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 LEI067

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	0	R	G	E	N	0	1	7	5	–	1	SCALA: –

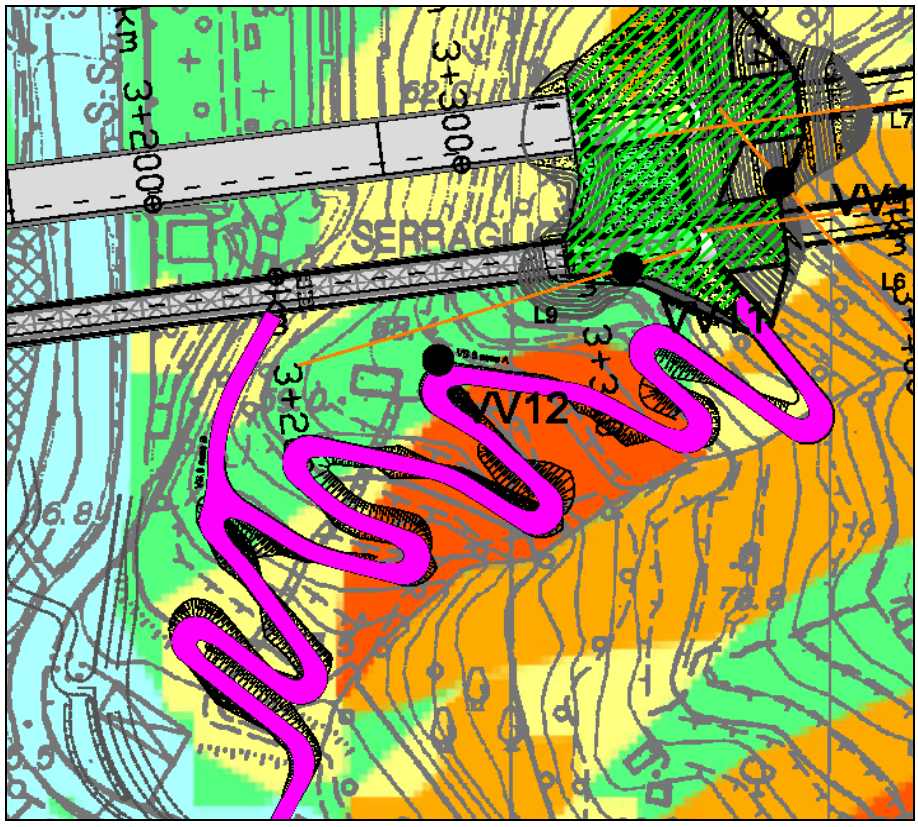
	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE	
spea ENGINEERING gruppo Atlantia	Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A				n.	data
					0	Aprile 2016
					1	Ottobre 2016
					2	
	REDATTO:		VERIFICATO:		3	
					4	

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

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

SCHEDA FRANA LEI067 (PG3A)

OPERA INTERFERENTE: VIABILITÀ DI SERVIZIO VS06



INDICE

1. PREMESSA 4

2. METODOLOGIA DI LAVORO 8

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 12

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI 12

3.2 CARTOGRAFIA 12

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO 12

3.4 Aree Interferenti 12

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a 12

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino 14

3.7 DISSESTI SEGNALATI DALL'INVENTARIO FENOMENI FRANOSI D'ITALIA 14

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 15

3.9 INDAGINI ESEGUITE 16

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 20

3.11 CAUSE DEL DISSESTO 33

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 34

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 35

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 35

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 39

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 40

4.4 QUADRO DI SISTESI 47

5. IDRAULICA 48

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE 48

6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI 49

7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 50

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 50

8. CONCLUSIONI.....53

Allegati alla Scheda:

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

Annessi alla Scheda:

- *Elaborato GEN0176: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana LEI-067 (Pg3a) – Opere interferenti: Planimetria e sezione"*

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 12 e 13, 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*
- *APE2148: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M086- Muro di controripa dalla pk. 0+223 alla 0+261 - pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2149: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M087 - Muro di controripa dalla pk. 0+353 alla 0+386 - pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2150: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M088 - Muro di controripa dalla pk. 0+644 alla 0+684 - pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2151: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M089 - Muro di controripa dalla pk. 0+707 alla 0+763 - pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2152: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M090 - Muro di sottoscarpa - pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2153: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M091-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2154: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M092-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2155: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M093-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2156: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M094-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2157: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M095-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2158: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M096-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2159: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M097-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2160: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse A – M098-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2161: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri, Asse B – M099-Muro di controripa – Pianta, prospetto e sezioni*
- *APE2162: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri – Opere di sostegno – Relazione di calcolo*

- *IDR1215: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri – Sistema di drenaggio di piattaforma - planimetria idraulica*
- *STD1024: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri – Planimetria progetto, stato di fatto, tracciamento e sezioni tipo*
- *STD1025: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri – Profilo longitudinale*
- *STD1026: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS06 – Viabilità di servizio Voltri – Sezioni trasversali*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata LEI 067, che risulta interferente con la strada di servizio VS06 di accesso al piazzale di imbocco della Galleria Amandola lato Savona.

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.

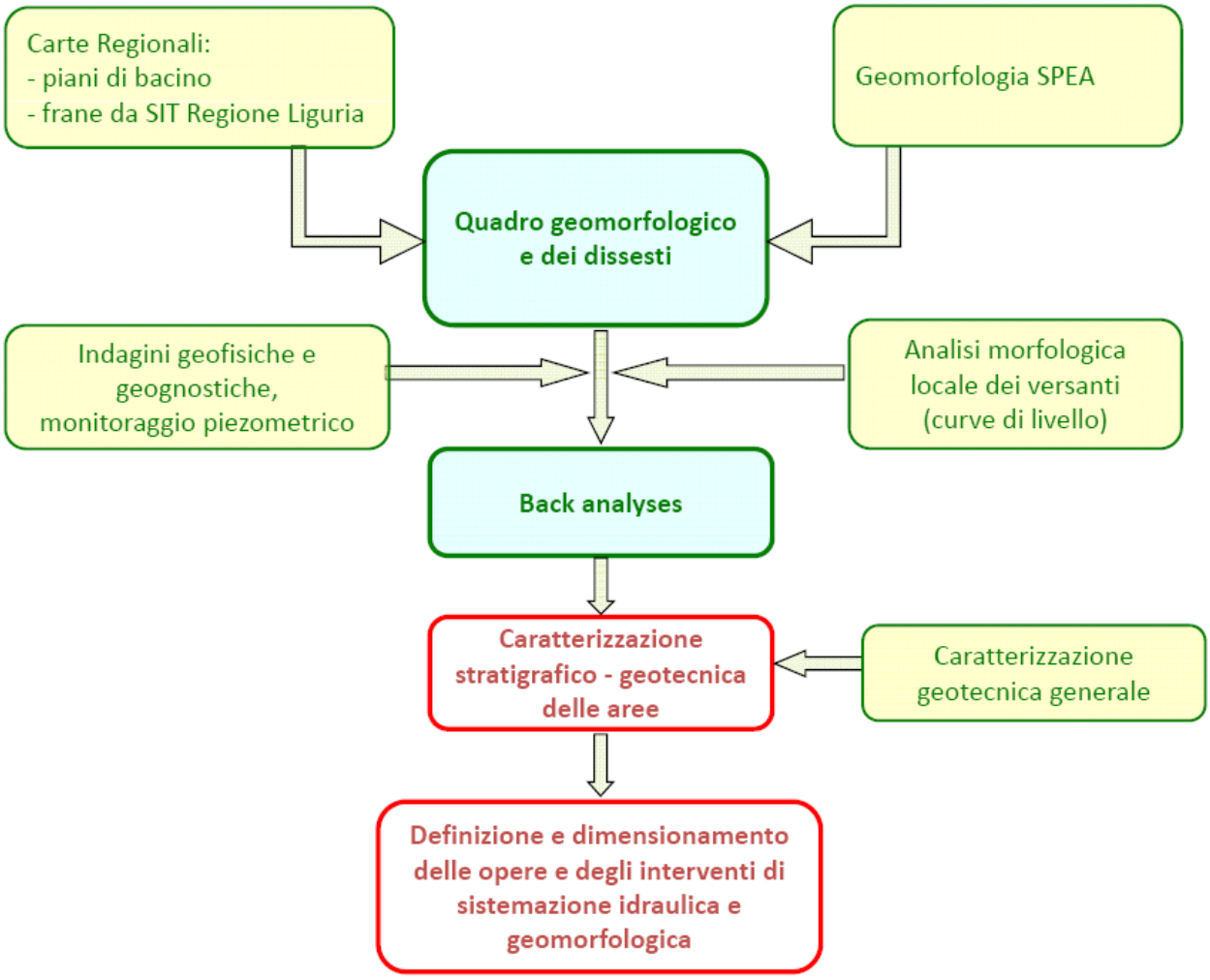


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

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 067

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 la strada di servizio VS06 che permette di accedere alla zona di cantiere dell'imbocco lato Savona della galleria Amandola.

