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 ARZ039

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	5	0	–	2	SCALA: –

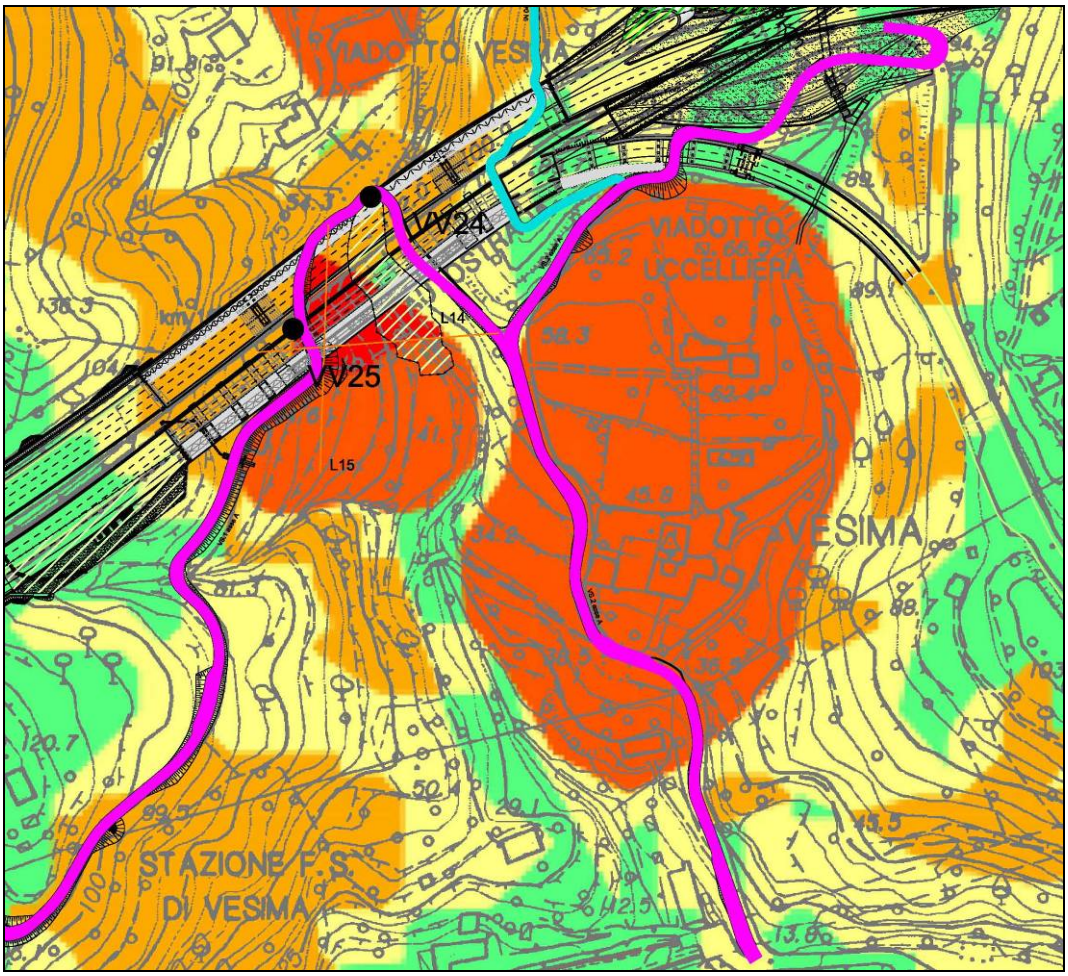
	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE	
spea ENGINEERING gruppo Atlantia	Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A				n.	data
					0	Novembre 2015
					1	Aprile 2016
					2	Ottobre 2016
	REDATTO:		VERIFICATO:		3	
					4	

	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 ARZ039 (PG3A)

OPERA INTERFERENTE: VIABILITA' DI SERVIZIO VS02



INDICE

1. PREMESSA 4

2. METODOLOGIA DI LAVORO 7

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 10

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI 10

3.2 CARTOGRAFIA 10

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO 10

3.4 Aree Interferenti 10

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a 10

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino 12

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

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 13

3.9 INDAGINI ESEGUITE 15

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 18

3.11 CAUSE DEL DISSESTO 30

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 30

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 31

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 31

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 31

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 32

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.....59

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 GEN0151: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana ARZ039 (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 12e13, 14, 15, 16, 17, 18, modificate con D.G.P. n. 124 del 22/09/2014 (art. 16 ter):

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

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

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

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

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

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

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

Al fine di ottemperare alla prescrizione citata ed acquisire i pareri in essa richiamati, per tutte le aree classificate, dalle cartografie dei piani di bacino, a suscettività di dissesto alta (Pg3a) viene predisposta un'apposita scheda, in cui viene mostrato come gli interventi previsti in progetto contribuiscano alla stabilizzazione del dissesto oggetto di interferenza con le opere, determinando di fatto un effetto positivo.

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

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

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

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

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

- *GEO0001: Relazione geologica e idrogeologica generale*

- *GEO0002: Carta geologica*
- *GEO0020: Carta geomorfologica*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *STD1001-2: Viabilità di servizio Vesima - Planimetria di insieme VS.01 e VS.02*
- *STD1008 : Planimetria di progetto, stato di fatto, tracciamento e sezioni tipo*
- *STD1009: Profilo longitudinale*
- *STD1010: Sezioni trasversali*
- *IDR1206-1:Sistema di drenaggio di piattaforma - planimetria idraulica*
- *MOI0001: Monitoraggio geotecnico delle opere all'aperto*

Per comodità di lettura, è stato prodotto un elaborato di sintesi:

- *GEN0151 "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana ARZ039 (Pg3a) - Opere interferenti: Planimetria e sezione"*, che riporta i dettagli progettuali relativi agli scavi, alle sistemazioni idrauliche, alle opere relative alla viabilità.

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche - geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata *ARZ039*, che risulta interferente con la Viabilità di servizio Vesima VS.02.

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 per lo più 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.

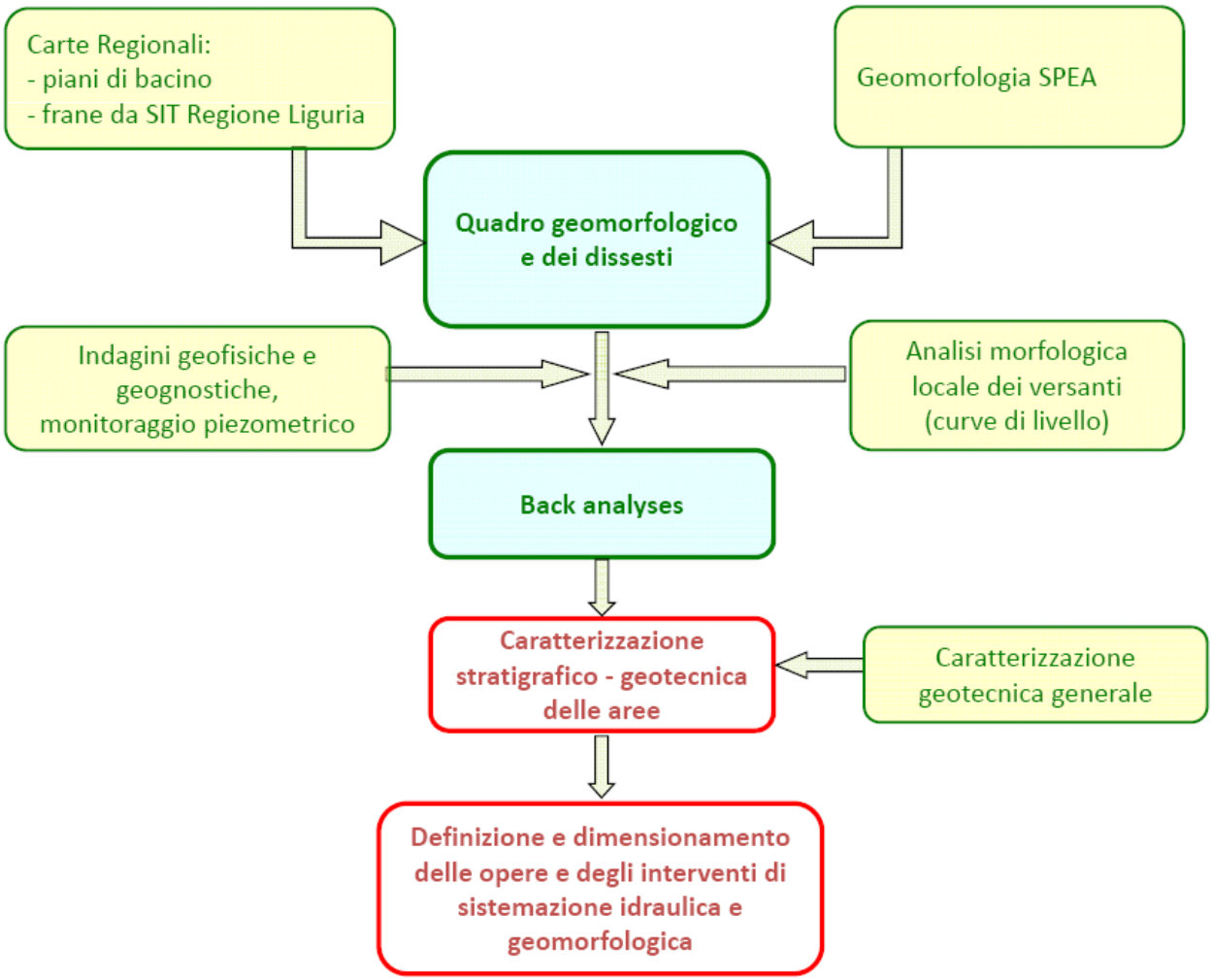


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: VESIMA

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: AMBITI 12 e 13

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): ARZ039

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 trattato nella presente scheda è rappresentato dalla **Pg3a** interferente con la viabilità di servizio VS.02; sono altresì presenti Pg3b, Pg2 e Pg1, come evidenziato nella cartografia tematica allegata.

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

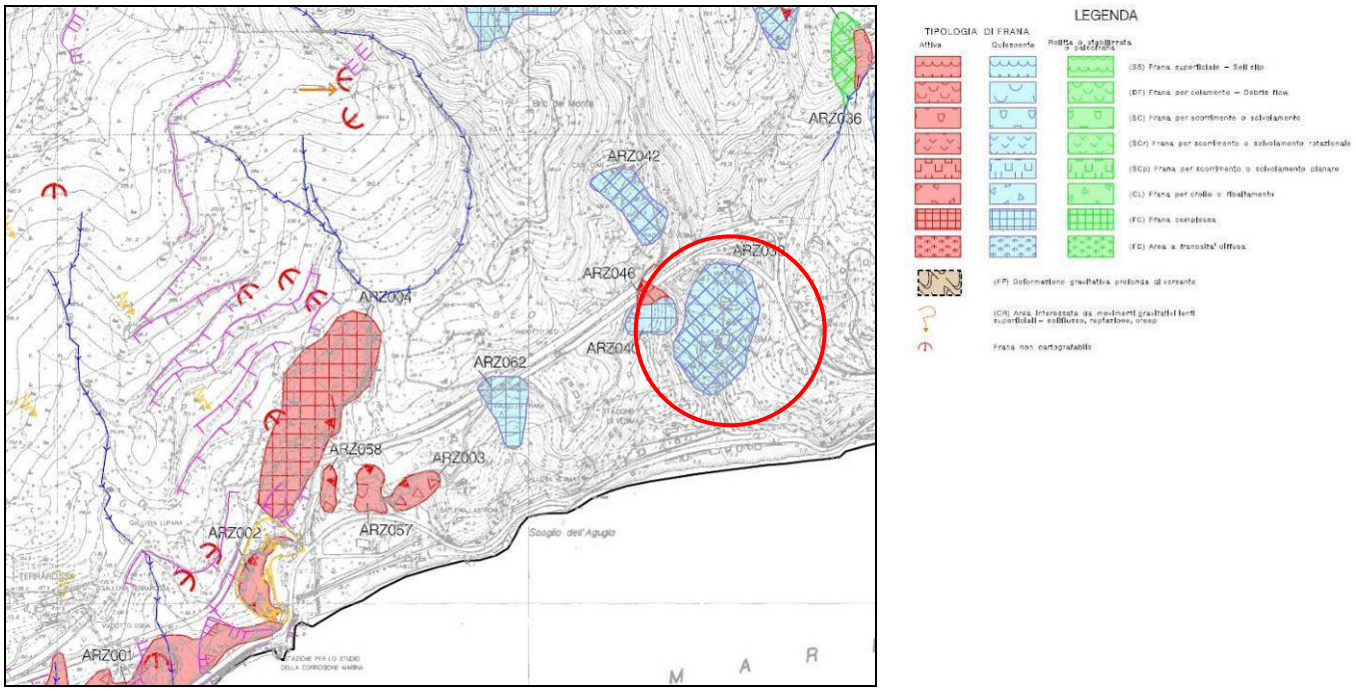


Figura 3-1 – Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino

Nel Piano degli interventi di mitigazione del rischio del Piano di Bacino non sono previsti interventi per il dissesto in esame mentre è previsto il rifacimento della tombinatura in prossimità dell'Aurelia, a valle dell'area (A3-ID6).
In particolare nel Piano degli interventi, per il Rio Vesima è previsto:

- *Adeguamento del tratto di copertura sottostante la linea ferroviaria Genova-Ventimiglia e la SS Aurelia, con uno scatolare di dimensioni indicative 4 x 4 m che consentirebbe il deflusso della portata duecentennale con un franco di sicurezza adeguato (A3-ID6). Intervento congiunto al precedente è la pulizia dell'alveo, in particolare nel tratto della tombinatura sottostante la linea ferroviaria dove un notevole deposito di materiale restringe la sezione. Dovrà essere prevista anche un "azione costante di pulizia dell'alveo, da specificarsi a cura dell'Ente competente, dei proprietari frontisti e dei concessionari.*

