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 ARZ046

| IL PROGETTISTA SPECIALISTICO | IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE | IL DIRETTORE TECNICO |
|---|---|---|
| Ing. Orlando Mazza<br>Ord. Ingg. Pavia N. 1496 | Ing. Orlando Mazza<br>Ord. Ingg. Pavia N. 1496 | Ing. Orlando Mazza<br>Ord. Ingg. Pavia N. 1496<br>**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 | 1 | 5 | – | 2 | SCALA: – |

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

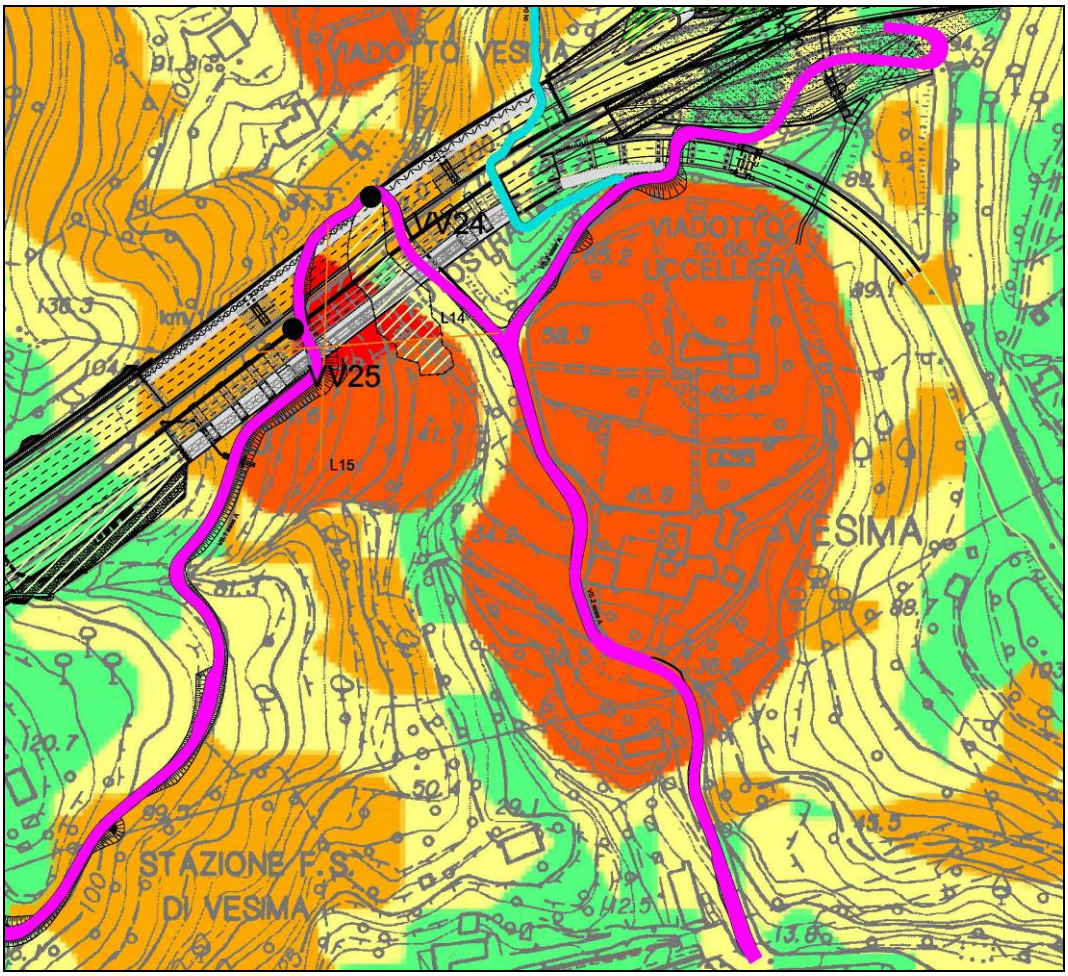
| | VISTO DEL COMMITTENTE | VISTO DEL CONCEDENTE |
|---|---|---|
| | autostrade per l'italia<br>IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO<br>Arch. Rossella Degni | Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti<br>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE<br>STRUTTURA DI VIGILANZA 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 ARZ046 (PG4)*

## *OPERA INTERFERENTE: VIABILITÀ DI SERVIZIO VS.01*

### *ALTRE OPERE NELL'AREA: AMPLIAMENTO VIADOTTO VESIMA*



## 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 Pg4 ..... 10

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino ..... 12

3.7 DISSESTI SEGNALATI DALL'INVENTARIO FENOMENI FRANOSI D'ITALIA ..... 13

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO ..... 13

3.9 INDAGINI ESEGUITE ..... 14

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO ..... 17

3.11 CAUSE DEL DISSESTO ..... 24

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA ..... 24

**4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI ..... 25**

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ..... 25

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO ..... 26

4.3 ANALISI DI STABILITÀ ..... 27

4.4 QUADRO DI SISTESI ..... 35

**5. IDRAULICA ..... 36**

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE ..... 36

**6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI ..... 37**

**7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 38**

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI ..... 38

**8. CONCLUSIONI.....43**

**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 GEN0116: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana ARZ046 (Pg4) - 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 molto alta (Pg4) viene predisposta un'apposita scheda, in cui viene mostrato come gli interventi previsti in progetto contribuiscano alla stabilizzazione del dissesto oggetto di interferenza con le opere, determinando di fatto un effetto positivo.

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

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

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

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

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

- *GEO0001: Relazione geologica e idrogeologica generale*

- *GEO0002: Carta geologica*
- *GEO0020: Carta geomorfologica*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *STD1001-2: VS.01 - Viabilità di servizio Vesima - Planimetria di insieme VS.01 e VS02*
- *STD1007: VS.01 - Viabilità di servizio Vesima - Sezioni trasversali*
- *APE2113: VS.01 - Viabilità di servizio Vesima - Opere di sostegno - relazione di calcolo*
- *APE0821: Ampliamento Viadotto Vesima Est - Relazione di calcolo delle fondazioni*
- *STR0452: Ampliamento Viadotto Vesima Est - Carpenteria Generale - Pianta fondazioni*
- *STR0453: Ampliamento Viadotto Vesima Est -Carpenteria Fondazioni e Pilastri Provvisori*
- *IDR0201: Sistema di drenaggio del corpo stradale - Relazione idrologica - idraulica*
- *IDR0202: Planimetria idraulica - tav.1 di 28*
- *MOI0001: Monitoraggio geotecnico delle opere all'aperto*

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

- *GEN0116 "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana ARZ046 (Pg4) - 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 *ARZ046*, che risulta interferente con la Viabilità di servizio Vesima VS.01. Nelle vicinanze di tale area sono previste le opere per l'ampliamento del Viadotto Vesima Est e Viadotto Vesima Ovest.