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a

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

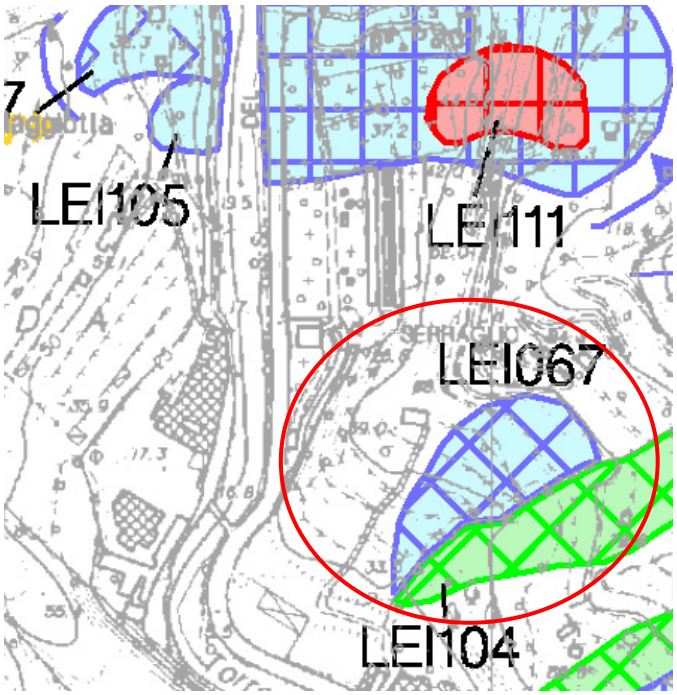
a) Tipologia di frana:

	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



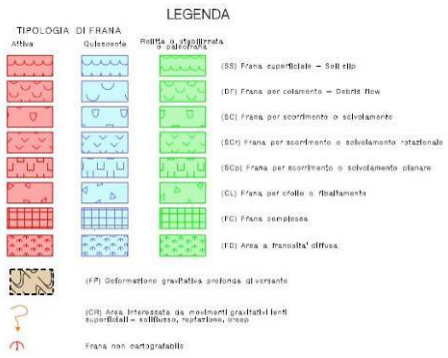


Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

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**) non identifica sul versante alcun dissesto coincidente con LEI 067, ma solamente un dissesto complesso stabilizzato a sud della Pg3a oggetto di studio (1 in **Figura 3-2**) e un movimento complesso quiescente a nord (2 in **Figura 3-2**), all'interno del quale è presente un movimento complesso attivo/riattivato/sospeso (3 in **Figura 3-2**).

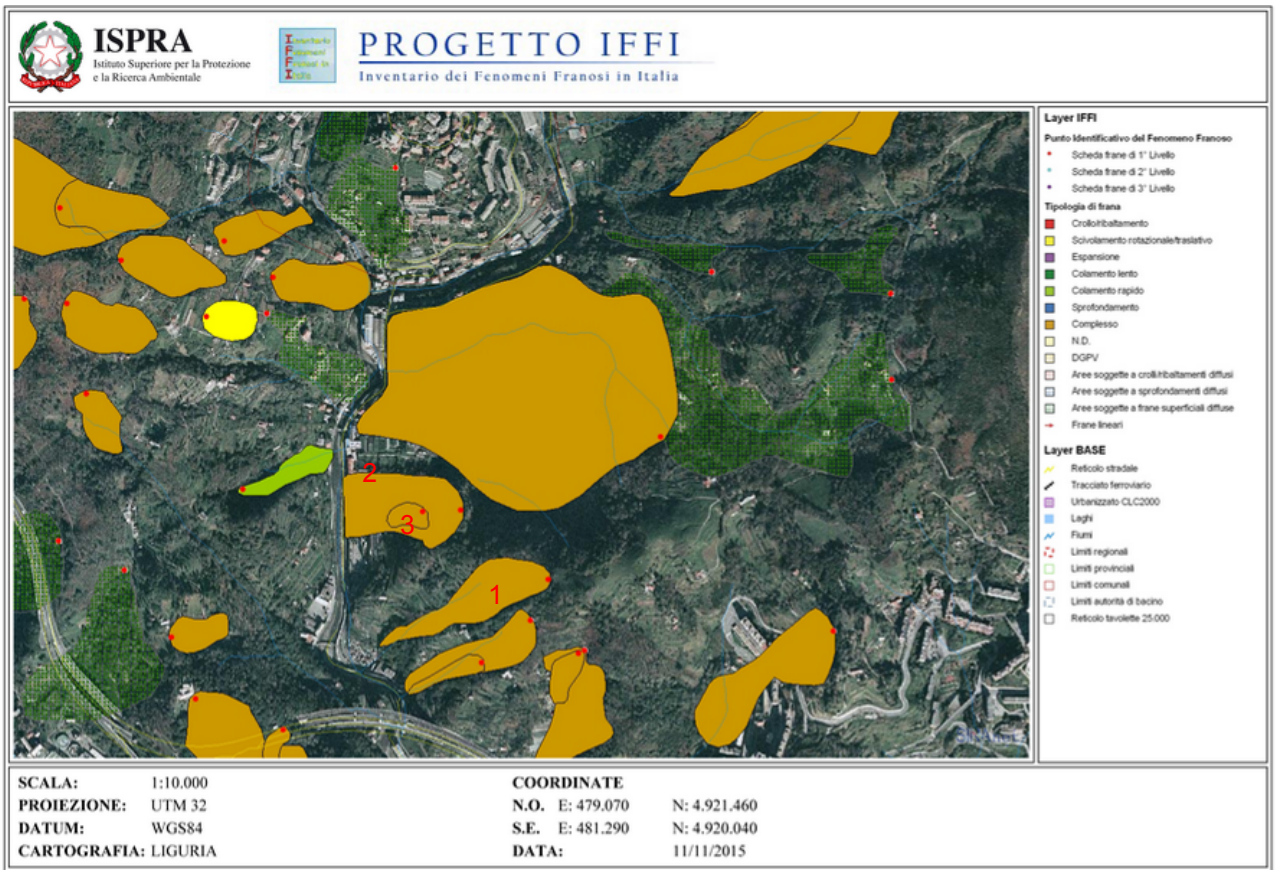


Figura 3-2 –– Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

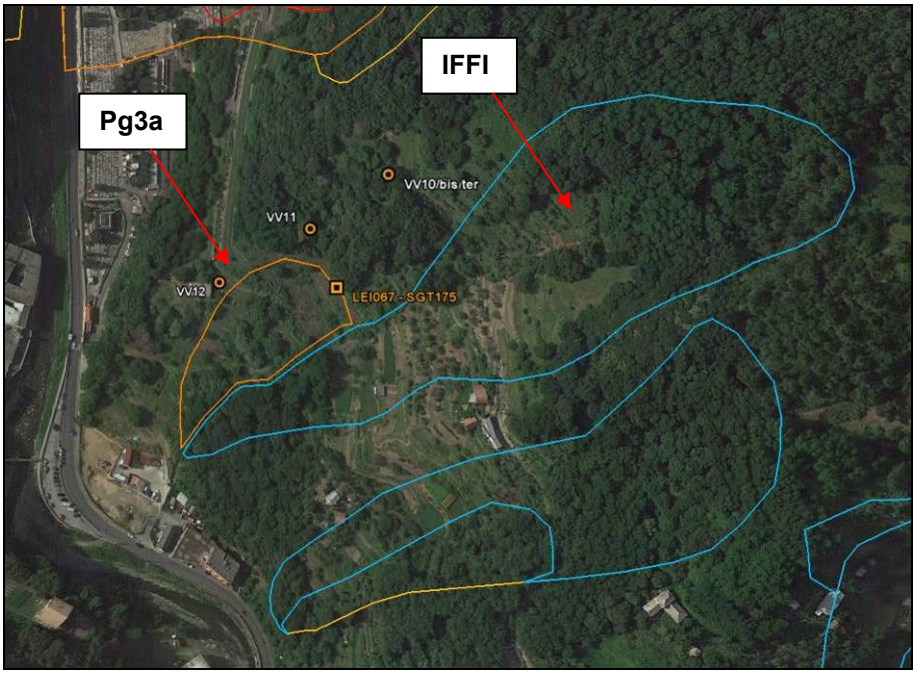


Figura 3-3 Confronto tra dissesti da IFFI (in azzurro) e da Piani di Bacino (in arancio)

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 con lenti di metagabbri e SAC (Allegato 2).

Calcescisti (CS)

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

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

Nella porzione più elevata dell'area di rilievo sono stati rilevati affioramenti ascrivibili ai metagabbri; inoltre in uno dei sondaggi eseguiti nell'area a supporto del progetto definitivo del 2011 (vedi §3.6), è stata trovata una lente di cloritoscisti.

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 nell'ordine dei 5 m e sono rappresentati essenzialmente da depositi di versante, depositi eluvio/colluviali e, alla base del versante, da depositi alluvionali lungo il corso del Torrente Leira.

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

3.9 INDAGINI ESEGUITE

Nell'ambito della campagna di indagini a supporto del Progetto Definitivo, all'interno dell'area di studio sono stato eseguiti tre sondaggi a carotaggio (VV10, VV11 e VV12) e quattro stendimenti di sismica a rifrazione, di cui tre lungo la massima pendenza del versante (L7, L8 e L9) e uno (L6) disposto longitudinalmente (**Figura 3-4**).

Tutte le indagini eseguite non interessano direttamente l'area Pg3a, ma risultano comunque molto utili per definire gli spessori di coltre e substrato alterato caratteristici del versante in esame.