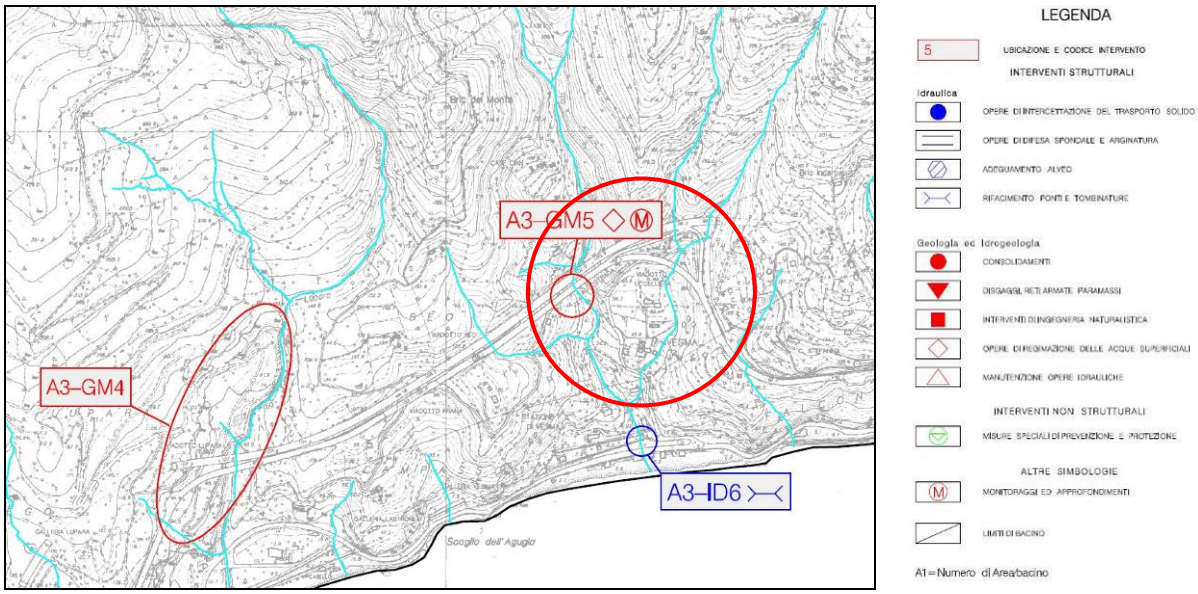


Figura 3-2 – Stralcio Carta degli interventi da Piano di Bacino

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 3-3**) identifica sul versante un dissesto quiescente coincidente con ARZ039 avente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100219600
- Tipo di movimento: complesso
- Attività: quiescente
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Vengono inoltre segnalate altre tre aree lungo il medesimo versante, classificate come frane complesse quiescenti (2 e 3 nella figura seguente).

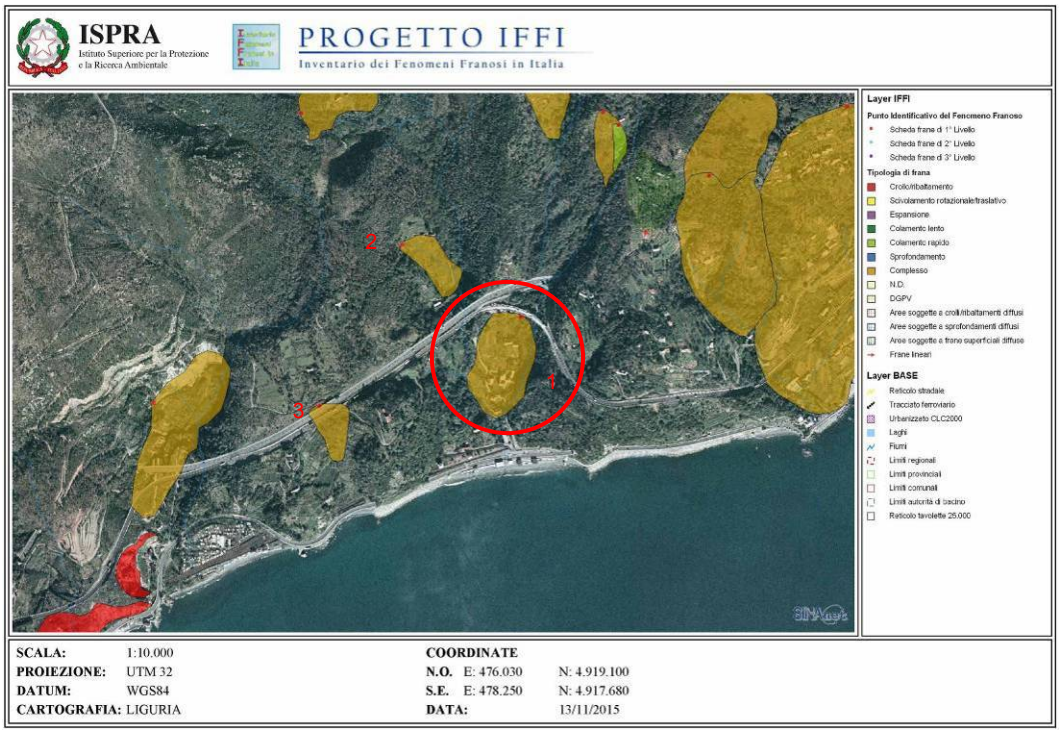


Figura 3-3 – Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg3a si imposta nell'Unità Tettonometamorfica Palmaro Caffarella e Voltri, qui rappresentate prevalentemente da Calcescisti con incluse lenti di Serpentiniti e Metagabbri; al contatto tra i Calcescisti e le altre due unità, si sviluppano sovente livelli di Scisti a Clorite e Tremolite (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 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 la viabilità esistente a N dell'area della Pg3a sono presenti affioramenti di metagabbri e serpentiniti.

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.

Serpentiniti (s)

Sotto questa voce sono comprese serpentiniti e serpentinoscisti derivanti dal materiale peridotitico di derivazione mantellica superiore, che mantengono talvolta relitti della tessitura lherzolitica originaria. Si presentano di colore verde, da chiaro a scuro, in frattura fresca; quando alterate, invece, assumono colorazioni più arancioni-rossicce, talvolta marroni.

In affioramento si presentano con caratteristiche tessiturali e strutturali estremamente variabili in risposta alla deformazione subita.

Le diverse facies tessiturali osservate sono descritte di seguito.

Serpentiniti a tessitura massiccia: presentano un aspetto generalmente compatto, le foliazioni sono presenti ma prevale la componente massiva. Passano gradualmente a

Serpentiniti a tessitura foliata (che rappresentano il tipo più diffuso), caratterizzate dallo sviluppo di clivaggi e/o scistosità evidenti, riferibili a diverse generazioni di deformazione.

Va sottolineato che le caratteristiche reologiche delle serpentiniti sono tali da far si che questo litotipo risponda in maniera pervasiva a quantità di deformazione anche modeste; per questo motivo, molti affioramenti sono caratterizzati da superfici di scistosità differenti, variamente compenetrate e con orientazione estremamente variabile.

Queste due litofacies affiorano in Val Vesima e formano lenti talora ettometriche trasposte, parallelizzate alla foliazione regionale.

In generale, la foliazione è prevalentemente marcata dall'isoorientazione del serpentino, del talco e dei minerali fibrosi.

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

Da un punto di vista geomorfologico, l'area di interesse si sviluppa lungo il versante idrografico sinistro del Torrente Vesima. Il versante si presenta con acclività piuttosto elevata, localmente terrazzato e con vegetazione ad alto fusto ed arbustiva fino all'autostrada mentre nell'area a valle dell'infrastruttura è presente un'estesa area ad inclinazione blanda, interclusa tra il Torrente Vesima ed un secondo impluvio senza nome posto ad est. (Allegato 3).

3.9 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in esame (cfr. Figure seguenti) sono stati realizzati per il Progetto Definitivo 2011 due sondaggi a carotaggio lungo la strada (VV24 e VV25) e due stese di geofisica a rifrazione (L14-L15).

Sono inoltre stati recuperati i dati di un sondaggio ed un'indagine MASW eseguiti nel ramo dismesso dell'autostrada a marzo 2014 per la manutenzione delle gallerie esistenti.

Non sono, invece, state eseguite indagini nell'area della frana oggetto della presente scheda.

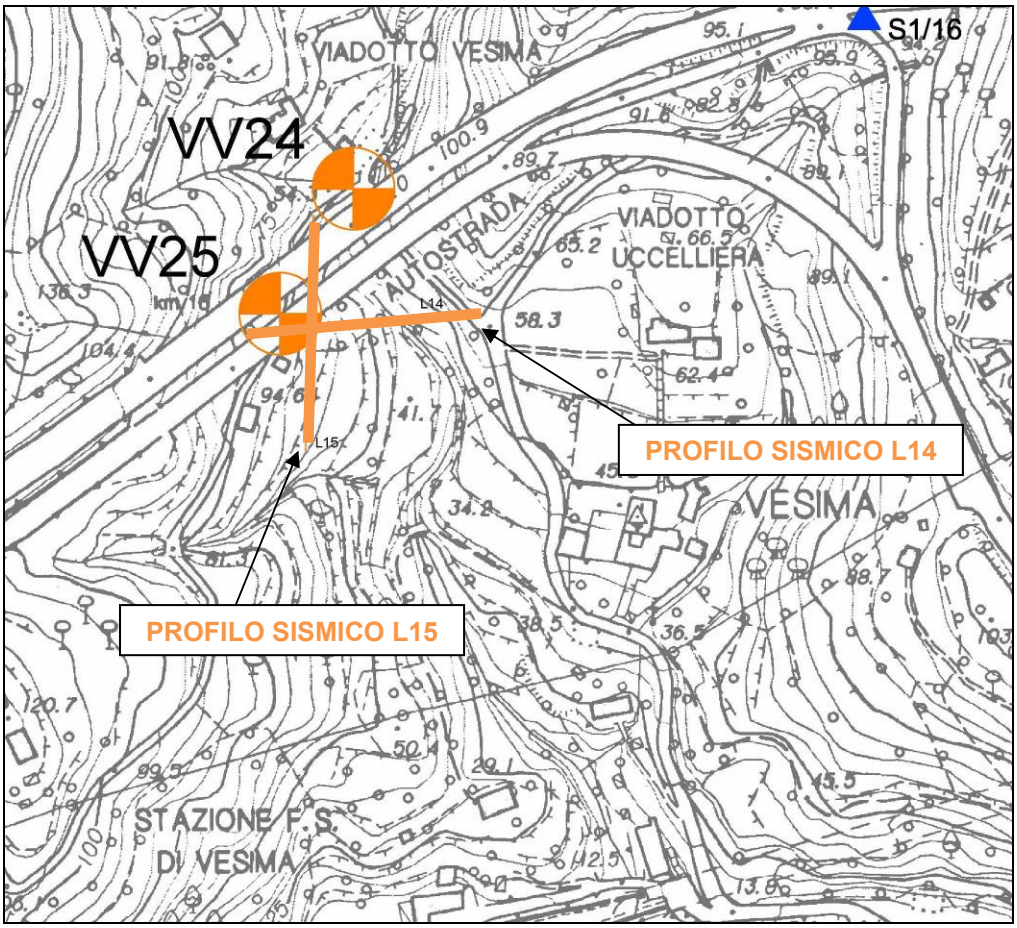


Figura 3-4 – Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini

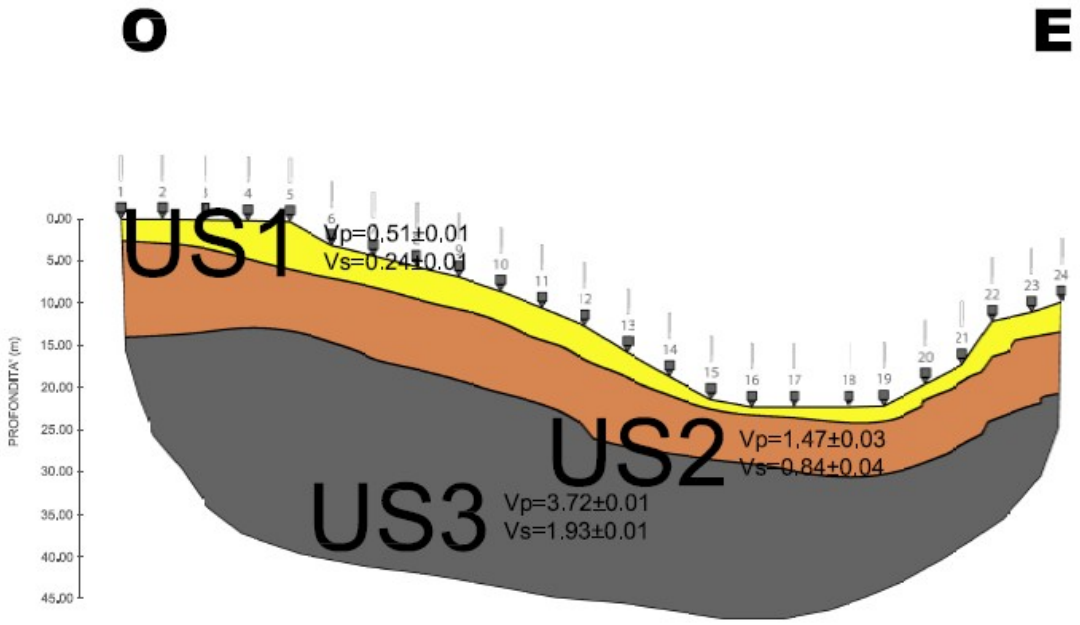


Figura 3-5 – Profilo sismico L14

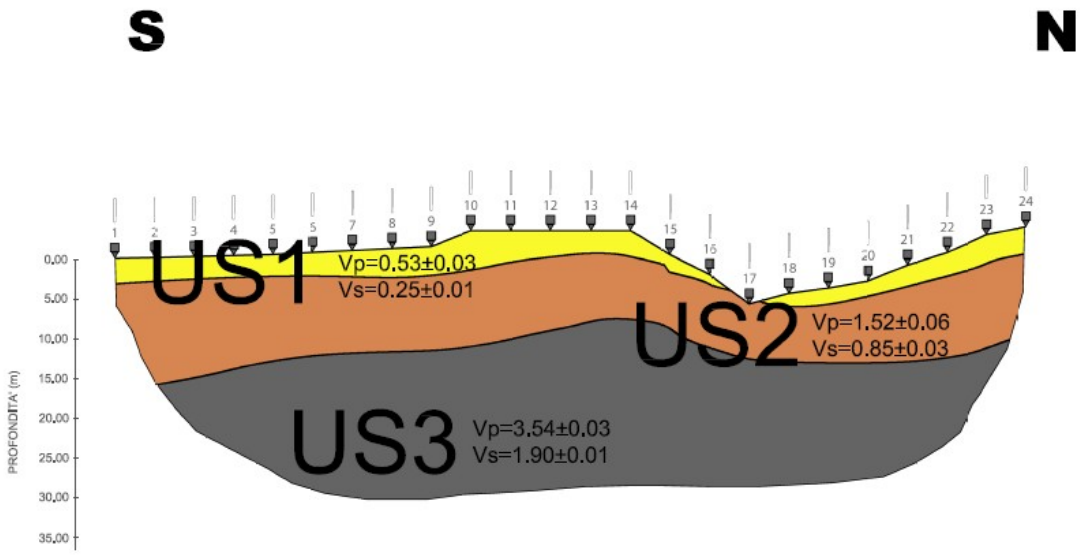


Figura 3-6 – Profilo sismico L15

Dalla stratigrafia del sondaggio VV25, lo spessore dei depositi di copertura è pari a circa 6.5 m mentre la fascia ad intensa alterazione arriva fino a circa 9 m; fino a 15 m circa si rinvengono tracce di ossidazione. La soggiacenza della falda - misurata il 12/07/11 - risultava essere -9.89 m da p.c..

In VV24 il substrato lapideo (calcescisti) è stato rinvenuto a 7.5 m di profondità; da 7.5 a 16 m il substrato risulta molto alterato e fratturato. La falda, misurata il 12/07/11, era a -4.80 m da p.c..

Il sondaggio eseguito sul ramo dismesso a monte dell'area in dissesto indica la presenza di un substrato costituito da talcoscisti di colore avana chiaro biancastro intensamente fratturati in scaglie cm ed alterati (RQD = 0%), ricoperti da una coltre detritica / riporto costituita da sabbia ghiaiosa con ciottoli passante a limo debolmente argilloso debolmente ghiaioso nocciola con screziature ocracee. Lo spessore della coltre detritica è di circa 9 m.

Nell'ambito della campagna di indagini integrativa effettuata nel 2015-2016 sono stati realizzati in prossimità dell'edificio presente nella parte alta della Pg3a, due sondaggi, uno a carotaggio continuo ed uno a distruzione, con installazione di inclinometro e piezometro finalizzati al monitoraggio dell'area in dissesto.

Nel sondaggio F6 di recente realizzazione mostra la presenza fino a 8.7 di terreni di copertura (ghiaie sabbioso limose e limi sabbiosi ghiaiosi); fino a 10.5 è presente una parte di alterazione del substrato costituito da scisti cloritici; da 10.5 a 17.7 si riscontra un'alternanza di calcescisti e scisti cloritici molto fratturati e tettonizzati (vicinanza a strutture tettoniche) per passare poi a calcescisti con RQD variabile.

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 09/10/2015 e 20/10/15 sono stati effettuati due sopralluoghi lungo la traccia della VS.02 con la finalità di verificare con un rilievo di dettaglio (scala 1:1.000) lo stato dell'area e l'effettiva perimetrazione del dissesto segnalato come quiescente dai documenti prodotti dagli enti.



Foto 1 – Immagine dell'area con indicata l'area della Pg3a



Foto 2 – Immagine dell'area con indicata l'area della Pg3a

L'area della Pg3a è ubicata sul versante a valle del Viadotto Uccelliera lungo la A10 ed è delimitata verso ovest dal Torrente Vesima e ad est da un torrente senza nome. L'impluvio del T. Vesima risulta incassato mentre il secondo corso d'acqua ha subito nel tempo alcuni interventi di regimazione.

La parte alta della Pg3a, immediatamente al di sotto della A10 presenta affioramenti di roccia con scarpate di altezza di qualche metro; la zona a valle ha invece una pendenza blanda (talora pianeggiante) ed è stata oggetto di intensi rimaneggiamenti antropici e di coltivazioni. Nella parte centrale è presente una chiesa (S. Pietro di Vesima) ed un monastero che risalgono all'XI-XII secolo.

L'intera area è coperta da vegetazione erbacea, rovi ed arbusti (indice di uno stato di abbandono) e localmente sono cresciuti dei canneti; in prossimità degli edifici sono invece presenti orti ed alberi da frutto.

Di seguito viene brevemente descritto quanto evidenziato durante il sopralluogo nell'ambito dell'area più prossima alla frana quiescente; mentre in allegato 4 è riportata la planimetria con indicati tutti gli elementi individuati.

- Nell'area a monte della Pg3a, immediatamente al di sotto dell'autostrada, è presente una strada (viabilità connessa con l'infrastruttura) che presenta lesioni del manto stradale e piccoli crolli di materiale lapideo proveniente dagli affioramenti (si

osservano calcescisti, serpentiniti e metagabbri). Il tratto alto dell'impluvio senza nome è probabilmente impostato su un lineamento tettonico che giustappone litotipi differenti;



Foto 3 – Lesioni sulla strada a monte della Pg3a



Foto 4 – Crollo lungo la strada a monte della Pg3a

- a valle della strada, attualmente, il versante è in stato di abbandono, ciononostante è possibile trovar traccia delle tipiche morfologie antropiche correlabili ad attività agricole. Si osservano anche canneti, che sono indice di un cattivo drenaggio negli strati superficiali;



Foto 5 – Zona alta della Pg3a

- nell'area di coronamento sono presenti due edifici in stato di abbandono; sulla facciata rivolta verso S si notano lesioni. Vi sono inoltre terrazzamenti i cui muretti a secco appaiono continui e privi di evidenti deformazioni;



Foto 6 – Facciata dell'edificio nell'area a monte: si nota la presenza di lesioni



Foto 7 – Facciata dell'edificio nell'area a monte: si nota la presenza di lesioni

- nella parte centrale della Pg3a è presente il Santuario con annesso monastero (ora adibito ad abitazione). La facciata della chiesa presenta alcune fessure di modesta entità, mentre nel parcheggio antistante si è verificato un piccolo smottamento.



Foto 8 – Facciata del Santuario di Vesima

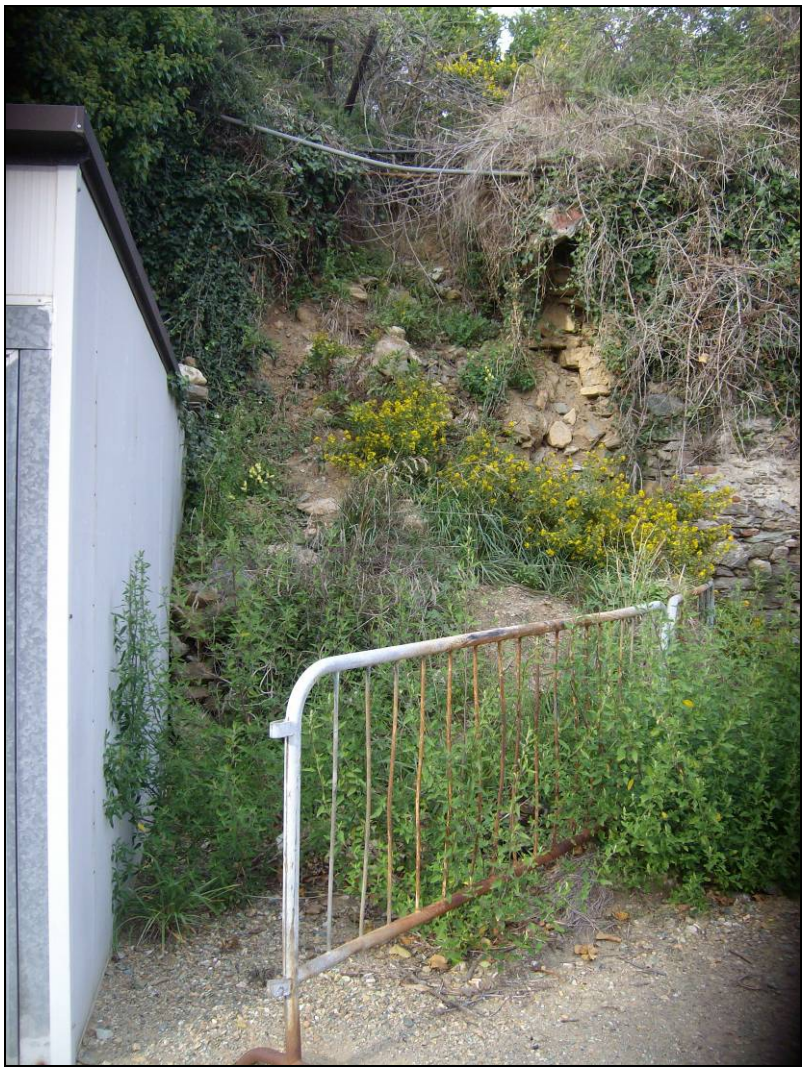


Foto 9 – Smottamento nel parcheggio della Chiesa

- lungo tutto il muro perimetrale che costeggia Via Vesima si notano in più punti lesioni monitorate con vetrini (per lo più rotti);



Foto 10 – Muro lesionato lungo via Vesima



Foto 11 – Vetrini di controllo su muro lesionato lungo via Vesima

- a valle dell'area del monastero è presente un piccolo altare. Il corso d'acqua senza nome, che fino a questo punto scorre delimitato verso ovest dal muro perimetrale, passa al di sotto della strada e poi lambisce il giardino di un edificio. Sulla base di colloqui intercorsi con gli abitanti della zona si riferisce che durante l'alluvione di novembre 2014 il corso d'acqua in piena ha causato il crollo del muro del giardino, ora ricostruito.



Foto 12 – Altare lungo via Vesima. Il corso d'acqua passa al di sotto della struttura



Foto 13 – Altare lungo via Vesima. Il corso d'acqua passa al di sotto della struttura

- gli abitanti hanno anche riferito che a novembre 2014 il torrente è fuoriuscito dall'alveo nell'area a monte della Chiesa e che l'acqua ha invaso le abitazioni ricavate all'interno del monastero.

In generale l'areale ascritto a frana quiescente (pg3a) mostra modesta acclività (scarsa energia del rilievo), evidenzia una reiterata rielaborazione antropica e presenta alcuni indizi evolutivi recenti (fessure di modesta entità). Pertanto, le lesioni riscontrate sui manufatti possano essere connesse al progressivo stato d'abbandono dell'area (es. assenza di manutenzione degli impluvi) piuttosto che ad eventi franosi in senso stretto. Risulta comunque opportuno considerare con attenzione la fragilità intrinseca di questi versanti, che possono subire parziali mobilitazioni ed alluvionamenti in concomitanza con precipitazioni di particolare intensità.

3.11 CAUSE DEL DISSESTO

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

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

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

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica è stata condotta con riferimento:

- ai dati geologici-geomorfologici descritti nel Capitolo 3;
- a 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)/Serpentiniti (S) e della relativa fascia di alterazione (CS-CAP/S-CAP);

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

- da 0.0 a circa 8.0 m da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso (potenzialmente instabile): I depositi superficiali sono rappresentati essenzialmente da depositi di versante, depositi eluvio/colluviali e depositi alluvionali;
- da 8.0 m a 18.0 m da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione della formazione dei Calcescisti (CS-CAP)/Serpentiniti (S-CAP), avente caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla formazione di base;
- al di sotto di 18.0 m da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Calcescisti (CS)/Serpentiniti (S).

La quota di falda di progetto è stata cautelativamente posizionata tra 0.0 e 3.0 di profondità da piano campagna.

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'area in esame comprende parte della viabilità di servizio VS.02 Vesima e il Presidio Idraulico P1 (**Figura 4-1**).

La sede stradale della viabilità esistente, per il tratto interferente con la frana ARZ039, verrà riasfaltata, riprofilata ove necessario e resa idonea al passaggio dei mezzi di cantiere, senza sostanziali modifiche plano-altimetriche del tracciato attuale. Unicamente per un tratto molto breve, solo in parte interessato dalla frana quiescente (v.sez.47-50 elab.STD1010), verrà realizzato un ampliamento della sede stradale.

Un ulteriore allargamento interesserà un area adiacente alla viabilità VS02 (v.sez.54-60 elab. STD1010) e servirà per collocare una vasca di raccolta e trattamento delle acque di piattaforma da recapitare nel Rio Vesima. In corrispondenza del piede del rilevato dove sarà alloggiato il presidio idraulico P1, si prevede di inserire un'opera di rinforzo del

versante consistente in una paratia in micropali di lunghezza 9 m circa e comunque sufficiente ad intestarsi nella formazione stabile.

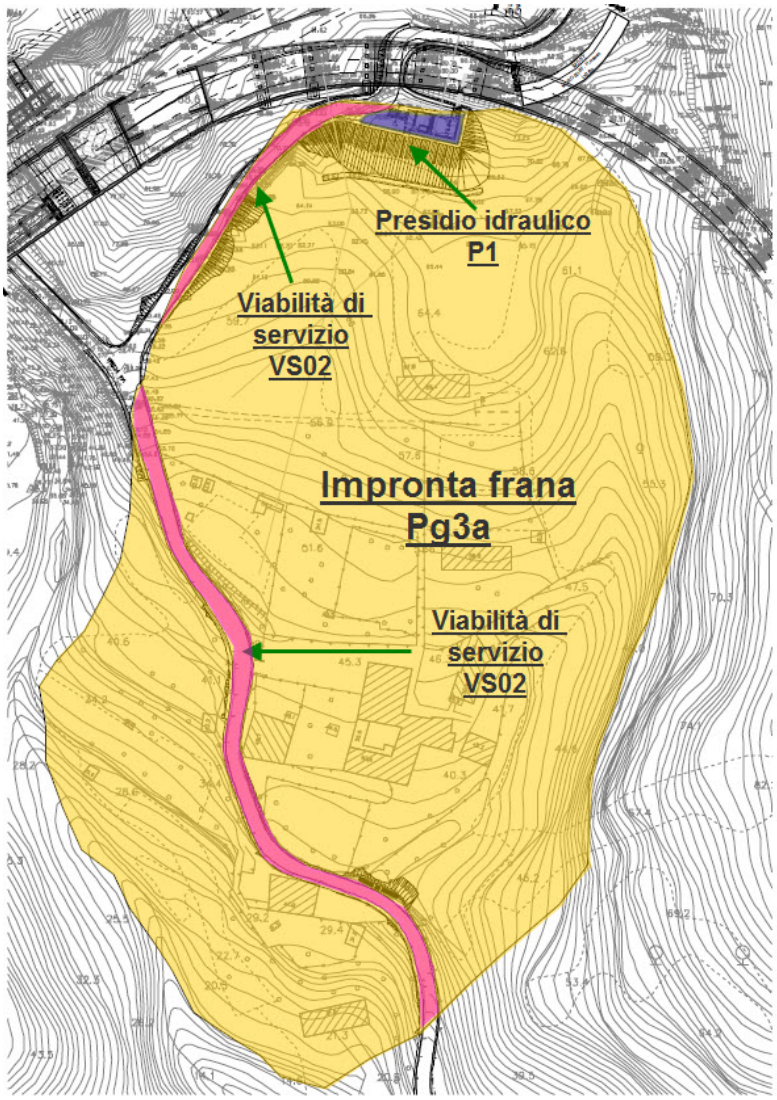


Figura 4-1 – Stralcio planimetrico

Oltre alla paratia sarà necessario costruire un sistema di drenaggio delle acque di versante mediante canalette e fossi, in tal modo si garantirà il rapido allontanamento delle acque meteoriche che incidono sfavorevolmente sulla stabilità del pendio. A tal proposito si evidenzia che le acque convogliate nel manufatto idraulico verranno scaricate nel Rio Vesima e non costituiranno ulteriore aggravio delle condizioni idrauliche di versante.

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

Per l'analisi di stabilità sono state studiate due sezioni la cui traccia planimetrica è riportata in **Figura 4-2**. Il profilo del terreno è stato così ricostruito: lunghezza di circa 148 metri e

dislivello complessivo di circa 30 metri per la sezione 1; lunghezza di circa 132 metri e dislivello complessivo di circa 36 metri per la sezione 2. Entrambe sono localizzate nella parte più ampia di rilevato ed intercettano, al piede dello stesso, l'opera geotecnica in micropali.

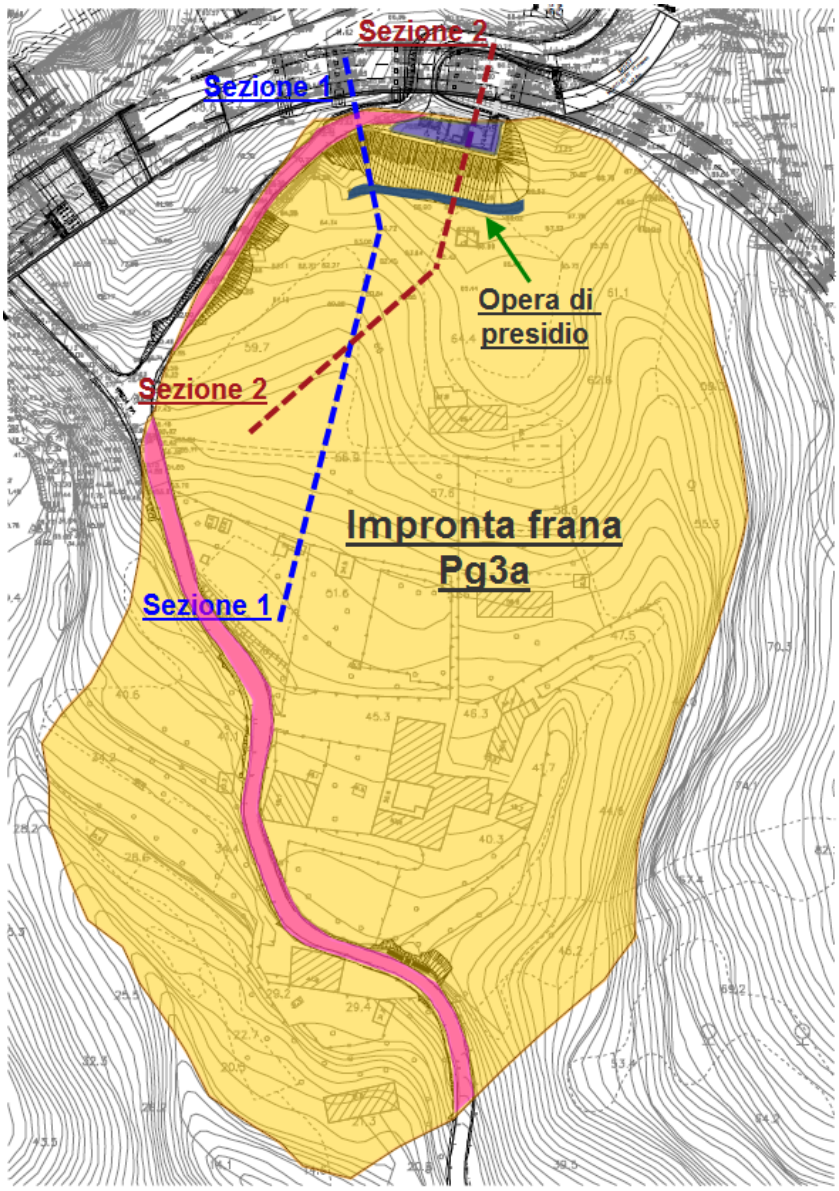


Figura 4-2 – Sezioni analizzare

Le sezioni in allargamento della strada esistente, di cui se ne riporta in figura una rappresentativa (sez.50), sono state ritenute meno critiche ai fini delle analisi in quanto:

- la scarpata naturale presenta già attualmente una pendenza compatibile con quella del rilevato di nuova costruzione (**Figura 4-3**);
- la strada ricade solo parzialmente nell'area in frana (**Figura 4-4**);

- la pendenza complessiva della sezione appare più dolce e quindi meno favorevole all'innesco di fenomeni gravitativi profondi.

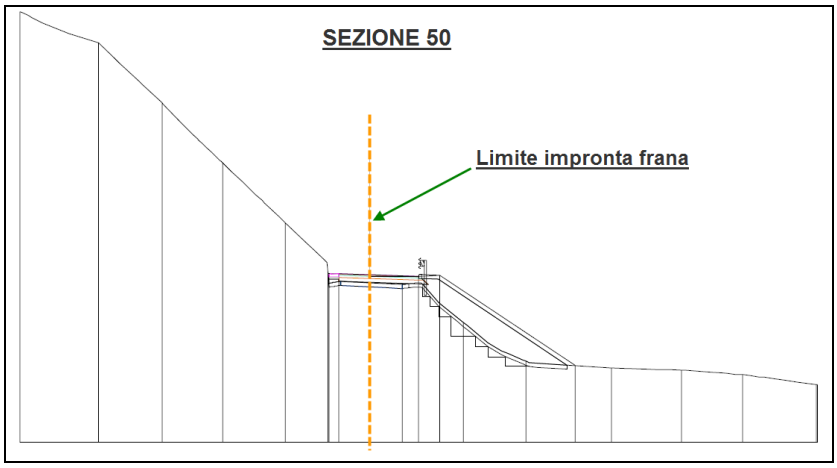


Figura 4-3 – Sezione 50 (VS02)

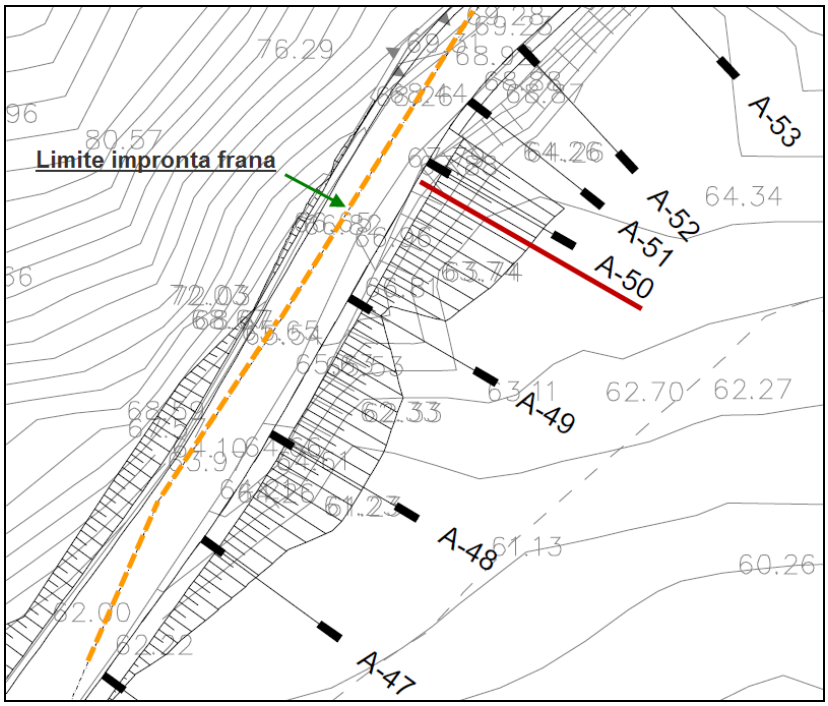


Figura 4-4 – Stralcio planimetrico per la Sezione 50 (VS02)

Le analisi di stabilità sono state svolte con l'ausilio del software di calcolo GeoStudio 2007 ed hanno interessato sia la configurazione ante-operam, sia quella post-operam, dopo cioè il completamento di tutte le opere e lavorazioni previste in progetto. Le condizioni di stabilità del versante sono state analizzate anche in condizioni sismiche ma soltanto nella configurazione post-operam descritta nel seguito.

Le figure **Figura 4-5** e **Figura 4-6** riportano rispettivamente: le sezioni esaminate ed i risultati delle analisi svolte relative alla configurazione ante-operam.

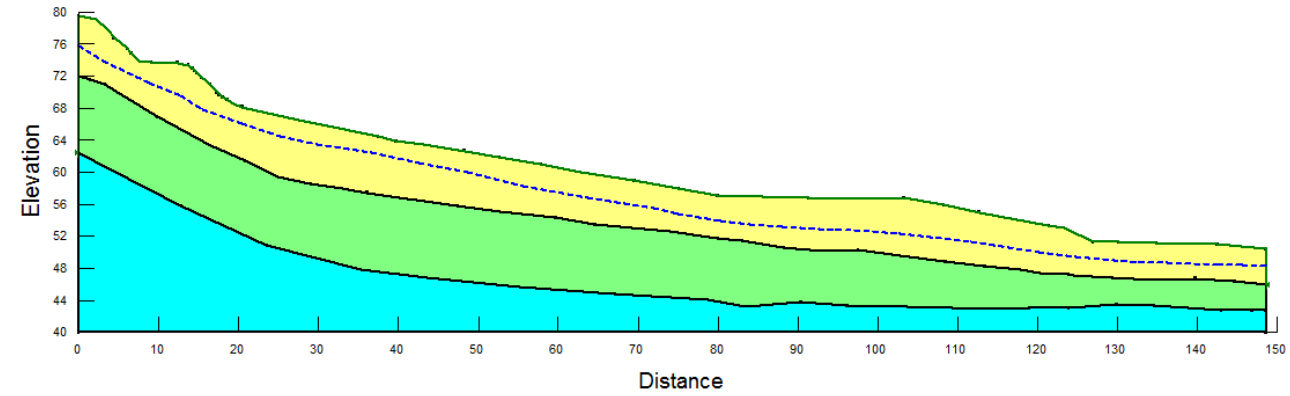
Le analisi ante-operam hanno indagato le condizioni attuali del versante. La falda è stata posizionata tra 0 e 3 m circa da p.c., assimilando tale condizione ad una condizione "critica" in cui, in corrispondenza di intensi fenomeni meteorici si instauri, anche temporaneamente, un regime di circolazione di acqua nella coltre alterata. Il valore dei parametri adottati nell'analisi sono riassunti nella tabella seguente:

γt (kN/m3)	20.0÷21.0
N_{SPT} (colpi/30 cm)	10 ÷ 35
φ' (°)	26 ÷ 30
c' (kPa)	0
c_u (kPa)	-
k_v (m/s)	$1x\ 10^{-5} \div 1x\ 10^{-6}$
V_s (m/s)	100 ÷ 220 (*)
G_0(MPa)	20 ÷ 80 (*)
E_{op}(MPa)	5÷22 (*)
ν' (-)	0.25

Tabella 4-1 Parametri geotecnici per i materiali di copertura C_{CS}/C_S (coltre)

Con l'osservazione diretta attuata durante i sopralluoghi avvenuti in data 09/10/2015 e 20/10/15, non sono stati rilevati movimenti gravitativi considerevoli. La definizione delle superfici critiche nelle due sezioni analizzate dunque, fa riferimento principalmente ai risultati dei sondaggi ed ipotizzata la mobilitazione di due superfici di scivolamento: la prima di spessore limitato (< di 5m, compatibile con movimenti superficiali); la seconda più profonda, che comprende l'intero strato di coltre (8m circa).

Sezione 1



Sezione 2

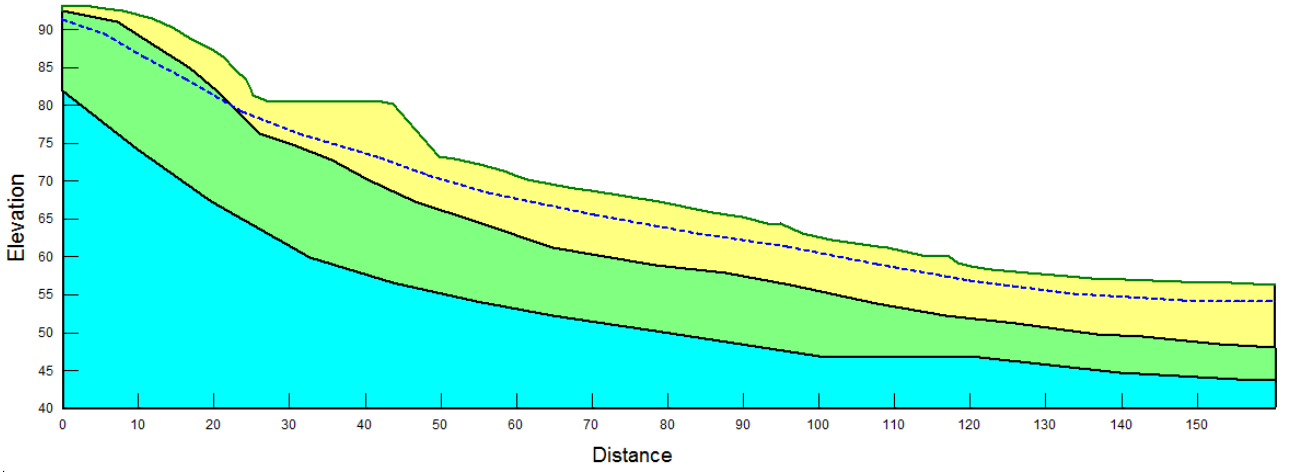


Figura 4-5 – Sezioni analizzate

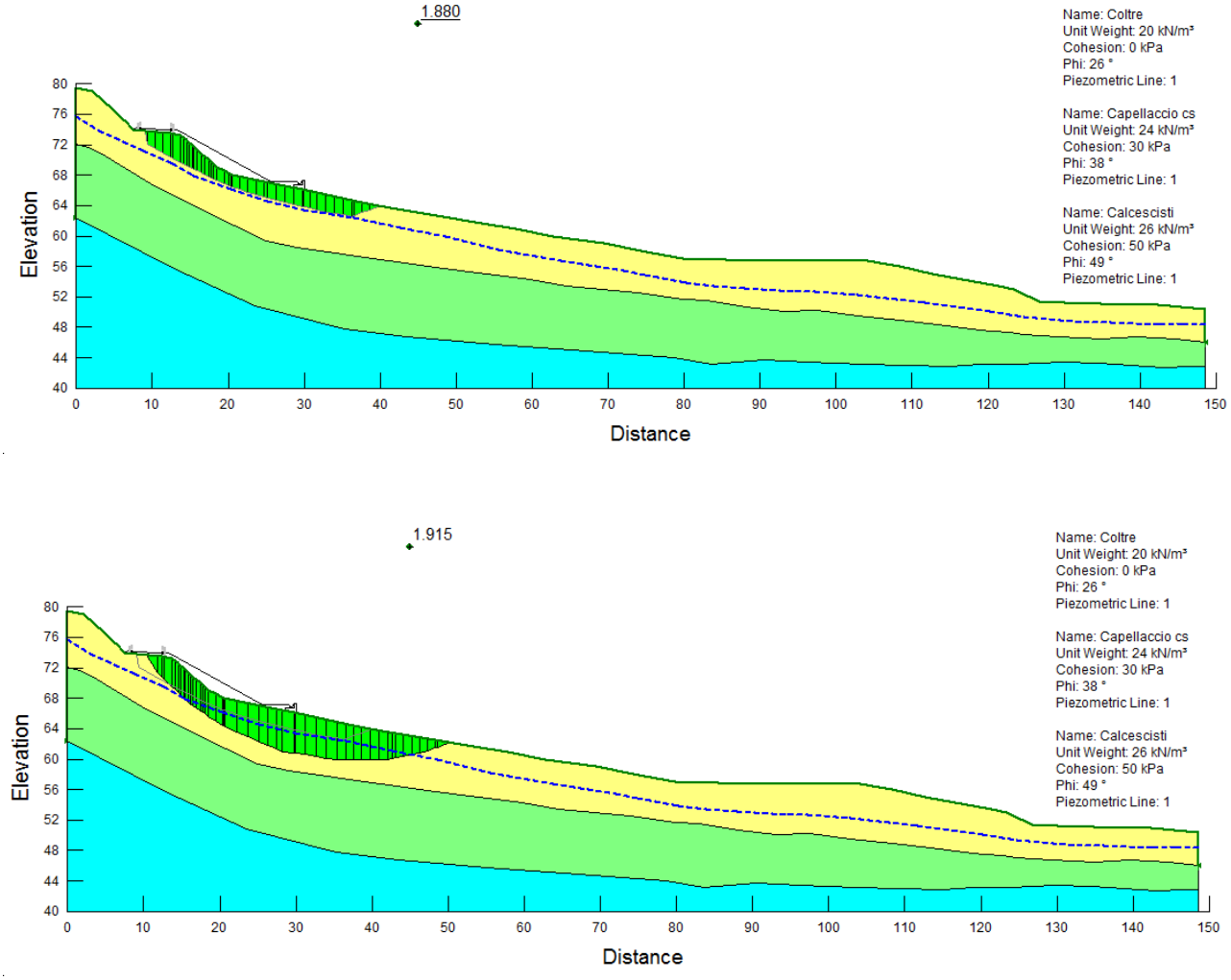


Figura 4-6 – Risultati delle analisi ante-operam – sezione 1

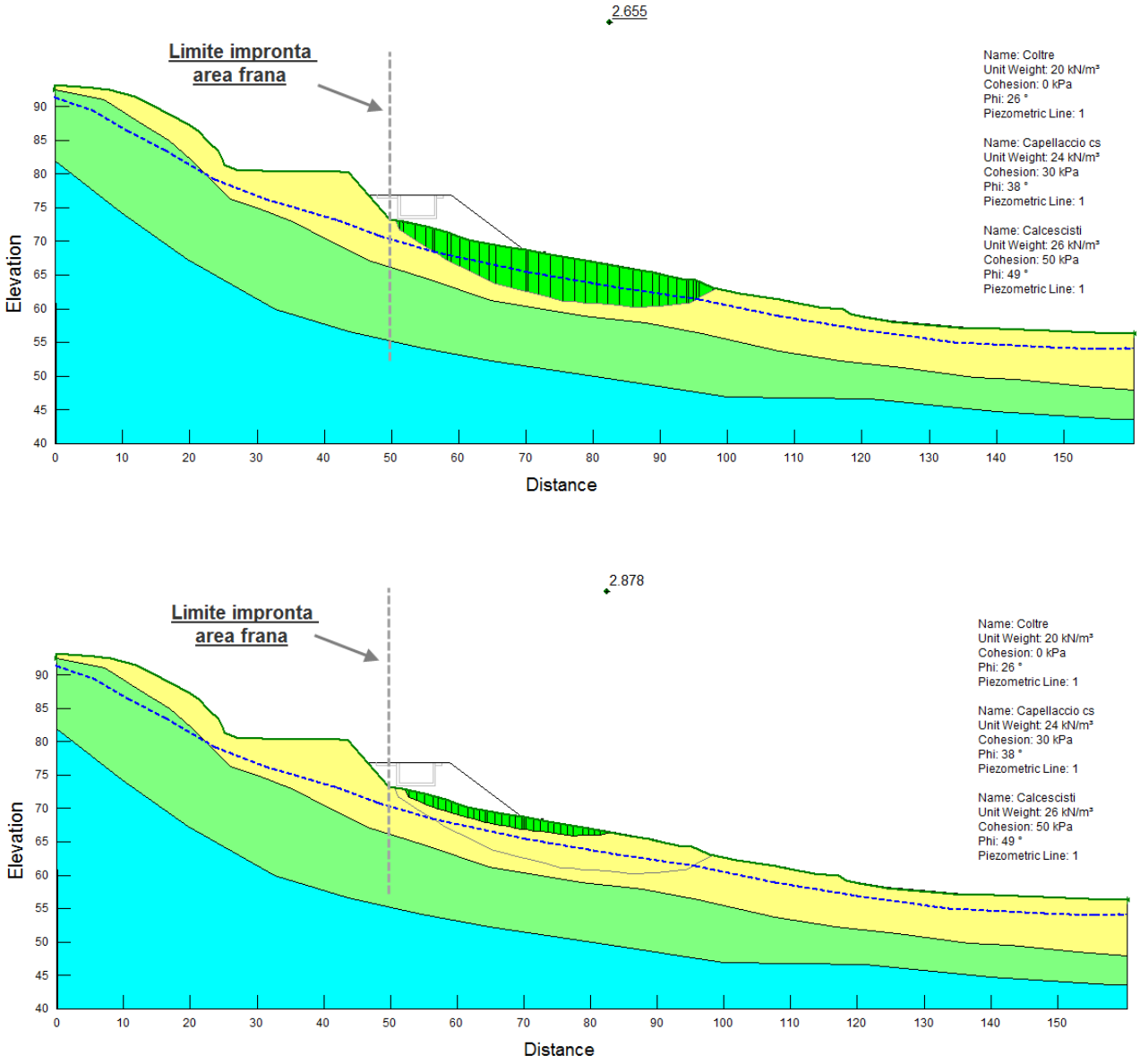


Figura 4-7 – Risultati delle analisi ante-operam – sezione 2

Verifiche su area Pg3a

Le verifiche di stabilità globale del terreno nelle condizioni di post-operam e cioè in seguito ai lavori di adeguamento della viabilità VS.02 e la costruzione del presidio idraulico, sono state svolte in accordo alla normativa vigente (NTC 2008), sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

La verifica in condizioni statiche deve essere eseguita secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2:

- **A2 + M2 + R2**

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II delle NTC 2008.

Tale verifica è svolta mediante un calcolo all'equilibrio limite per mezzo del software GeoStudio 2007.

Le potenziali superfici di scorrimento sono state ricercate imponendo il punto di passaggio per il piede della paratia, ovvero escludendo le superfici che interessano la paratia stessa. Le opere sono modellate nell'analisi come impenetrabili dalle potenziali superfici di scivolamento.

I parametri geotecnici adottati nelle analisi sono stati assunti in accordo alla tabella seguente che contiene i valori caratteristici e quelli fattorizzati secondo le condizioni M1 e M2.

Tabella 4-3 Parametri geotecnici di progetto

STRATO	**Peso di volume γ_k**	**M1 Angolo di resistenza al taglio ϕ_d**	**M1 Coesione efficace c'_d**	**M2 Angolo di resistenza al taglio ϕ_d**	**M2 Coesione efficace c'_d**
	kN/m^3	°	kPa	°	kPa
Coltre	20.0	26	0	21.3	0
Cappellaccio	24.0	38	30	32	24
Formazione di base	26.0	49	50	42.6	40

La verifica di stabilità globale si considera soddisfatta quando la superficie di scorrimento più critica fra quelle possibili corrisponde ad un fattore di sicurezza ≥ 1.1; ovvero, in accordo alla terminologia della normativa (Par. 6.8.2 delle NTC 2008):

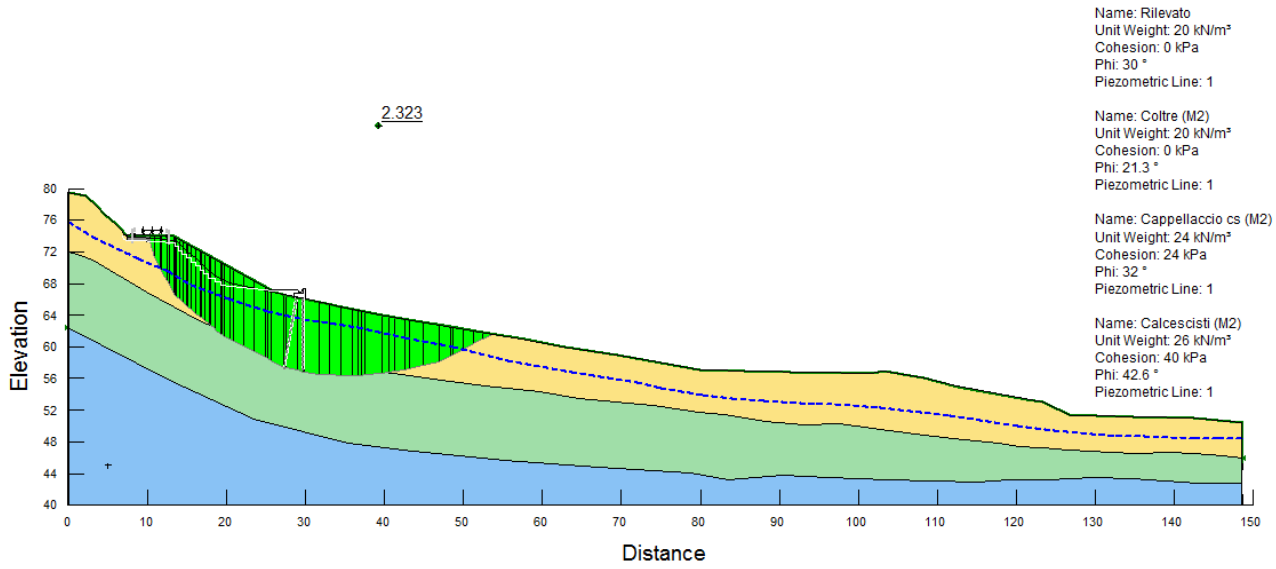
$R_d / E_d \geq \gamma_R$ con $\gamma_R = 1.1$

Nella **Figura 4-8** si riporta la superficie di scorrimento critica per le due sezioni; dalla stessa si evince che la stabilità globale dell'opera è verificata, essendo il coefficiente di sicurezza minimo:

R_d / E_d = 2.323 > 1.1 **sezione 1**

R_d / E_d = 2.290 > 1.1 **sezione 2**

Sezione 1



Sezione 2

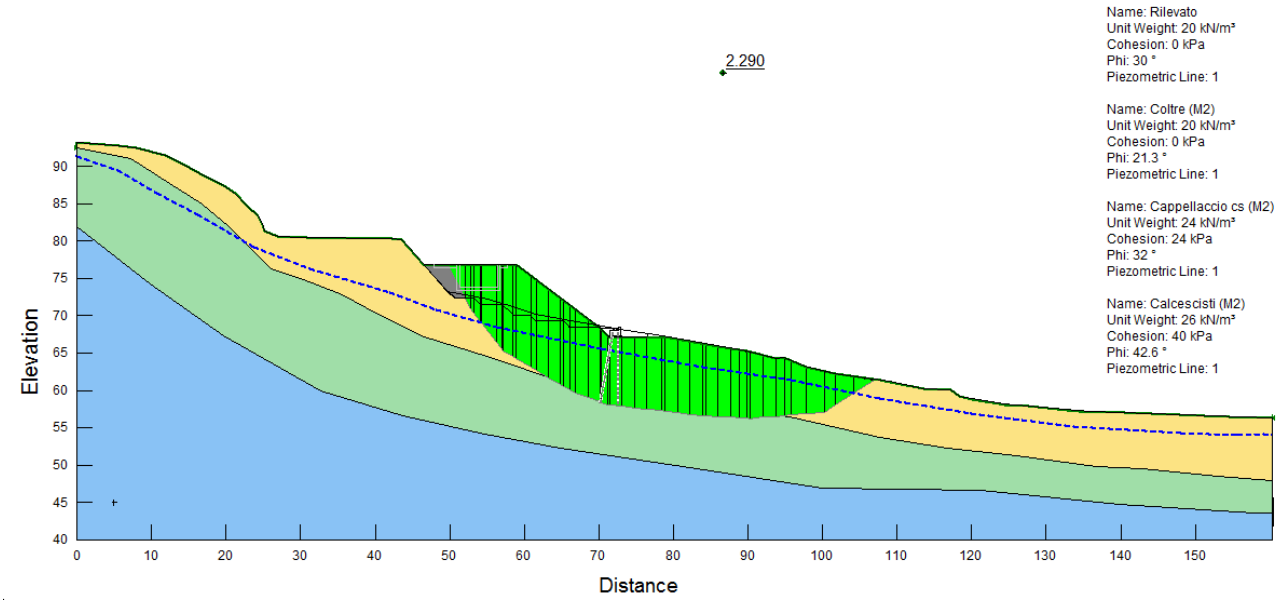


Figura 4-8 –Verifica di stabilità globale – condizioni statiche post-operam

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 = 0.025 g
- k_V = ± 0.013 g

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

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo

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

Tabella 4-4 Coefficiente βs

	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

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

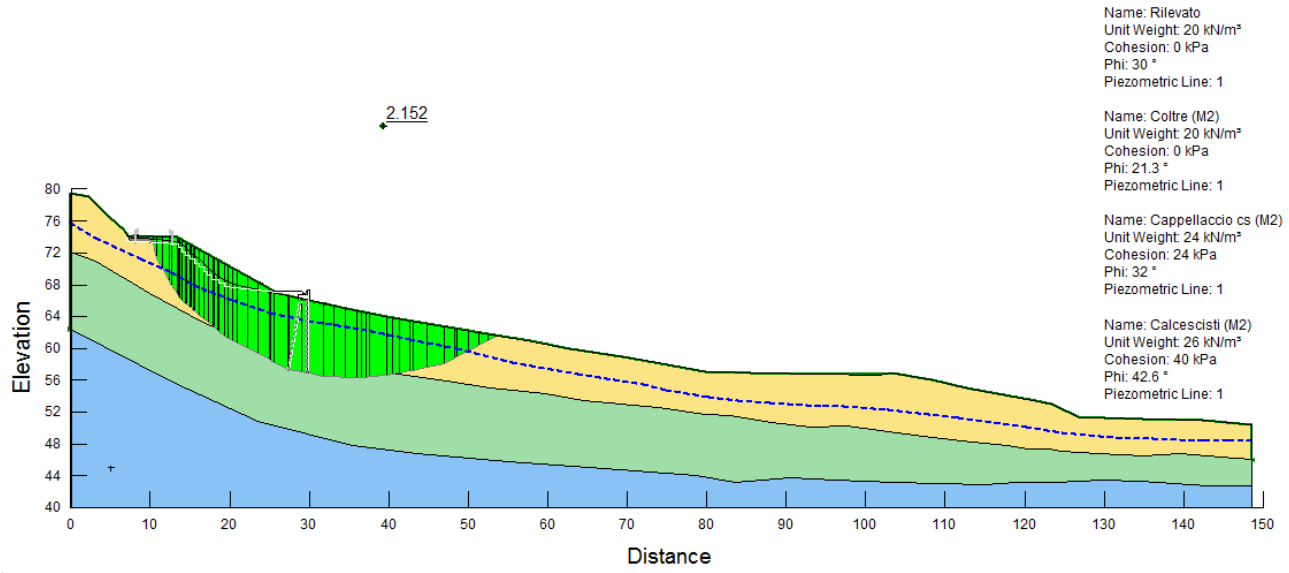
$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ = 0.087 · 1.2 · 1.2 = 0.125 g

Nella figura seguente si riporta la superficie di scorrimento critica in condizioni sismiche ed i risultati delle analisi svolte. La stabilità globale dell'opera è verificata, essendo:

$R_d / E_d =$ 2.152 > 1.1 sezione 1

$R_d / E_d =$ 2.096 > 1.1 sezione 2

Sezione 1



Sezione 2

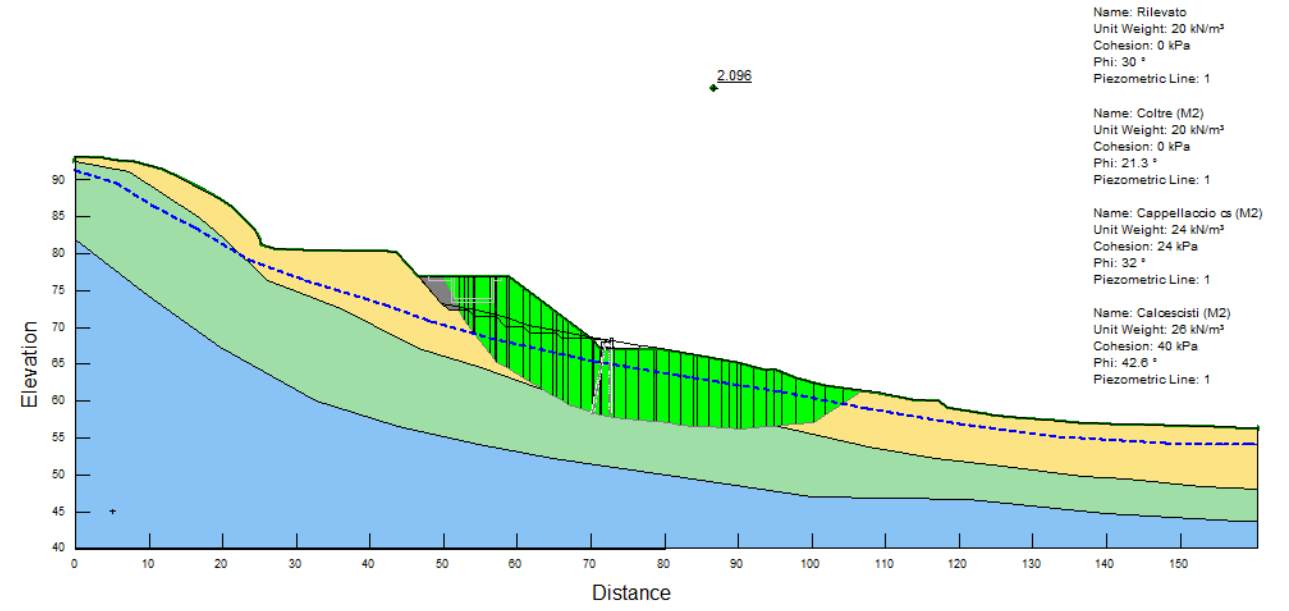


Figura 4-9 – Verifica di stabilità globale - condizioni sismiche

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.

Nel caso specifico si è concentrata l'attenzione ad una fascia nell'intorno della viabilità, non andando ad alterare gli equilibri degli ambiti circostanti.

ANALISI ESEGUITE	**FS min**	
	statico	**sismico**
Analisi **ante-operam** - sezione 1	1.88	--
Analisi **ante-operam** - sezione 2	1.66	--
Analisi **post-operam** - sezione 1	2.32	2.15
Analisi **post-operam** - sezione 2	2.29	2.10

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 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.

Ove necessario, il sistema primario viene integrato da un sistema longitudinale secondario, cioè da collettori a sezione circolare, in cui gli elementi di drenaggio primari scaricano.

Nel ramo di monte della viabilità il sistema di drenaggio primario viene connesso al collettore DN1000 di scarico del presidio idraulico della rete autostradale il quale recapita direttamente nel rio Vesima. Lungo tale condotta, inoltre, sono previsti alcuni manufatti di dissipazione in grado di ridurre la velocità di scorrimento della corrente e una protezione in massi sciolti in corrispondenza del punto di scarico.

Nel ramo vallivo, non essendo presente nelle immediate vicinanze un recapito disponibile, è stato adottato uno schema di drenaggio che consente uno scarico diffuso della precipitazione in arrivo; lo scopo fondamentale di tale sistemazione è di rendere la strada "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 mediante collettori trasversali in PP di diametro DN400. 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.

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:

- un sondaggio a carotaggio ed uno a distruzione in corrispondenza della Pg3a, con installazione di inclinometro e piezometro (ubicazione in allegato 4).

Non è stato possibile eseguire i due sondaggi F5/F5bis in prossimità del Santuario di Vesima a causa di manifesta opposizione popolare dopo che le attrezzature di perforazione erano già state installate sulla verticale da indagare.

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI

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

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

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

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

In particolare:

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

- l'elaborazione con dati COSMO-SkyMed ascendenti è relativa al periodo 02/2011 – 08/2015 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 2.540.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (76 immagini COSMO-SkyMed acquisite in geometria ascendente con angolo d'incidenza di 33,97° e risoluzione a terra di 3 m x 3 m).
- l'elaborazione con dati COSMO-SkyMed discendenti è relativa al periodo 11/2009 – 08/2015 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 2.735.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (84 immagini COSMO-SkyMed acquisite in geometria discendente con angolo d'incidenza di 26,65° e risoluzione a terra di 3 m x 3 m).



Figura 7-1 – Area d'interesse. Immagine ottica ottenuta da Google con sovrapposizione dell'area analizzata (poligono arancione) e del tracciato dell'infrastruttura prevista (linea grigia)

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

Il punto di riferimento è stato selezionato tra tutti i PS disponibili attraverso un'analisi statistica, a partire dall'ipotesi che la maggior parte dei PS siano quasi completamente fermi. L'ipotesi è, quindi, che il punto di riferimento sia fermo e non sia soggetto a movimenti di nessun genere.

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

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda il dataset ENVISAT, sono state scelte le date di acquisizione ascendenti comprese tra il 22/10/2004 e il 01/10/2010. La data ascendente 09/07/2004 è

stata esclusa perché precede di 86 giorni la prima data dello stack discendente. In corrispondenza delle date selezionate sono state interpolate solo le misure discendenti e il risultato è stato combinato con le misure ascendenti per calcolare la componente del movimento lungo la direzione verticale e la direzione est-ovest.

Vengono fornite la:

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

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

Per l'area in esame, oggetto della presente scheda, di seguito si riportano le evoluzioni temporali dei PS, per entrambe i satelliti, in geometria ascendente e discendente, unitamente alle componenti est-ovest e verticale.

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

- spostamento lungo LOS (espresso in mm);
- componente est-ovest (espressa in mm);
- componente verticale (espressa in mm).

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

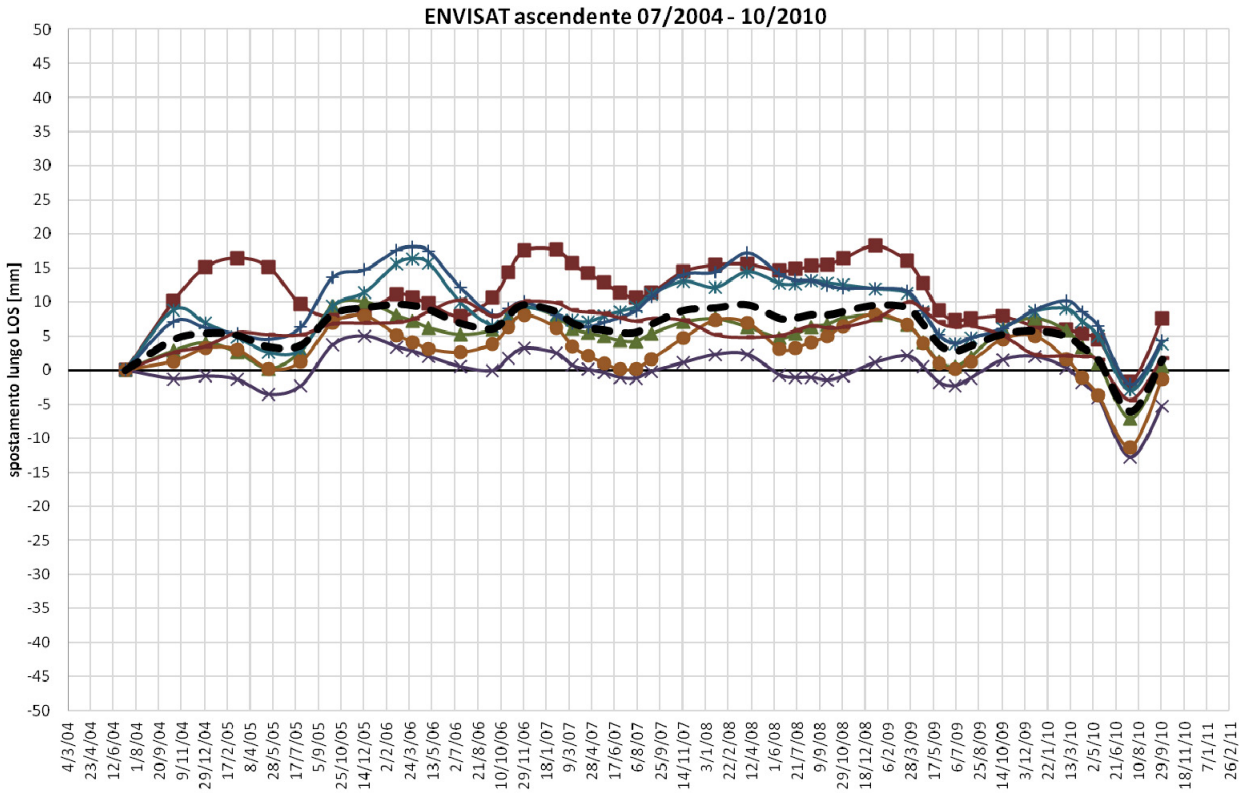


Figura 7-2 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

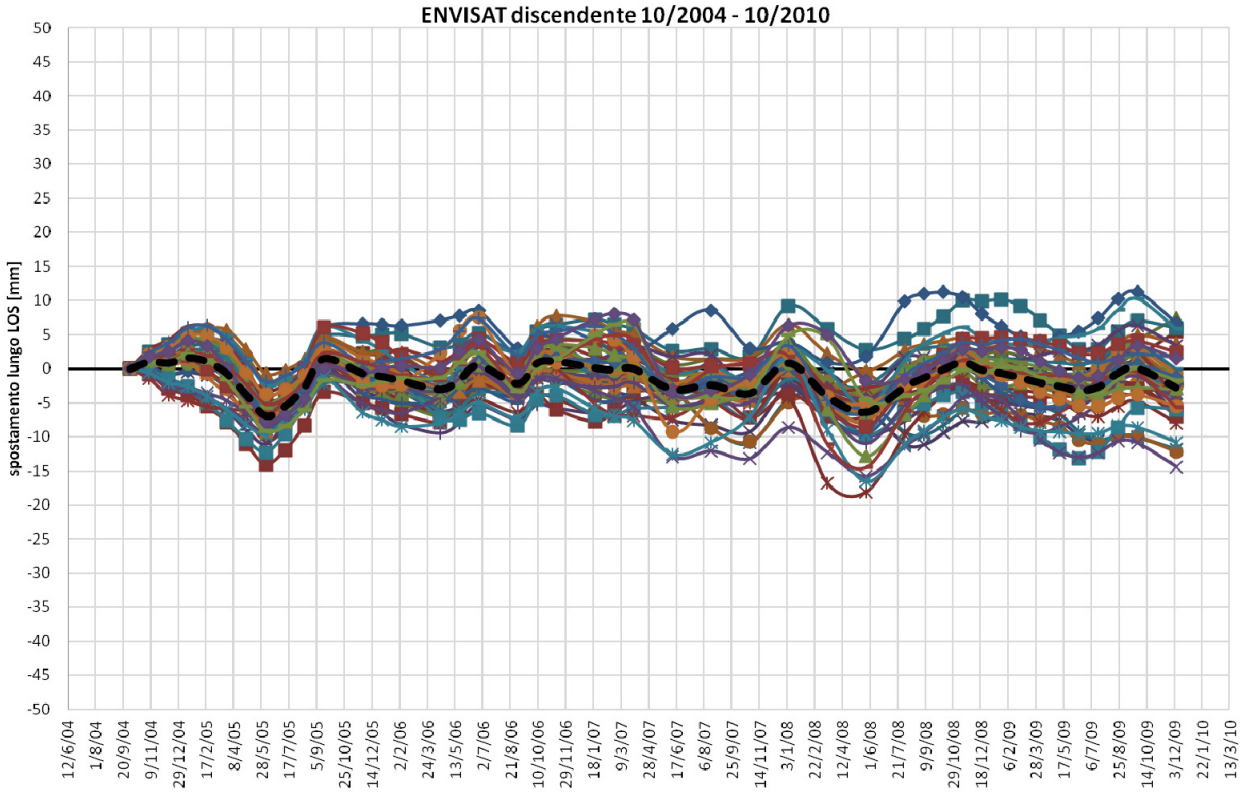


Figura 7-3 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

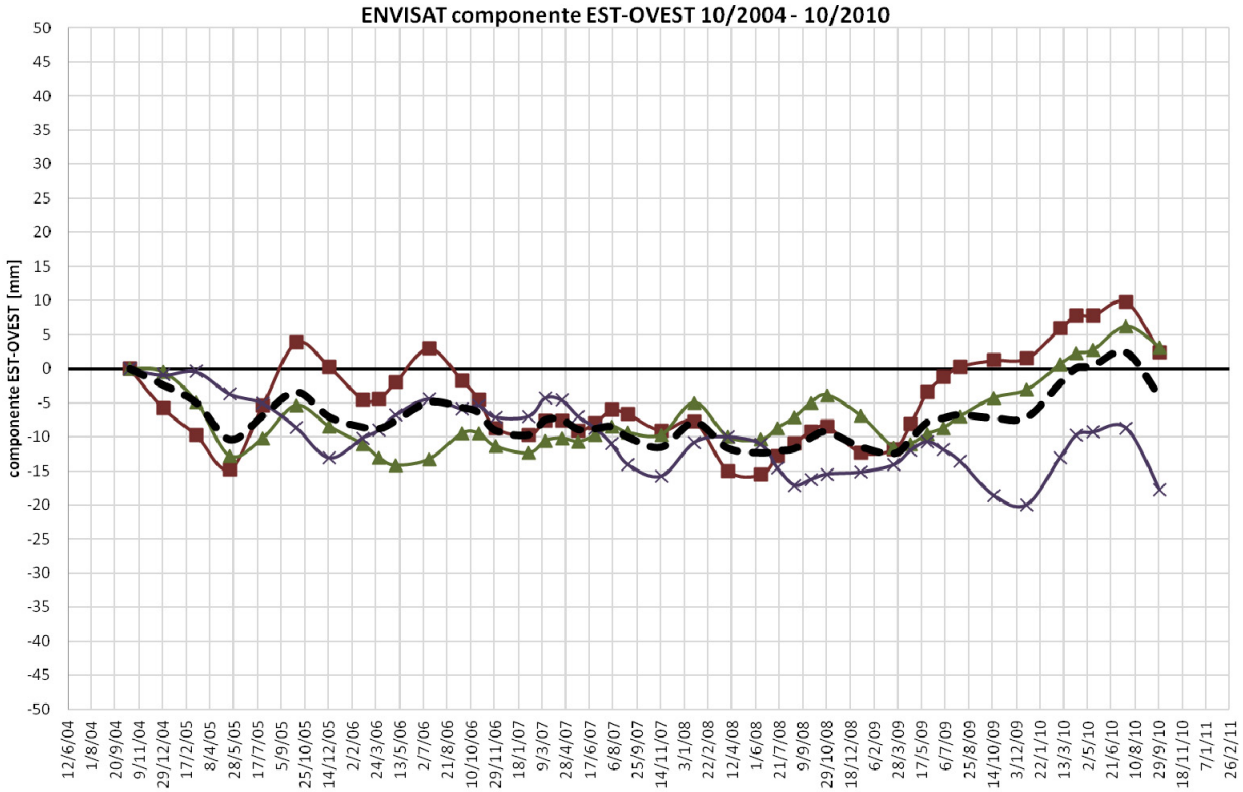


Figura 7-4 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

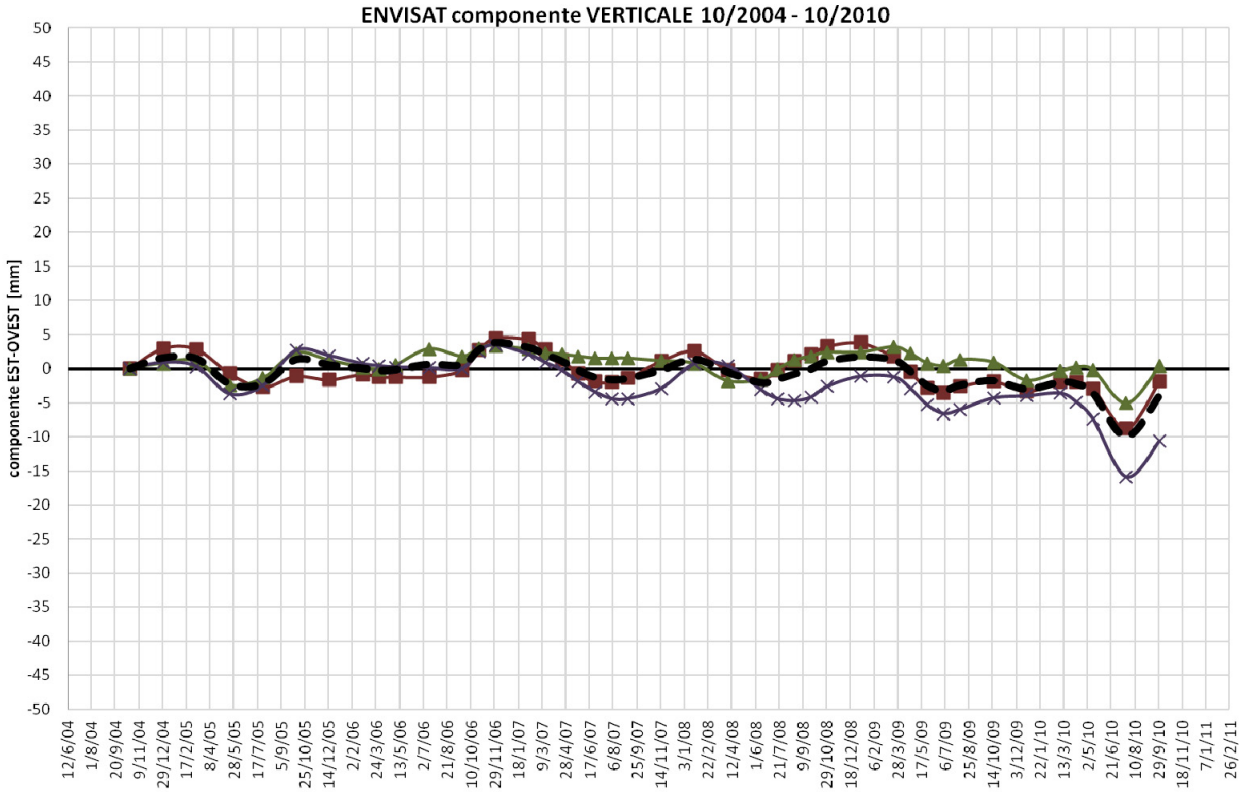


Figura 7-5 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano un abbassamento.

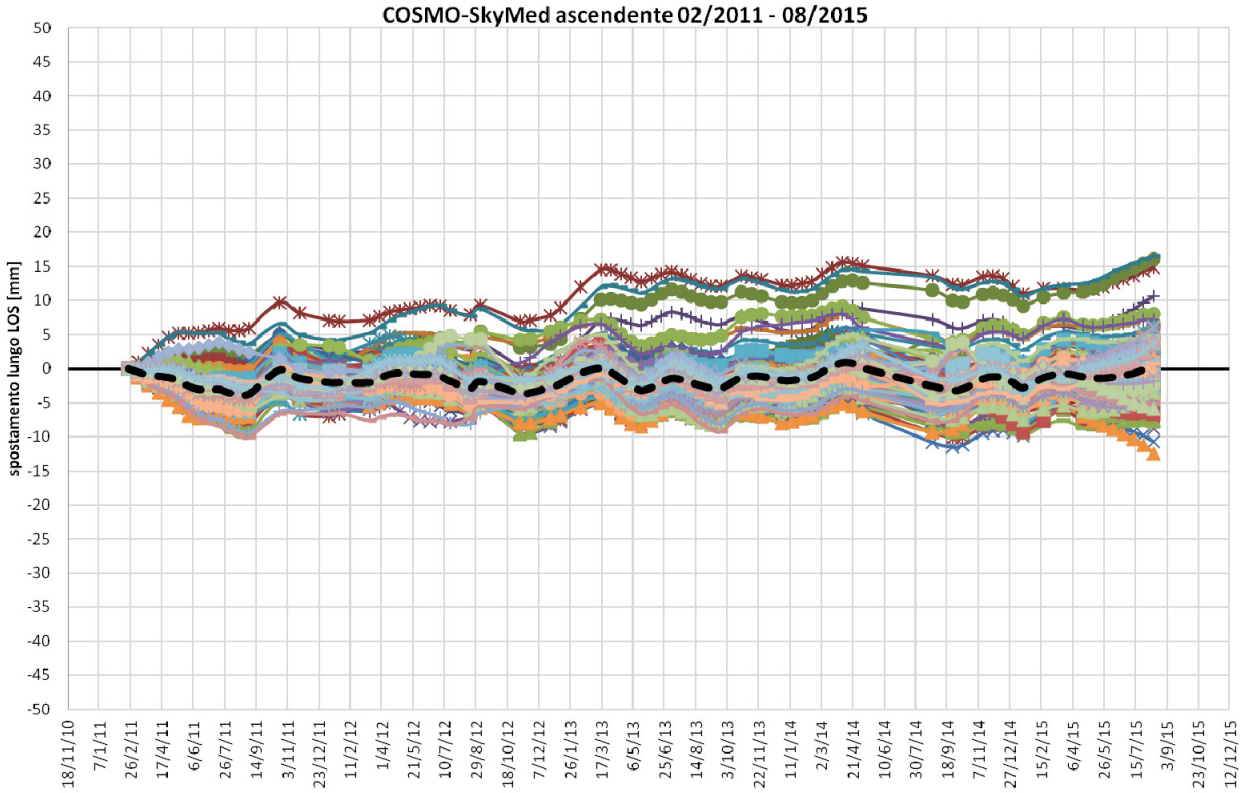


Figura 7-6 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

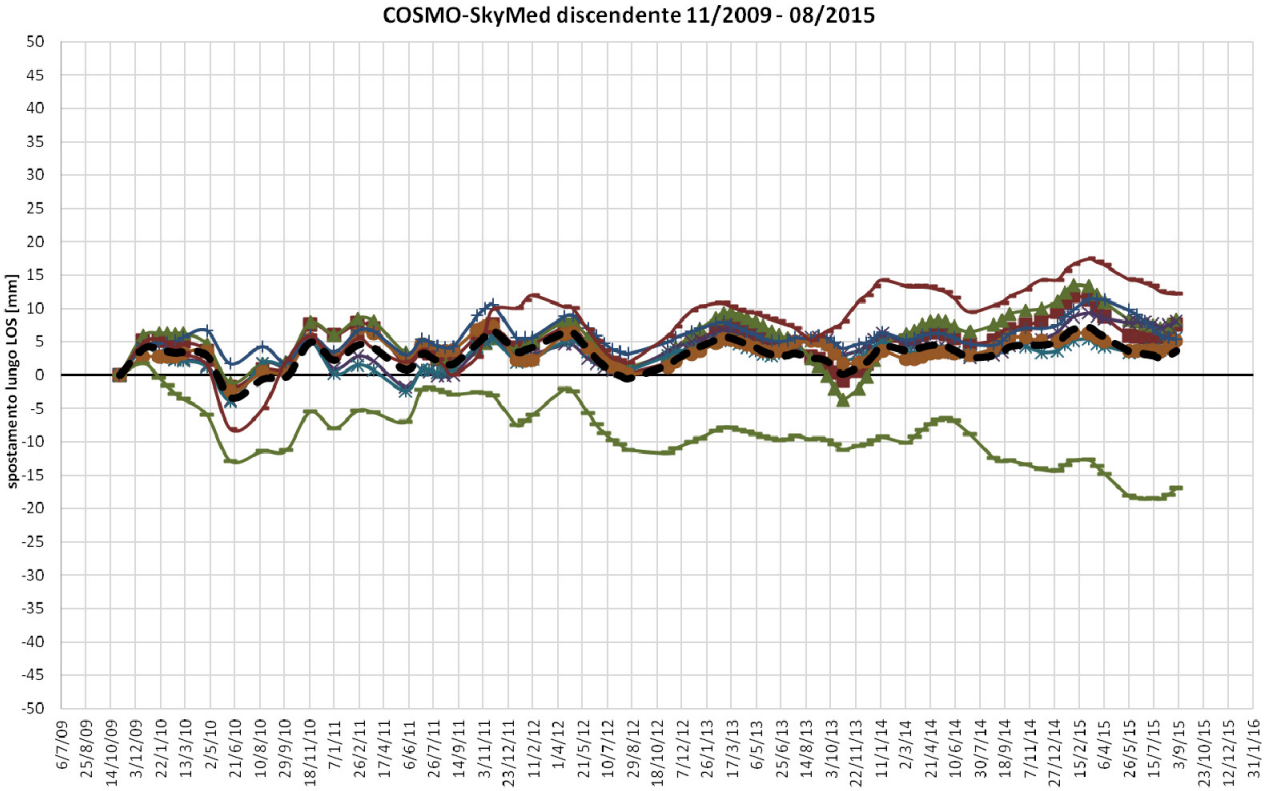


Figura 7-7 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

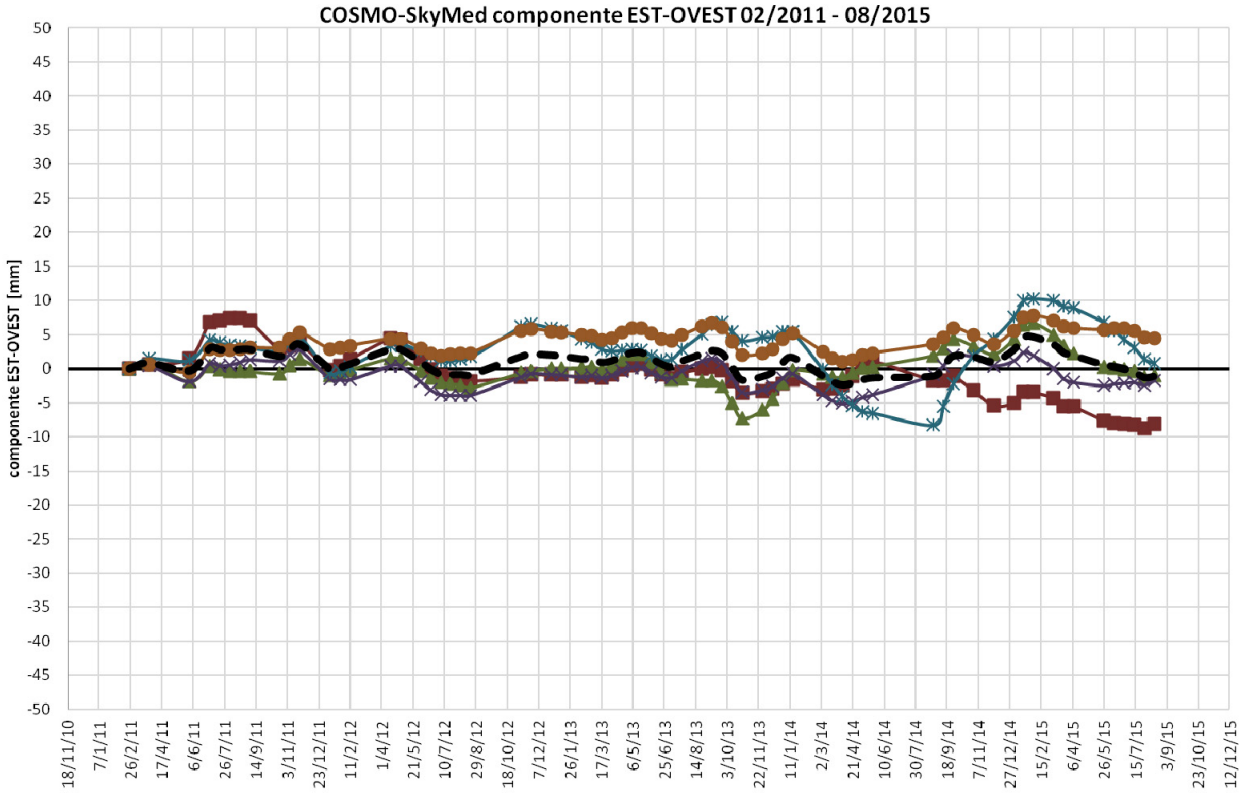


Figura 7-8 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

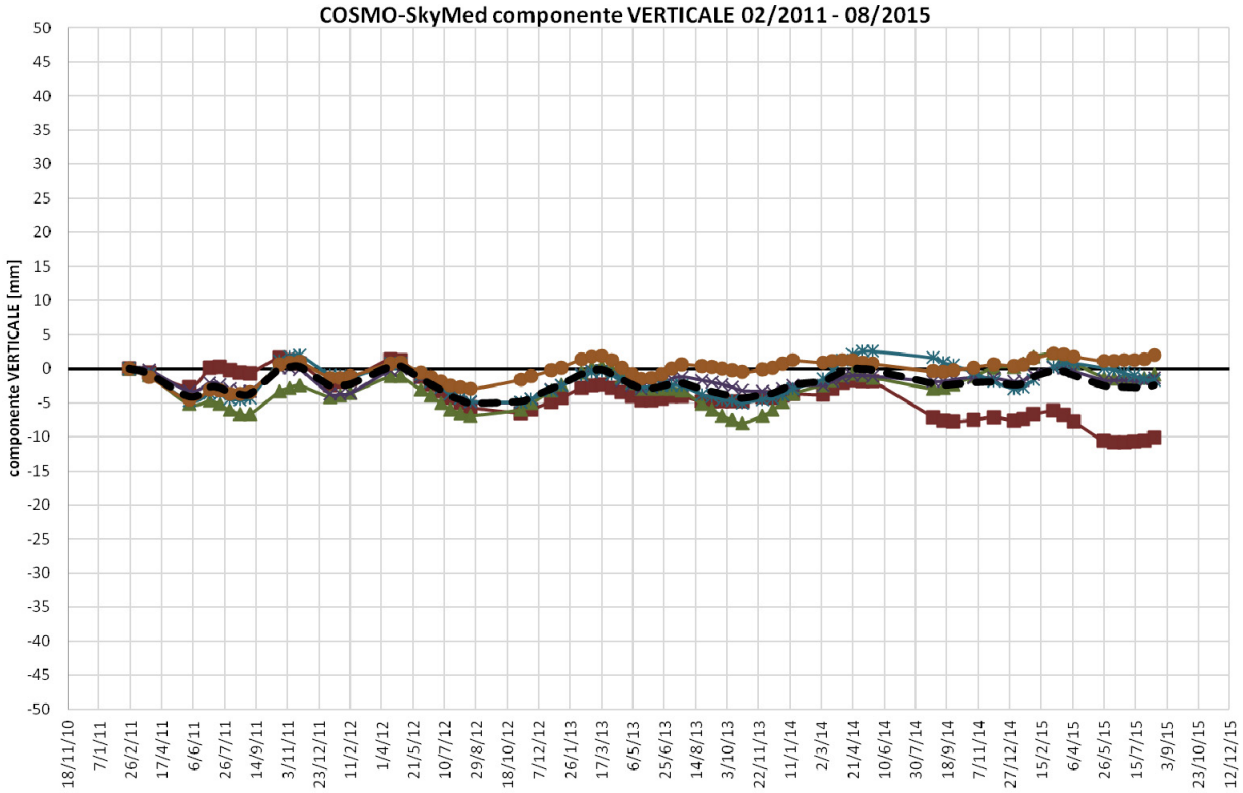


Figura 7-9 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano un abbassamento.

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

L'andamento dei pochi riscontri radar visibili dal satellite ENVISAT in orbita ascendente (n. 7 riscontri) e dei riscontri radar visibili dal satellite ENVISAT in orbita discendente (n. 45 riscontri), mostra un'assenza di movimenti nel periodo di osservazione 2004 – 2010.

L'analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 185 riscontri) e discendenti (n. 9 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 un dissesto quiescente, in tale area ricadono: una parte della viabilità di servizio VS.02 ed un manufatto idraulico di nuova costruzione.

La viabilità VS.02 dovrà essere resa idonea al passaggio dei mezzi di cantiere, pertanto, richiederà prevalentemente operazioni di rifacimento dell'asfalto e leggera riprofilatura ove necessario. Soltanto per un tratto molto breve, parzialmente interessato dalla frana quiescente (v.elab.STD1010), la sede stradale sarà ampliata.

Il presidio idraulico P1, costituito da una vasca di raccolta e trattamento delle acque di piattaforma, comprenderà la realizzazione di un rilevato in adiacenza alla strada VS02.

Per la configurazione post-operam del versante gli interventi più gravosi, saranno riferibili alle sezioni di maggior ampliamento dell'attuale sezione stradale e, nella fattispecie, di quelle prossime e coincidenti con l'opera idraulica.

Proprio in questo tratto, al piede del rilevato di nuova costruzione, si prevede di collocare una paratia in micropali atta a preservare il versante dall'innesco di movimenti gravitativi.

La stabilità del versante, in questa zona, è stata valutata mediante analisi numeriche svolte con il programma GeoStudio 2007 su due sezioni rappresentative. Le analisi hanno permesso di ottenere i coefficienti di sicurezza delle tracce indagate sia in condizioni attuali che in condizioni future (statiche e sismiche). Dai risultati si evince che le condizioni di sicurezza sono soddisfatte in tutte le configurazioni esaminate.

Per garantire il miglioramento delle condizioni del versante, oltre alla paratia, si prevede di intervenire sulla regimazione delle acque meteoriche che, in caso di intensi fenomeni, instaurando anche temporaneamente un regime di circolazione di acqua nella coltre alterata, possono indebolire il versante. Le acque superficiali verranno dunque allontanate attraverso un sistema di drenaggio costituito da canalette e/o fossi.

Con riferimento all'opera idraulica di nuova costruzione si rileva che le acque convogliate nel manufatto verranno scaricate nel Rio Vesima e non andranno a incidere quindi sfavorevolmente sulla stabilità della frana.

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 ed il parere della Provincia.

ALLEGATI

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