# 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 1:2.000) 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.

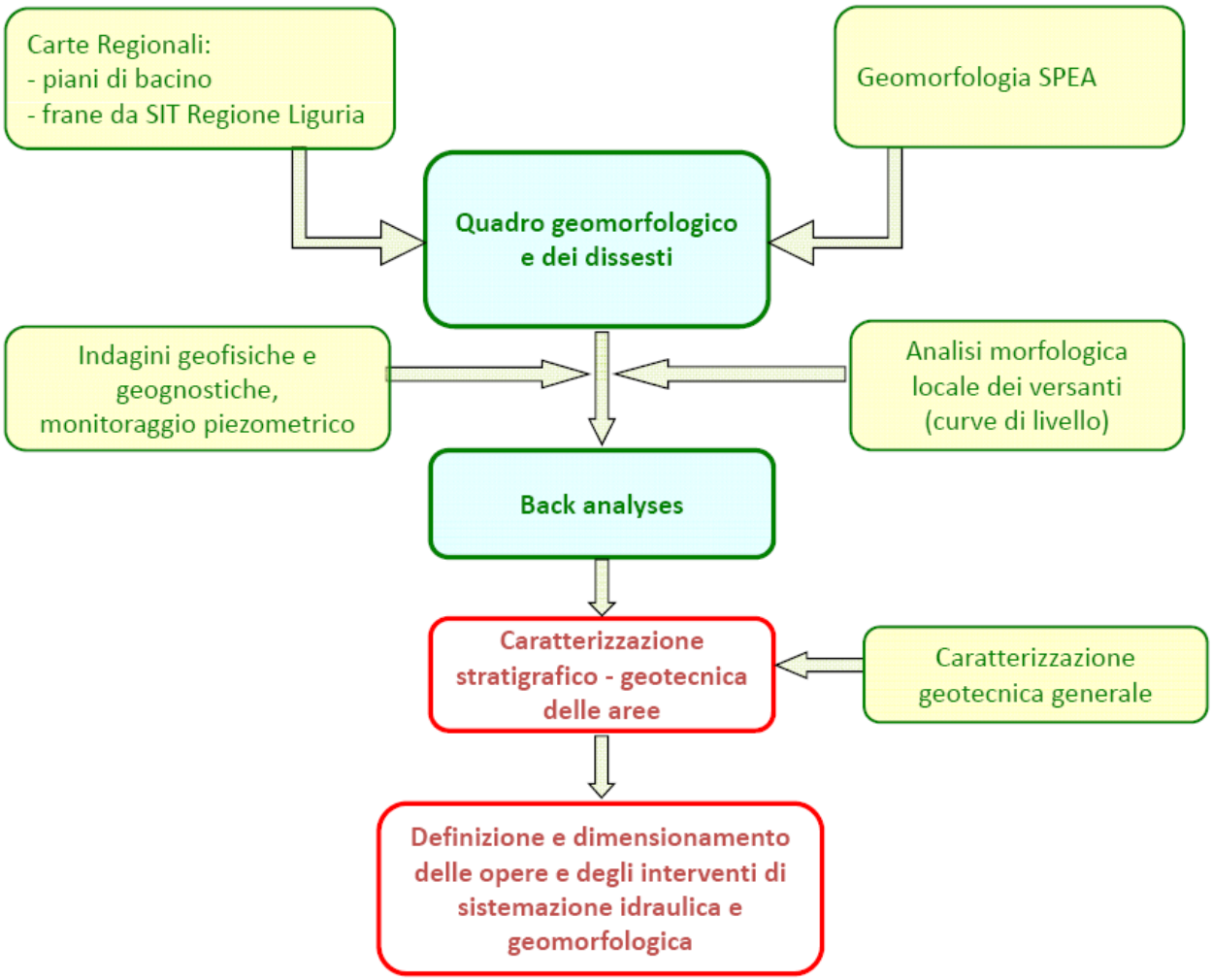



**Figura 2-1 – Schema generale metodologia**

# 3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

## 3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: VESIMA

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: AMBITI 12 e 13

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): ARZ046

## 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 **Pg4** interferente con la viabilità di servizio VS.01 e le opere provvisionali previste nell'ambito dei lavori di ampliamento del Viadotto Vesima Est; sono altresì presenti Pg3a, Pg3b, Pg2 e Pg1, come evidenziato nella cartografia tematica allegata.

## 3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg4

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

a) Tipologia di frana:

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

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

b) Stati di attività:

| | |
|---|---|
| X | Attiva |
| | Quiescente |
| | Stabilizzata |

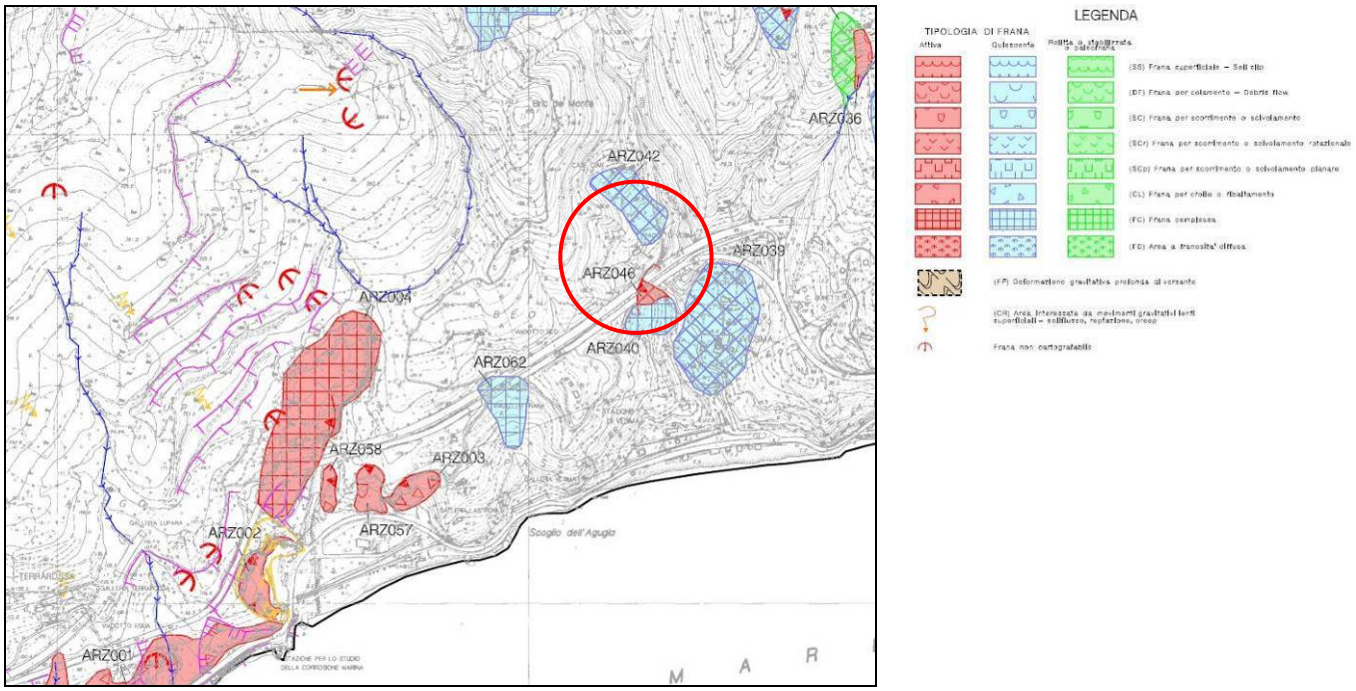



**Figura 3-1 – Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino**

## 3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino

Nel Piano degli interventi di mitigazione del rischio del Piano di Bacino sono previsti interventi di regimazione delle acque superficiali e monitoraggio nell'area della frana (A3-GM5) mentre è previsto il rifacimento della tombinatura in prossimità dell'Aurelia, a valle dell'area in esame (A3-ID6).
In particolare nel Piano degli interventi, per il Rio Vesima è previsto:

- *La frana (scheda frana ARZ-46), localizzata in prossimità del viadotto autostradale sul Rio Vesima, a monte di un piccolo nucleo di case rurali, si sviluppa a carico di coltre superficiale e materiali di riporto. Si ritiene opportuno tenere la situazione sotto controllo attraverso ispezioni sul terreno ed eventualmente procedere alla bonifica dell'area in frana e più in generale di tutta la vallecola in sponda destra del Rio Vesima attraverso la realizzazione di interventi di regimazione delle acque meteoriche di scorrimento superficiale (canalette). (A3-GM5).*
- *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.*

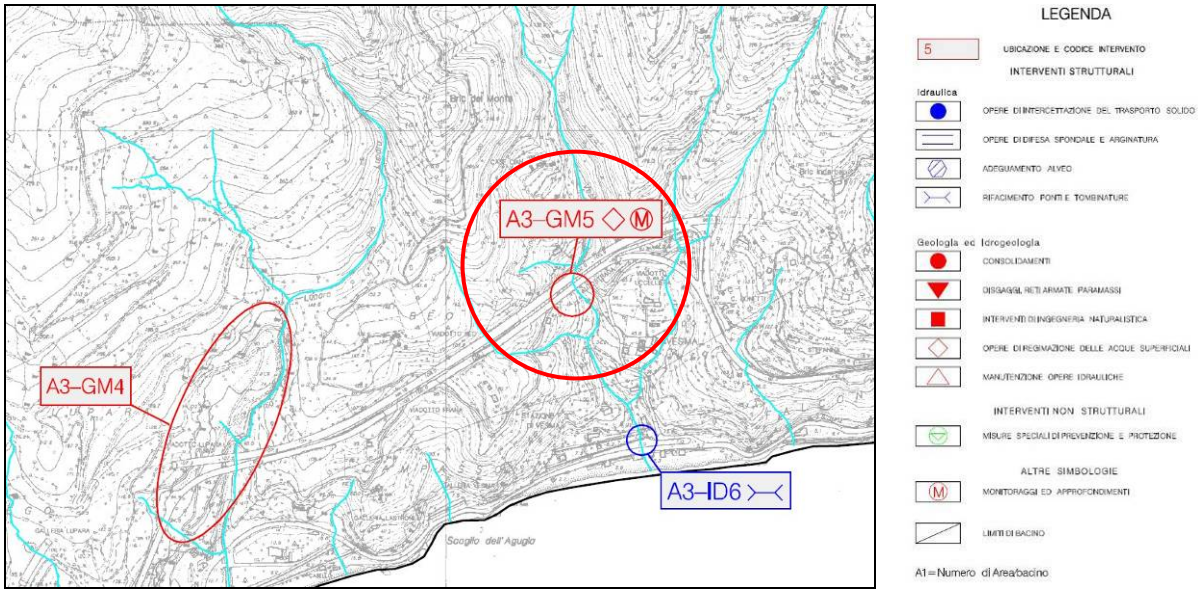



**Figura 3-2 – Stralcio Carta degli interventi da Piano di Bacino**

## 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**) non identifica nessun dissesto per l'area in esame.

Vengono invece segnalati altre tre aree lungo il medesimo versante, classificate come frane complesse quiescenti (1, 2 e 3 nella figura seguente).

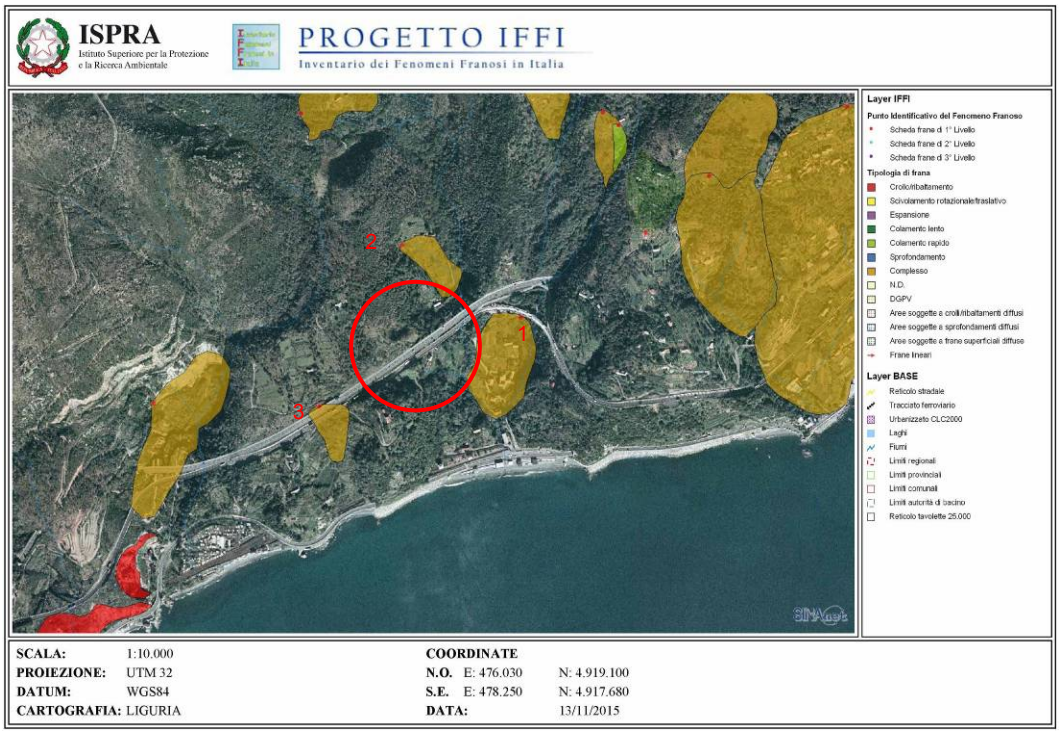



**Figura 3-3 – Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)**

## 3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg4 si imposta nell'Unità Tettonometamorfica Palmaro Caffarella e Voltri, qui rappresentate da Calcescisti (Allegato 2).

*Calcescisti (CS)*

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

Sono caratterizzati da una scistosità marcata, legata a diverse generazioni di deformazioni. La foliazione principale riportata in carta, definita da minerali in facies scisti

verdi, ha allineato, oltre alla superficie litologica originaria, anche altre superfici tettoniche che non risultano più differenziabili. La foliazione principale risulta piegata più o meno blandamente dalle successive fasi deformative; la giacitura della scistosità principale nell'area risulta immergente per lo più verso SSE con inclinazioni prossime alla verticale.

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

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

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 destro del Torrente Vesima. Il versante si presenta con acclività piuttosto elevata, localmente terrazzato e con vegetazione ad alto fusto ed arbustiva (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). Il primo sondaggio (VV24) è stato eseguito in prossimità del ponticello di attraversamento del Rio Vesima; il secondo (VV25) al di sotto del viadotto, immediatamente a monte dell'area in frana.

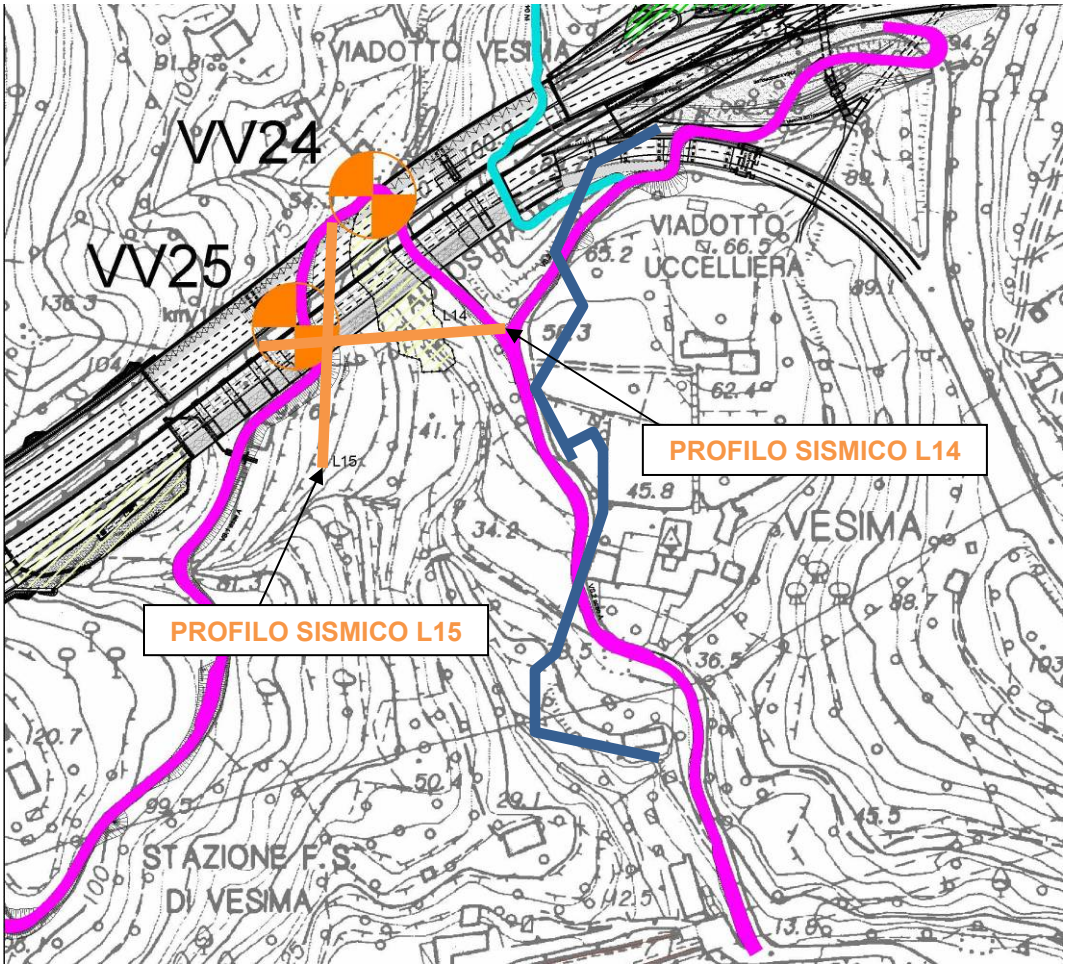



**Figura 3-4 – Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini**

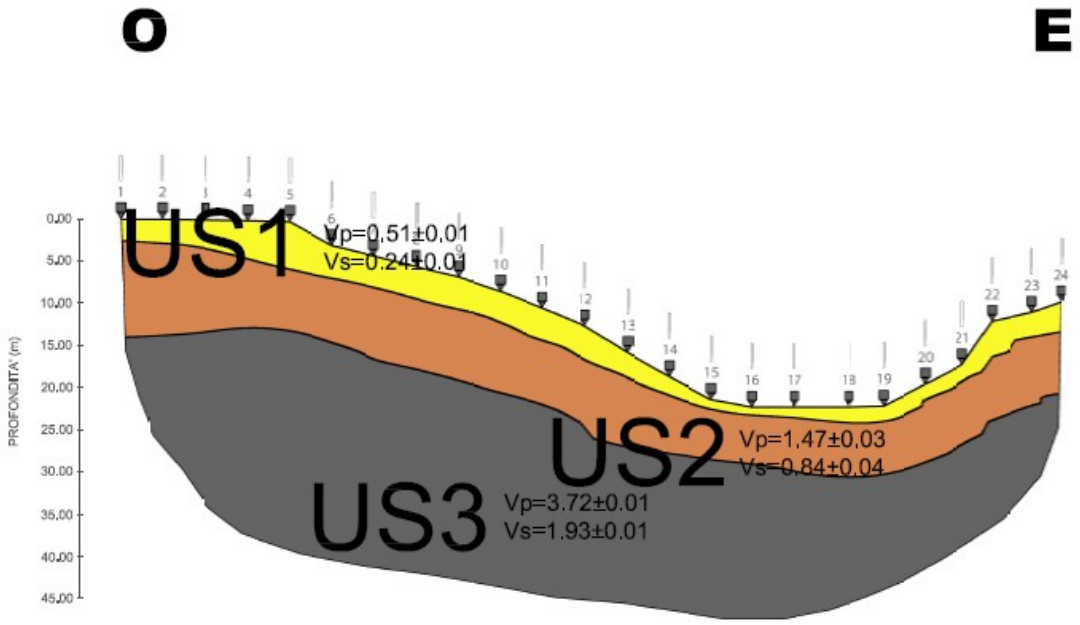



**Figura 3-5 – Profilo sismico L14**

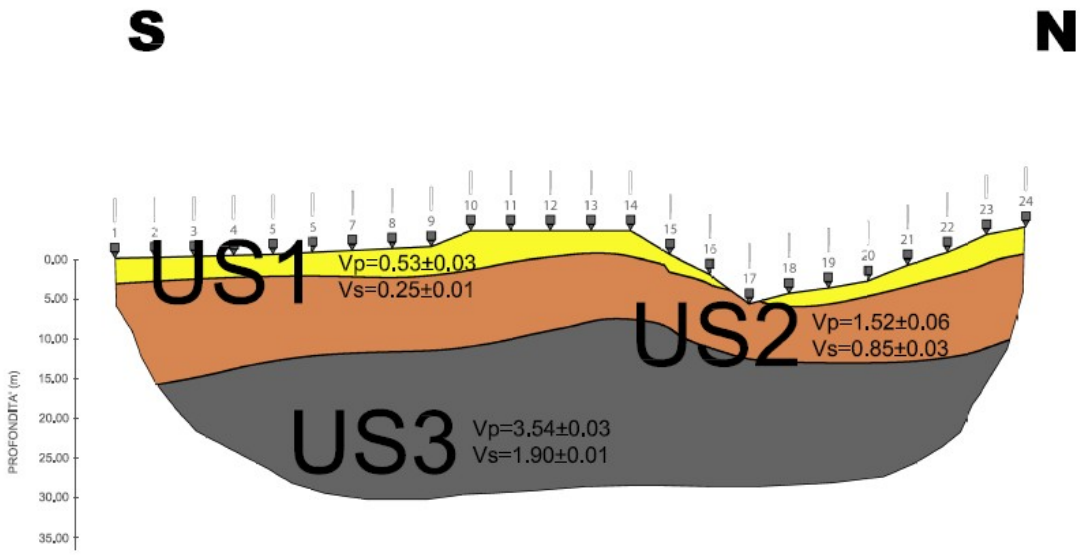



**Figura 3-6 – Profilo sismico L15**

Sulla base della stratigrafia del sondaggio VV25 risulta che 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..

Nell'ambito della campagna di indagini integrativa effettuata nel 2015-2016 sono stati realizzati in corrispondenza del ciglio della Pg4 due sondaggi, uno a carotaggio continuo ed uno a distruzione, con installazione di inclinometro e piezometro finalizzati al monitoraggio dell'area in dissesto.

La stratigrafia del sondaggio F4 mostra fino a 9 m da p.c. la presenza di un deposito superficiale prevalentemente limoso-sabbioso al di sotto del quale, fino a 12.7, è stato rinvenuto il substrato fratturato ed alterato, con livelli di materiale prevalentemente sabbioso-limoso. Da 12.7 fino a 30m sono presenti cloritoscisti molto tettonizzati, talora argillificati ed arenitizzati; da 30 m a f.f. si passa a calcescisti con un 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.01, 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 attivo dai documenti prodotti dagli enti.



**Foto 1 – Immagine dell'area con indicata l'area della Pg4**




**Foto 2 – Immagine dell'area nel 2010-2011 durante l'esecuzione della stesa sismica L14**

Tutta l'area della VS.01 è apparsa notevolmente modificata rispetto ai rilievi effettuati nel 2010-2011 per il PD; si è rilevato in più punti il peggioramento dello stato della viabilità esistente, che mostra sovente cedimenti del ciglio di valle, lesioni del manto stradale e crolli di materiale da monte (in particolar modo per il tratto più ad ovest, chiuso al transito). Di seguito viene brevemente descritto quanto evidenziato durante il sopralluogo per l'area più prossima alla frana attiva; in allegato 4 è riportata la planimetria con indicati tutti gli elementi individuati.

- L'area in esame è ubicata in prossimità della spalla lato Savona del Viadotto Vesima, sul versante idrografico destro dell'omonimo torrente. Il versante in esame è caratterizzato da acclività molto accentuata e da fitta vegetazione sia ad alto fusto sia arbustiva. Osservando l'areale di studio da lontano, si nota la presenza del dissesto, sottolineato da un'area non coperta da vegetazione e con materiale detritico esposto ed acclività estremamente elevata. Alla base di quest'area è presente il corso d'acqua che, presumibilmente, ha asportato buona parte del materiale franato.





**Foto 3 e 4 – Cedimento del ciglio di valle in prossimità del ponticello sul Torrente Vesima. Si notano lesioni sull'asfalto e vegetazione ribaltata verso valle**

- Procedendo lungo la strada, verso monte si osserva una frana che ha interessato la coltre detritica presumibilmente per spessori di ordine metrico e ha messo a nudo il substrato (costituito da calcescisti) sul lato più ad ovest. Al piede del piccolo dissesto è stata realizzata una gabbionata a protezione della viabilità.





**Foto 5 e 6 – Dissesto sul lato di monte della strada, sistemato con gabbioni**

- Poco oltre si rileva la presenza della frana attiva sul lato di valle della strada. Il dissesto pare essersi sviluppato in due lobi distinti che convergono verso il basso. Sono presenti alberi ribaltati ma non si notano segni di arretramento del ciglio lungo la strada.





**Foto 7 e 8 – Frana attiva**

- Al di sopra del ciglio di frana, verso W, è presente un piccolo ripiano che non mostra fratture di tensione, indice che anche in questo settore non è in atto un arretramento in corpo della frana.



**Foto 9 – Ripiano sul lato W del dissesto**

In ogni caso, la presenza del corso d'acqua in erosione al piede del dissesto può portare ad ulteriori franamenti, presumibilmente nei periodi di maggior portata del torrente, conseguenti ad intense precipitazioni (autunno e primavera).

## 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 |
| X | Morfologia del versante (acclività) |
| X | Precipitazioni meteoriche |
| X | Erosione diffusa |
| X | Erosione incanalata |
| | 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.

Per la ricostruzione della sezione si è fatto riferimento al sondaggio VV25. La PG4 è posta immediatamente a ridosso delle pile del Viadotto Vesima quindi l'area ha probabilmente subito forti rimaneggiamenti nel corso dell'esecuzione delle opere (scavi e riporti). Non si può escludere che il materiale sciolto riscontrato nel sondaggio rappresenti in parte un riporto che, in questa zona, sarebbe anche franato e che risulta difficilmente distinguibile da un detrito naturale/frana quiescente; nel profilo tutti questi terreni sono stati cautelativamente attribuiti alla frana quiescente. Il profilo topografico della sezione non è rappresentativo della reale topografia in sito poiché è soggetta a continua evoluzione.

# 4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI

## 4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica (modello geotecnico di riferimento) si è fatto 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) e della relativa fascia di alterazione (CS-CAP);
- ai risultati di back analysis eseguite sulla sezione 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.

Il rilievo geomorfologico di dettaglio ha confermato la presenza di una frana attiva sul versante interessato dalle opere, evidenziando spessori di coltre dell'ordine di 6-8 metri, come risulta dai sondaggi eseguiti in prossimità dell'area di interesse.

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

- da 0.0 a circa 8.0 m da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso (potenzialmente instabile): depositi costituiti principalmente da materiali limoso sabbiosi;
- da 8.0 m a 25.0 m da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione della formazione dei Calcescisti (CS-CAP), avente caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla formazione di base;
- al di sotto di 25.0 m da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Calcescisti (CS).

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

Nell' area interessata dai dissesti (ARZ046) ricadono: la viabilità di servizio VS.01 Vesima e la fondazione di una pila provvisionale inerente all'ampliamento del Viadotto Vesima Est.

La sede stradale della viabilità esistente, per il tratto interferente con la frana ARZ046, subirà localmente degli ampliamenti verso di valle. A diretto presidio della strada e per incrementare la resistenza del versante, si prevede la realizzazione di una opera di difesa passiva costituita da una paratia di micropali di lunghezza 9 m e sufficiente ad intestarsi nella formazione stabile, planimetricamente l'opera si estenderà per tutta la lunghezza interferita.

In figura 4-1 si riporta uno stralcio planimetro dell'area oggetto di interesse in cui vengono evidenziate: le opere in progetto interferenti con la frana (VS.01 e fondazione pila provvisionale); l'impronta della frana Pg4; l'opera di presidio che s'intende realizzare.

Per quanto riguarda le fondazioni del Viadotto Vesima Est, esse interferiscono con l'area in frana solo in fase provvisionale ed in particolare per la realizzazione delle fondazioni delle due pile provvisorie, necessarie alla realizzazione dell'arco in ampliamento

Tuttavia, sia per la pila provvisionale che per le restanti fondazioni, il progetto prevede la presenza di micropali di lunghezza sufficiente a garantire l'immorsamento nella porzione rigida di terreno. In tal modo i carichi derivanti dalla pila verranno trasferiti in profondità e non andranno quindi a gravare sulla coltre.

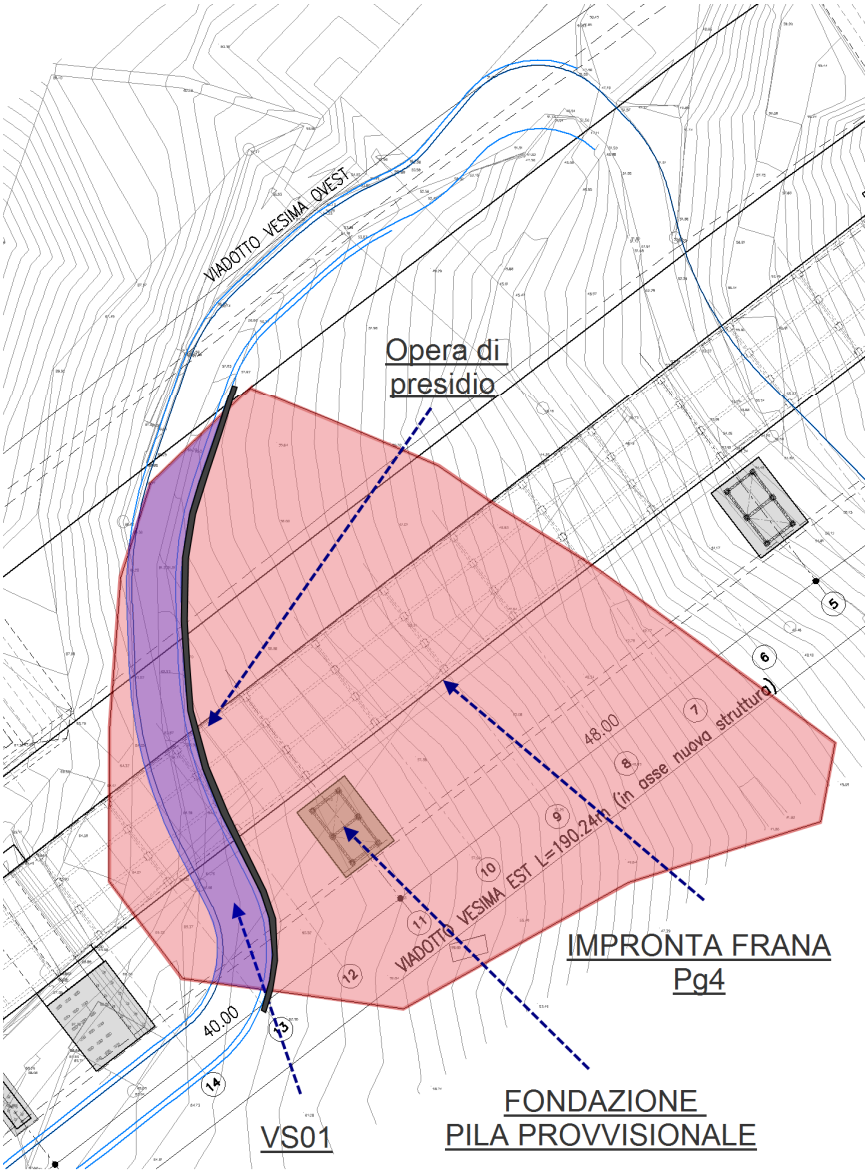



**Figura 4-1 – Stralcio planimetrico con l'indicazione delle opere interferite e delle opere di presidio**

## 4.3 ANALISI DI STABILITÀ

Per il dimensionamento delle opere è necessario caratterizzare correttamente i materiali superficiali che potrebbero innescare movimenti franosi e compromettere la stabilità delle opere stesse.

Le figure 4-2, 4-3 e 4-4 riportano rispettivamente: la traccia in planimetria della sezione analizzata, la sezione stessa ed i risultati delle analisi svolte relative alla caratterizzazione delle sole coltri superficiali.

Al fine di determinare lo spessore e le caratteristiche di resistenza di tale strato, sono state eseguite delle back analysis con l'ausilio del software di calcolo GeoStudio 2007: si è ricercato il valore del parametro $\phi'_{res}$ (con c' = 0 kPa) in grado di determinare coefficienti di sicurezza pressoché unitari (Fs ≈ 1).

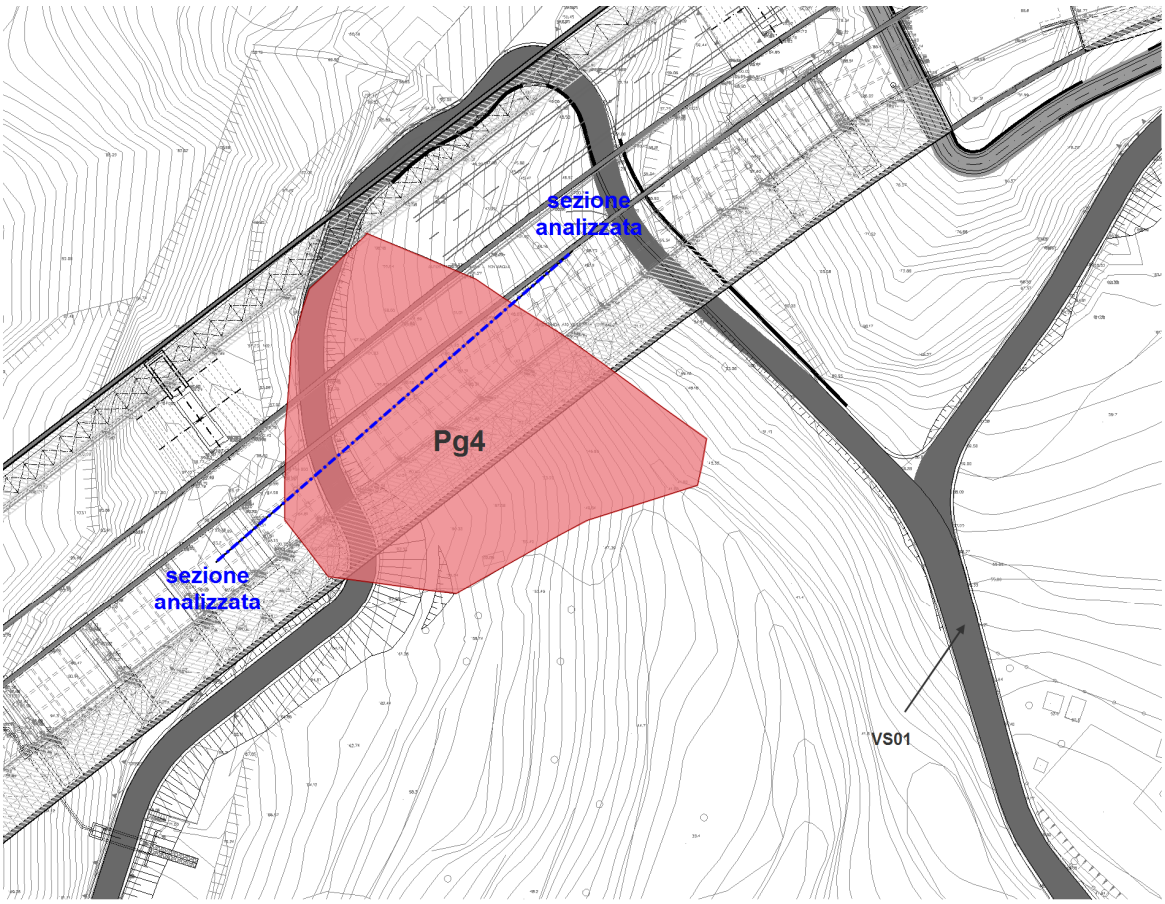



**Figura 4-2 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata - Pg4**

Le superfici di scivolamento critiche sono state definite facendo riferimento alle stratigrafie dei sondaggi e/o dei risultati dell'indagine geofisica e alla morfologia dei versanti. Tali superfici interessano le coltri superficiali, al di sopra della formazione di substrato alterata.

Al fine di verificare l'affidabilità del modello (geometria delle superfici di scivolamento e livelli di falda) i valori di $\phi'_{res}$ ottenuti da back analysis sono stati confrontati con i valori della caratterizzazione geotecnica generale delle formazioni coinvolte.

La parametrizzazione geotecnica è stata confrontata con i risultati e l'interpretazione delle prove, in sito e di laboratorio, eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi effettuati nell'intera area di intervento, sia a cura di SPEA sia relative alle indagini storiche.

Sulla base di tali dati, i parametri dei materiali di copertura CCS (coltre) risultano come riportato nella seguente Tabella.

| | |
|---|---|
| **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 $C_{CS}$ (coltre)**

Le analisi di stabilità (si veda Figura 4-) mostrano un angolo di attrito residuo pari a $\phi'_{res}$ = 21°ed uno spessore instabile della coltre di circa 4.0 m.

La superficie di scivolamento analizzata è stata dedotta sulla base di quanto rilevato dalle immagini del rilievo topografico e di quanto emerso a seguito dei sopralluoghi effettuati in data 09/10/2015 e 20/10/15 (si veda il paragrafo 3.10) sul tratto di interesse ed è mostrata nelle figure seguenti.

La scelta progettuale è stata quindi conservativa, avendo adottato un valore di $\phi'$ caratteristico di progetto, per le coltri superficiali, derivante dalle back analysis e pari a 21°, inferiore al valore risultante dalla caratterizzazione geotecnica:

$\phi$ caratteristico di progetto = 21°

$\phi$ da caratterizzazione = 26 ÷ 30°

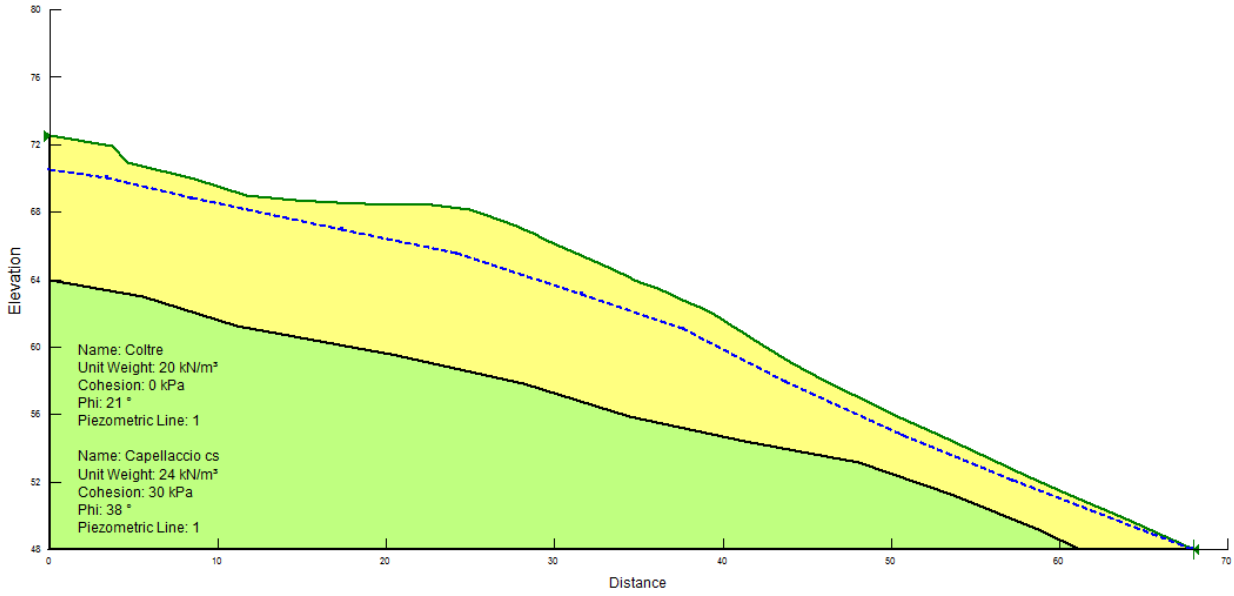



**Figura 4-3 – Sezione analizzata**

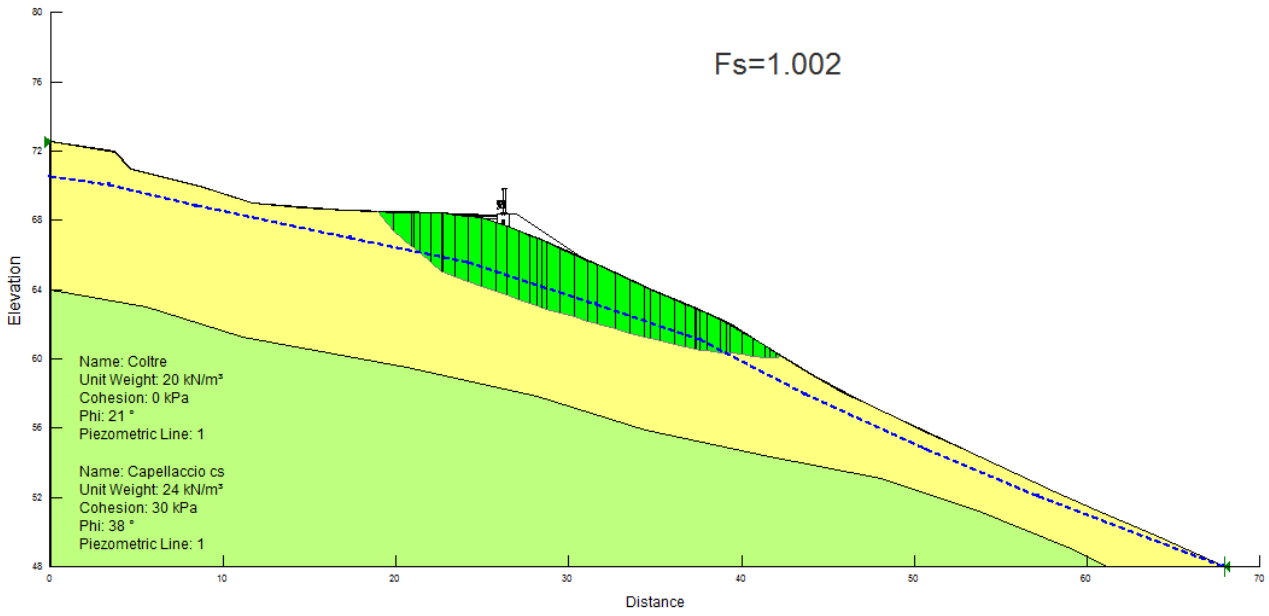



**Figura 4-4 – Risultati delle back analysis - Pg4**

**Verifiche su area Pg4**

Le verifiche di stabilità globale dell'insieme opera-terreno 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; tra i metodi di calcolo proposti si è scelto di considerare il metodo di Bishop.

La ricerca delle potenziali superfici di scorrimento viene effettuata 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.

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

I parametri geotecnici adottati nelle analisi sono stati assunti in accordo alla tabella seguente.

**Tabella 4-2 Parametri geotecnici caratteristici**

| STRATO | Peso di volume $\gamma_k$ | Angolo di resistenza al taglio $\phi_k$ | Coesione efficace $c'_k$ |
|---|---|---|---|
| | kN/m$^3$ | ° | kPa |
| **Coltre** | 20.0 | 21 | 0 |
| **Cappellaccio** | 24.0 | 38 | 30 |

Per quanto riguarda la coltre si assume, come angolo di resistenza al taglio, il valore più cautelativo tra quanto indicato nella caratterizzazione geotecnica di progetto e quanto dedotto dai risultati delle back analysis relativi al Pg4. Per i parametri del cappellaccio si assume la caratterizzazione di progetto.

Nella seguente Tabella 4-3 sono invece riassunti i parametri geotecnici di progetto considerati nei calcoli, fattorizzati secondo le condizioni M1 e M2.

In accordo alle indicazioni e ai suggerimenti dell'Eurocodice 7 e del documento "*Designers' Guide to EN1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – General rules*", si possono adottare coefficienti parziali $\gamma_{\phi'}$ minori di quelli indicati nelle tabelle delle NTC, in quanto in presenza di angoli d'attrito "residui", stimati con procedura di back analysis in riferimento a riscontrati cinematismi di instabilità di versante.

Nel caso specifico, tenuto conto che il parametro di resistenza al taglio delle coltri adottato nelle analisi è addirittura inferiore ai risultati delle back analysis, è stato adoperato un coefficiente $\gamma_{\varphi'}$ unitario.

**Tabella 4-3 Parametri geotecnici di progetto**

| STRATO | Peso di volume $\gamma_k$ | M1 Angolo di resistenza al taglio $\phi_d$ | M1 Coesione efficace $c'_d$ | M2 Angolo di resistenza al taglio $\phi_d$ | M2 Coesione efficace $c'_d$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | kN/m$^3$ | ° | kPa | ° | kPa |
| **Coltre** | 20.0 | 21 | 0 | 21 | 0 |
| **Cappellaccio** | 24.0 | 38 | 30 | 32 | 24 |

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 seguente si riporta la superficie di scorrimento critica; dalla suddetta figura, si evince che la stabilità globale dell'opera è verificata, essendo:

**$R_d / E_d =$ 1.313 > 1.1**

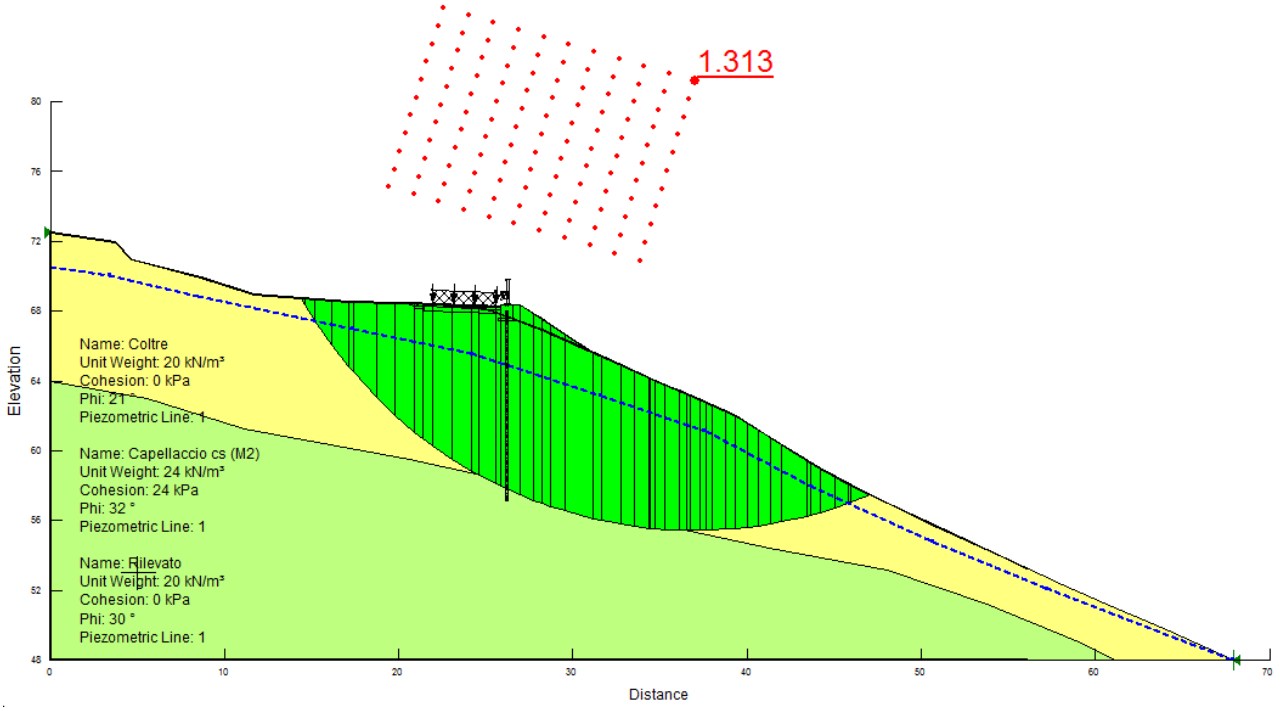



**Figura 4-5 – Verifica di stabilità globale – condizioni statiche**

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

$\beta_s$ = 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** |
| | $\beta_s$ | $\beta_s$ |
| $0.2 < a_g$ (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:

**$R_d / E_d$ = 1.298 > 1.1**

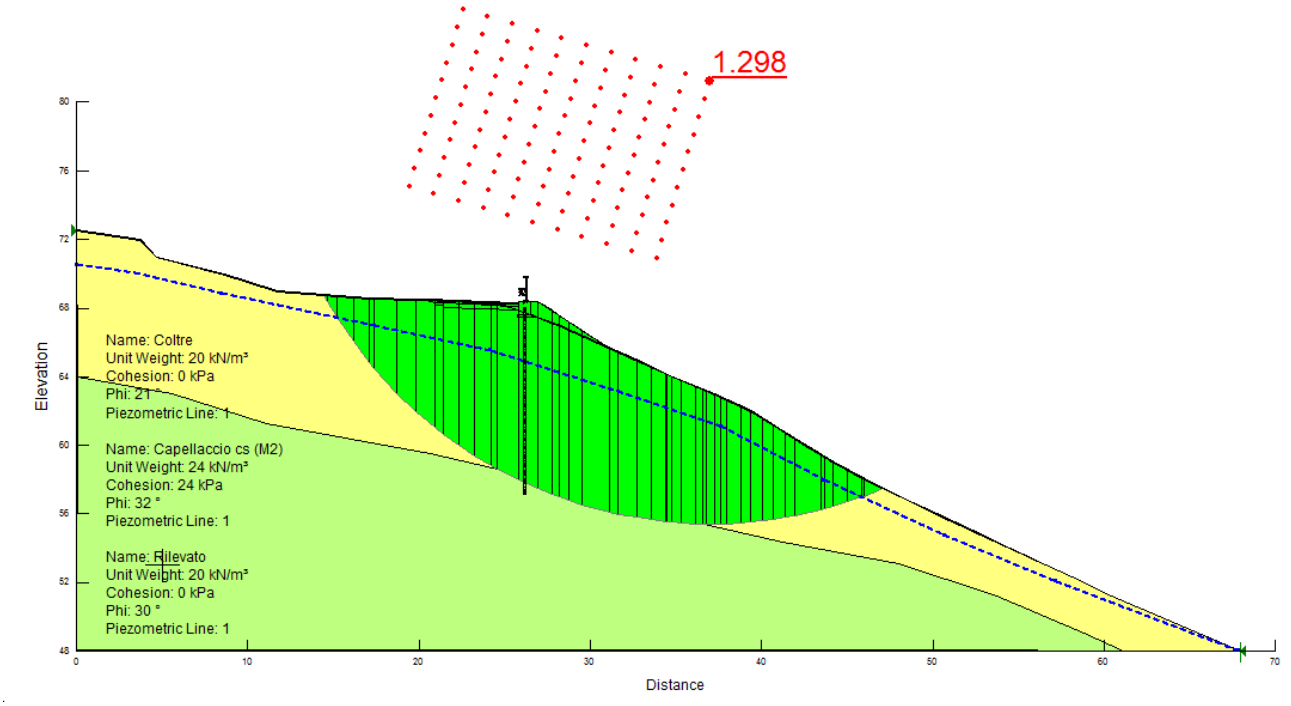



**Figura 4-6 – Verifica di stabilità globale - condizioni sismiche**

## 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** | 1.002 | -- |
| Analisi **post-operam** | 1.313 | 1.298 |

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

Per garantire la corretta regimazione delle acque meteoriche che possono incidere sfavorevolmente sulla stabilità del pendio se non controllate, sarà necessario realizzare un sistema di drenaggio delle acque di versante costituito da canalette e fossi.

In corrispondenza della frana in esame, le acque di drenaggio della viabilità verranno raccolte immediatamente a valle dell'asse stradale mediante un canalizzazione costituita da un mezzo in C.A.V. successivamente, le acque intercettate verranno convogliare direttamente al rio Vesima mediante un fosso rivestito in C.A.V. di forma trapezoidale. Il recapito in corrispondenza del corpo idrico esistente verrà protetto mediante l'impiego di massi di cava sciolti.

# 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 prossimità dell'area pianeggiante al di sopra del ciglio della Pg4, con installazione di inclinometro e piezometro (ubicazione in allegato 4) (per motivi di sicurezza non è possibile accedere direttamente al corpo di frana).

## 7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI

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

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

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

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

In particolare:

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

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

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

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




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

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

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

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

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda il dataset ENVISAT, sono state scelte le date di acquisizione ascendenti comprese tra il 22/10/2004 e il 01/10/2010. La data ascendente 09/07/2004 è stata esclusa perché precede di 86 giorni la prima data dello stack discendente. In corrispondenza delle date selezionate sono state interpolate solo le misure discendenti e il risultato è stato combinato con le misure ascendenti per calcolare la componente del movimento lungo la direzione verticale e la direzione est-ovest.

Vengono fornite la:

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

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

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

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

- spostamento lungo LOS (espresso in mm);

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

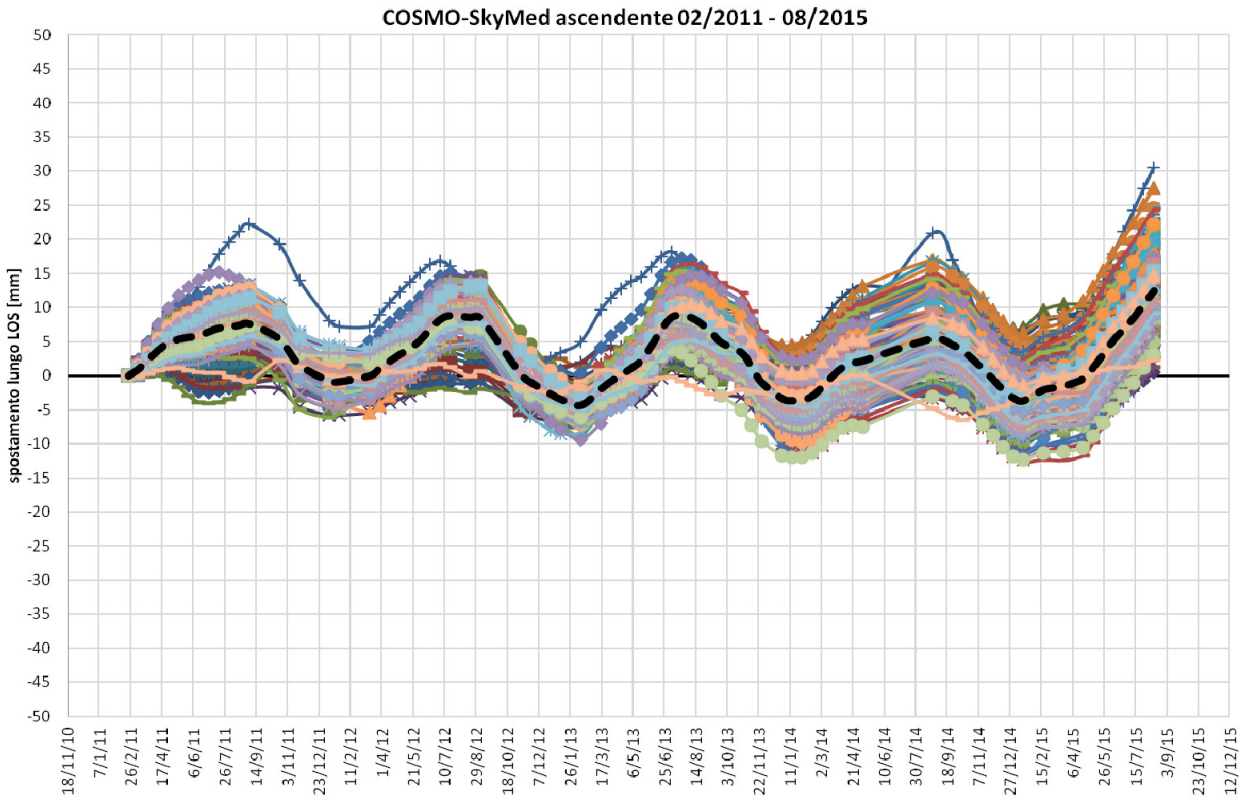



**Figura 7-2 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

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

L'analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 179 riscontri) nel periodo 2011 - 2015 non individuano spostamenti significativi; l'andamento delle deformazioni (ottenute dal dataset ascendenti) appare paragonabile ad una sinusoide con periodo di circa un anno, tipico comportamento delle dilatazioni termiche legate alle oscillazioni stagionali delle temperature (con valori minimi nei mesi invernali e massimi nei mesi estivi).

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

La presenza di un'area ad alta suscettività al dissesto in corrispondenza delle opere in progetto impone la necessità di prevedere opere di contenimento intese a evitare lo sviluppo di fenomeni deformativi rilevanti e di presidi a garanzia della stabilità delle opere e delle porzioni di versante direttamente interessate.

Lungo il versante in oggetto si rileva la presenza di una frana attiva nella posizione indicata nei documenti degli enti e di una seconda frana sistemata con gabbioni sul lato di monte della strada esistente; i due dissesti hanno interessato essenzialmente la coltre, che si estende nel sottosuolo presumibilmente per alcuni metri. La presenza dei due movimenti è indice di un versante con elevata propensione al dissesto, in particolare per la presenza del corso d'acqua in erosione alla base del versante.

Nell'area analizzata ricadono:

- una parte della viabilità di servizio VS.01;
- le pile provvisionali per l'ampliamento del Viadotto Vesima Est.

Le fondazioni di dette pile, tuttavia, prevedono la presenza di micropali, in tal modo, i carichi derivanti dall'impalcato non gravano sulla coltre e non incidono quindi negativamente sulla stabilità della frana.

A presidio delle strutture in progetto e del versante si è deciso di prevedere un'opera di difesa passiva costituita da una paratia in micropali e la realizzazione un sistema di canalette/fossi per la regimazione delle acque superficiali che permetta il rapido allontanamento delle acque piovane

Nella configurazione finale del progetto, la frana ARZ046 potrà essere considerata stabilizzata, per quando riguarda la parte interferente con la viabilità, sulla base delle seguenti motivazioni:

- gli accorgimenti costruttivi adottati (**opera di presidio in micropali**) 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;
- è stato previsto un adeguato **sistema di raccolta e smaltimento delle acque** sul versante, in modo tale da controllare ed allontanare le acque dal corpo di frana;
- il dimensionamento delle opere è stato condotto considerando un modello geotecnico cautelativo con riferimento ai parametri di resistenza al taglio residui per le coltri superficiali potenzialmente instabili, agli spessori della coltre, al livello di falda, ecc.;

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

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

Alla luce di quanto sopra, si ritiene che gli interventi previsti nel progetto, contribuendo al miglioramento della stabilità del versante interferito, siano tali da poter acquisire il parere del Comitato Tecnico di Bacino ai sensi dell'art. 11 c. 4 lett. b) della LR n.58/2009 espresso in merito alle opere di consolidamento finalizzate alla stabilizzazione del dissesto.

## *ALLEGATI*

- *Allegato n.1* - Stralcio Carta suscettività al dissesto da Piano di Bacino con progetto ed indagini eseguite
- *Allegato n.2* - Stralcio carta geologica (aggiornata 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