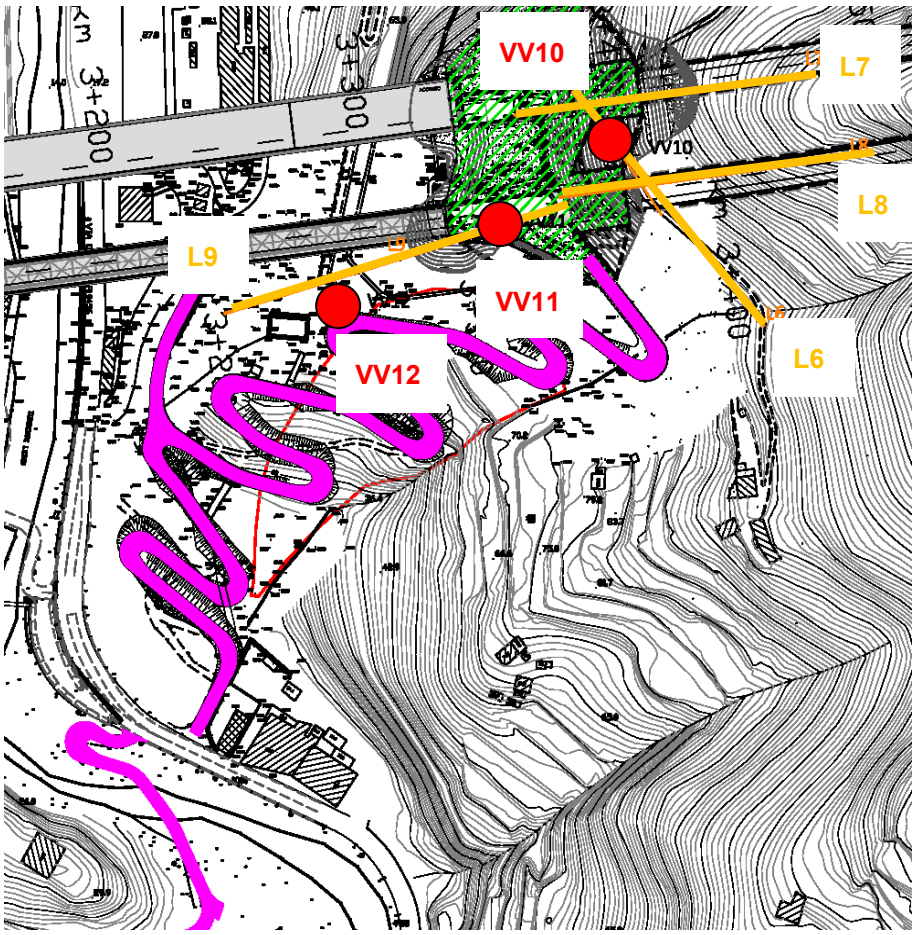


Figura 3-4 - Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini

Le stratigrafie dei tre sondaggi possono essere così schematizzate:

- sondaggio VV10: fino a circa 1.4 m è presente un deposito superficiale sciolto seguito, fino a circa 27 m da substrato molto alterato ma con struttura localmente riconoscibile (in questa zona rappresentato da micascisti). Il substrato roccioso sottostante è costituito da calcescisti da mediamente a molto fratturati. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 12/07/11 - risultava essere -35.750 m da p.c..
- sondaggio VV11:la coltre superficiale raggiunge circa i 3 m da p.c.; al di sotto è presente substrato alterato con struttura localmente riconoscibile fino a 14 m (in questa zona rappresentato da micascisti). Il substrato roccioso sottostante è costituito da calcescisti con differenti gradi di fratturazione; all'interno dei calcescisti, a una profondità di circa -39.9 m da p.c., è stata rinvenuta una lente di spessore pari a 1 m circa di cloritoscisti. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 13/07/11 - risultava essere -14.04 m da p.c..
- sondaggio VV12: fino a 4 m circa è presente il deposito superficiale sciolto; da 4 fino a 14 m il substrato alterato con struttura localmente riconoscibile (in questa

zona rappresentato da micascisti. Il substrato roccioso sottostante è costituito per tutta la lunghezza del foro da micascisti con differenti gradi di fratturazione. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 12/07/11 - risultava essere -13.99 m da p.c.

I tre profili sismici, riportati da **Figura 3-5** a **Figura 3-8**, indicano la presenza di tre unità sismiche caratterizzate da differenti velocità medie di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S):

- US1: caratterizzata da velocità media delle onde P compresa fra 0.58 e 0.60 km/s e delle onde S compresa fra 0.26 e 0.29 km/s, con spessore massimo pari a circa 7 m, ascrivibile ai depositi sciolti superficiali;
- US2: caratterizzata da velocità media delle onde P compresa fra 1.41 e 1.62 km/s e delle onde S compresa fra 0.78 e 0.86 km/s, con spessore massimo pari a circa 29 m, ascrivibile alla porzione più alterata e fratturata dell'ammasso roccioso e ai primi metri di ammasso roccioso fratturato e poco alterato;
- US3: caratterizzata da velocità media delle onde P compresa fra 3.00 e 3.28 km/s e delle onde S compresa fra 1.47 e 1.64 km/s, ascrivibile all'ammasso roccioso poco fratturato e poco alterato;

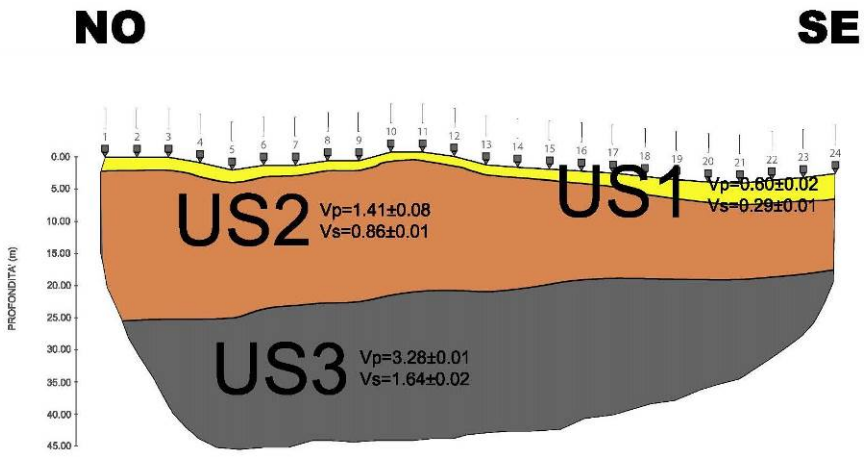


Figura 3-5 – Profilo sismico L6

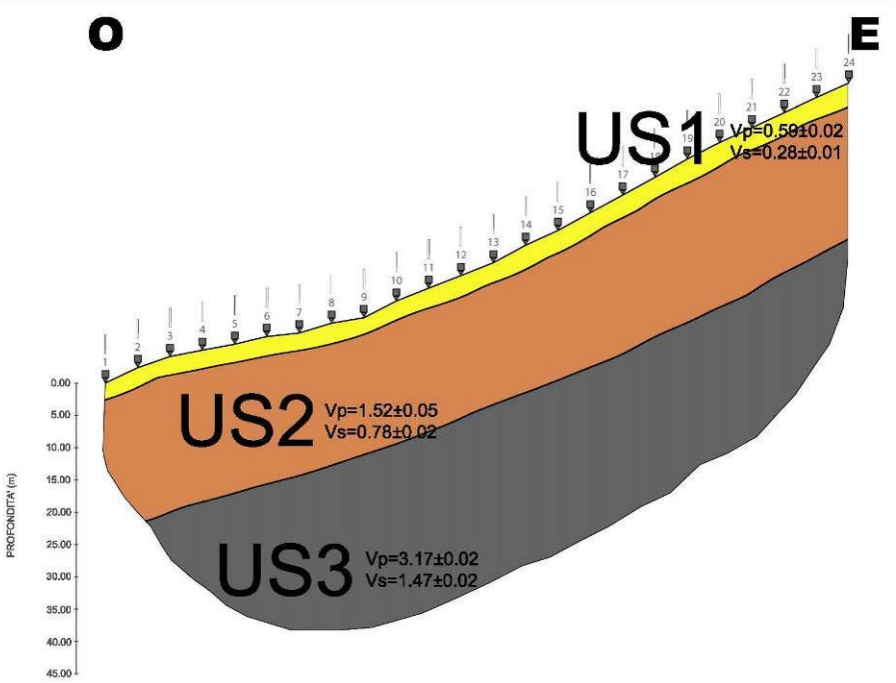


Figura 3-6 – Profilo sismico L7

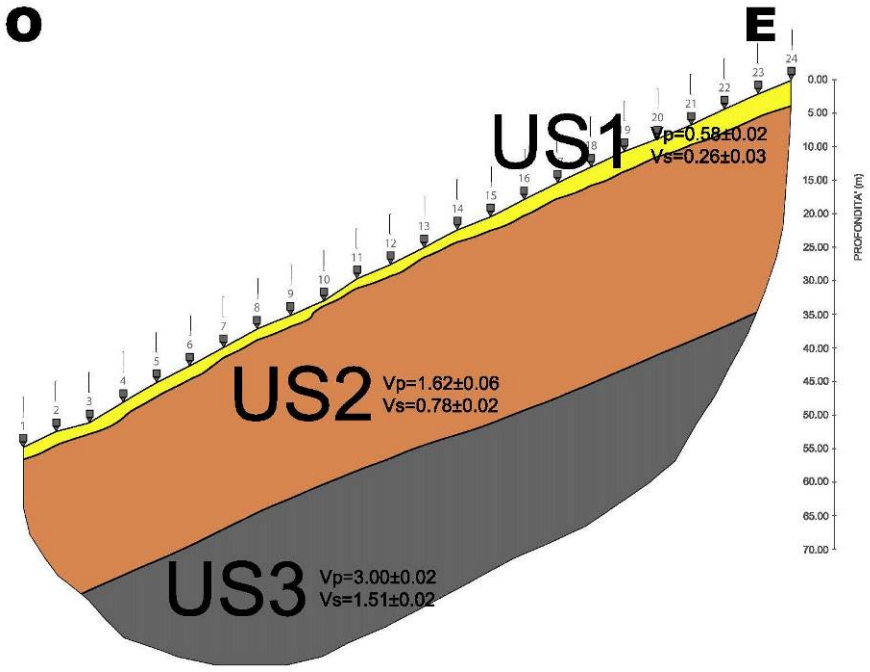


Figura 3-7 – Profilo sismico L8

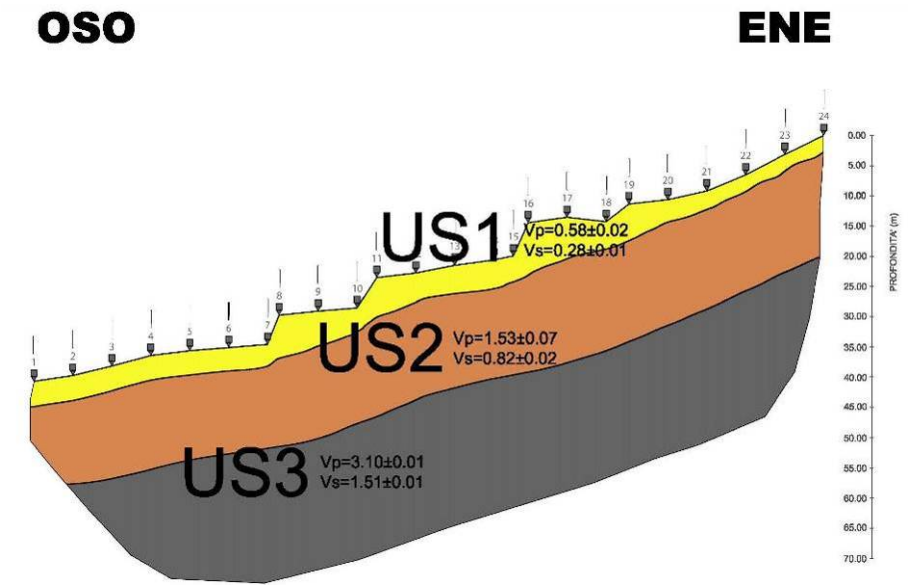


Figura 3-8 – Profilo sismico L9

Nell'ambito della campagna di indagini integrativa effettuata nel 2015-2016, sono state effettuate ulteriori tre stese di geofisica (T23-24-25) all'interno della Pg3a.

Nelle sezioni relative alle onde P è stato possibile tracciare l'interfaccia tra copertura e roccia compatta con relativa continuità. Solo nella sezione T24 sussistono alcune sono incertezze, in particolare nel tratto centrale (tra circa 35 e 70 m da inizio sezione) il gradiente delle curve di isovelocità, nell'intorno dei 2000 m/s, differisce sia dal resto della sezione che dalle sezioni T23 e T25. Inoltre si nota una "insenatura" a bassa velocità molto accentuata che ha riscontro anche nella sezione delle onde S ma meno marcata e più ampia. Tale geometria potrebbe essere associabile ad una zona dell'ammasso roccioso più alterata/fratturata o riempita di materiale detritico. La profondità dell'interfaccia varia tra i 7 e 8 m e i circa 20 m da piano campagna con andamento a tratti marcatamente irregolare (sezione T24) e con incrementi di spessore più evidenti nella sezione T23.

La sezione T23 delle onde S evidenzia gradienti simili a quelli delle onde P, mentre per la T24 la distribuzione delle curve di isovelocità, oltre a quanto già sopra detto, si presenta maggiormente irregolare. Per la sezione T25 l'irregolarità nella geometria delle isotache è più marcata nel tratto centrale.

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

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 02/12/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante sinistro idrografico del Torrente Leira, procedendo dal fondovalle fino alla porzione sommitale dell'area di

progetto interferente con il dissesto 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 fitta vegetazione arborea nella sua porzione meridionale e nella porzione medio inferiore, dove si rileva anche la presenza di terrazzamenti. Osservando l'areale di studio dall'esterno (**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.

- Risalendo lungo la strada sterrata si osservano diversi muri a secco in buono stato di conservazione (**Foto 2**), localmente interessati da piccoli dissesti non cartografabili legati all'azione delle acque di infiltrazione e a un drenaggio non adeguato (**Foto 3**).

- Sul lato nord dell'area di rilievo (fra q.38 m s.m. e q.55 m s.m. circa) sono stati rilevati diversi terrazzamenti abbandonati, colonizzati da vegetazione prevalentemente arbustiva (**Foto 4**); in questa zona i muri a secco e le scarpate antropiche non mostrano lesioni e deformazioni significative.



Foto 2 – Muri a secco in buono stato di conservazione lungo lo strada esistente (q.38 m s.m.)



Foto 3 – Piccolo dissesto non cartografabile in corrispondenza

di un muro lungo la strada sterrata (q.57 m s.m.)



Foto 4 – Terrazzi abbandonati (q.48 m s.m.)

- Nell'intorno di q. 57 m s.m., a cavallo del limite dell'area classificata come Pg3a, è stato rilevato un orlo di scarpata di frana in corrispondenza del muro a secco che sostiene la strada (**Foto 5**); l'orlo rilevato sottende un corpo detritico completamente colonizzato da vegetazione arbustiva.



Foto 5 – Dissesto a valle della strada (q.57 m s.m.)

- A q.58 m s.m. è presente un edificio interessato da lesioni strutturali sia sul lato ovest sia sul lato est (**Foto 6** e **Foto 7**)). Nell'intorno di q.59 m s.m., nella zona pianeggiante a est dell'edificio, è stata rilevata la presenza di acqua stagnante superficiale (**Foto 8**).



Foto 6 – Lesione strutturale sul lato ovest dell'edificio nella porzione centrale dell'area di rilievo (q.58 m s.m.)

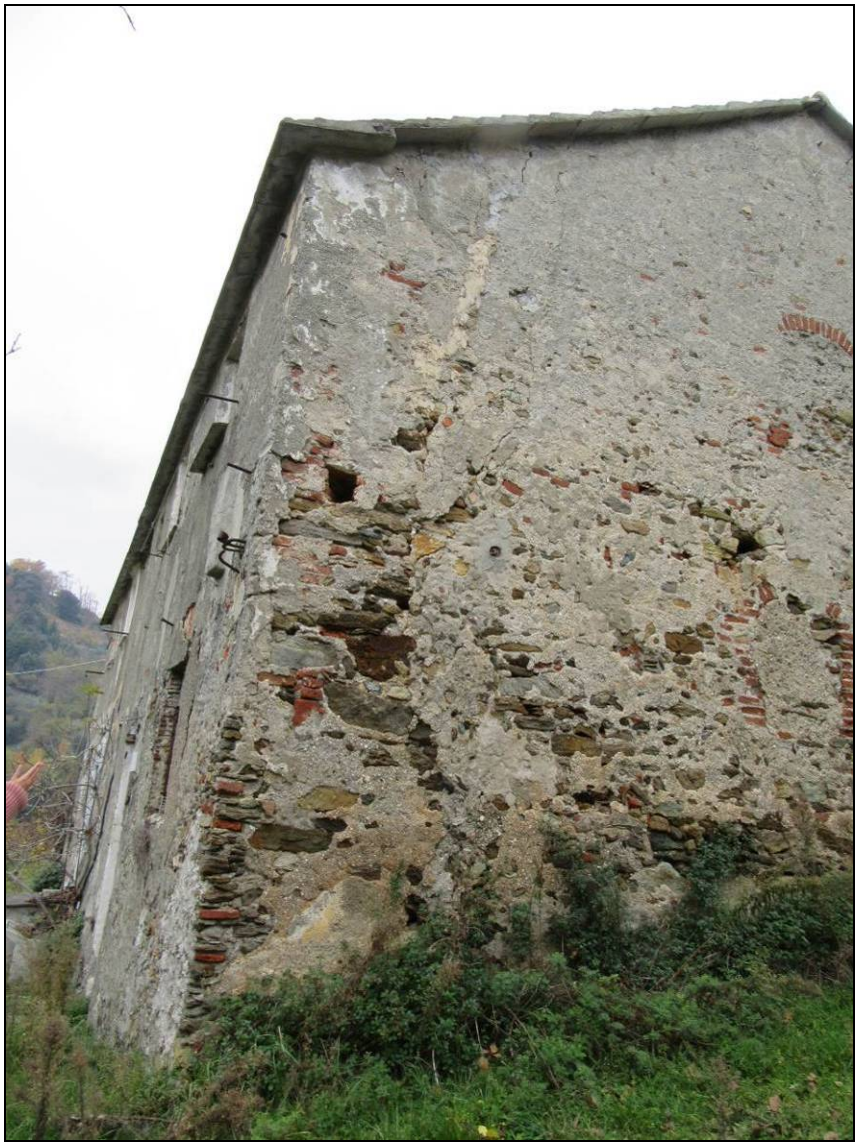


Foto 7 – Lesione strutturale sul lato est dell'edificio nella porzione centrale dell'area di rilievo (q.58 m s.m.)



Foto 8 – Acqua stagnante sul pianoro a est dell'edificio lesionato (q.59 m s.m.)

- Altre lesioni su manufatti sono state osservate in corrispondenza del muraglione perimetrale del cimitero di Voltri, nell'intorno di q.45 m s.m.



Foto 9 – Lesione strutturale sul muraglione a monte del cimitero (q.45 m s.m.)

- La zona nord dell'area di rilievo, esterna alla porzione di territorio classificata come Pg3a, è caratterizzata dalla presenza di terrazzamenti in buono stato di conservazione adibiti a uso agricolo (**Foto 10**).

- Nella porzione più elevata dell'area di rilievo, interessata sempre da terrazzamenti, sono stati rilevati diversi dissesti in corrispondenza dei muri a secco (**Foto 11**, **Foto 12**, **Foto 13** e **Foto 14**); questi scoscendimenti sono presumibilmente legati a movimenti di carattere superficiale provocati dalle acque di ruscellamento.



Foto 10 – Terrazzamenti in buono stato di conservazione (q.50÷58 m s.m.)



Foto 11 – Dissesto in corrispondenza di un muro a secco (q.82 m

s.m.)



Foto 12 – Dissesto in corrispondenza di un muro a secco (q.87 m s.m.)



Foto 13 – Dissesto in corrispondenza di un muro a secco (q.93 m s.m.)



Foto 14 – Dissesti non cartografabili in corrispondenza di un muro a secco (q.87 m s.m.)

- Nella porzione più elevata dell'area di rilievo, è presente una piccola cappella abbandonata che non presenta lesioni strutturali.
- Sulle sponde dell'alveo del torrente che delimita l'area Pg3a, è stata osservata la presenza di arginature e di piccole briglie costituite da muretti a secco, spesso interrotti da piccoli dissesti superficiali di dimensioni non cartografabili (**Foto 15** e **Foto 16**).



Foto 15 – Dissesto non cartografabile in corrispondenza dell'argine dell'alveo (q.46 m s.m.)



Foto 16 – Dissesto non cartografabile in corrispondenza dell'argine dell'alveo (q.36 m s.m.)

- Sul versante a sud dell'alveo, caratterizzato dalla presenza di parecchi terrazzamenti colonizzati da vegetazione arborea e arbustiva, sono stati rilevati due dissesti (**Foto 17** e **Foto 18**).



Foto 17 – Dissesto sul versante a sud dell'alveo dell'argine dell'alveo (q.39 m s.m.)



Foto 18 – Dissesto sul versante a sud (q.38 m s.m.)

- In tutta l'area di rilievo sono stati osservati diversi affioramenti di micascisti nella porzione inferiore e di metagabbri nella porzione superiore (**Foto 19** e **Foto 20**), caratterizzati da una scistosità immergente verso E-SE e da tre famiglie di discontinuità (localmente due) con caratteristiche tali da poter classificare gli ammassi rocciosi di qualità media.



Foto 19 – Affioramento di micascisti (q.50 m s.m.)



Foto 20 – Affioramento di metagabbri (q.96 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
	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 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 067-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) 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 sulla sezione LEI 067-Sez. A riportata 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 5-6 m.

A monte della porzione sommitale dell'area indicata come soggetta a dissesto attivo nella cartografia del Piano di Bacino e nel suo intorno significativo 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.

Le analisi di stabilità globale del versante sono state condotte assumendo la seguente sequenza stratigrafica:

- da p.c. a 5.0÷6.5 m da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso (potenzialmente instabile): depositi costituiti principalmente da sabbie limose debolmente ghiaiose con rari di ciottoli (C_{CS});
- da 5.0÷6.5 m a 8.0÷10.0 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 8.0÷10.0 m da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Calcescisti s.l.(CS).

La falda considerata nelle verifiche interessa solamente i depositi di versante superficiali ed è caratterizzata da una soggiacenza variabile fra circa due terzi e circa metà dello spessore dei depositi stessi.

Per determinare le caratteristiche di resistenza delle coltri di copertura dell'ammasso roccioso, sono state condotte 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**.

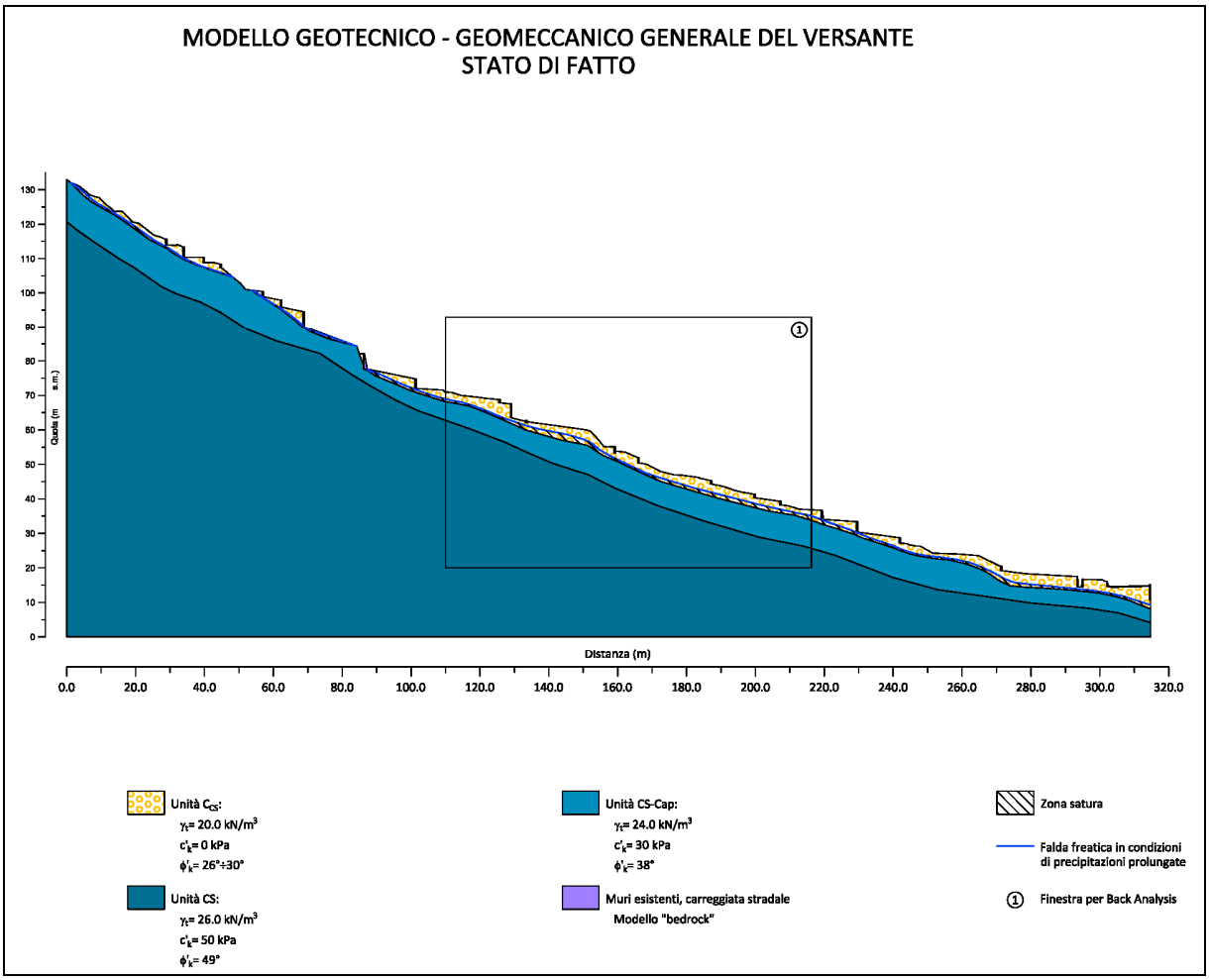


Figura 4-1 – Modello stato attuale

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 Pg3a all'incirca secondo la massima pendenza.

Considerato lo spessore dei depositi superficiali e la tipologia di dissesto osservata durante i rilievi geomorfologici di dettaglio effettuati, si è scelto di eseguire la back analysis nella porzione centrale della sezione, caratterizzata dalla presenza di detriti con il maggior

spessore, desunto dalle indagini geognostiche e geofisiche a disposizione, pari a circa 5÷6 m.

La superficie di scivolamento critica individuata è localizzata interamente nello strato superficiale della coltre di copertura, parte nella porzione sommitale del deposito di versante a q.62 m s.m. circa ed emerge a valle a q. 41 m s.m. circa. 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=1.002.

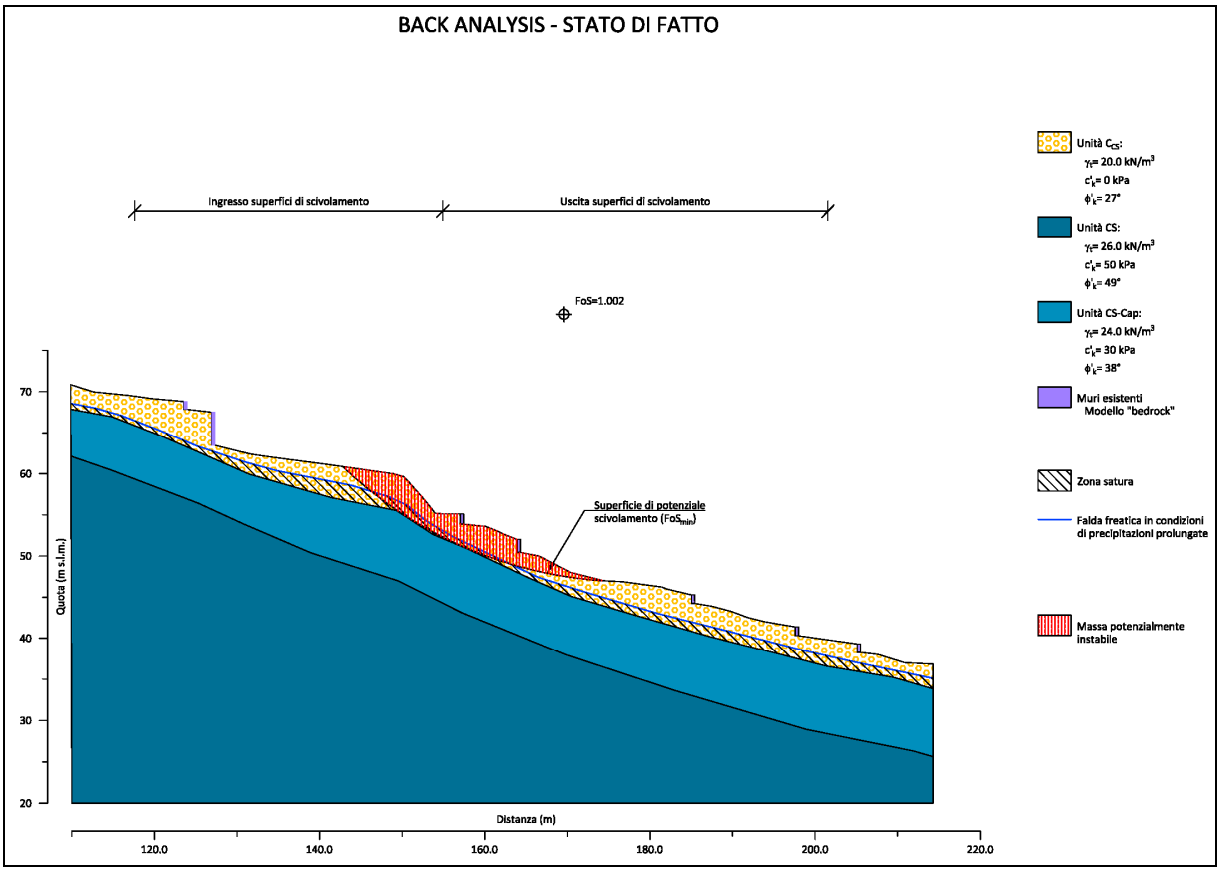


Figura 4-2 – Risultati back analysis stato di fatto

Parametri del detrito superficiale (Unità C_{CS}) ottenute tramite back analysis	
γ_t (kN/m^3)	20.0
c' (kPa)	0
φ' (°)	27.0
FS	1.002

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

La back analysis eseguita mostra che l'angolo di resistenza al taglio residuo ottenuto per i depositi sciolti superficiali è compreso nell'intervallo indicato nella relazione geotecnica generale (cfr. Ape001).

ϕ'_R (angolo di resistenza al taglio residuo derivante da back analysis) = 27°

ϕ'_K (angolo di resistenza al taglio caratteristico da caratterizzazione geotecnica = 26 ÷ 30°

I valori di resistenza al taglio ottenuti tramite back analysis rappresentano i valori minimi in condizioni di equilibrio limite. I parametri caratteristici (vedi relazione di caratterizzazione geotecnica, Cfr.APE001) sono quelli 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 LEI067 ricadono le opere di viabilità di servizio VS06 nella zona di interconnessione Voltri per l'accesso alla zona di cantiere all'imbocco della galleria Amandola, lato Savona (cfr. **Figura 4-3**).

Le opere consistono nella realizzazione di una strada, che da via Ovada si sviluppa in direzione NE fino a quota 96 m s.m. circa. Il nuovo tracciato sarà stabilizzato mediante la realizzazione di muri sottoscarpa prefabbricati e paratie berlinesi tirantate, come previsto nella relazione di progetto APE2162.

La viabilità secondaria VS06 sarà completata per mezzo di diverse opere di regimazione idraulica delle acque superficiali (si vedano i doc. IDR1215 e IDR1216). Tali opere comprendono cunette prefabbricate in c.a. per la raccolta delle acque di piattaforma, collettori e tombini in c.a. per permettere il deflusso delle stesse e contribuire all'allontanamento delle acque di versante.

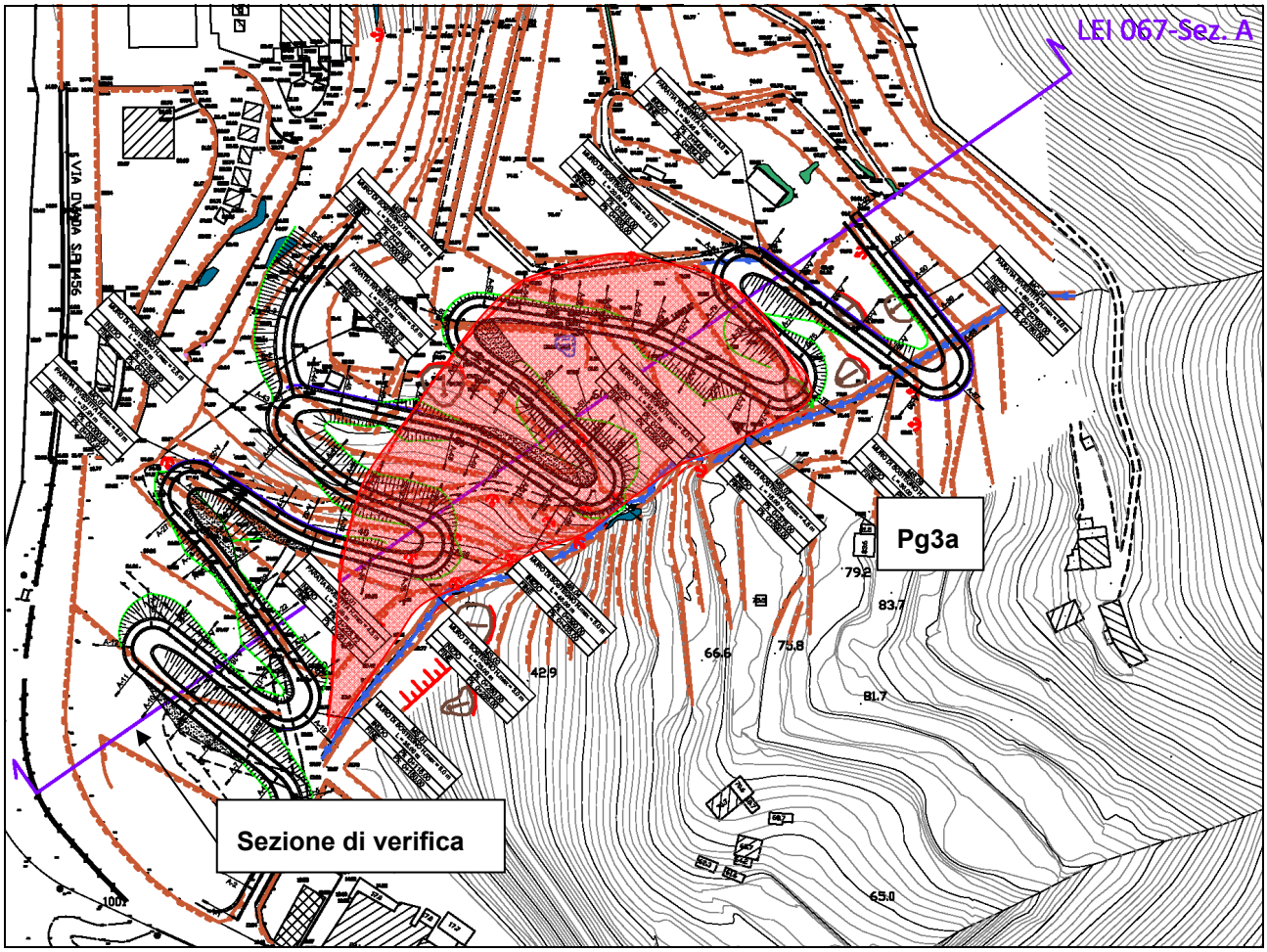


Figura 4-3 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata – Pg3a

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 Pg3a nella zona di massima pendenza. Nella sezione di verifica sono state inserite le nuove opere in progetto necessarie per la realizzazione della viabilità di servizio VS06 (muri di sostegno nella porzione medio inferiore del versante e paratie berlinesi nella porzione superiore, 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.

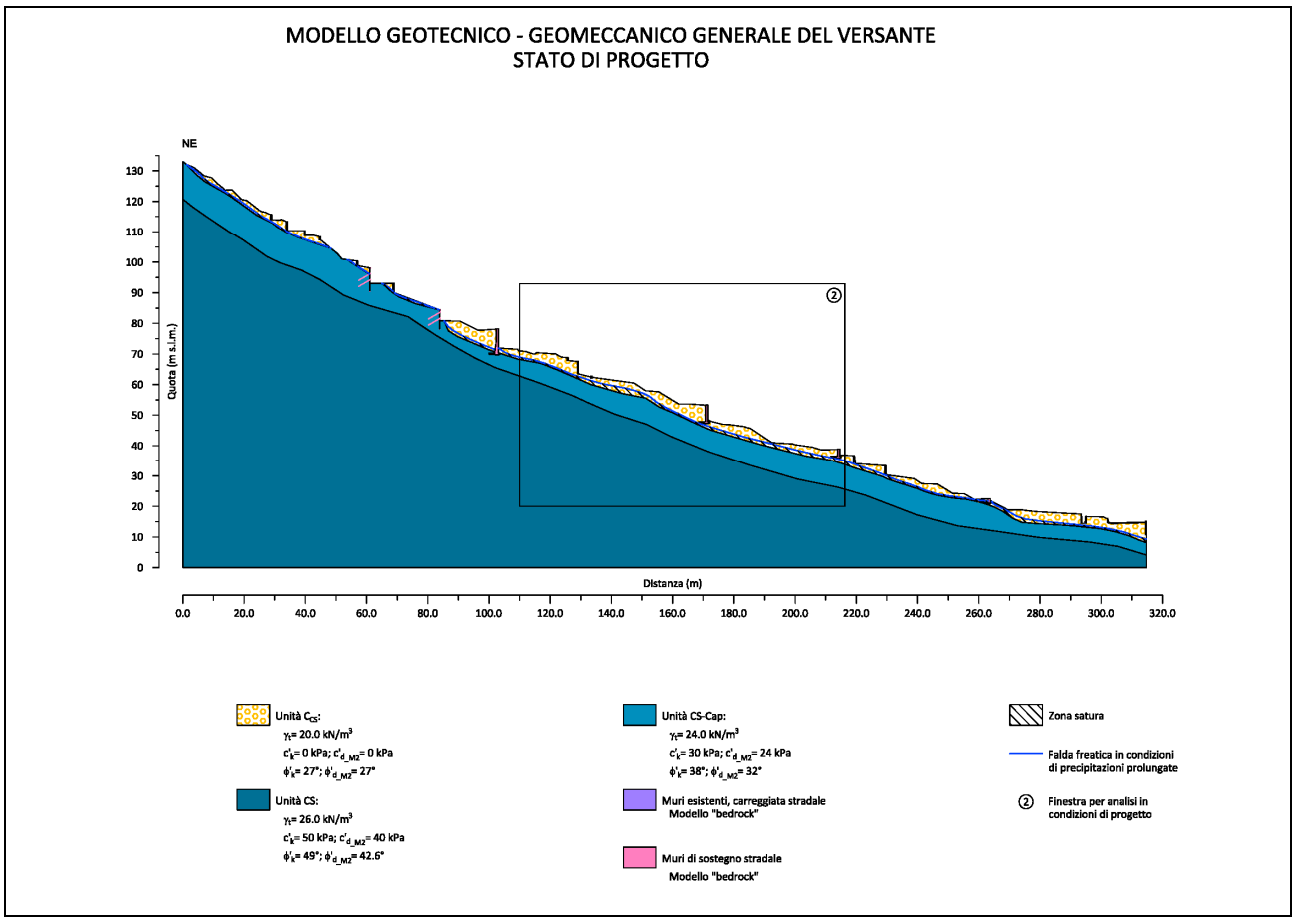


Figura 4-4 – Modello stato di progetto

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 dell'area delimitata dal riquadro riportato in **Figura 4-4**, che racchiude la zona di maggior criticità ai fini delle condizioni di stabilità.

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 ridotti mediante i coefficienti parziali 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	27.0	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 e sono stati amplificati del coefficiente parziale A2; nelle analisi i sovraccarichi non vengono applicati quando il loro effetto ha carattere stabilizzante.

In accordo alle NTC2008, i sovraccarichi accidentali da traffico non vanno combinati con le azioni sismiche, per tanto essi sono stati considerati nulli nelle verifiche in condizioni sismiche.

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 = 0.031 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:

$$k_h = \beta_s \times a_{max}$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

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

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ = 0.087 · 1.5 · 1.2 = 0.157 g

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte applicando la componente orizzontale di spinta pseudo statica coerentemente alla direzione di scivolamento, mentre la componente verticale è stata considerata in entrambi i versi.

Si fa comunque presente che nel dimensionamento dei muri e delle paratie berlinesi di sostegno della viabilità di servizio, 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.

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

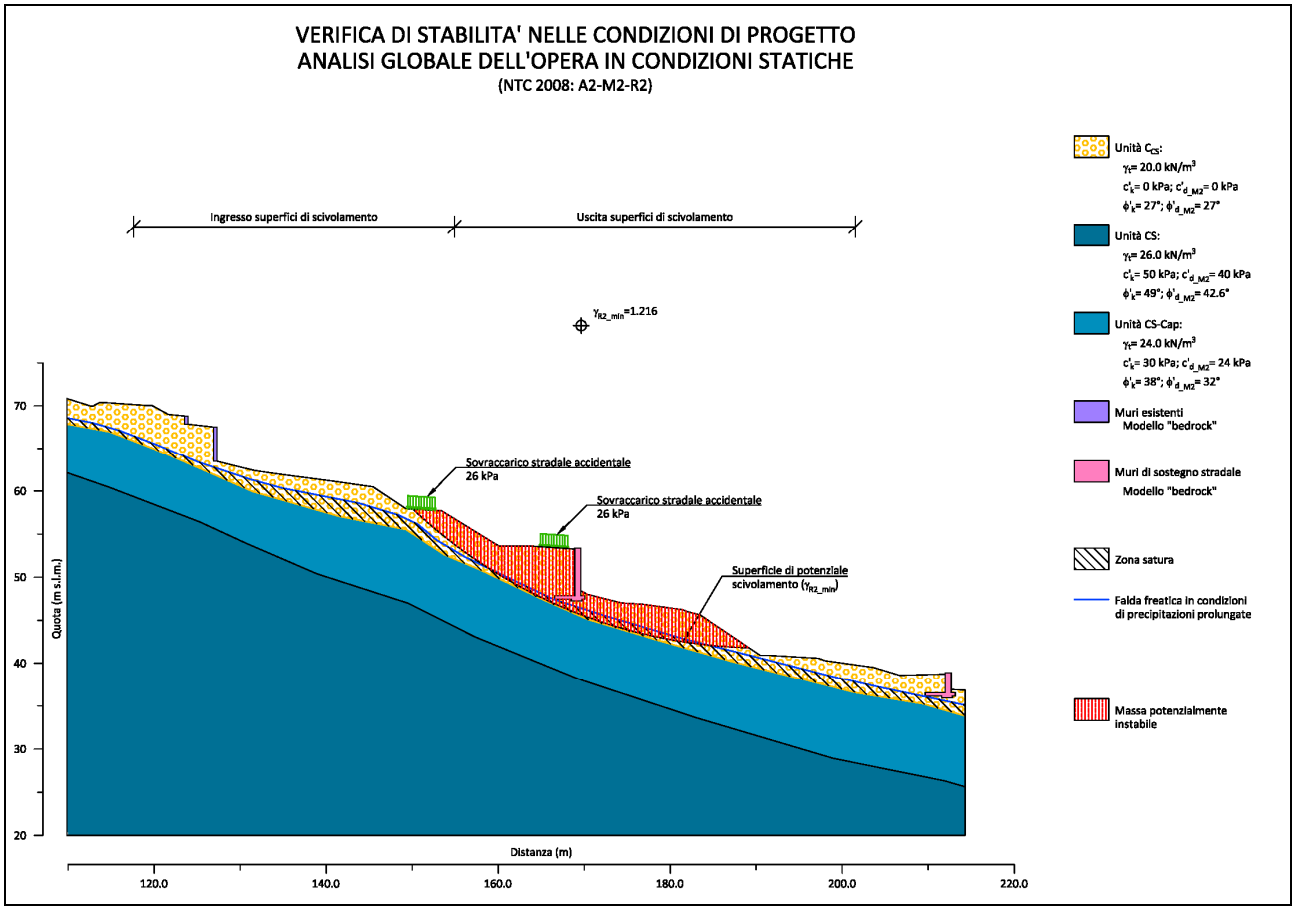


Figura 4-5 – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni statiche

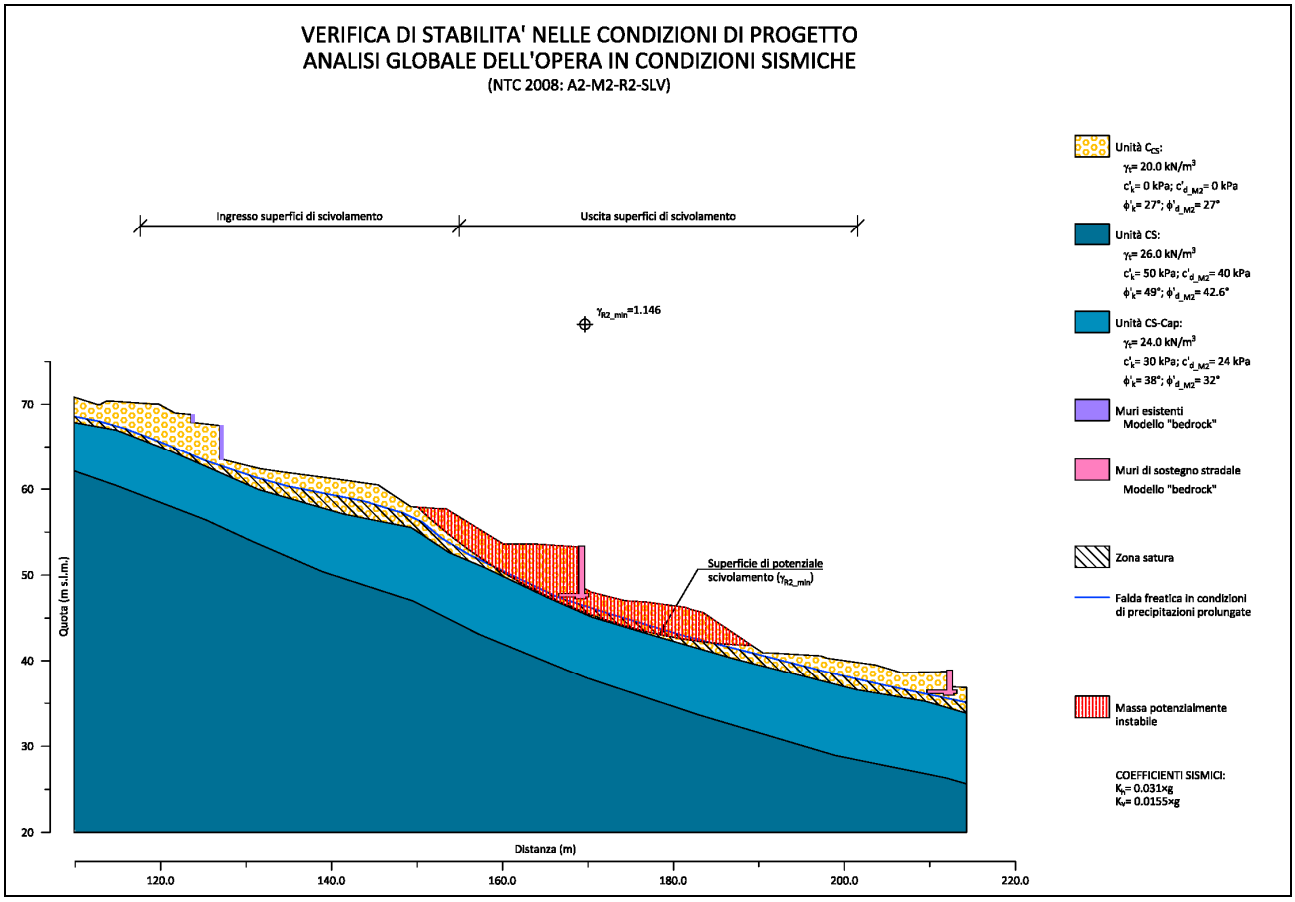


Figura 4-6 – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni sisimiche (Kv con segno positivo)

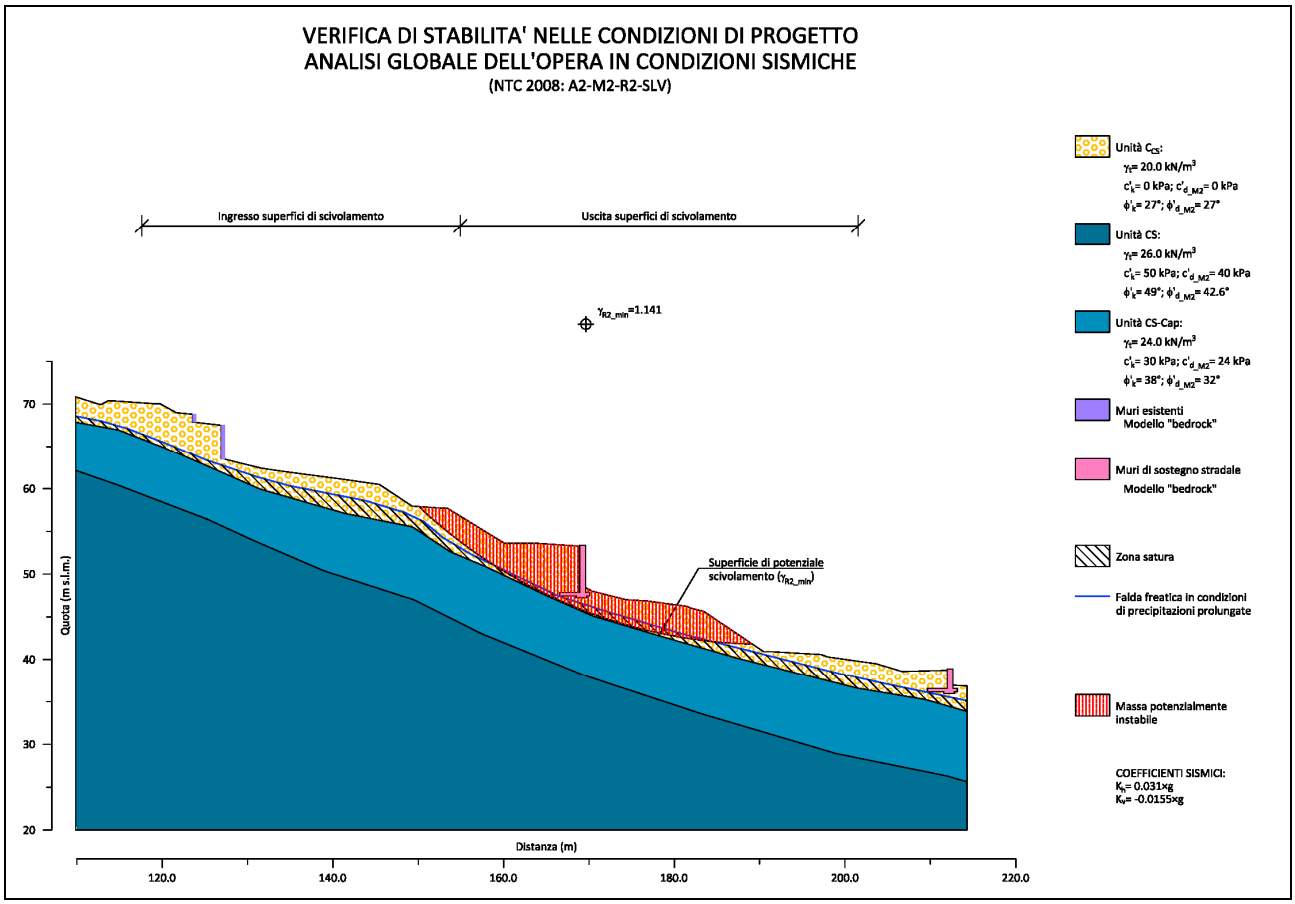


Figura 4-7 – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni ssismiche (Kv con segno negativo)

Analisi di stabilità	Coefficiente γ_{R2_Calc}
Stato di progetto – Condizioni statiche	1.216
Stato di progetto – Condizioni sismiche (Kv positivo)	1.146
Stato di progetto – Condizioni sismiche (Kv negativo)	1.141

Tabella 4-5 – Risultati della analisi di stabilità in condizioni statiche – Stato di progetto

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

$\gamma_{R2_Calc} < \gamma_{R2,}$ dove γ_{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 APE2162.

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**	1.002	--
Analisi **post-operam**	1.216	1.141

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.

Lo schema di drenaggio adottato consente uno scarico diffuso della precipitazione in arrivo rendendo, di fatto, la strada una struttura "permeabile".

Tale sistema di drenaggio evita la concentrazione delle portate di scarico in pochi punti che provocherebbero un notevole incremento della capacità erosiva dell'acqua. Per ovviare a queste problematiche si è quindi scelto di scaricare la precipitazione in arrivo con una frequenza diffusa prevedendo interasse medio di scarico ogni 10-30 m. L'interasse di scarico dipende essenzialmente dalla pendenza della viabilità in progetto, dal bacino di monte sotteso e dalle opere presenti nel tratto di interesse (paratie e muri), che hanno comportato scelte progettuali diverse. Nei punti di scarico il terreno viene protetto mediante l'impiego di materassi metallici che prevengono l'insorgere di fenomeni erosivi localizzati.

Nel tratto vallivo, il sistema primario è stato 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 nel 2010 per la progettazione dell'imbocco, sono state eseguite le indagini integrative di seguito descritte in corrispondenza della zona centrale dell'area identificata come dissesto quiescente nei documenti prodotti dagli enti:

- n.3 stendimenti di sismica a rifrazione in modo tale da definire in maniera più dettagliata 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)

Per l'area in esame, oggetto della presente scheda, per orientamento o per l'assenza di PS sul territorio, non risultano disponibili né evoluzioni temporali (serie storiche) né le componenti est-ovest e verticale.

Al fine di intensificare la presenza dei punti di misura nelle aree analizzate saranno installati almeno n. 4 – 6 riflettori artificiali a doppia geometria.

La scelta del posizionamento dei riflettori artificiali è strettamente legata al fenomeno che si intende monitorare. Contemporaneamente sarà necessario prendere in considerazione anche l'aspetto radaristico del problema, ovvero avere l'accortezza di scegliere aree di installazione che possiedano queste caratteristiche:

- Visibilità da satellite: l'area in cui installare i riflettori deve essere visibile da satellite in tutte le geometrie di acquisizione che verranno utilizzate (tipicamente ascendente e discendente);
- Rumore di fondo basso: l'area di installazione deve essere sufficientemente buia affinché il riflettore artificiale sia facilmente identificabile e che esso non interferisca con oggetti riflettenti già presenti nelle vicinanze. E' per questo consigliata l'installazione in aree sufficientemente lontane (almeno 15 metri) da case, pali in metallo, recinzioni, …

Il processo di installazione è suddiviso nelle seguenti fasi:

- Fase 1. Studio delle posizioni di installazione dei riflettori artificiali, sulla base sia dei requisiti geologici inerente al fenomeno in studio, sia dei requisiti radar-satellitari.
- Fase 2. Realizzazione delle strutture di sostegno del riflettore artificiale.
- Fase 3. Assemblaggio in sito dei riflettori artificiali.
- Fase 4. Orientamento dei riflettori.
- Fase 5. Misura GPS per la rilevazione della quota di ciascun riflettore.

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 superficiale diffusa, che interessa essenzialmente la coltre detritica di spessore inferiore a 5-6 m circa. I dissesti osservati sono caratterizzati da dimensioni modeste, limitati alla porzione più superficiale del versante e localizzati per lo più in corrispondenza dei fronti dei terrazzamenti presenti

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 in progetto.

Nella configurazione finale del progetto, la frana LEI 067 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.;
- gli interventi di inserimento paesaggistico verificati dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo in ottemperanza alla prescrizione B3 del DEC/VIA n.28 del 23.01.2014, completano tutti gli interventi.

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, non inficiando in alcun modo la stabilità dell'area in oggetto, siano tali da poter acquisire il parere del Comitato Tecnico di Bacino ai sensi dell'art. 11 c. 4 lett. b) della LR n.58/2009 e 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
- *Allegato n.8* - Prove di laboratorio
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità