longitudinale Asse C - tav 2/2*
- *STD1016: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Sezioni trasversali*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata CER 001, che risulta interferente con la strada di servizio VS.03.

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.

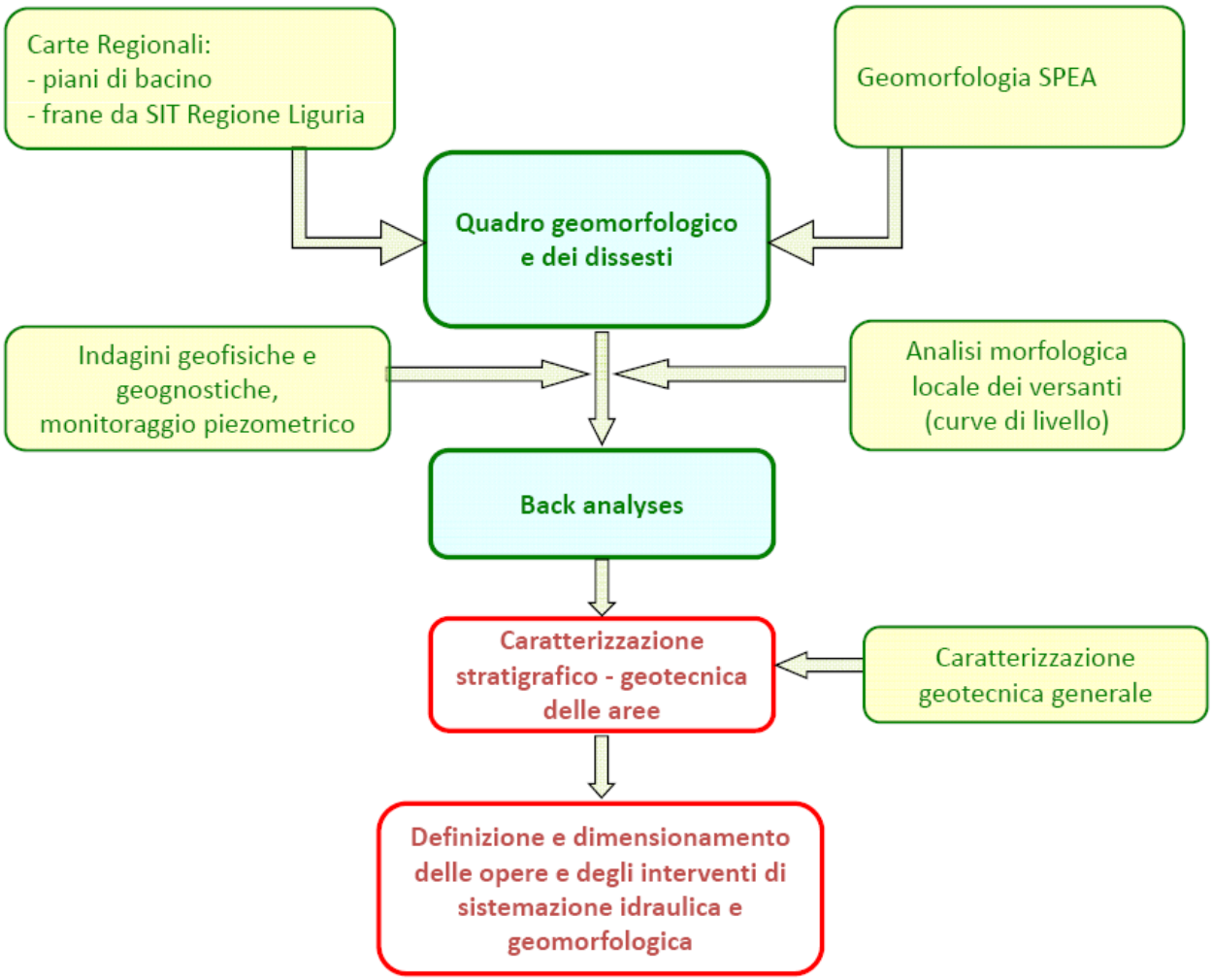


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

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): CER 001

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 l'interferenza tra il dissesto **Pg4** e la strada di sevizio VS.03 che permette di accedere alla zona di cantiere dell'imbocco nord della galleria Bric del Carmo tramite l'adeguamento e la riqualificazione della viabilità esistente.

3.3.2 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg4

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

a) Tipologia di frana:

	Superficiale (SS)
	Colamento (DF)
X	Scorrimento o scivolamento (SC)
	Scorrimento o scivolamento rotazionale (SCr)
	Scorrimento o scivolamento planare (SCp)
	Crollo o ribaltamento(CL)
	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

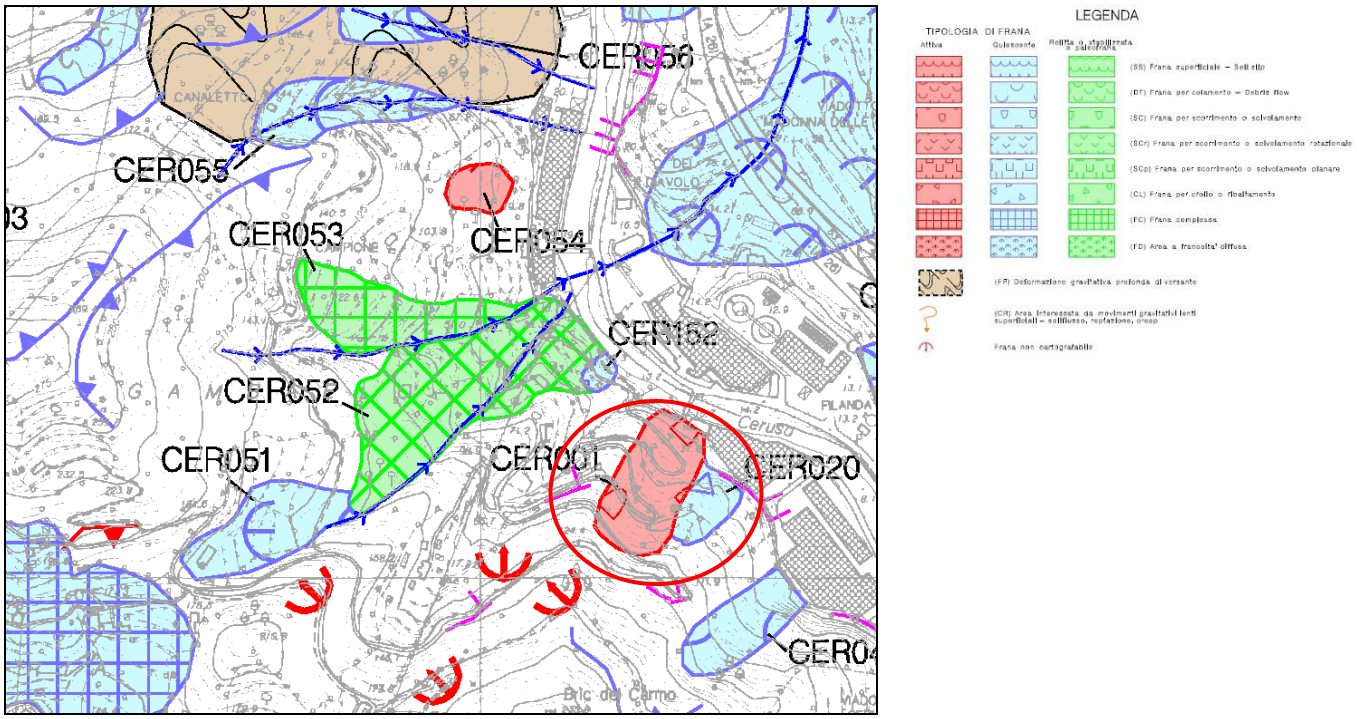


Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

3.3.3 Interventi previsti dal Piano di Bacino

Il Piano degli interventi di mitigazione del rischio del Piano di Bacino prevede lungo lo sviluppo della strada esistente un intervento codificato come A4-GM8 che comprende la protezione dei tagli stradali e la sistemazione di un piccolo dissesto per scivolamento di piccole dimensioni che interagisce con la strada in corrispondenza dell'inizio della salita.
In **Figura 3-2** è riportata l'area interessata dagli interventi previsti dal Piano di Bacino, necessari a ridurre la criticità di eventuali piccoli dissesti che possono innescarsi in corrispondenza del taglio stradale.

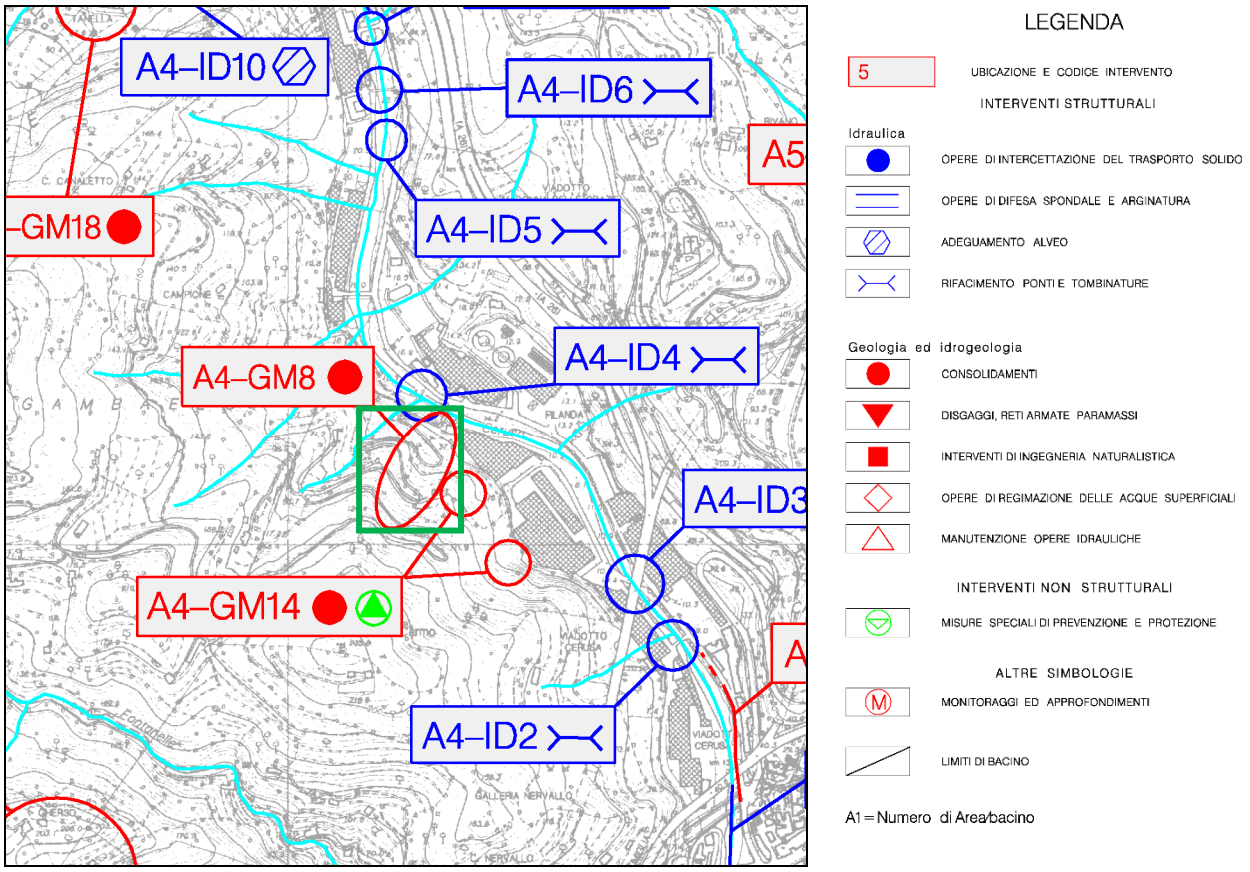


Figura 3-2 – Stralcio della carta degli interventi da Piano di Bacino (in verde è evidenziata l'area di interesse)

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 (**Figura 3-3**) identifica sul versante un dissesto attivo coincidente con CER 001 (seppur con una delimitazione leggermente differente rispetto alla

perimetrazione riportata nella cartografia del Piano di Bacino) avente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100217000
- Tipo di movimento: Scivolamento rotazionale/traslativo
- Attività: Attivo/riattivato/sospeso
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Vengono inoltre segnalate altre due aree lungo il medesimo versante caratterizzate dalla presenza di due movimenti complessi stabilizzati (2 e 3 nella figura seguente).

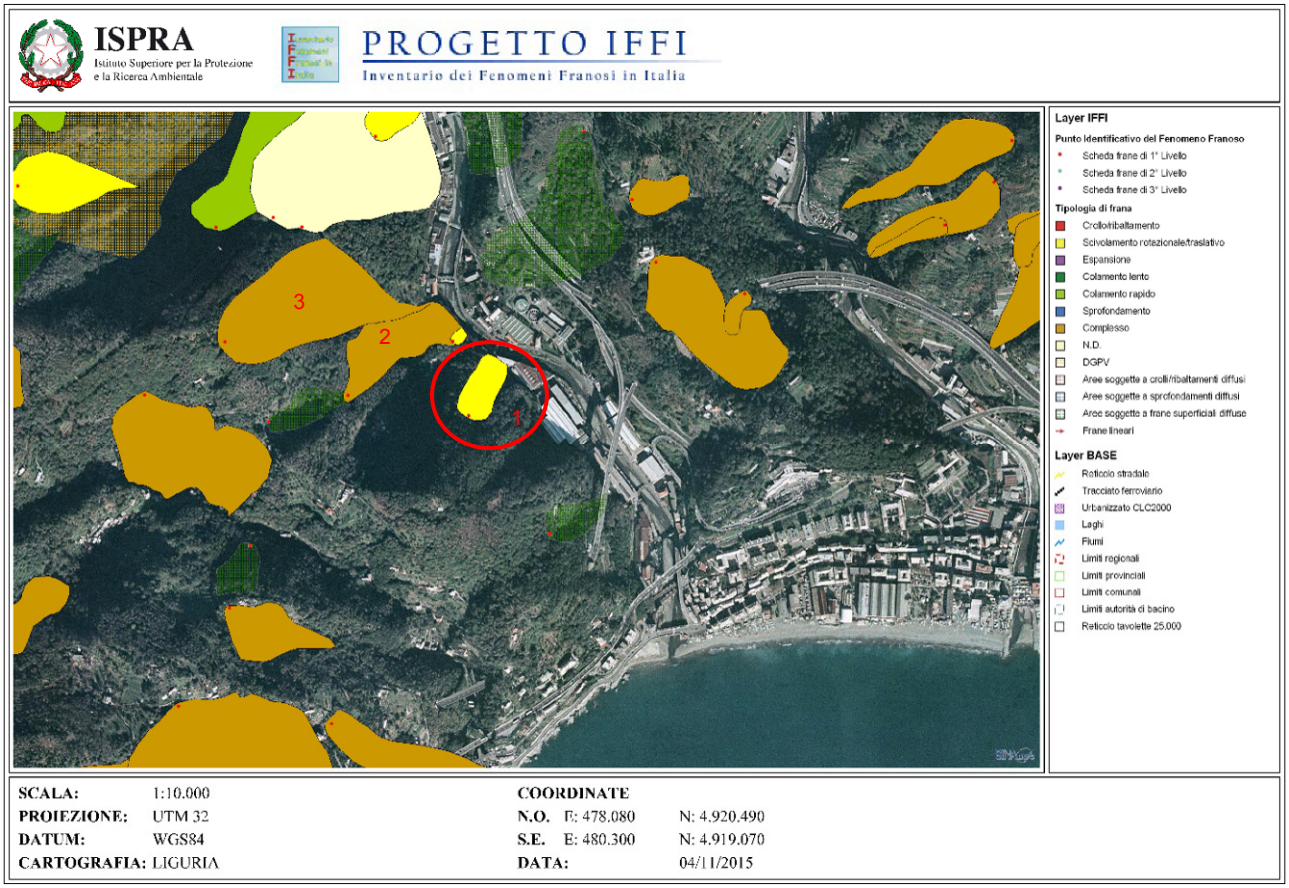


Figura 3-3 — Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg4 si imposta 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 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.

Lungo il piccolo torrente, al di sotto del ponte Bailey, il recente dissesto a portato alla luce alcuni affioramenti ascrivibili ai metagabbri e agli scisti a clorite SAC.

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 e sono rappresentati essenzialmente da depositi di versante, depositi eluvio/colluviali e, alla base del versante, da depositi alluvionali lungo il corso del Torrente Cerusa.

Da un punto di vista geomorfologico, l'area di interesse si sviluppa lungo il versante idrografico destro del Torrente Cerusa. Il versante si presenta con acclività piuttosto elevata, terrazzato e con vegetazione ad alto fusto ed arbustiva (Allegato 3).

3.6 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in esame (**Figura 3-4**) è stato realizzato per il Progetto Definitivo 2011 un sondaggio a carotaggio (RO4) sul versante in prossimità dell'asse della Galleria Bric del Carmo. Tale perforazione non interessa direttamente l'area identificata come Pg4 ma è comunque utile per definire gli spessori di coltre e substrato alterato caratteristici del versante in esame.

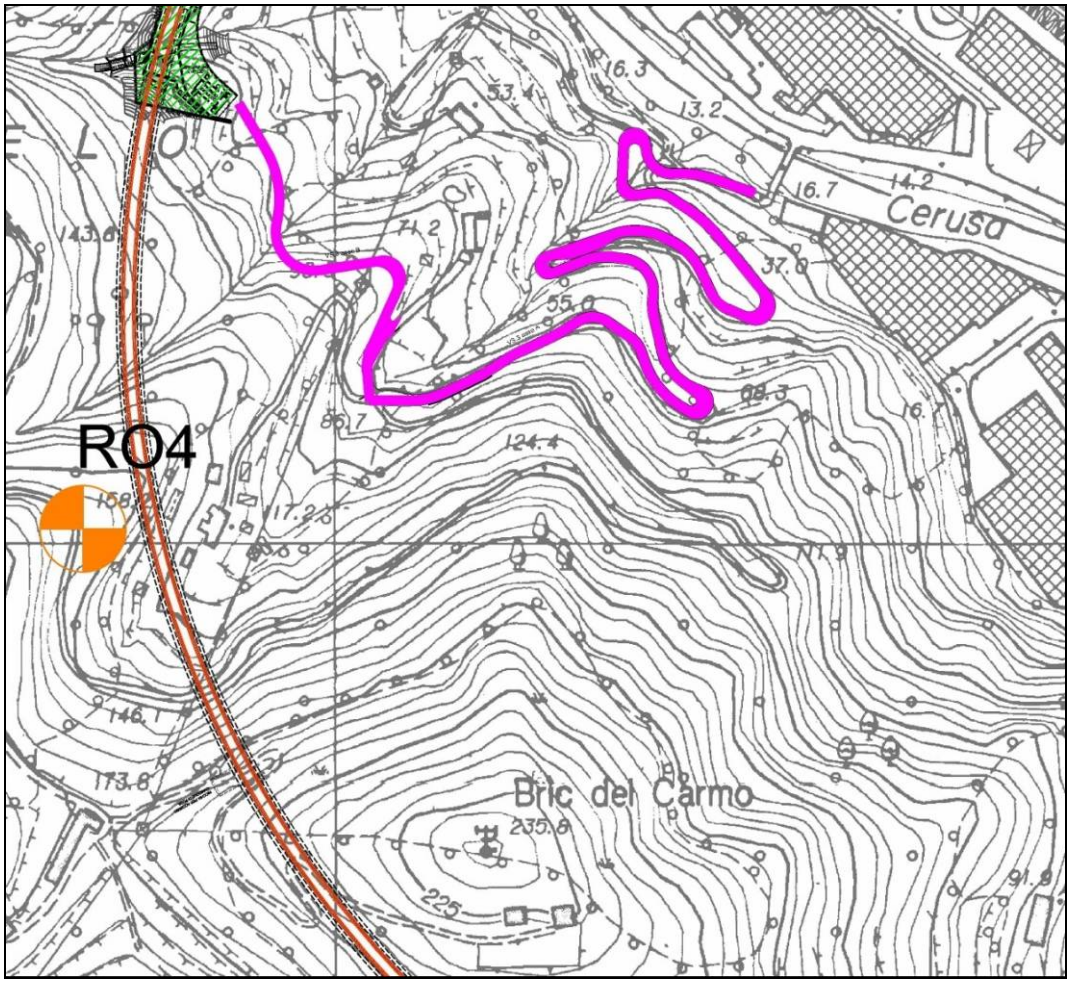


Figura 3-4 - Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini

Dalla stratigrafia del sondaggio RO4, il substrato alterato è stato rinvenuto a circa 4 m dal p.c., al di sotto della fondazione in cls della strada e dei relativi materiali di riporto; la fascia ad intensa alterazione del substrato (rappresentati nel primo tratto da micascisti e successivamente da calcescisti prevalenti) arriva fino a circa 9-10 m. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 13/07/11 - risultava essere -45.51 m da p.c..

Nell'ambito della campagna di indagini integrativa effettuata nel 2015-2016 sono state realizzate tre stese di geofisica a rifrazione (36, L7a ed L7b) in corrispondenza della Pg4, finalizzate a verificare gli spessori della coltre e della porzione più alterata di substrato.

Per i certificati delle indagini eseguite, sia di sito che di laboratorio, si rimanda agli allegati 6 e 7 del presente documento.

3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 03/11/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante dal Torrente Cerusa, procedendo dal fondovalle fino alla porzione sommitale della strada esistente interferente con il dissesto e nell'intorno significativo esterno all'area perimetrata nella cartografia del Piano di Bacino, 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. Attraverso questi rilievi è stato possibile verificare anche l'effettivo stato di attività del processo segnalato nella cartografia del Piano di Bacino.

Il rilievo è stato restituito su apposita cartografia tematica in scala 1:1000 (Allegato 4).

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 accentuata e da fitta vegetazione sia ad alto fusto sia arbustiva. Osservando l'areale di studio (**Foto 1**), non è possibile individuare l'area in frana perimetrata sulla cartografia del Piano di Bacino, che non risulta evidenziata né da cambio di vegetazione né da variazioni di pendenza.

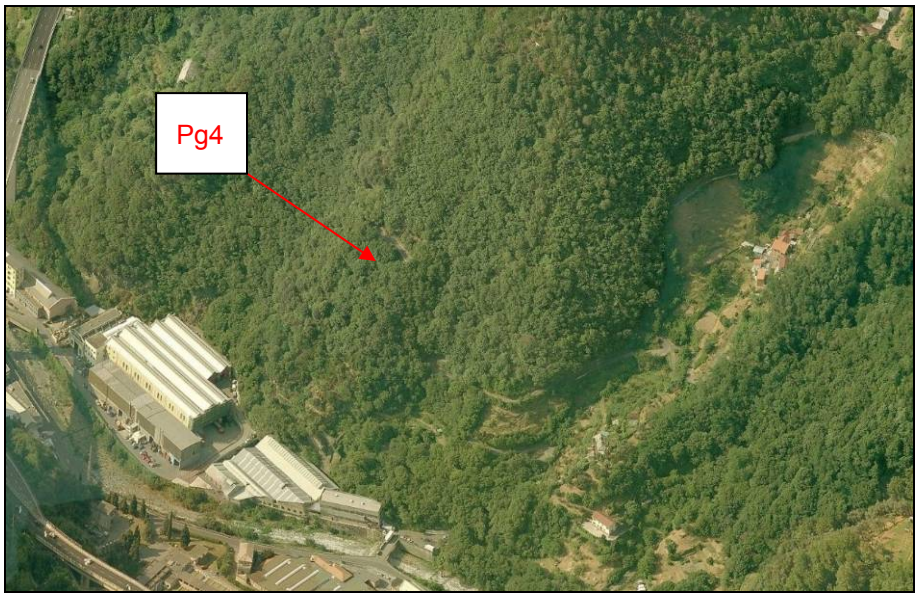


Foto 1 - Panoramica dell'area.

- Dalla morfologia rappresentata nella cartografia in scala 1:1000 (**Figura 3-4**) si osserva una morfologia concava nella porzione centrale del versante, caratterizzata

da una porzione sommitale più acclive della zona inferiore; ciò fa supporre la presenza di un relitto di frana del quale tuttavia non si alcun percepiscono con chiarezza i limiti del deposito. Inoltre, gli edifici industriali situati alla base del versante non presentano lesioni strutturali riferibili a movimenti franosi.

L'insieme delle osservazioni lascia spazio all'ipotesi che si tratti di un movimento riferibile a un periodo temporale antecedente alla costruzione degli edifici.

- Risalendo lungo la strada si osservano fronti in calcescisti, affioranti o subaffioranti, localmente interessati da piccoli dissesti non cartografabili alla scala del rilievo (di entità inferiore ai 3-4 m^2) che hanno interessato la sottile coltre detritica superficiale (spessore massimo inferiore a 1.0 m) e talvolta la porzione sommitale, più fratturata e alterata, degli ammassi rocciosi presenti (**Foto 2** e **Foto 3**). Si tratta di modesti scoscendimenti.

- Sul versante si osservano altre piccole frane di scivolamento che hanno interessato la coltre superficiale per uno spessore massimo inferiore a 1 m (**Foto 4**), la cui morfologia risulta talvolta parzialmente obliterata dalla vegetazione arbustiva e arborea molto abbondante (**Foto 5**, **Foto 6** e **Foto 7**). Tali fenomeni sono per lo più connessi con il taglio stradale.



Foto 2 – Piccolo dissesto lungo la sede stradale.



Foto 3 – Piccolo dissesto lungo la sede stradale – Particolare del modesto spessore di copertura detritica superficiale.



Foto 4 – Nicchia di frana in destra orografica.



Foto 5 - Piccolo dissesto sul versante con morfologia parzialmente obliterata dalla vegetazione



Foto 6 - Dissesto sul versante con morfologia parzialmente obliterata dalla vegetazione

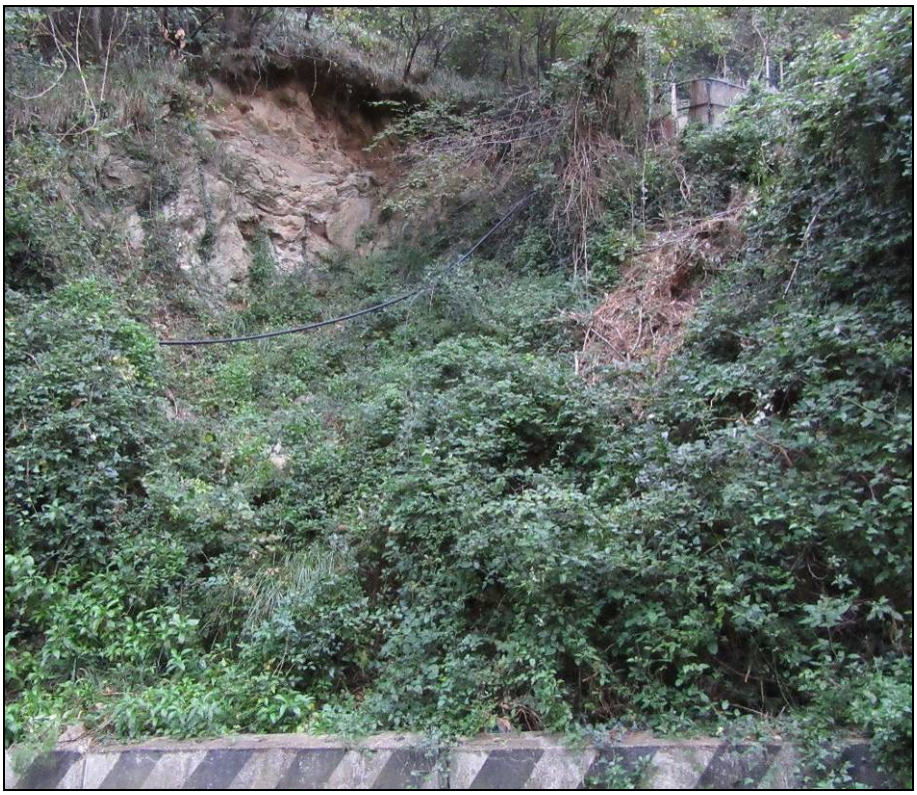


Foto 7 - Dissesto sul versante con morfologia parzialmente obliterata dalla vegetazione

- La porzione meridionale dell'area di frana è interessata da terrazzamenti agricoli (fra q.45 m s.m. e q.55 m s.m.) e da scarpate di origine antropica (fra q.60 m s.m. e q.105 m s.m.) legate ad attività agricole ora abbandonate (**Foto 8**); in queste aree la vegetazione arborea talvolta mostra uncinature, indice di movimenti lenti e superficiali (le zone caratterizzate da vegetazione arborea inclinata sono arealmente limitate).

- In alcuni punti del versante, ivi inclusa la sommità dell'area indicata nella cartografia del Piano di Bacino come soggetta a dissesto, si rileva anche la presenza di muretti a secco di sostegno dei terrazzamenti, privi di manutenzione e abbandonati. (**Foto 9**).



Foto 8 – Scarpate antropiche e alberi uncinati sul versante.



Foto 9 – Muretto a secco antropici legato a fasce agricole abbandonate.

- Lungo il versante sono inoltre stati osservati solchi di erosione concentrata ubicati a valle delle opere di smaltimento delle acque di piattaforma stradale (**Foto 10**).



Foto 10 – Solco di erosione concentrata.

- Nella zona settentrionale del versante, al di fuori dell'area indicata nella cartografia del Piano di Bacino come soggetta a dissesto, nel novembre 2014 si è verificata una frana che ha coinvolto la sede stradale, il detrito e una porzione limitata del cappellaccio di alterazione dell'ammasso roccioso sottostante (**Foto 11**). L'area interessata dal movimento è stata oggetto di un intervento costituito dalla predisposizione di un ponte Bailey per consentire la circolazione lungo la strada e da opere di ingegneria naturalistica, reinverdimento del versante e opere di regimazione delle acque superficiali; le lavorazioni sono tuttora in corso (**Foto 12**).



Foto 11 – Coronamento del dissesto.



Foto 12 – Opere di stabilizzazione del dissesto.

- Tutti gli affioramenti rocciosi osservati lungo il taglio stradale e sul versante (**Foto 13** e **Foto 14**), oltre a presentare una scistosità sub verticale immergente verso ESE, sono interessati dalla presenza di ulteriori famiglie di discontinuità (generalmente 2, localmente 3) caratterizzate da spaziatura nell'ordine dei 20 cm, chiuse, localmente con aperture inferiori a 5 mm, vuote e con rugosità media (JRC pari a 8÷12); le caratteristiche delle discontinuità rilevate conferiscono agli ammassi rocciosi una qualità variabile che può essere definita media. Durante il sopralluogo non sono stati osservati drastici cambiamenti delle caratteristiche geomeccaniche. Gli ammassi rocciosi affioranti risultano essere di qualità discreta, con presenza di almeno tre famiglie di discontinuità generalmente con apertura inferiore a 5 mm e assenza di riempimento.

- Il rilievo geomorfologico di dettaglio ha evidenziato la presenza di vari dissesti diffusi nell'area connessi principalmente a movimenti della coltre detritica che presenta spessori di ordine metrico.



Foto 13 – Ammasso roccioso lungo il taglio stradale, q.114 m s.m.



Foto 14 – Ammasso roccioso lungo il taglio stradale, q.77 m s.m.

3.8 CAUSE DEL DISSESTO

X	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
	Erosione diffusa
	Erosione incanalata
X	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).

3.9 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

La sezione geologica è stata realizzata lungo la traccia evidenziata in Allegato 4 ed è riportata in Allegato 5.

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica (modello geotecnico di riferimento) ci si è basati:

- sui dati geologici-geomorfologici descritti nel Capitolo 3;
- su quanto riportato nel documento relativo alla caratterizzazione geotecnica allegata al Progetto Definitivo (cfr. elaborato APE0001); in particolare, si è fatto riferimento alla caratterizzazione relativa alla formazione di base, Calcescisti (CS), e della relativa fascia di alterazione (CS-CAP);
- ai risultati di back analysis eseguite sulle sezioni riportate nel seguito del documento con la finalità di determinare i parametri di resistenza dei materiali delle coltri superficiali, da confrontare con i valori di caratterizzazione di progetto.

Come già accennato precedentemente, il rilievo geomorfologico di dettaglio ha evidenziato la presenza di vari dissesti diffusi nell'aera, legati principalmente a movimenti della coltre detritica superficiale che presenta generalmente uno spessore massimo inferiore a 1 m.

A monte della porzione sommitale dell'area indicata come soggetta a dissesto attivo nella cartografia del Piano di Bacino non sono stati osservati indicatori morfologici rappresentativi di movimenti in atto (quali rotture di pendio improvvise e continue o fratture di trazione), inoltre non sono state osservate lesioni strutturali imputabili a un processo di dinamica geomorfologica in atto o pregresso negli edifici presenti alla base del versante.

Il dimensionamento delle opere è stato condotto assumendo la seguente sequenza stratigrafica:

- da p.c. a 1.0÷2.5 m da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso (potenzialmente instabile): depositi costituiti principalmente da sabbie limose debolmente ghiaiose conrari di ciottoli (C_{CS});
- da 1.0÷2.5 m a 10.0÷15.0 m da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione della formazione dei Calcescisti - Micascisti, avente caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla formazione di base (CS-Cap);
- al di sotto di 10.0÷15.0 m da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Calcescisti (CS).

La falda considerata nelle verifiche interessa solamente i depositi di versante superficiali a circa metà dello spessore, considerando i punti di infiltrazione e di drenaggio delle acque meteoriche.

Per determinare le caratteristiche di resistenza delle coltri di copertura dell'ammasso roccioso, sono state eseguite una serie di analisi a ritroso (back analysis), eseguite 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 in condizioni di equilibrio limite. Le analisi sono state condotte secondo il modello riportato in ***Figura 4-1***

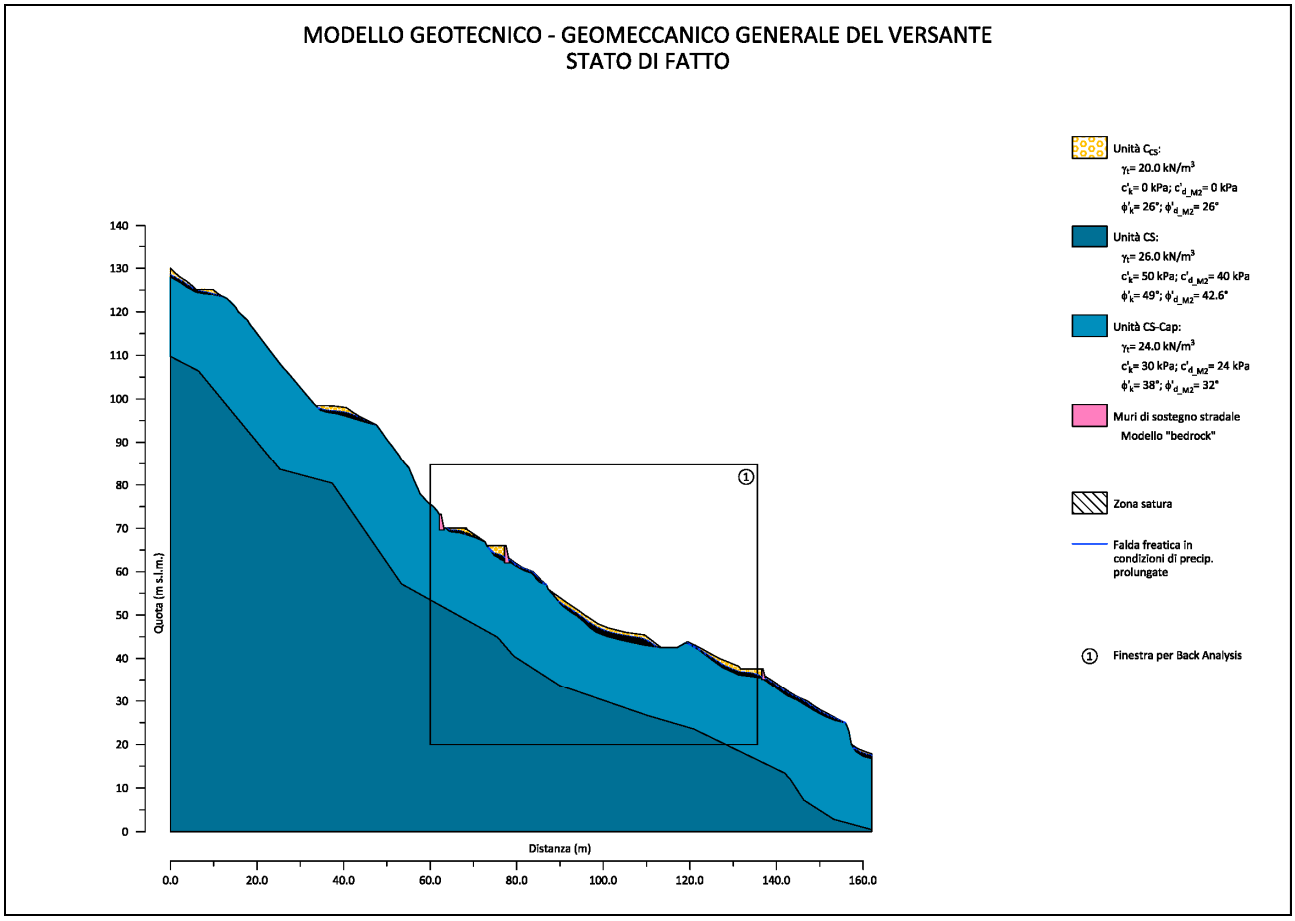


Figura 4-1 – Modello stato attuale

Il modello geotecnico utilizzato è stato costruito sulla base della cartografia esistente e delle evidenze geologiche e morfologiche rilevate in sito. La sezione geologica è stata determinata sul profilo altimetrico riportato in **Figura 4-3**, scelto nella parte centrale dell'area PG4 all'incirca secondo la massima pendenza.

Considerato lo spessore dei depositi superficiali e la tipologia di dissesto desunta durante i rilievi geomorfologici di dettaglio effettuati, si è scelto di eseguire la back analysis nella porzione centrale della sezione.

Durante il sopralluogo in sito, in tale zona sono stati osservati terrazzamenti ad uso agricolo, di cui si è ritenuto opportuno tenere conto nelle verifiche di stabilità globale del pendio. Per questo, nel modello di calcolo è stato considerato uno spessore dello strato detritico pari a 2.5 m, corrispondente alla somma dell'altezza massima visibile dei terrazzi, osservata sul loro fronte, più lo spessore della copertura, osservato in corrispondenza degli affioramenti ed in generale inferiore al metro, come già esposto al §3.7.

Il modello sviluppato per la back-analysis comprende i muri di sostegno esistenti ed osservati in sito nel corso del già citato sopralluogo.

La superficie di scivolamento critica individuata è localizzata interamente nello strato superficiale della coltre di copertura, partendo nella porzione sommitale del deposito di versante ed emergendo in corrispondenza della sede stradale fra 42 m s.m. e 43 m s.m.. I risultati in termini di caratteristiche di resistenza delle coltri superficiali e di fattore di sicurezza sono indicati nella ***Figura 4-2*** e in **Tabella 4-1**; il fattore di sicurezza calcolato al termine della Back Analysis è pari a FS=1.008.

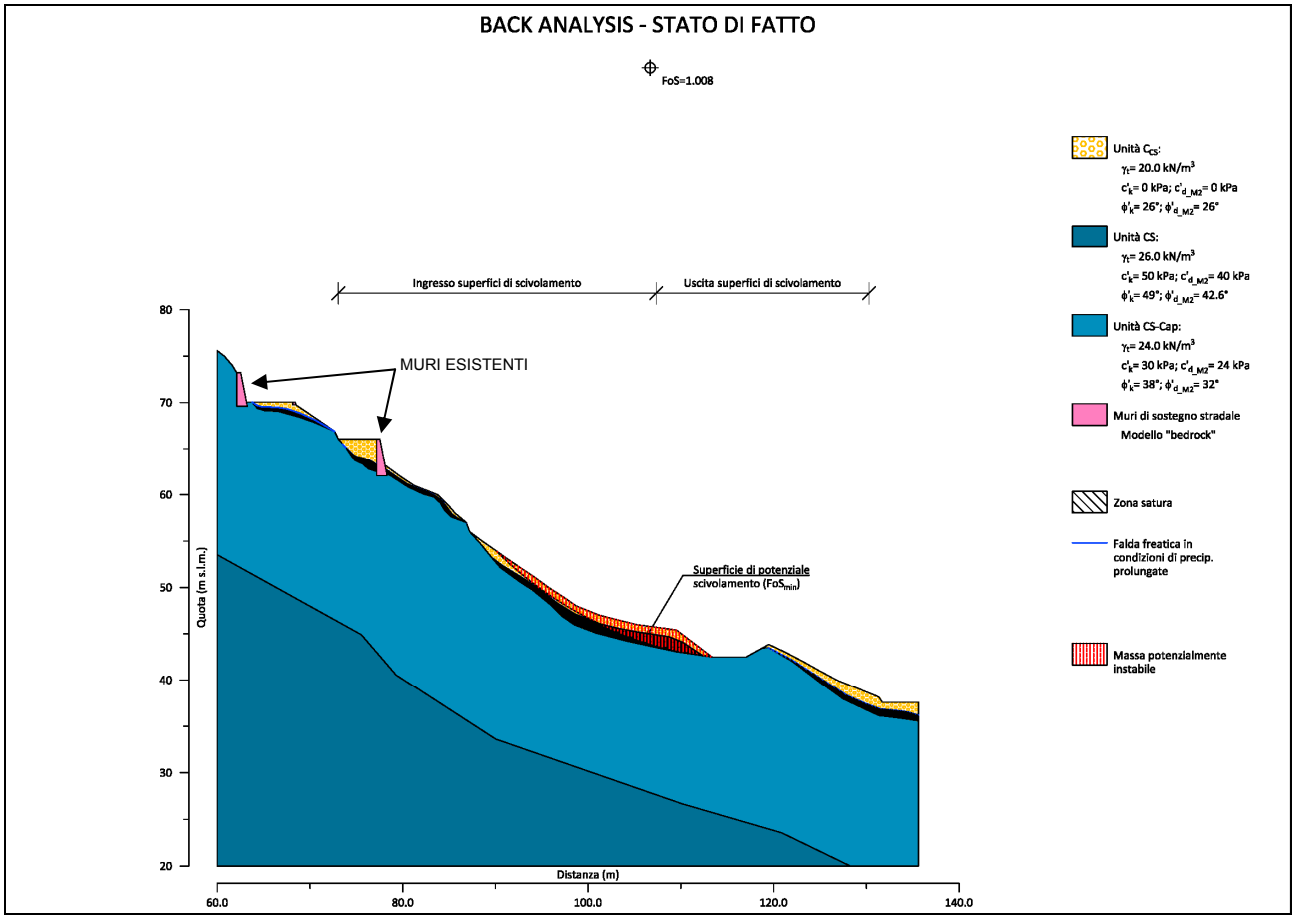


Figura 4-2 – Risultati back analysis stato di fatto

Parametri del detrito superficiale (Unità C_{CS}) ottenute tramite back analysis	
γ_t (kN/m³)	20
c' (kPa)	0
φ' (°)	26.0
FS	1.008

Tabella 4-1 - Parametri di resistenza residui e fattore di sicurezza

I valori di resistenza al taglio ottenuti tramite back analysis rappresentano i valori minimi in condizioni di equilibrio limite. I parametri di progetto (vedi relazione di caratterizzazione geotecnica, Cfr.APE001) sono quelle ottenute da apposite prove in sito e in laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi effettuati nell'intera area di intervento.

Ai fini della valutazione della pericolosità geologica/geotecnica dell'area di influenza considerata da questo documento si sono utilizzati per i depositi superficiali i valori di resistenza residui ricavati dalla back analysis, cautelativi rispetto alla reale condizione in sito.

Per quanto riguarda l'ammasso roccioso profondo e la sua porzione superficiale, maggiormente alterata e fratturata (Cappellaccio), sono stati utilizzati i parametri caratteristici indicati nella relazione geotecnica (Cfr. APE001), riportati sinteticamente in **Tabella 4-2**

Parametri geotecnici caratteristici	Calcescisti (Unita CS)	Cappellaccio di alterazione dei Calcescisti (Unità CS-Cap)
γ_t (kN/m^3)	26.0	24.0
c'_K (kPa)	50.0	30.0
ϕ'_K (°)	49.0	38.0

Tabella 4-2 - Parametri di resistenza caratteristici delle unità geotecniche

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Come già anticipato, nell'area interessata dal dissesto CER 001 ricadono le opere di viabilità di servizio VS03 nella zona di interconnessione Voltri per l'accesso alla zona di cantiere all'imbocco della galleria Bric del Carmo e Borgonuovo, lato Genova (cfr. **Figura 4-3**).

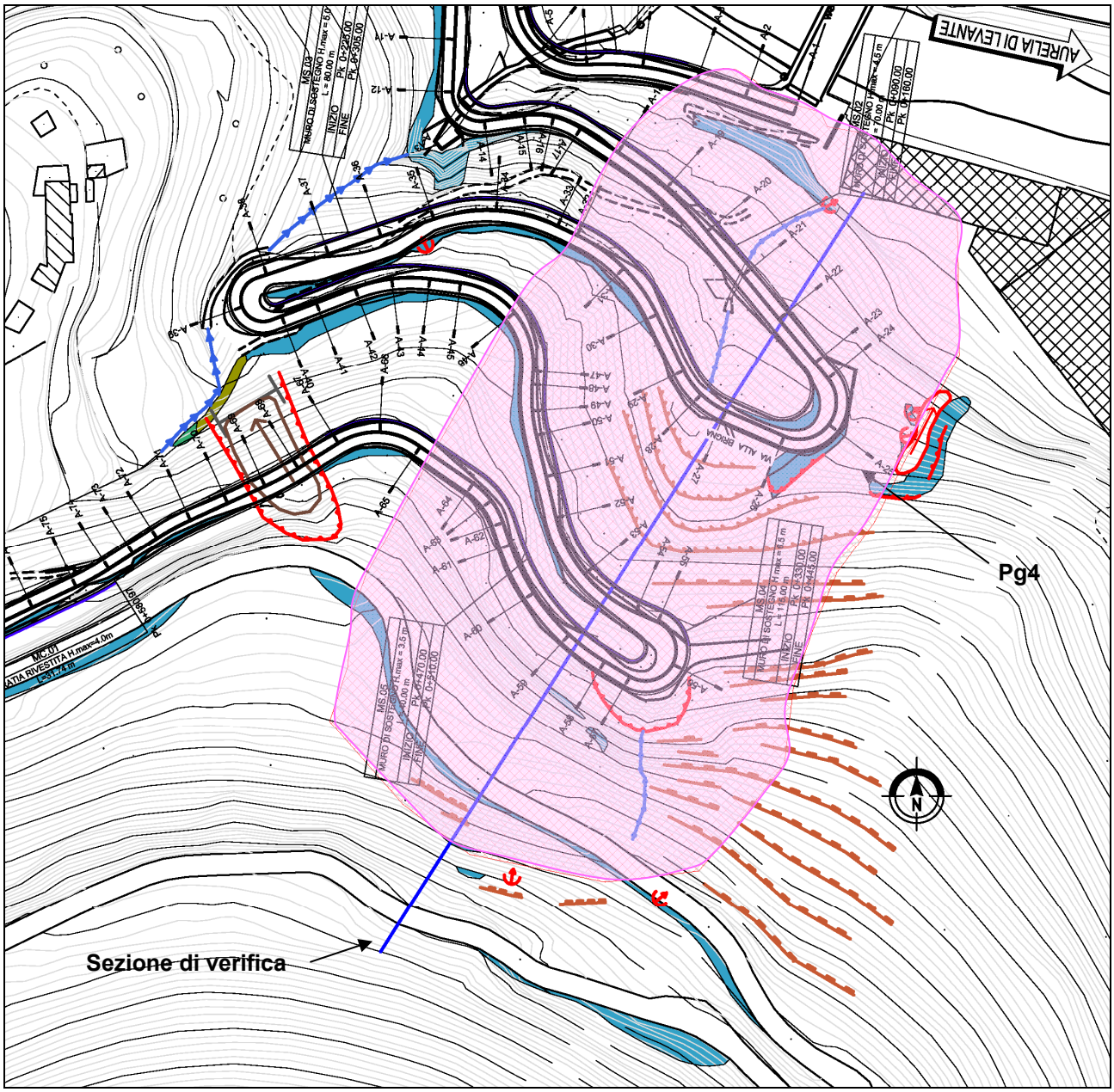


Figura 4-3 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata - Pg4

Le opere consistono in un adeguamento ed allargamento della strada esistente, che da via delle Fabbriche si sviluppa in direzione SW fino a quota 87 m s.m. circa. Il nuovo tracciato sarà stabilizzato mediante la realizzazione di muri di sostegno e di sottoscarpa come previsto nella relazione di progetto APE2127. I muri sono di tipo prefabbricato su fondazione diretta.

La sistemazione della viabilità sarà completata per mezzo di diverse opere per la regimazione idraulica delle acque superficiali (si vedano i documenti IDR1207, 1208 e 1209). Tali opere comprendono cunette prefabbricate in c.a. per la raccolta delle acque di piattaforma e collettori e tombini in c.a. per permettere il deflusso delle stesse e contribuire all'allontanamento delle acque dal versante.

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

Per il dimensionamento delle opere previste (cfr. 4.2) è stata presa in considerazione la sezione utilizzata per la back analysis, ubicata nella parte centrale dell'area di frana Pg4 nella zona di massima pendenza. Nella sezione di verifica sono state inserite le nuove opere necessarie per l'allargamento della sede stradale (opere di sostegno modellate nell'analisi come impenetrabili dalle potenziali superfici di scivolamento). Per il dimensionamento e la verifica delle stesse si rimanda alla relazione di calcolo specifica.

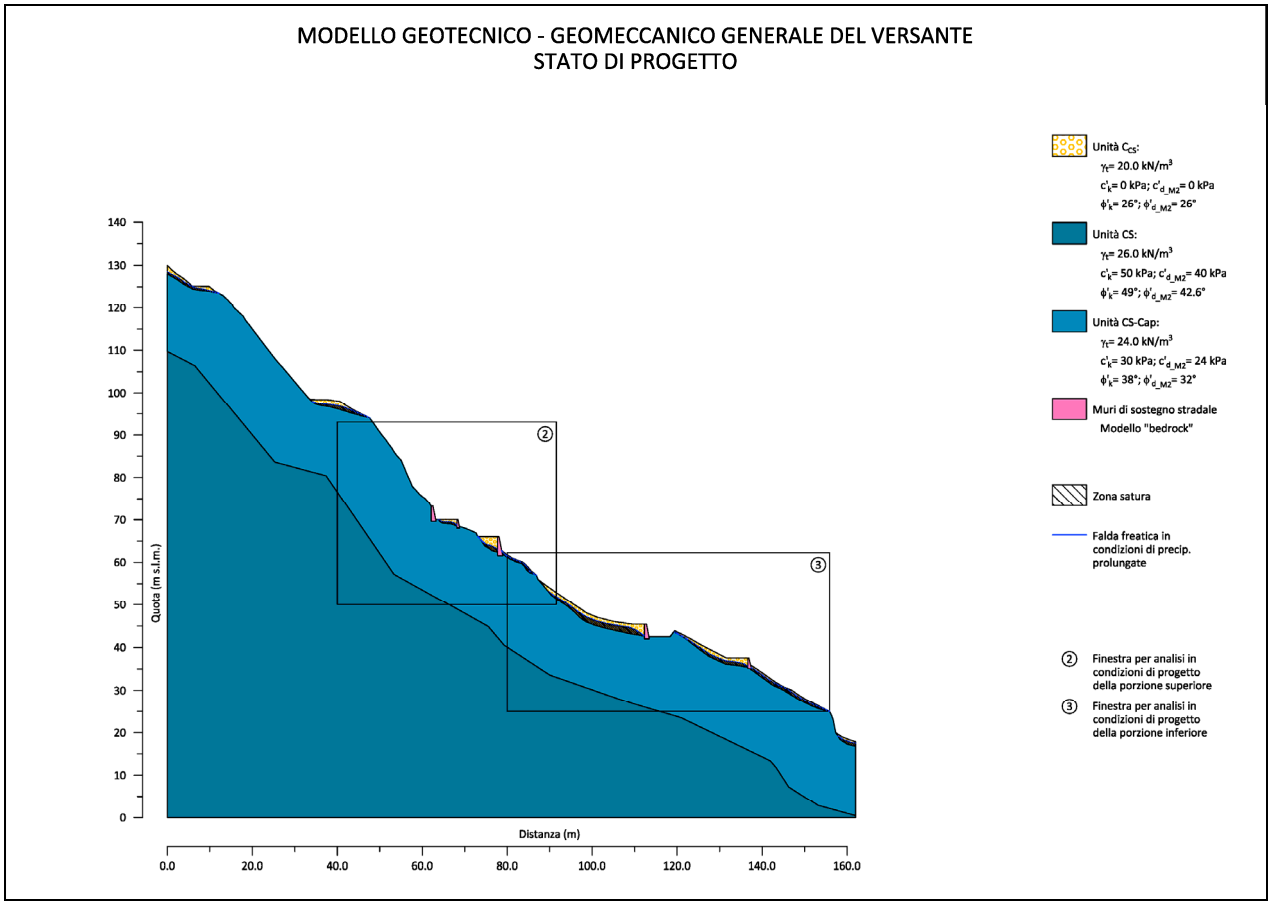


Figura 4-4 – Modello stato stato di progetto

Come evidenziato dal modello geotecnico/geomeccanico (**Figura 4-4**), le potenziali interazioni fra i processi di dinamica geomorfologica descritti al §3 e le opere in progetto sono estremamente localizzati, pertanto le analisi di stabilità globale sono state sviluppate in corrispondenza delle due aree delimitate dai riquadri riportati in **Figura 4-4**., che rappresentano le situazioni di maggior criticità ai fini delle condizioni di stabilità e dell'interazione.

E' 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 (γ_{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 γ_{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 dei Calcescisti (CS), desunti dai parametri caratteristici e dai coefficienti di riduzione parziale M2.

Per la coltre superficiale sono invece stati impiegati come parametri di progetto i parametri residui derivati dalla back analysis, ai quali viene applicato un coefficiente riduttivo unitario, in accordo con le indicazioni e i suggerimenti dell'Eurocodice 7 e del documento "Designers Guide to EN1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – General Rules".

In **Tabella 4-3** sono sinteticamente riportati i parametri di progetto utilizzati per le analisi.

Unità geotecnica/Geomeccanica	γ_t (kN/m³)	ϕ'_{d_M2} (°)	c'_{d_M2} (kPa)
C_{CE}	20.0	26.0	0.0
CE-Cap	24.0	32.0	24.0
CE	26.0	42.6	40.0

Tabella 4-3 - Parametri di resistenza di progetto utilizzati per l'analisi

La ricerca delle potenziali superfici di scorrimento viene effettuata imponendo un'elevata resistenza dell'opera, quindi escludendo le superfici che interessano le opere di sostegno, le cui condizioni di stabilità vengono trattate nella relazione di calcolo specifica.

I sovraccarichi stradali accidentali, pari a 20 kPa distribuiti lungo una fascia di lunghezza pari a 3.0 m, sono stati considerati esclusivamente dove la loro presenza comporta un peggioramento delle condizioni di stabilità globale; nelle analisi i sovraccarichi non vengono applicati quando il loro effetto ha carattere stabilizzante.

Da **Figura 4-5** a **Figura 4-7** sono riportati i risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche dello stato di progetto, in **Tabella 4-4** sono sinteticamente riassunti i coefficienti γ_{R2_calc} ottenuti dalle analisi svolte.

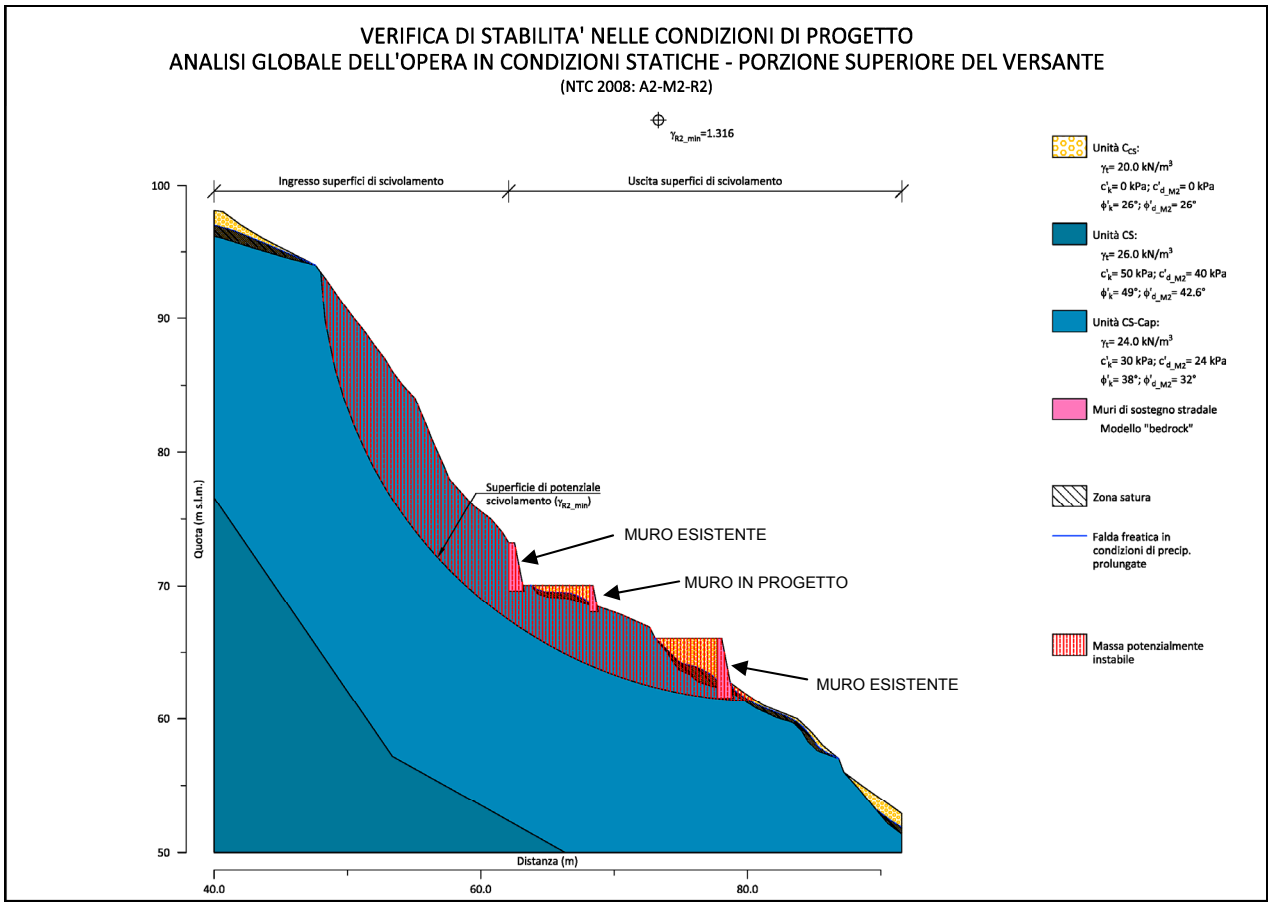


Figura 4-5 – Porzione superiore del versante – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni statiche

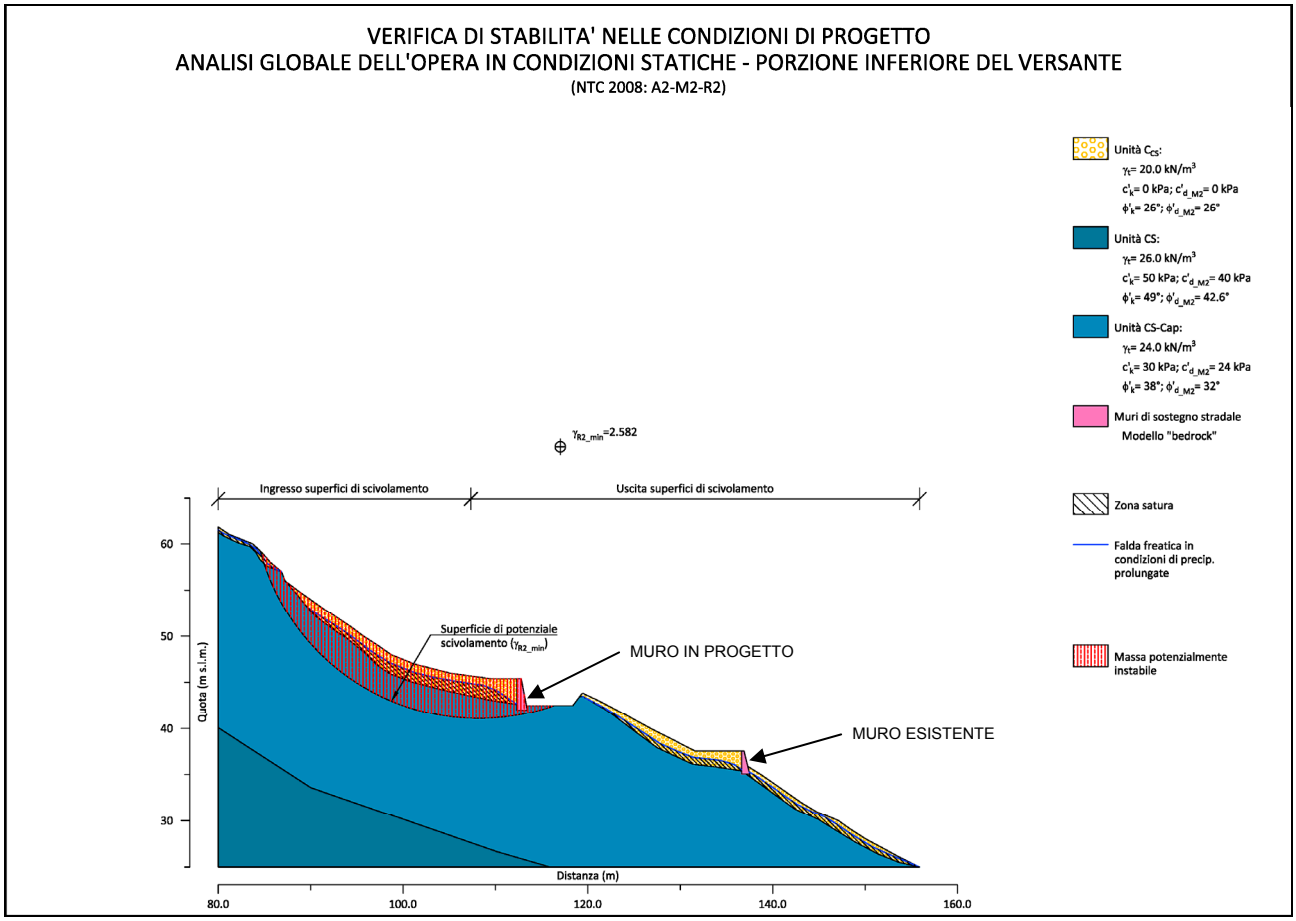


Figura 4-6 – Porzione inferiore del versante, zona alta – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni statiche

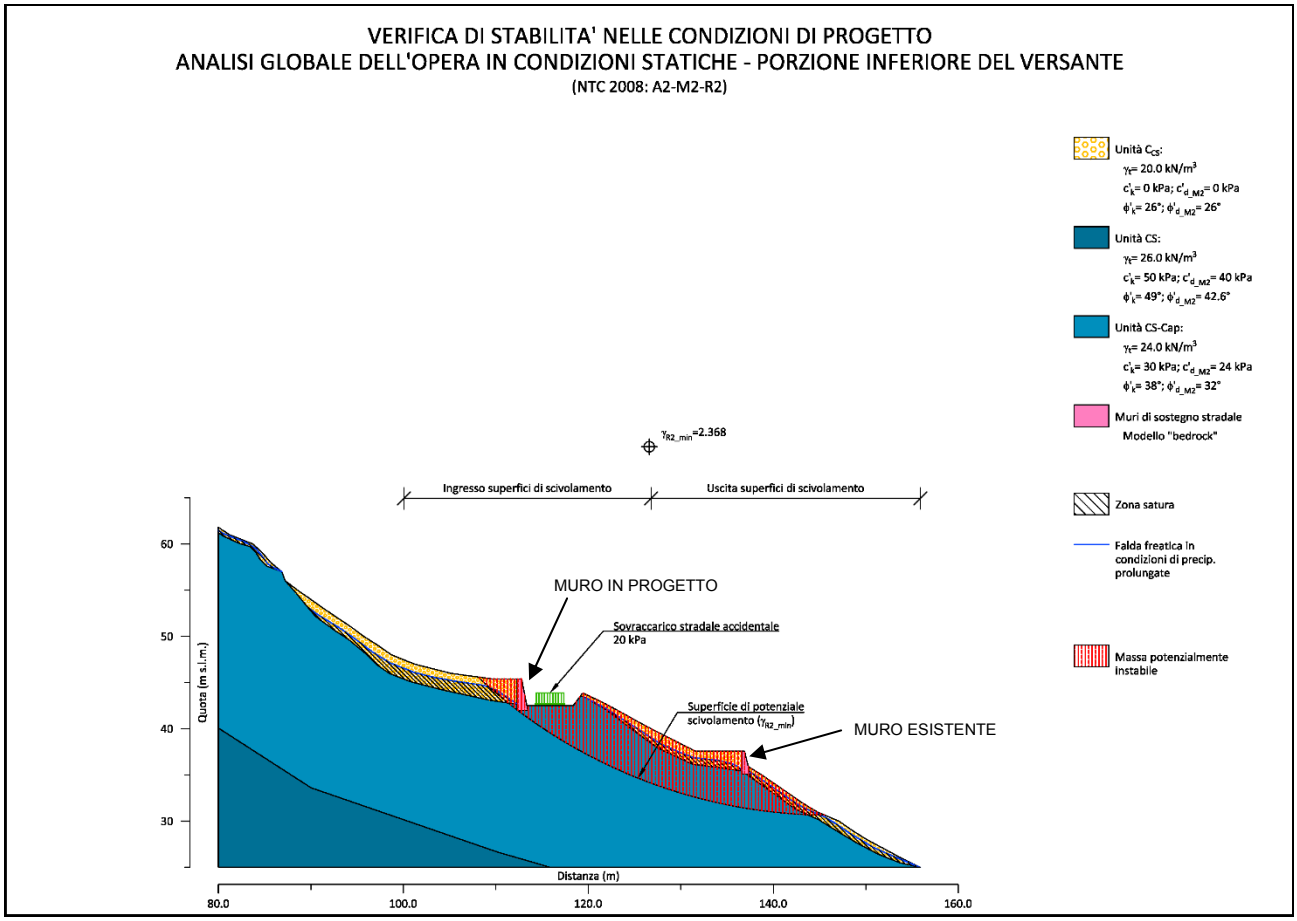


Figura 4-7 – Porzione inferiore del versante, zona bassa – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni statiche

Analisi di stabilità	Coefficiente γ_{R2_Calc}
Porzione superiore del versante	1.316
Porzione inferiore del versante, zona alta	2.582
Porzione inferiore del versante, zona bassa	2.368

Tabella 4-4 – Risultati della analisi di stabilità in condizioni statiche – Stato di progetto

Per tutti i casi analizzati la stabilità globale dell'opera è verificata, essendo:

$$\gamma_{R2_Calc} < \gamma_{R2,} \qquad \text{dove} \quad \gamma_{R2}=1.1$$

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

- k_H = 0.032 g
- k_V = ± 0.016 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 4-5**).

	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 4-5 - 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

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ = 0.087 · 1.5 · 1.2 = 0.107 g

Si fa comunque presente che nel dimensionamento dei muri prefabbricati a sostegno della viabilità di servizio, coerentemente con quanto richiesto dalla normativa vigente (NTC 2008), è stato verificata la stabilità globale dell'insieme terreno-opera. Per le specifiche analisi si rimanda quindi alle relazioni di calcolo delle singole opere.

Da **Figura 4-8** a **Figura 4-10** sono riportati i risultati delle analisi di stabilità in condizioni sismiche dello stato di progetto, in **Tabella 4-6** sono sinteticamente riassunti i coefficienti γ_{R2_calc} ottenuti dalle analisi svolte.

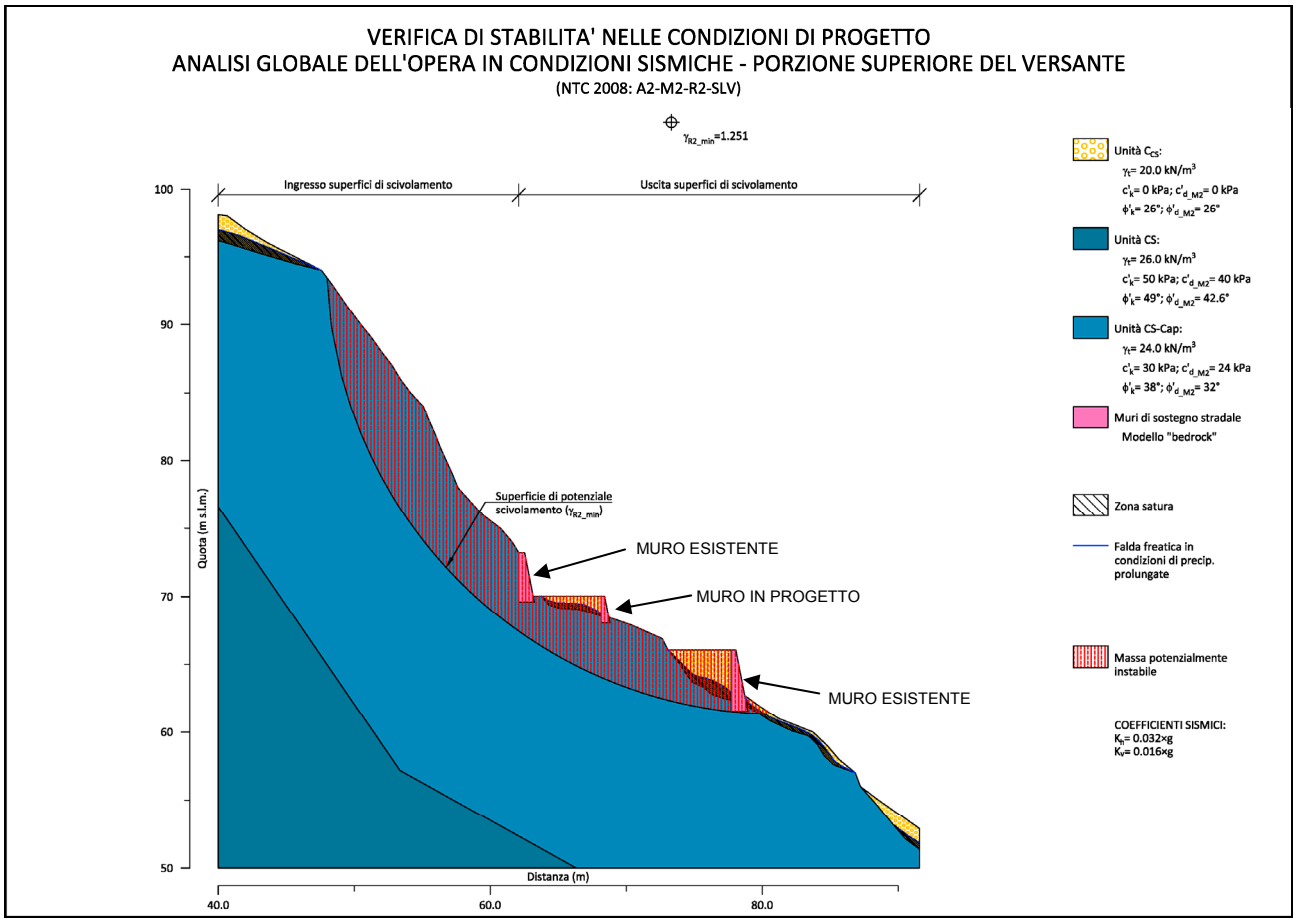


Figura 4-8 – Porzione superiore del versante – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni sismiche

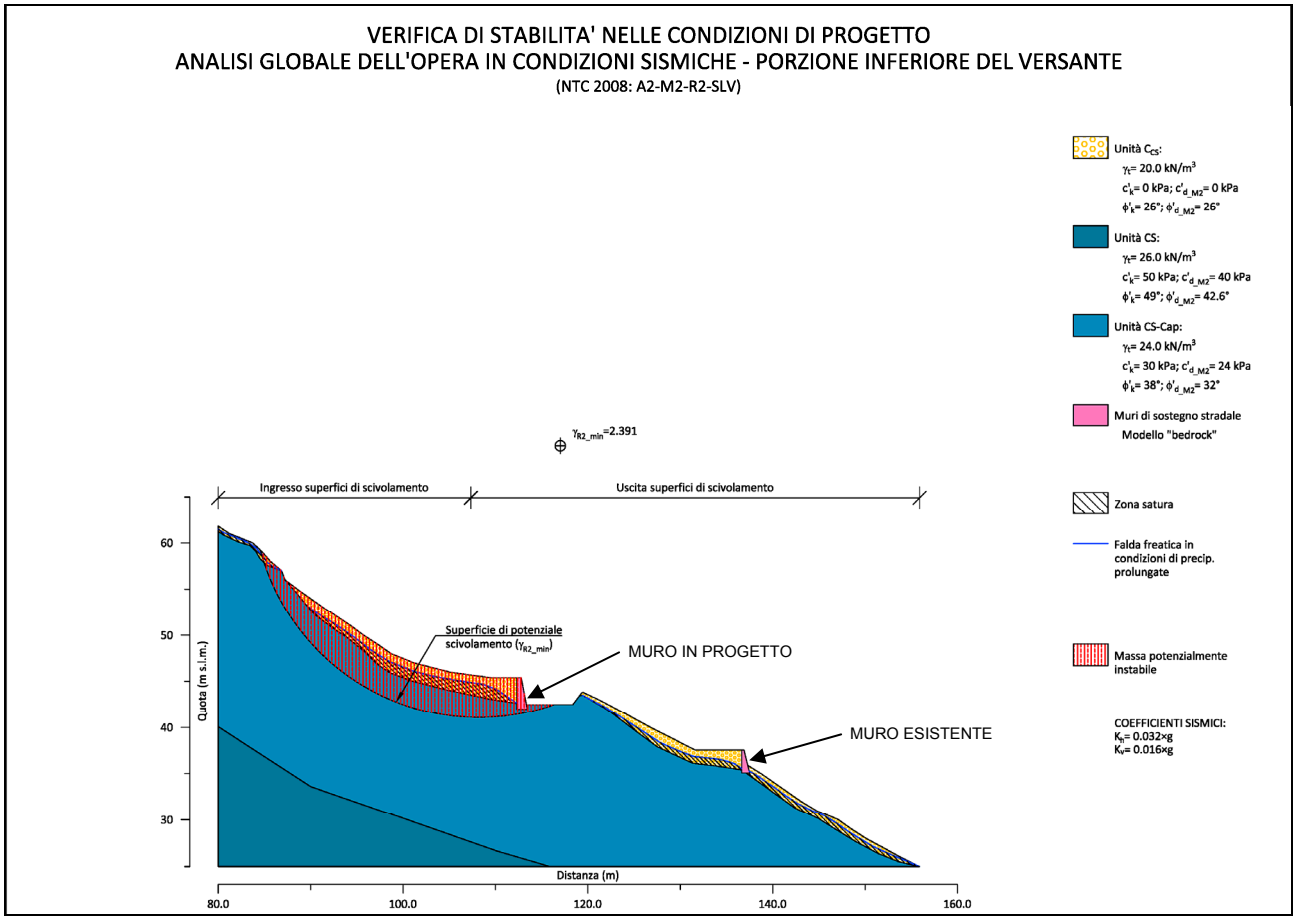


Figura 4-9 – Porzione inferiore del versante, zona alta – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni sismiche

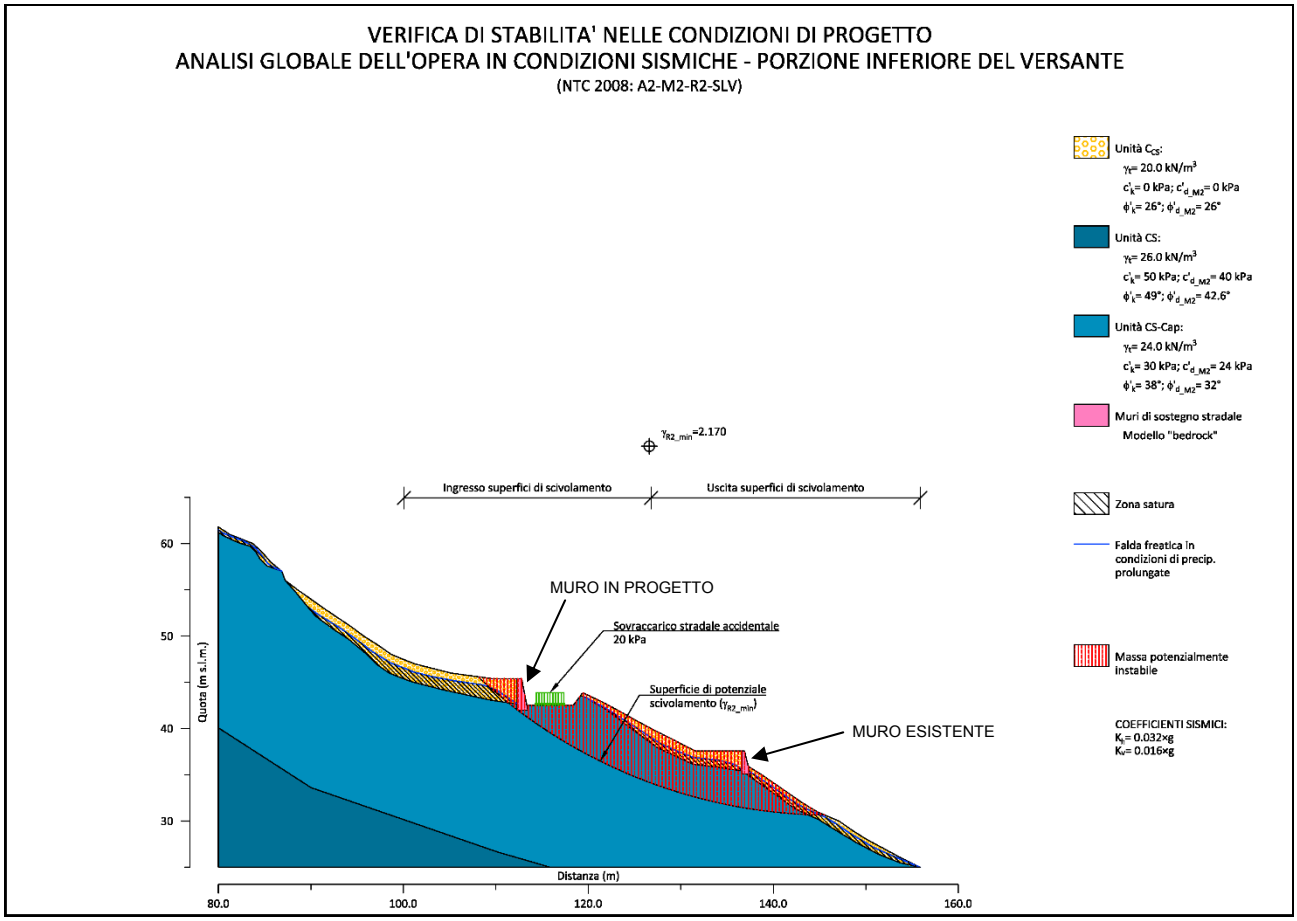


Figura 4-10 – Porzione inferiore del versante, zona bassa – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni sismiche

Analisi di stabilità	Coefficiente γ_{R2_Calc}
Porzione superiore del versante	1.251
Porzione inferiore del versante, zona alta	2.391
Porzione inferiore del versante, zona bassa	2.170

Tabella 4-6 - Risultati della analisi di stabilità in condizioni sismiche – Stato di progetto

Per tutti i casi analizzati la stabilità globale dell'opera è verificata, essendo:

$$\gamma_{R2_Calc} < \gamma_{R2,} \qquad \text{dove} \quad \gamma_{R2}=1.1$$

Per quanto riguarda il dimensionamento locale delle singole opere ai sensi della normativa vigente (NTC2008) si rimanda alla specifica relazione di calcolo APE2127.

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**	1.008	--
Analisi **post-operam** - porzione superiore del versante	1.316	1.251
Analisi **post-operam** - porzione inf. del versante, alta	2.582	2.391
Analisi **post-operam** - porzione inf. del versante, bassa	2.368	2.170

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

Al fine di assicurare lo smaltimento delle acque meteoriche interessanti la sede viaria, è stato progettato un sistema di drenaggio a gravità in grado di convogliare, con un margine di sicurezza adeguato, le precipitazioni intense verso i recapiti.

Il drenaggio è costituito essenzialmente da un sistema di raccolta marginale primario, ossia da cunette triangolari, caditoie carrabili, embrici, che consente di convogliare l'acqua presente sulla piattaforma stradale verso i collettori trasversali di scarico.

La scelta dell'elemento marginale da adottare dipende essenzialmente dalla tipologia di tratto stradale analizzato (trincea, rilevato, mezzacosta) e dalle tipologie di opere presenti (nessuna, paratie, muri di sostegno).

Agli elementi sopra elencati si aggiungono altri elementi legati alla presenza di particolari opere, come ad esempio le canalette rettangolari in testa ai muri di controripa, o utilizzati sporadicamente quali ad esempio i fossi di guardia o mezzi tubi in C.A.V.

Nel tratto in esame il sistema primario viene integrato da un sistema longitudinale secondario, cioè da collettori a sezione circolare, in cui gli elementi di drenaggio primari scaricano. Lungo la viabilità si prevede quindi la posa di tubazioni DN400-DN500 con la funzione di intercettare e convogliare sino all'impluvio esistente le acque meteoriche di versante e di piattaforma.

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 nel 2015-2016 le indagini di seguito descritte in corrispondenza dell'area identificata come dissesto attivo nei documenti prodotti dagli enti:

- stendimenti di sismica a rifrazione, 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 il solo satellite COSMO-SkyMed, in geometria ascendente e discendente, unitamente alle componenti est-ovest e verticale. Per il satellite ENVISAT i dati sono disponibili solo in geometria ascendente.

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.

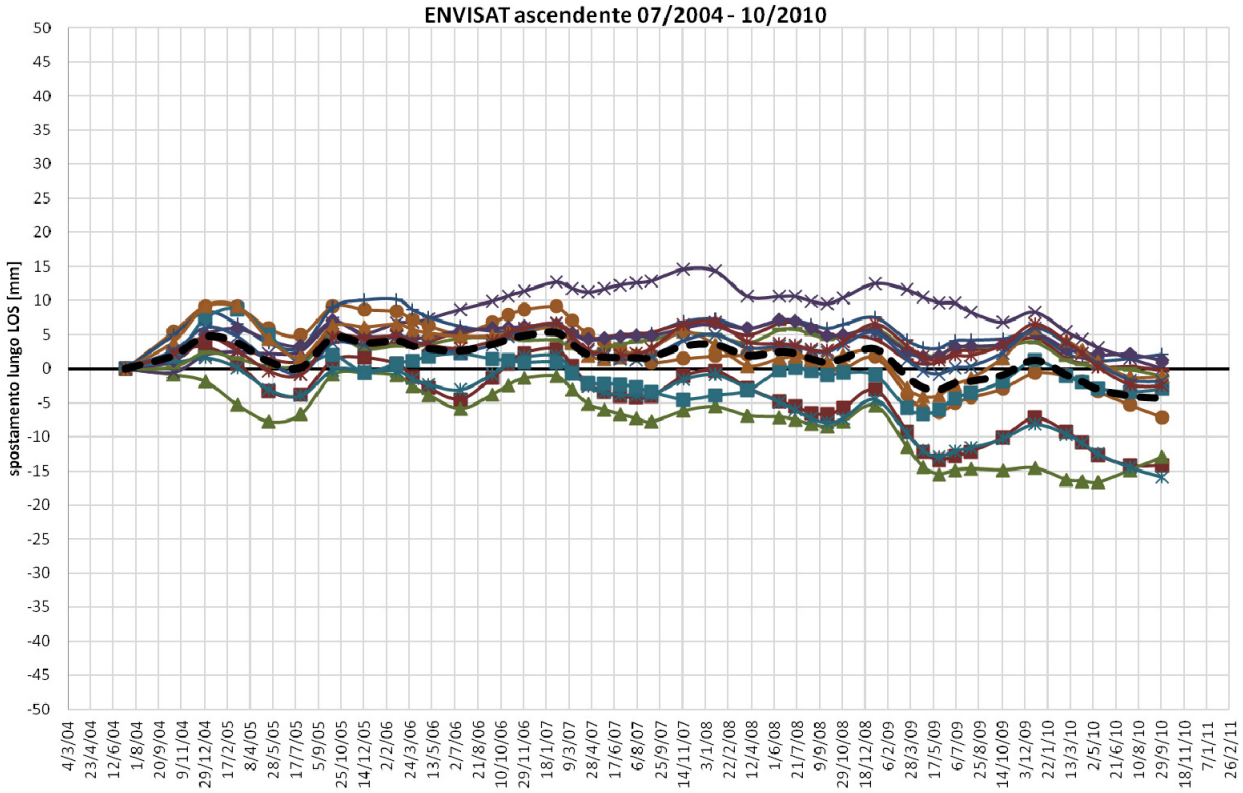


Figura 7-2 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

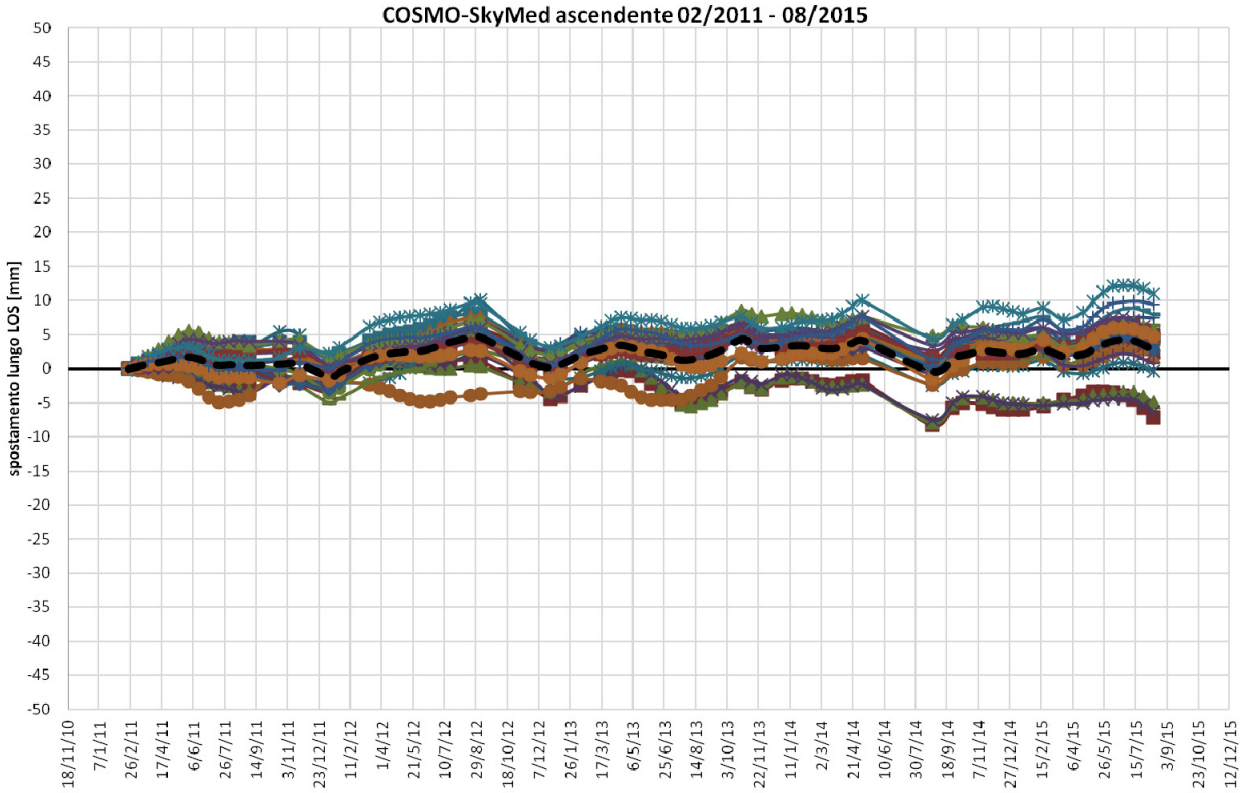


Figura 7-3 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

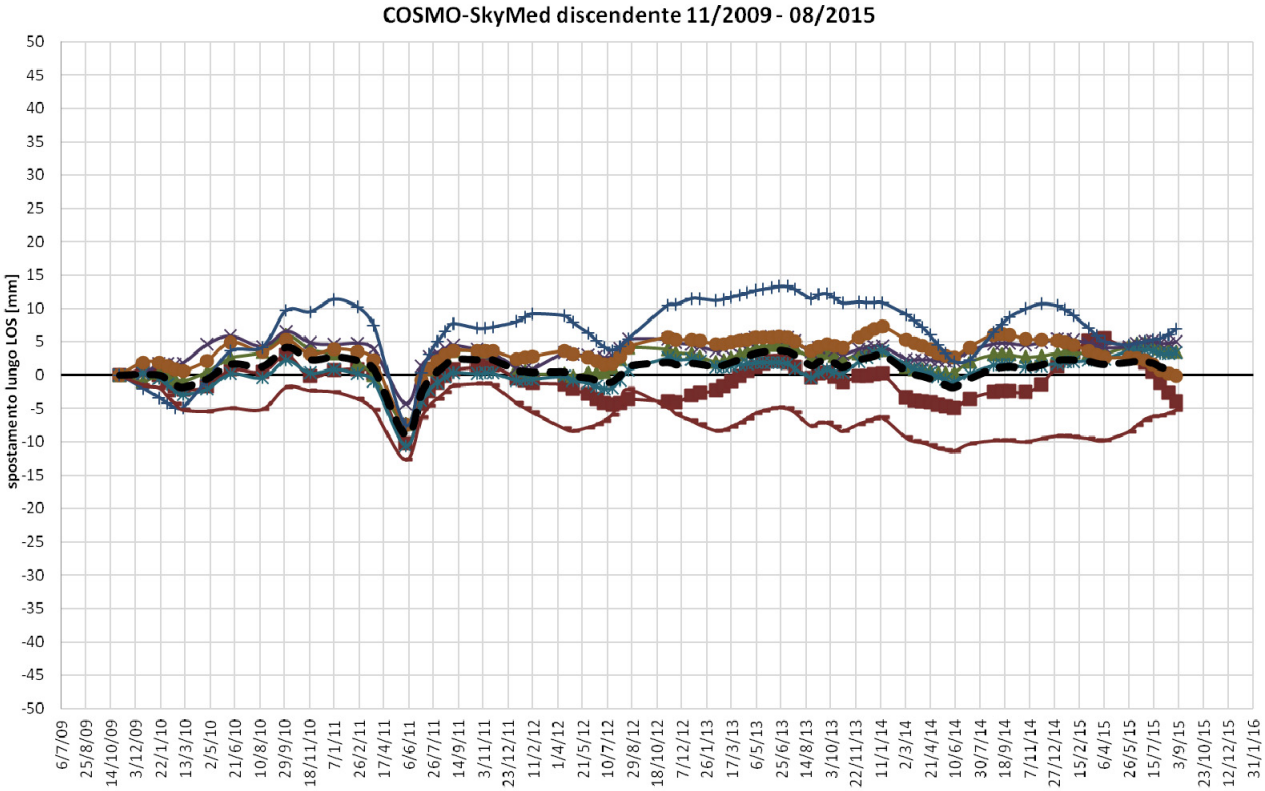


Figura 7-4 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

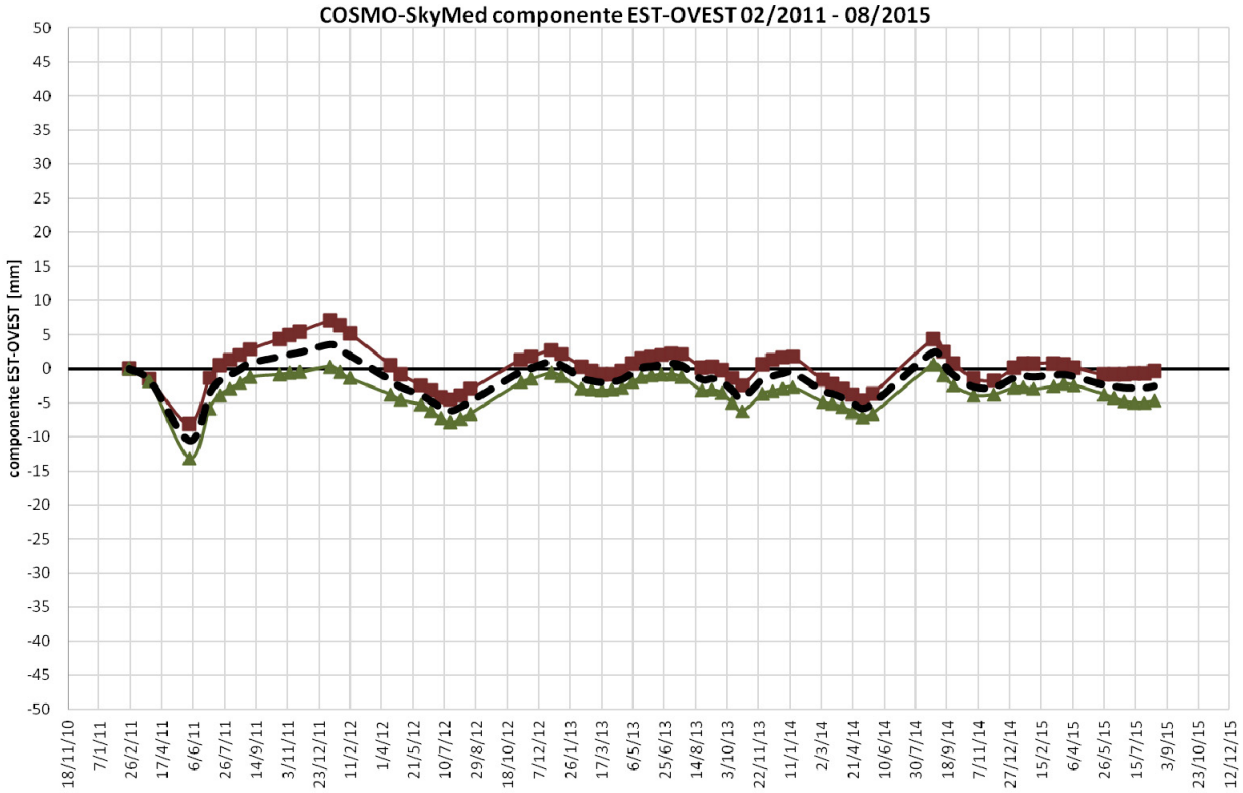


Figura 7-5 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

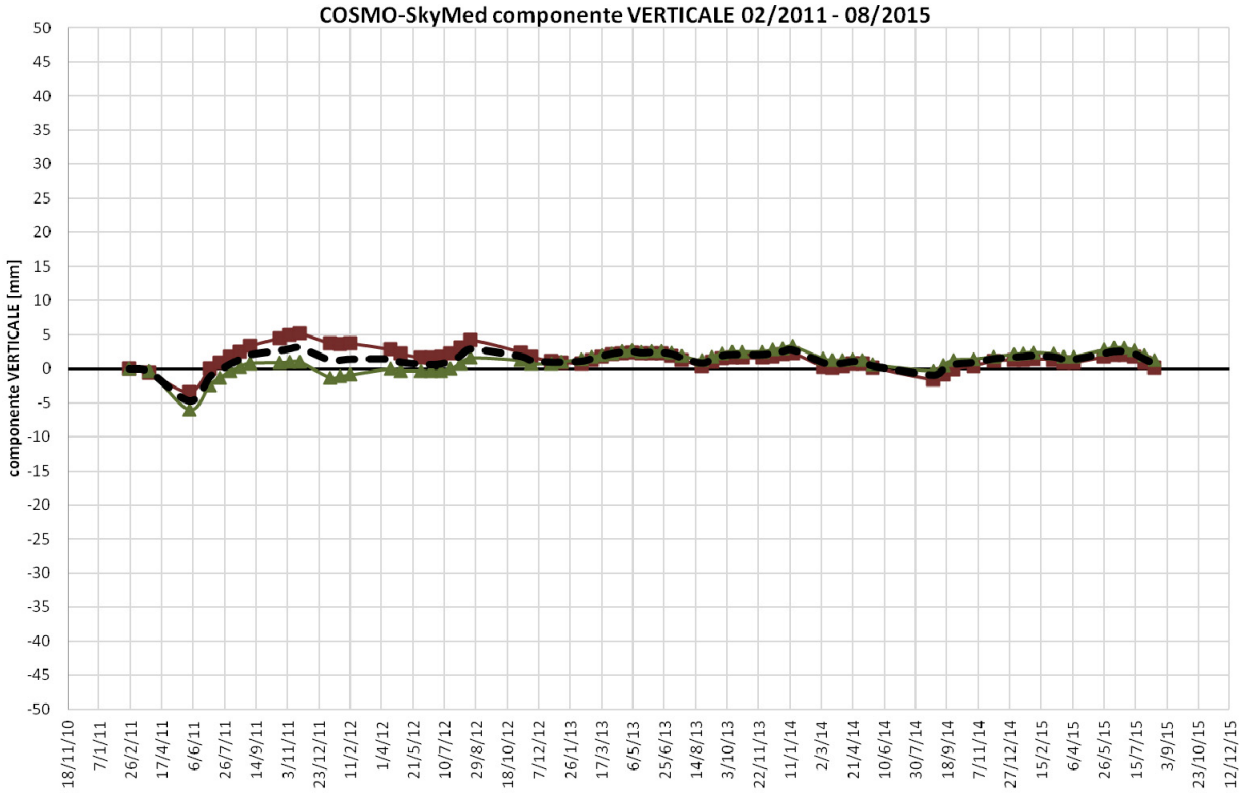


Figura 7-6 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano un abbassamento.

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. 2 riscontri), mostra un' assenza di movimenti nel periodo di osservazione 2004 – 2010.

L' analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 25 riscontri) e discendenti (n. 8 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

Lungo il versante oggetto di studio si rileva la presenza di franosità diffusa, che interessa essenzialmente la coltre e che si estende nel sottosuolo per spessori inferiori a 1 m.

Tutti i dissesti osservati sono caratterizzati da dimensioni modeste e limitati alla porzione più superficiale del versante

Gli interventi da realizzarsi durante la fase esecutiva del progetto mirano a stabilizzare depositi superficiali ed a evitare l'insorgere di eventi franosi che possano interferire con la viabilità

Nella configurazione finale del progetto, la frana CER 001 potrà essere considerata stabilizzata sulla base delle seguenti motivazioni:

- gli accorgimenti costruttivi adottati (opere di sostegno e paratie multitirantate) e le fasi realizzative sono tali da garantire, nei confronti della stabilità dei versanti, il rispetto dei fattori di sicurezza sia durante le attività di cantiere che nell'assetto definitivo;
- la **limitazione degli scavi** e l'utilizzo di **opere di sostegno** ha permesso di prevenire i fenomeni di arretramento e/o espansione delle aree di dissesto contenendo le deformazioni indotte, al fine di evitare il degrado delle caratteristiche meccaniche di resistenza delle coltri potenzialmente instabili;
- il **sistema di raccolta e smaltimento delle acque** dalla piattaforma stradale garantisce il controllo e l'allontanamento delle acque dal versante;
- il dimensionamento delle opere è stato condotto 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.;

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, contribuendo al miglioramento della 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

espresso in merito alle opere di consolidamento finalizzate alla stabilizzazione del dissesto.

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 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* - Stratigrafia sondaggi e geofisica
- *Allegato n.8* - Prove di laboratorio
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità