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 CER054

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	1	0	–	3	SCALA: –

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

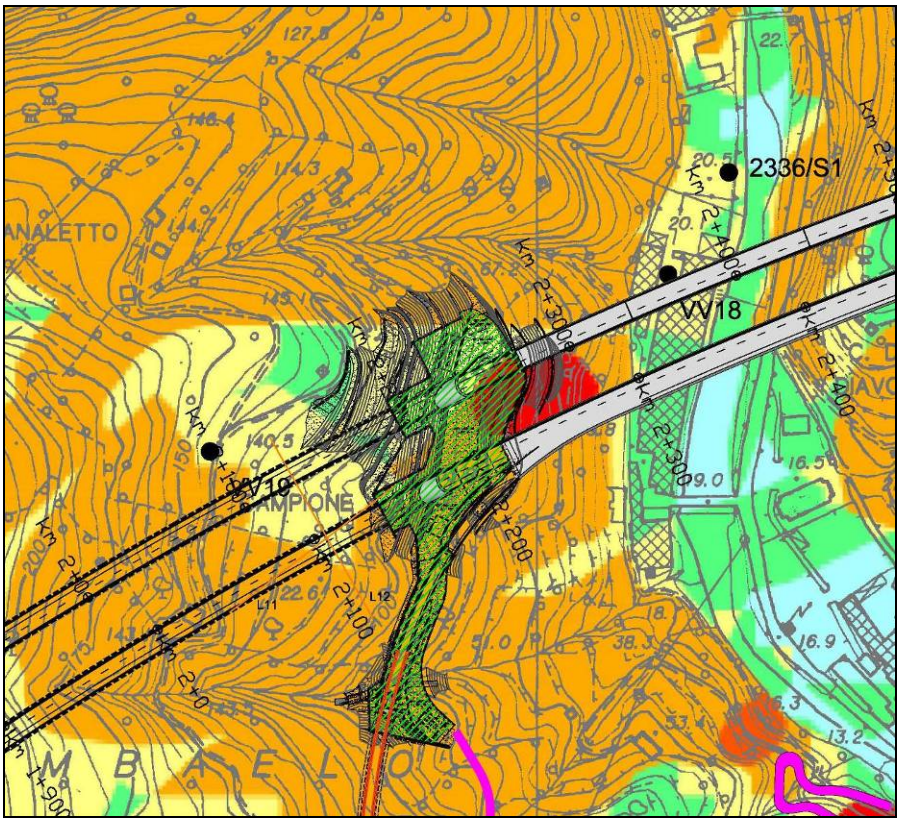
	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

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 CER054 (PG4)

*OPERA INTERFERENTE: SPALLA E PILA VIADOTTO CERUSA *

ALTRE OPERE NELL'AREA: IMBOCCO GALLERIA BORGONUOVO LATO GE E IMBOCCO GALLERIA BRIC DEL CARMO



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 12

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 13

3.9 INDAGINI ESEGUITE 14

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 17

3.11 CAUSE DEL DISSESTO 26

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 27

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 28

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 28

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 29

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 31

4.4 QUADRO DI SISTESI 44

5. IDRAULICA 45

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE 45

6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI 46

7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 47

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 47

8. CONCLUSIONI.....50

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 GEN0111: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana CER054 (Pg4) - Opere interferenti: Planimetria e sezione – Fase di cantiere"*
- *Elaborato GEN0112: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana CER054 (Pg4) - Opere interferenti: Planimetria e sezione – Sistemazione definitiva"*

1. PREMESSA

Il presente documento è finalizzato ad ottemperare la prescrizione A16 del Decreto di compatibilità ambientale del progetto "Nodo stradale e autostradale di Genova – Adeguamento del sistema A7 – A10 – A12" (Dec VIA 28/2014), la cui verifica è in capo alla Regione Liguria, che recita: "*relativamente al rispetto della normativa dei relativi piani di bacino, a seguito del recente aggiornamento dei criteri di riferimento di cui alla DGR n.1208 del 12/10/2012, attualmente in fase di recepimento da parte della Provincia, si richiama che, nel caso di interferenza delle opere in progetto con le aree classificate a suscettività al dissesto molto elevata Pg4 (frana attiva), le infrastrutture pubbliche viarie di valenza strategica sono ammesse purché venga acquisito preventivamente un apposito parere del Comitato tecnico di bacino ai sensi dell'art. 11 c. 4 lett.b) della l.r. n.58/2009 espresso in merito alle opere di consolidamento finalizzate alla stabilizzazione del dissesto; mentre, qualora le opere in progetto interagissero con aree classificate ad elevata suscettività al dissesto Pg3a (frana quiescente) o Pg3b è richiesto uno specifico parere vincolante della Provincia. Si richiama che le misure di attenzione per la prevenzione del rischio idrogeologico, definite nell'ambito dei criteri soprarichiamati, prevedono che gli elaborati geologici e geotecnici a corredo dei progetti si diano carico di considerare e valutare se sussistano pericoli di possibili interferenze per eventuali fenomeni di arretramento o di espansione di corpi o di cigli di frana presenti nell'intorno di una fascia di rispetto di almeno 100 m e, comunque, considerando un'area di estensione significativa in merito al contesto in esame.*".

I riferimenti normativi sono pertanto:

- il richiamato articolo 11, comma 4 lettera b) della Legge Regionale n.58/2009:

  "il Comitato esprime i pareri di compatibilità, rispetto ai Piani ed ai criteri ed indirizzi dell'Autorità di Bacino, in merito agli interventi di sistemazione idraulica e geomorfologica, la cui realizzazione comporta modifiche ai Piani vigenti. La Giunta Regionale può specificare, con successivo atto, le tipologie di intervento oggetto di tali pareri;"

- le "Misure di attenzione per la prevenzione del rischio idrogeologico" contenute nelle norme di attuazione dei Piani di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico degli ambiti 12e13, 14, 15, 16, 17, 18, modificate con D.G.P. n. 124 del 22/09/2014 (art. 16 ter):

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

  2. *Gli elaborati geologici e geotecnici a corredo dei progetti per il rilascio del titolo edilizio, redatti ai sensi delle NTC 2008, relativi ad istanze di opere di nuova*

costruzione si danno anche carico di considerare e valutare se sussistano pericoli di possibili interferenze per eventuali fenomeni di arretramento o di espansione di corpi o cigli di frana (ciglio, piede, fianchi) presenti nell'intorno di una fascia di rispetto di almeno 100 m e comunque considerando un'area di dimensione significativa in merito al contesto in esame.

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

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

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

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

Al fine di ottemperare alla prescrizione citata ed acquisire i pareri in essa richiamati, per tutte le aree classificate, dalle cartografie dei piani di bacino, a suscettività di dissesto molto alta (Pg4) viene predisposta un'apposita scheda, in cui viene mostrato come gli interventi previsti in progetto contribuiscano alla stabilizzazione del dissesto oggetto di interferenza con le opere, determinando di fatto un effetto positivo.

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

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

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

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

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

- *GEO0001: Relazione geologica e idrogeologica generale*
- *GEO0002: Carta geologica*
- *GEO0010: Profilo geologico – Gronda di Ponente*
- *GEO0020: Carta geomorfologica*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *IDR0249: Sistemazione idraulica imbocchi gallerie Borgonuovo-Bric del Carmo lato GE*
- *APE0121: Galleria Borgonuovo, Imbocco lato Genova - Pianta Scavi, Profilo e Sezioni*
- *APE0122÷0126: Galleria Borgonuovo, Imbocco lato Genova – Dettagli paratie*
- *AUA0106: Galleria Borgonuovo, Imbocco lato Genova – Sistemazione definitiva - planimetria, prospetto e sezioni*
- *APE0127÷0128: Galleria Borgonuovo, Imbocco lato Genova – Dettagli muri in terra armata*
- *APE0129: Galleria Bric del Carmo Nord - Pianta Scavi, Profilo e Sezioni*
- *APE0130÷0131: Relazioni di calcolo*
- *APE0601÷0603: Viadotto Cerusa, carreggiata Est – Pozzi di fondazione*
- *APE0604: Viadotto Cerusa, carreggiata Est – Relazione di calcolo*
- *APE0611÷0614: Viadotto Cerusa, carreggiata Ovest – Pozzi di fondazione*
- *APE0615: Viadotto Cerusa, carreggiata Ovest – Relazione di calcolo*
- *APE, 621÷625 Viadotto Cerusa, opere provvisionali – Planimetria, prospetto, sezioni e particolari*
- *APE0626: Viadotto Cerusa, opere provvisionali – Relazione di calcolo*
- *MOI0001: Monitoraggio geotecnico delle opere all'aperto*

Per comodità di lettura, sono stati prodotti due elaborati di sintesi, uno per la fase di cantiere e l'altro per la fase definitiva:

- *GEN0111 "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana CER054 (Pg4) - Opere interferenti: Planimetria e sezione – Fase di cantiere"*, che riporta i dettagli progettuali relativi agli scavi, alle sistemazioni idrauliche, alle eventuali viabilità di accesso al cantiere;
- *GEN0112 "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana CER054 (Pg4) - Opere interferenti: Planimetria e sezione – Sistemazione definitiva"*, che riporta i dettagli progettuali relativi alla sistemazione finale, all'idraulica.

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata CER 054, che risulta interferente con spalla e pila dei viadotti Cerusa (Est e Ovest); nelle vicinanze di tale area sono inoltre presenti l'imbocco della galleria Borgonuovo lato Genova e l'imbocco della galleria Bric del Carmo.

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 (cfr. elaborato GEO010);
- 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 nell'Allegato 1);
- carta geomorfologica specifica per le aree in frana a scala 1:2.000 (cfr. l'Allegato 4).

La caratterizzazione geotecnica delle principali formazioni geologiche presenti lungo il tracciato di progetto fa riferimento alle indagini geotecniche effettuate sia nell'ambito della fase di progettazione definitiva della Gronda di Ponente (2010-2011), sia delle precedenti fasi progettuali del medesimo progetto (2003, 2004 e 2007), sia nell'ambito di altri progetti ubicati in prossimità del tracciato della Gronda, risalenti ad anni diversi (dagli anni 70 ad oggi) reperiti da SPEA presso l'Archivio comunale di Genova, presso Consulenti e negli uffici di SPEA dedicati alla Sorveglianza e Manutenzione della rete autostradale in esercizio.

Le attività propedeutiche effettuate sono:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove penetrometriche dinamiche SPT in foro;
- prove di permeabilità Lugeon in foro;
- prove dilatometriche in foro con dilatometro da roccia;
- prove geofisiche in foro (CH e DH) per la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione Vp e di taglio Vs;
- prove di laboratorio di classificazione di resistenza e di deformabilità su campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno, prelevati nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio su provini di roccia prelevati nei fori di sondaggio;
- stendimenti di geofisica (sismica a rifrazione, a riflessione, geoelettrica);
- rilievi geostrutturali su alcuni affioramenti rocciosi rappresentativi.

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche (cfr. elaborato APE0001) tengono conto del fatto che lungo il tracciato autostradale in esame sono stati rinvenuti fondamentalmente depositi limoso – argillosi, sabbioso – ghiaiosi e unità tettoniche complesse in cui si incontrano alternanze di rocce sedimentarie (arenarie, siltiti, calcari marnosi, marne calcaree, marne, argilliti) e rocce metamorfiche (serpentiniti, serpentinoscisti, calcescisti, argilloscisti, metabasiti, meta gabbri). I parametri progettuali adottati ed i criteri di dimensionamento delle opere sono conformi ai risultati ottenuti. Le opere sono state dimensionate in conformità alla normativa vigente (NTC2008).

Tenendo conto delle necessità e della funzionalità delle opere, nella progettazione, si è cercato, per quanto possibile, di **limitare le ampiezze dei fronti di scavo**, in modo da minimizzare l'impatto sul territorio.

In particolare, le opere di maggior impatto riguardano il progetto delle aree d'imbocco. Lo sviluppo di tali progetti contempla i seguenti aspetti:

- tracciato stradale;
- geologia;
- geomorfologia;
- geotecnica;
- tunnelling;

- scavi meccanizzati;
- impianti;
- idraulica;
- strutture;
- cantierizzazione;
- vincoli ambientali, paesaggistici, Enti vari, ecc.;
- inserimento finale delle opere nell'ambiente.

Lo schema generale della metodologia di lavoro adottata è riportato nella Figura seguente.

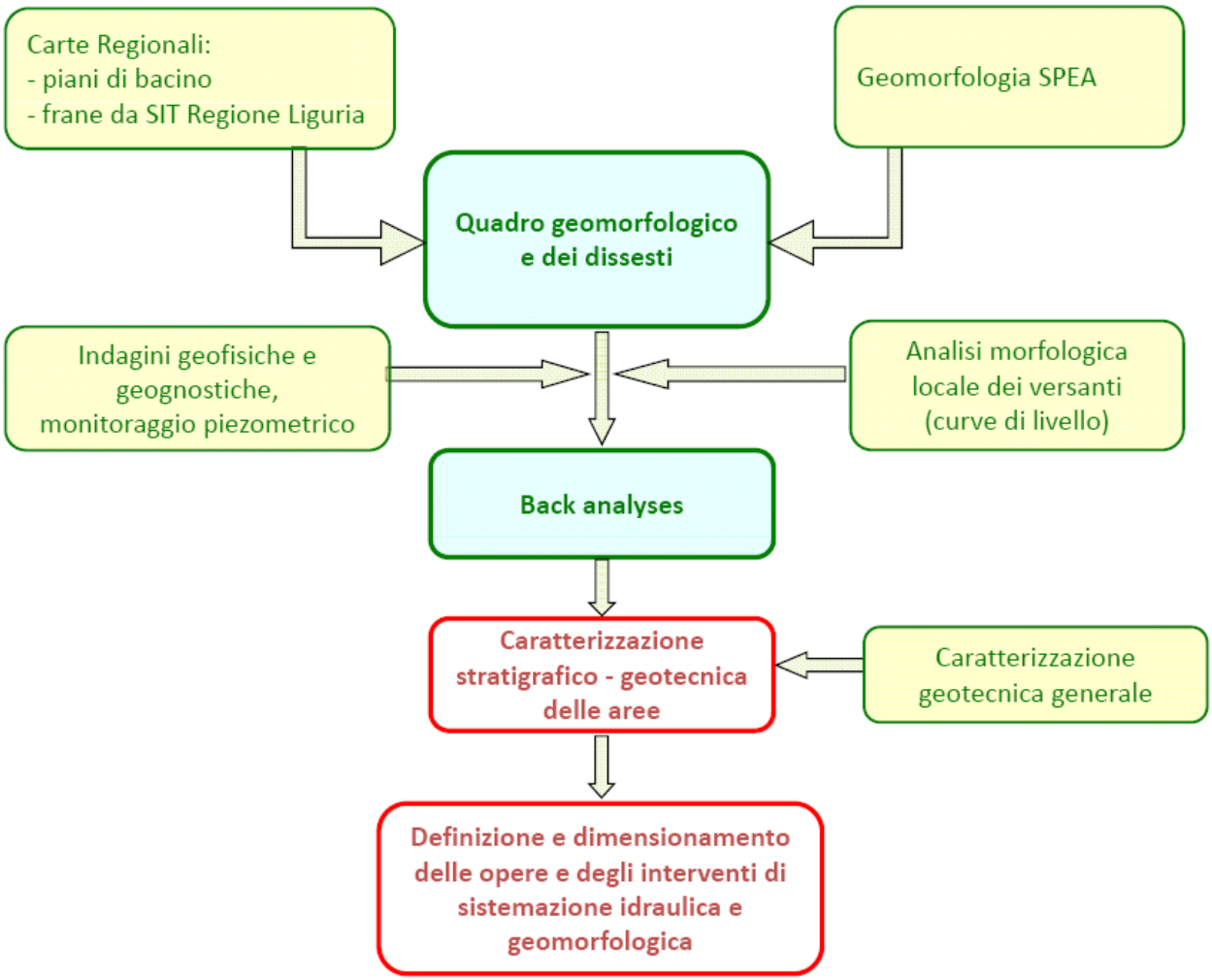


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: VOLTRI

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: AMBITI 12 e 13

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): CER 054

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 spalla e pila Viadotto Cerusa (Est ed Ovest); sono altresì presenti Pg3b, Pg2 e Pg1 nelle aree afferenti agli imbocchi Borgonuovo lato GE e Bric del Carmo, 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)
X	Scorrimento o scivolamento (SC)
	Scorrimento o scivolamento rotazionale (SCr)
	Scorrimento o scivolamento planare (SCp)
	Crollo o ribaltamento(CL)
	Complessa (FC)
	Area a franosità diffusa (FD)

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

b) Stati di attività:

X	Attiva
	Quiescente
	Stabilizzata

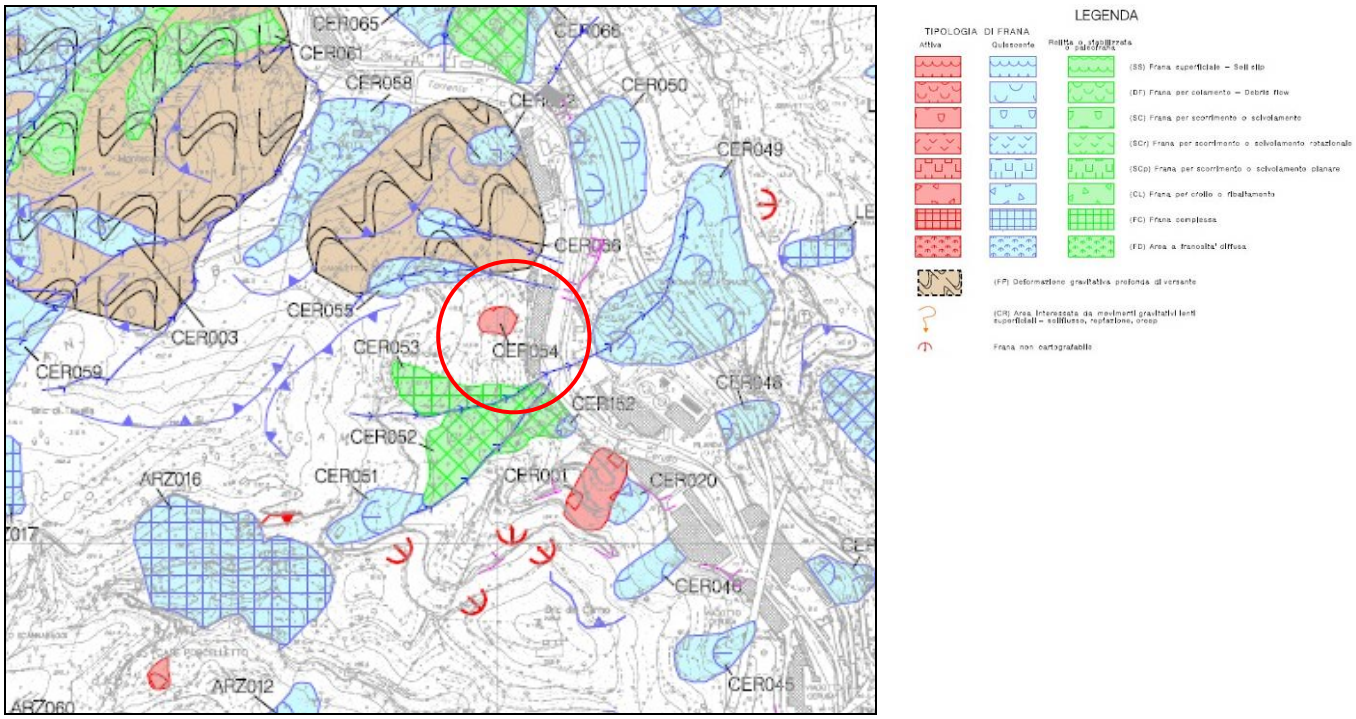


Figura 3-1 – Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino

Il Piano degli interventi di mitigazione del rischio del Piano di Bacino non prevede alcun intervento specifico relativo alla frana in oggetto.

3.7 DISSESTI SEGNALATI DALL'INVENTARIO FENOMENI FRANOSI D'ITALIA

Al fine di fornire un quadro completo di tutti i dati bibliografici relativi alla pericolosità connessa a movimenti franosi, di seguito si riporta quanto segnalato dall'Inventario Fenomeni Franosi d'Italia (IFFI) per l'area in esame (http://www.isprambiente.gov.it).

La cartografia IFFI (**Figura 3-2**) identifica sul versante un dissesto attivo coincidente con CER 054 (seppur con una delimitazione leggermente differente) avente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100217302
- Tipo di movimento: Scivolamento rotazionale/traslativo
- Attività: Attivo/riattivato/sospeso
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Vengono inoltre segnalate altre due aree lungo il medesimo versante:

- un colamento rapido quiescente (2 nella figura seguente);
- un'area soggetta a frane superficiali diffuse (3 nella figura seguente).

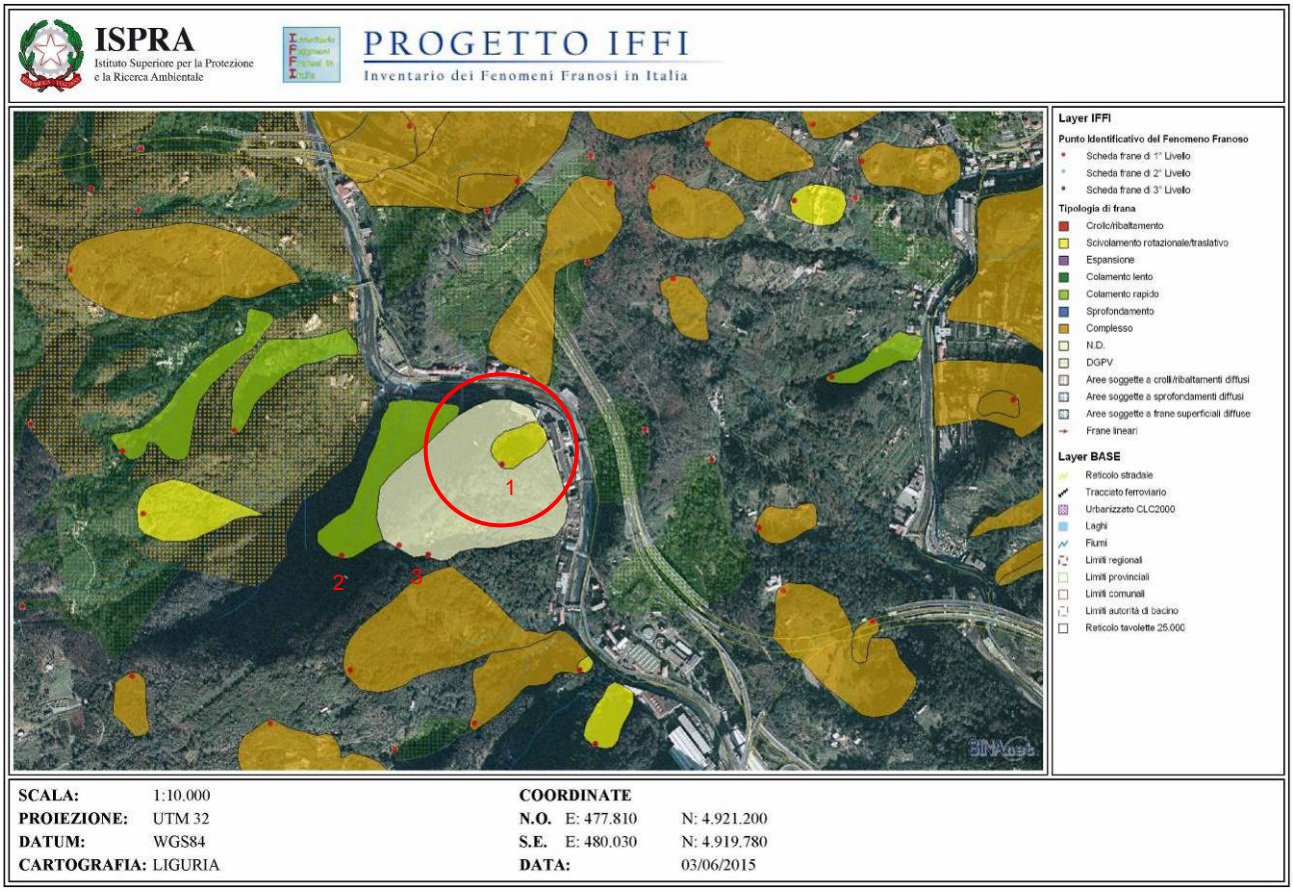


Figura 3-2 – Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la 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 Cerusa.

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

3.9 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in esame (cfr. Figure seguenti) sono stati realizzati per il Progetto Definitivo 2011 un sondaggio a carotaggio sul versante al di sopra dell'area in frana (VV19) e due stese di geofisica a rifrazione (L11-L12); un secondo sondaggio (VV18) è stato realizzato al piede del versante in prossimità delle pile del viadotto (tale sondaggio è rappresentativo dell'area di fondovalle).

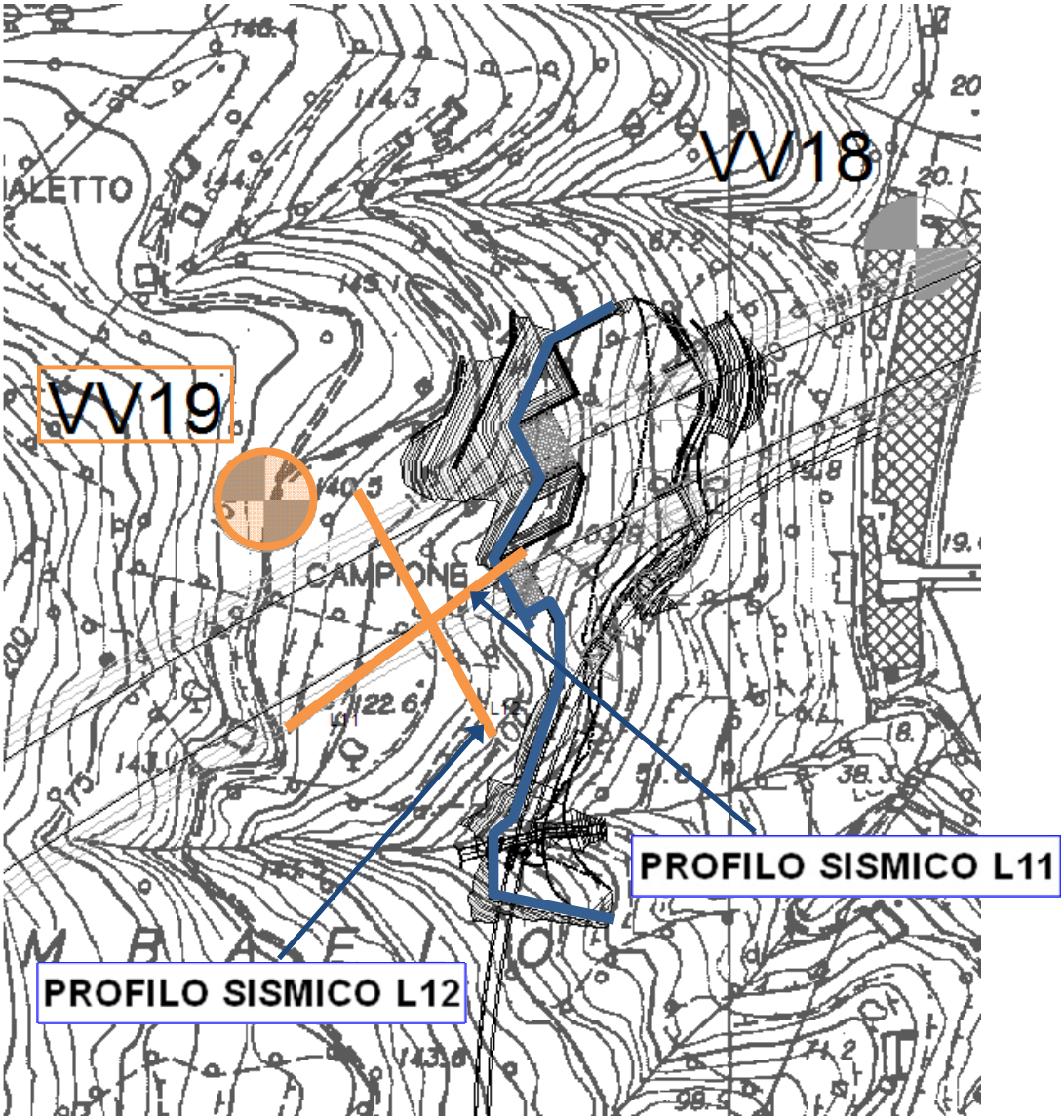


Figura 3-3 – Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini

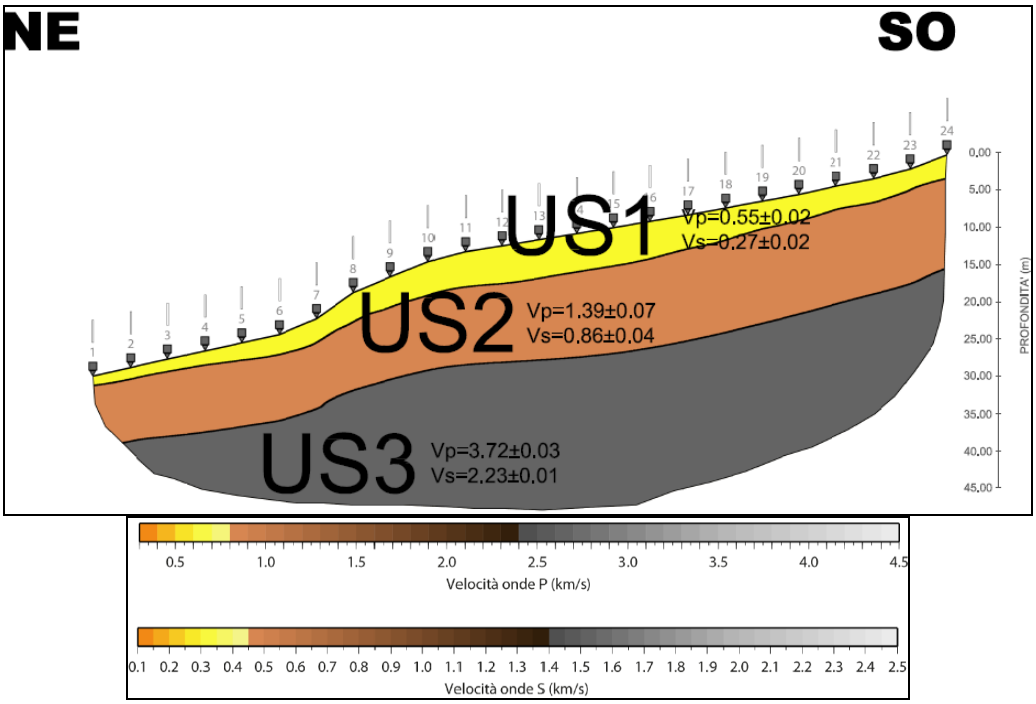


Figura 3-4 – Profilo sismico L11

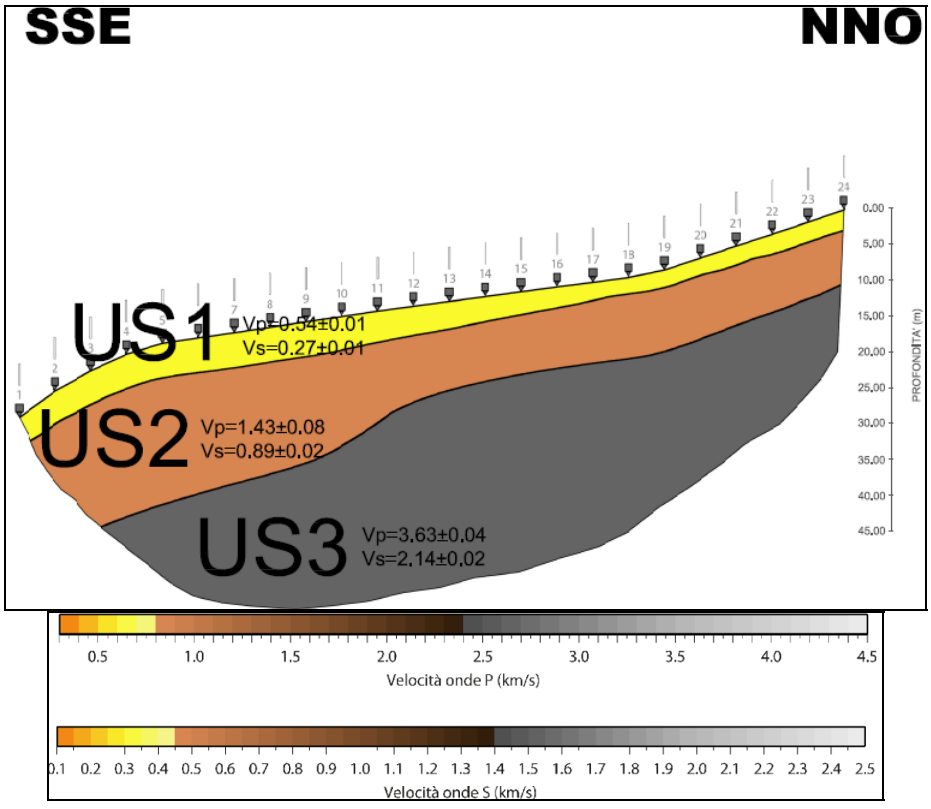


Figura 3-5 – Profilo sismico L12

Dalla stratigrafia del sondaggio VV19, lo spessore dei depositi di copertura è pari a circa 3-4 m mentre la fascia ad intensa alterazione arriva fino a circa 9 m. La soggiacenza della falda - misurata il 12/07/11 - risultava essere -17.07 m da p.c..

In VV18 il substrato lapideo (calcescisti) è stato rinvenuto a 12 m di profondità; da 0 a 9.7 m sono presenti materiali ascrivibili inizialmente a riporto e poi a detrito di versante misto ad alluvioni del Torrente Cerusa. Da 9.7 a 12 m si tratta probabilmente di substrato molto alterato. La falda, misurata il 13/07/11, era a -4.11 m da p.c..

Entrambi i piezometri sono risultati sepolti o non trovati nella successiva campagna di misura.

Nell'ambito della campagna di indagini integrativa effettuata nel 2015-2016 sono stati realizzati in corrispondenza 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, e due stendimenti di geofisica a rifrazione con acquisizione di Vp e Vs. Altri sondaggi sono stati realizzati per la progettazione dell'imbocco (IG5 ed IG8), al di fuori dell'area Pg4.

La stratigrafia del sondaggio F8 mostra fino a 1.6 m da p.c. la presenza di un deposito superficiale prevalentemente sabbioso al di sotto del quale, fino a 17.7, sono stati rinvenuti calcescisti fratturati ed alterati, con livelli di materiale prevalentemente sabbioso-limoso di colore nocciola-ocraceo fino a 6 m. Da 17.7 a f.f. i calcescisti si presentano compatti e con un buon RQD.

Le sezioni di geofisica T20 e T21 evidenziano un andamento delle linee di isovelocità regolare con sole blande ondulazioni. L'incremento del gradiente delle velocità è più netto nella sezione T21 mentre nella sezione T20 si osserva una maggior irregolarità, tuttavia per entrambe è possibile definire il passaggio a roccia in posto più compatta attorno ai -10 m da p.c..

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 18/05/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante dal Torrente Cerusa, procedendo dal fondovalle fino al di sopra delle aree di imbocco, con la finalità di verificare con un rilievo di dettaglio (scala 1:2.000) lo stato dell'area e l'effettiva perimetrazione del dissesto segnalato come attivo dai documenti prodotti dagli enti.

Di seguito viene brevemente descritto quanto evidenziato durante il sopralluogo; in allegato 4 è riportata la planimetria con indicati tutti gli elementi individuati.

- Il versante in esame è caratterizzato da acclività accentuata e da fitta vegetazione sia ad alto fusto sia arbustiva. Osservando l'areale di studio dal versante di fronte, appare omogeneo e non è possibile individuare l'area in frana, che non appare sottolineata né da cambio di vegetazione né da variazioni di pendenza.

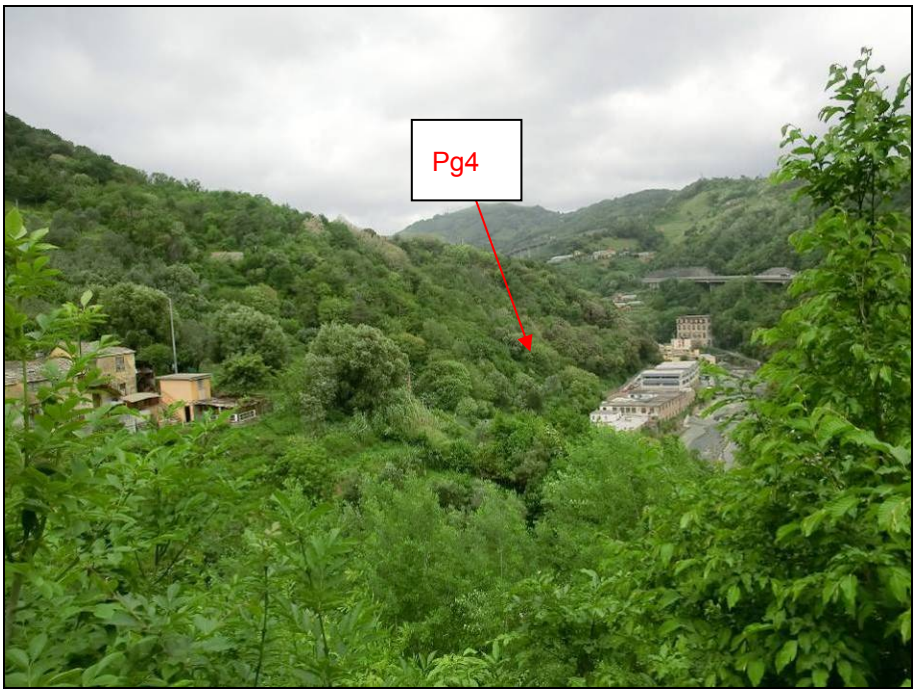


Foto 1 - Panoramica dell'area dal versante di fronte

- Le osservazioni condotte dalla sponda del Torrente Cerusa evidenziano la presenza di edifici al piede del versante; l'edificio prospiciente il ponte presenta un'apertura dovuta a crollo, che una testimonianza raccolta sul posto ha attribuito al franamento del muro di contenimento durante una alluvione avvenuta in passato. Il muro di contenimento mostra un'area lesionata in corrispondenza dello spigolo meridionale dell'edificio. Lungo il Torrente sono presenti affioramenti di Calcescisti.



Foto 2 - Immagine dell'area dalle sponde del Torrente Cerusa

- Immediatamente a monte dell'edificio industriale lesionato è presente un'abitazione e dei terrazzamenti in corrispondenza dei quali, durante l'alluvione di novembre 2014, si è verificato un franamento di modeste dimensioni che ha interessato la coltre di detrito presumibilmente per un paio di metri di spessore.





Foto 3 e 4 - Piccolo dissesto dietro un’abitazione

- risalendo lungo il versante si osservano altri dissesti diffusi della medesima tipologia (piccole frane che hanno interessato la coltre superficiale per pochi metri). La vegetazione arborea, molto abbondante, talvolta mostra uncinature, indice di movimenti lenti e superficiali. In alcuni punti si rileva anche la presenza di muretti a secco connessi a fasce attualmente abbandonate e non manutenute.





Foto 5 e 6 - Piccoli dissesti sul versante





Foto 7 e 8 - Dissesto sul versante



Foto 9 - Albero con tronco uncinato

- Nella parte prossima agli imbocchi, lungo alcune stradine sterrate, sono presenti affioramenti di calcescisti e micascisti verticalizzati, molto alterati - soprattutto ove la formazione è rappresentata da litofacies maggiormente scistose - e con giunti aperti. Questo assetto geometrico e geomeccanico è predisponente nei confronti di cinematismi di ribaltamento degli strati in grado di coinvolgere volumi ragguardevoli, soprattutto in corrispondenza dei versanti in oggetto, che sono acclivi e saranno soggetti ad escavazione in corrispondenza delle opere d'imbocco (tipologia: rischio di toppling). Questa tipologia di cinematismo è stata considerato nella progettazione.





Foto 10 e 11 - Affioramenti verticalizzati al di sopra dell'area Pg4

- Proseguendo verso S lungo le viabilità locali, si riscontra la presenza di un'area con terrazzamenti, indicata nella Carta della Franosità reale come CER053 e classificata come "frana stabilizzata".



Foto 12 - Frana stabilizzata CER053

- Sono inoltre presenti ulteriori dissesti che hanno interessato i terreni sciolti sovrastanti gli affioramenti, a conferma che i dissesti di coltre caratterizzano tutta l'area di studio.



Foto 13 - Frana stabilizzata CER053

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
	Erosione incanalata
	Falda
	Cause antropiche

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

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

Nel profilo, al di sotto del materiale di coltre superficiale, è stato indicato con un soprassegno il substrato alterato, fratturato e con livelli di materiale sciolto presente fino a 17.3 m da p.c.

Eventuali deformazioni del versante potranno essere individuate mediante la misurazione dell'inclinometro installato nel foro di sondaggio.

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

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

Il rilievo geomorfologico di dettaglio ha confermato la presenza di franosità diffusa su tutto il versante interessato dalle opere, evidenziando spessori di coltre dell'ordine di 3.0 - 4.0 metri.

Il dimensionamento delle opere è stato condotto assumendo la seguente sequenza stratigrafica che, sulla base di quanto sopra esposto, può considerarsi cautelativa:

- da p.c. a 5.0÷10.0 m da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso (potenzialmente instabile): depositi costituiti principalmente da sabbie limose con presenza di ciottoli;
- da 5.0÷10.0 m a 20.0÷25.0 m da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione della formazione dei Calcescisti - Micascisti (CS-CAP), avente caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla formazione di base;
- al di sotto di 20.0÷25.0 m da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Calcescisti (CS), suddiviso in due livelli.

La quota di falda di progetto è stata cautelativamente posizionata a circa 5.0 m di profondità da piano campagna, sulla base delle risultanze più critiche delle misure effettuate.

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Come già anticipato, nell'area interessata dal dissesto CER 054 ricadono le seguenti opere (cfr. Figura seguente):

- le fondazioni delle spalle lato SV dei viadotti Cerusa Est ed Ovest;
- la pila 1 del viadotto Cerusa Est;
- parte del piazzale di imbocco lato Genova della galleria Borgonuovo.

Per i due viadotti Cerusa, il progetto prevede di realizzare fondazioni profonde su pozzi circolari, sia per le pile che per le spalle, tali da garantire l'immorsamento della fondazione nel substrato roccioso.

Il piede della frana in oggetto è interessato dallo scavo dei pozzi di fondazione della pila 1 del viadotto Cerusa Est, pertanto le fasi esecutive di tali opere prevedono:

- la realizzazione di edicole costituite da paratie di micropali multitirantate, necessarie per evitare lo sviluppo di fenomeni deformativi rilevanti.
- la regimazione idraulica realizzata tramite canalette, eventualmente rinverdite, con la funzione di raccogliere e allontanare le acque di versante verso i canali esterni;

Il piazzale di imbocco lato Genova della Galleria Borgonuovo, dove è necessario garantire spazi di notevoli dimensioni per le operazioni di rimontaggio delle attrezzature e stoccaggio provvisorio dei pezzi della fresa, si trova nella parte superiore del versante, sopra il corpo di frana. Si tratta dell'imbocco nel quale la fresa dovrà essere rimontata: infatti, dopo essere stata smontata nel piazzale d'imbocco della Galleria Amandola lato Savona, superati il viadotto Leiro, la galleria Voltri ed il viadotto Cerusa, la fresa sarà ivi rimontata per proseguire nello scavo della galleria Borgonuovo.

Le fasi esecutive prevedono la realizzazione di:

- berlinesi di alleggerimento della scarpata a monte dell'imbocco per la canna ovest;
- un sistema di intercettazione delle acque di versante;
- opere di contenimento, costituite da paratie di micropali multitirantate su più livelli; al fine di limitare le altezze dei fronti di scavo, ai lati degli imbocchi delle gallerie e tra gli imbocchi delle due canne adiacenti, sono stati lasciati ampi contrafforti, delimitati da opere di sostegno tirantate, che hanno lo scopo non solo di ridurre le altezze complessive di scavo ma anche di contenere le deformazioni dei fronti stessi;
- opere di sostegno che si collegano ai corpi delle due spalle dei viadotti Cerusa, realizzato in materiale alleggerito, in modo da non gravare su aree instabili;
- un'opera di presidio al piede realizzata con pozzi, a garanzia della stabilità globale dell'opera.

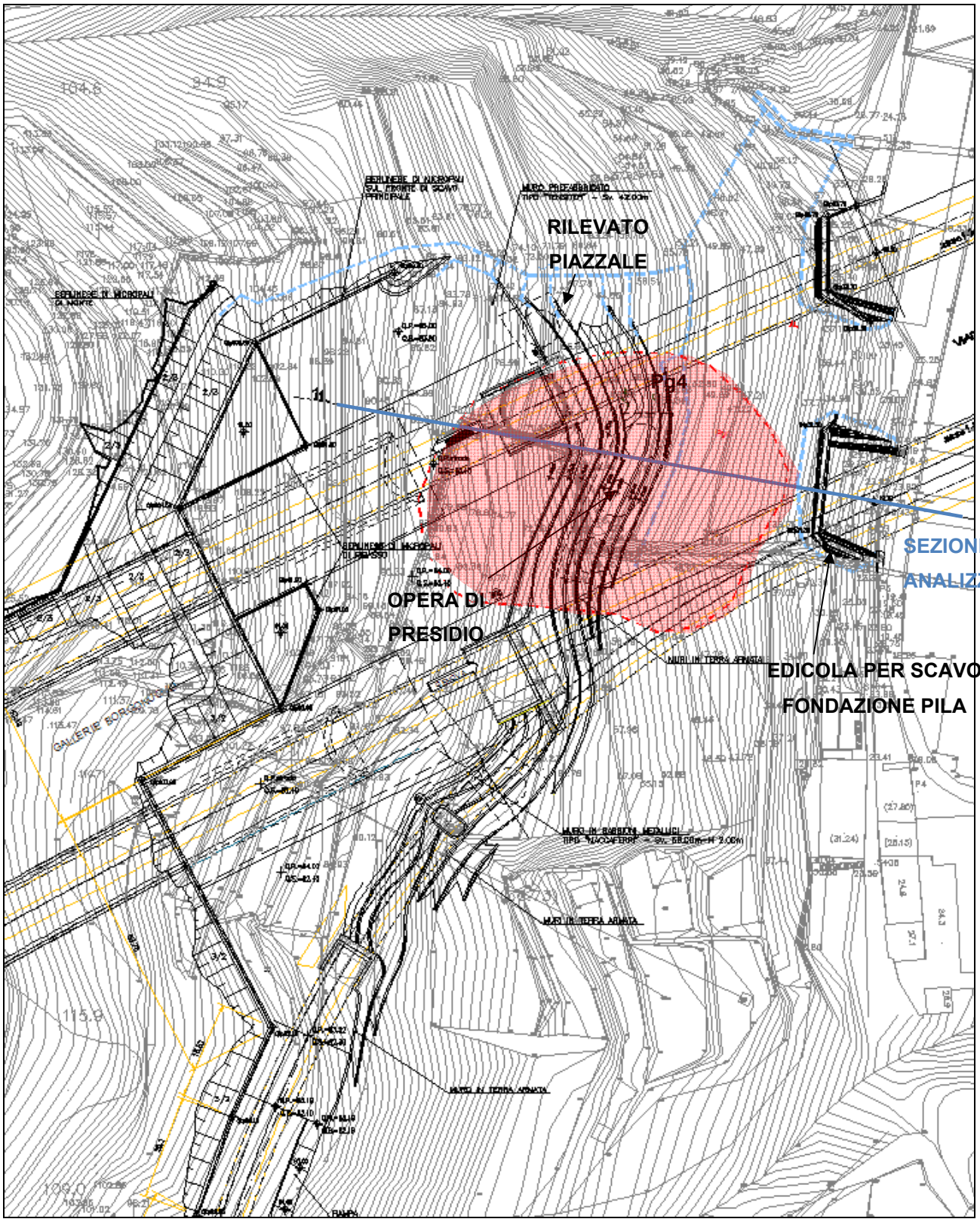


Figura 4-1 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata - Pg4

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

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

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 appaiono correre alla base delle coltri superficiali, al di sopra della formazione di substrato.

Al fine di verificare l'affidabilità del modello (geometria delle superfici di scivolamento e livelli di falda) si è poi verificato che i valori di ϕ'_{res} ottenuti da back analysis fossero prossimi ai valori ottenuti dalla caratterizzazione geotecnica generale delle formazioni coinvolte.

In particolare, per quanto riguarda il tratto di versante interessato dal Pg4 sono state condotte back analysis che confermano la caratterizzazione di progetto (Paragrafo 4.1). I risultati sono riportati nel seguito.

La parametrizzazione geotecnica è stata infatti 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 C_{CS} (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 4-2**) mostrano un angolo di attrito residuo pari a ϕ'_{res} = 31°, in linea con la variabilità attribuita alle coltri della formazione dei Calcescisti (CS), 26 ÷ 30°.

La superficie di scivolamento analizzata è stata dedotta sulla base di quanto emerso a seguito del sopralluogo effettuato in data 18/05/2015 (si veda il paragrafo 3.10) sul tratto di interesse ed è mostrata nelle figure seguenti.

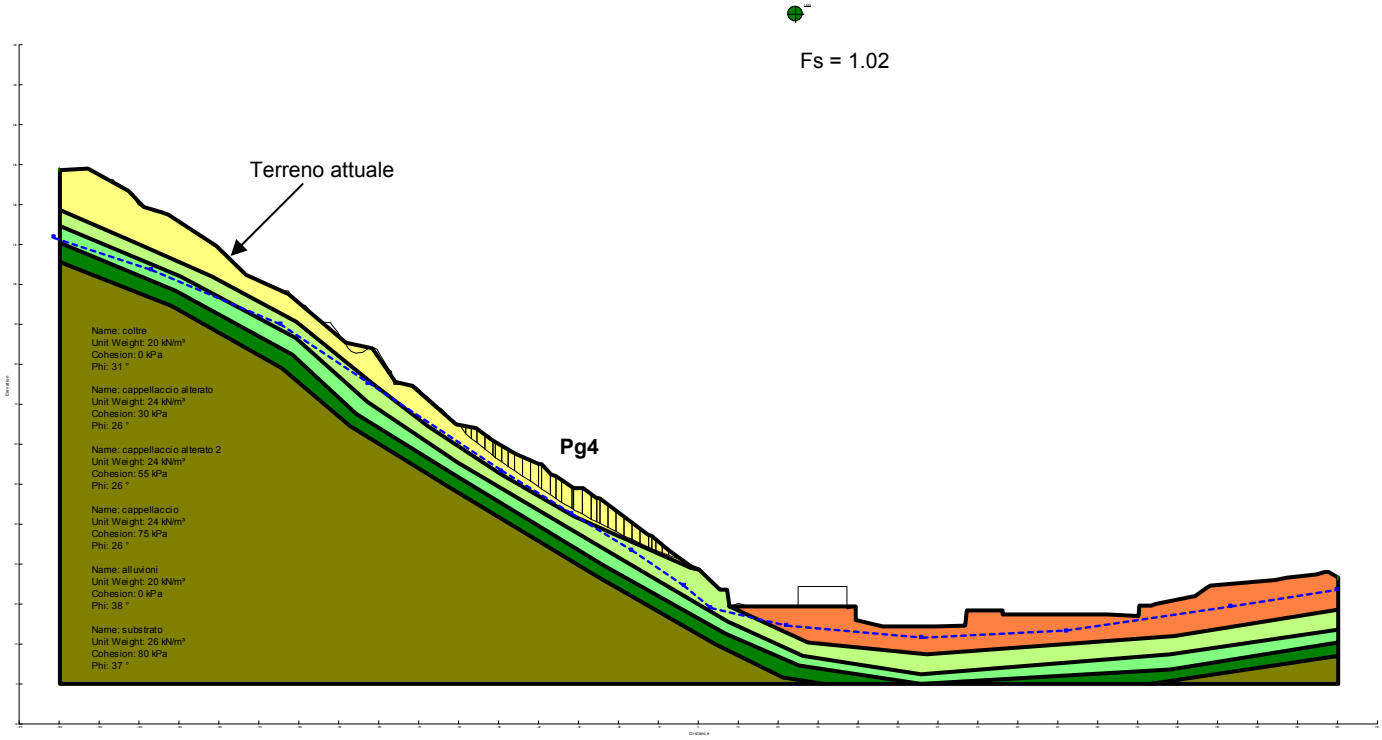


Figura 4-2 – Risultati delle back analysis - Pg4

Con particolare riferimento al dimensionamento delle opere di imbocco delle gallerie naturali Borgonuovo lato Genova e Bric del Carmo, sono state invece individuate delle superfici potenzialmente critiche esterne all'area Pg4. La paratia di imbocco non coinvolge direttamente il corpo di frana, ma si colloca comunque su un versante potenzialmente instabile, seppur con pendenze più dolci, caratterizzato da Pg3b, Pg2 e Pg1.

Nelle figure seguenti sono riportate le tracce delle sezioni analizzate e i risultati delle analisi svolte, relativi alla caratterizzazione delle sole coltri superficiali. Per ulteriori dettagli relativi al calcolo svolto si rimanda alla relazione di calcolo (vedi elaborato APE0130).

Le conclusioni delle analisi hanno portato a considerare, per il dimensionamento delle opere di imbocco, uno spessore delle coltri pari a circa 10.0 m con parametri di resistenza al taglio non superiori a 22°, come meglio specificato di seguito. Tali assunzioni sono state poi estese a tutto lo sviluppo della paratia.

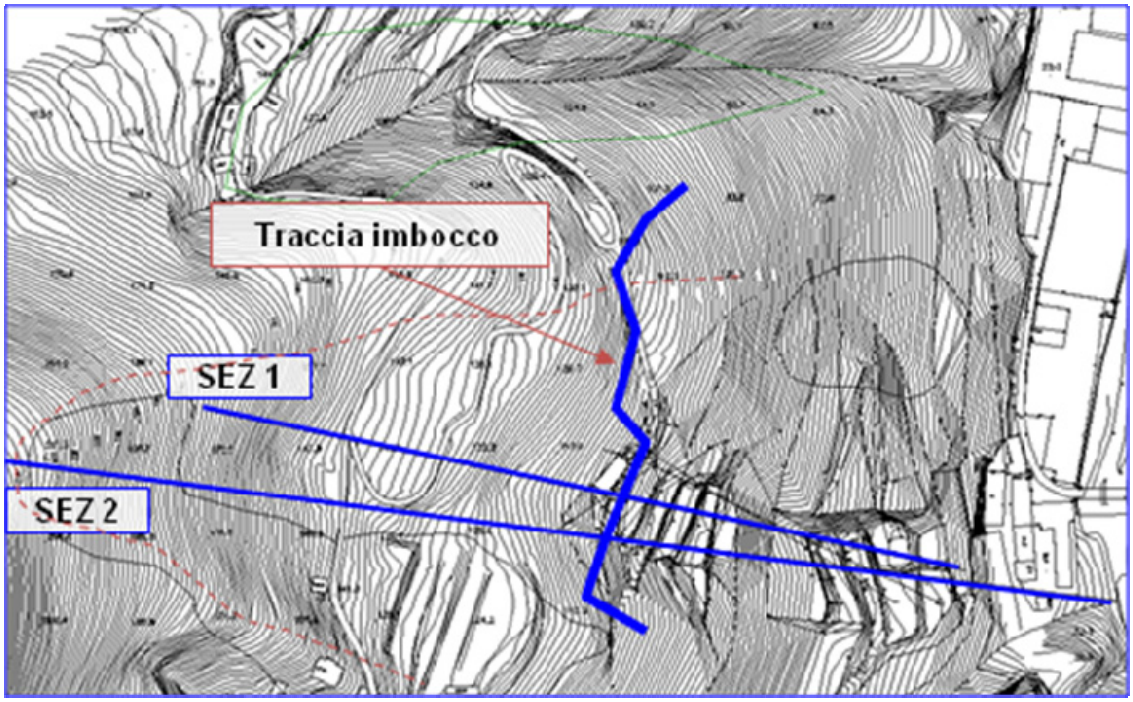


Figura 4-3 – Stralcio planimetrico con l'indicazione delle sezioni analizzate - Imbocco GE galleria Borgonuovo - Bric del Carmo

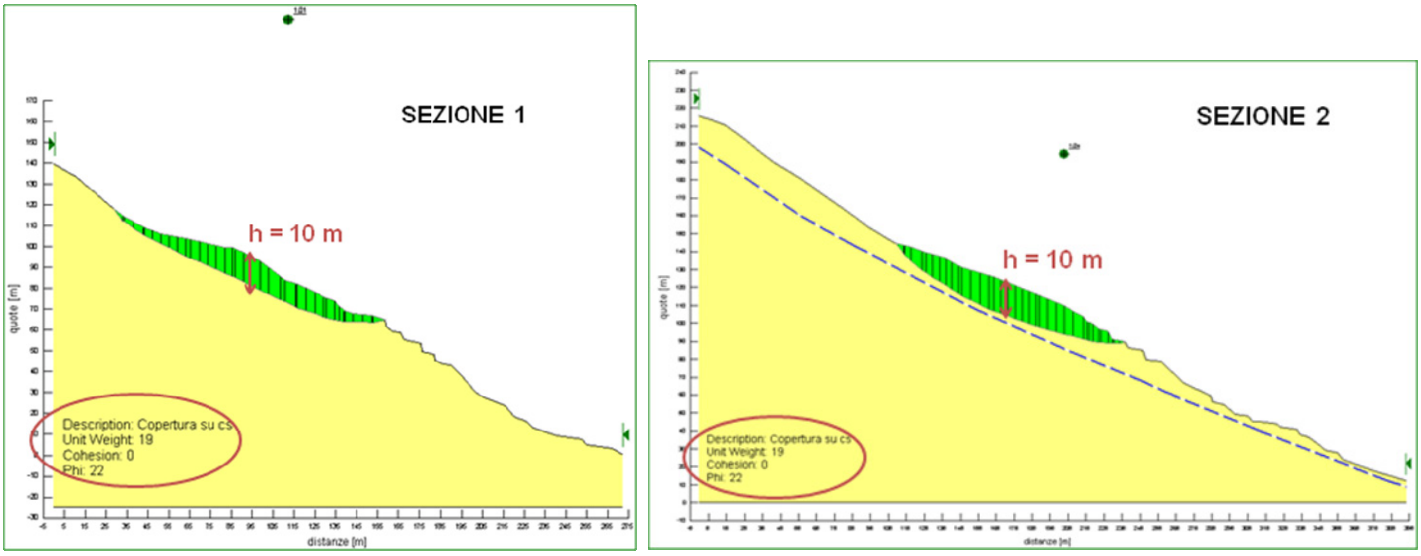


Figura 4-4 – Risultati delle back analysis - Imbocco GE galleria Borgonuovo - Bric del Carmo

La scelta progettuale è stata quindi conservativa, avendo adottato un valore di caratteristico di progetto, per le coltri superficiali, derivante dalle back analysis e pari a 22°, inferiore al valore risultante dalla caratterizzazione geotecnica:

ϕ caratteristico di progetto = 22°

ϕ da caratterizzazione = 26 ÷ 30°

Verifiche su area Pg4

Per quanto riguarda l'area Pg4 CER 054 sono state condotte specifiche verifiche che tengono conto delle fasi esecutive, assumendo le configurazioni geometriche più gravose dal punto di vista della stabilità.

Tra le fasi descritte al Paragrafo 4.2, si ritiene che la condizione più critica sia quella relativa agli scavi per l'esecuzione della paratia dell'edicola della pila P1 del viadotto Cerusa Est. Per tale motivo, la verifica viene effettuata con riferimento alla geometria riportata nella figura seguente.

La stabilità globale dell'insieme opera-terreno, in accordo con la normativa vigente (NTC 2008), deve essere verificata 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 cui condizioni di stabilità vengono implicitamente analizzate mediante l'analisi sforzi-deformazioni eseguita con il Programma PARATIE.

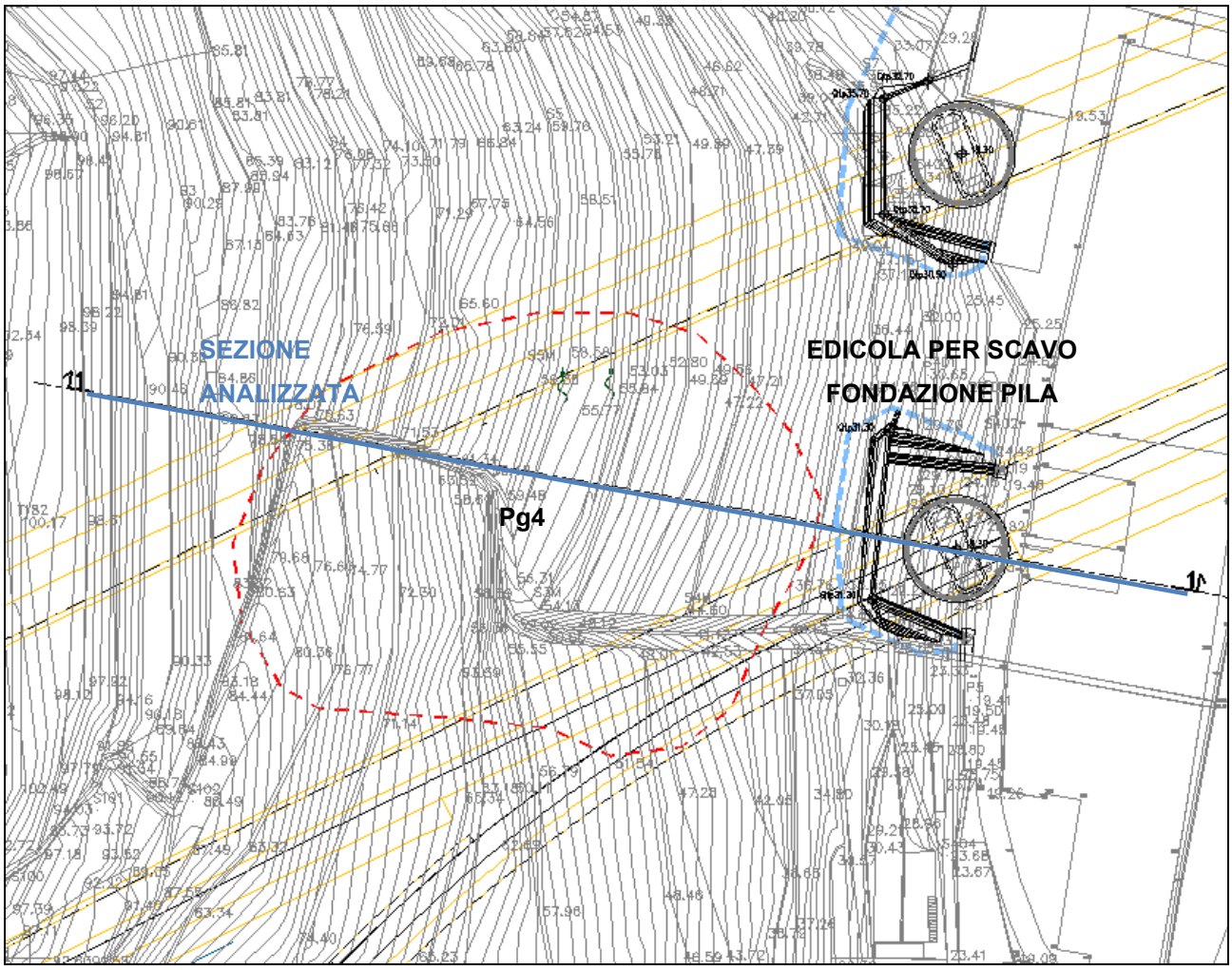


Figura 4-5 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata - Pg4

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

Tabella 4-2 Parametri geotecnici caratteristici

STRATO	Peso di volume γ_k	Angolo di resistenza al taglio ϕ_k	Coesione efficace c'_k	Modulo di Young di primo carico E_{VC}	Modulo di Young di Scar./ric. E_{UR}
	kN/m^3	°	kPa	MPa	MPa
Coltre	20.0	26	0	5	25
Cappellaccio molto alt.	24.0	26	30	500	700
Cappellaccio alterato	24.0	26	55	500	700
Cappellaccio	24.0	26	75	500	700
Substrato – Livello 1	26.0	37	80	5000	6000
Substrato – Livello 2	26.0	40	110	5000	6000

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 e del substrato 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 adottato un coefficiente $\gamma_{\varphi'}$ unitario.

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	26	0
Cappellaccio molto alt.	24.0	26	30	21.31	24
Cappellaccio alterato	24.0	26	55	21.31	44
Cappellaccio	24.0	26	75	21.31	60
Substrato – Livello 1	26.0	37	80	31.08	64
Substrato – Livello 2	26.0	40	110	33.87	88

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:

$R_d / E_d =$ 1.134 > 1.1

L'analisi è condotta in campo statico, in quanto tale configurazione di scavo è considerata provvisionale e di durata inferiore a 2 anni. In tali condizioni le verifiche simiche non sono richieste dalla normativa.

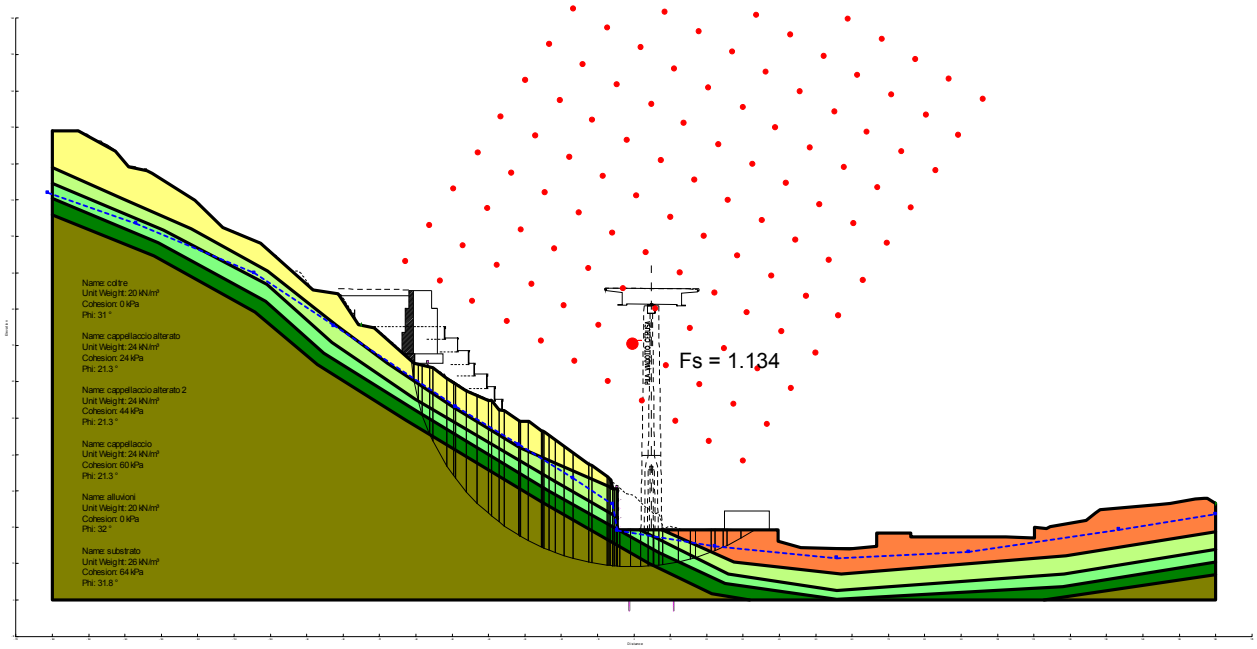


Figura 4-6 – Verifica di stabilità globale (statica) - scavo pila P1 del viadotto Cerusa Est

Per tenere conto dell'aggravio di peso a monte dell'area di frana dovuto alla realizzazione del rilevato di imbocco della galleria Borgonuovo, è stata analizzata anche la configurazione con il rilevato del piazzale di imbocco realizzato. Le superfici di scivolamento tengono conto della presenza dei pozzi di fondazione a presidio del rilevato, modellati nell'analisi come impenetrabili dalle superfici di scivolamento.

Anche in questo caso si evince che la stabilità globale dell'opera è verificata, essendo:

$R_d / E_d =$ 1.116 > 1.1 Condizioni statiche

$R_d / E_d =$ 1.107 > 1.1 Condizioni sismiche

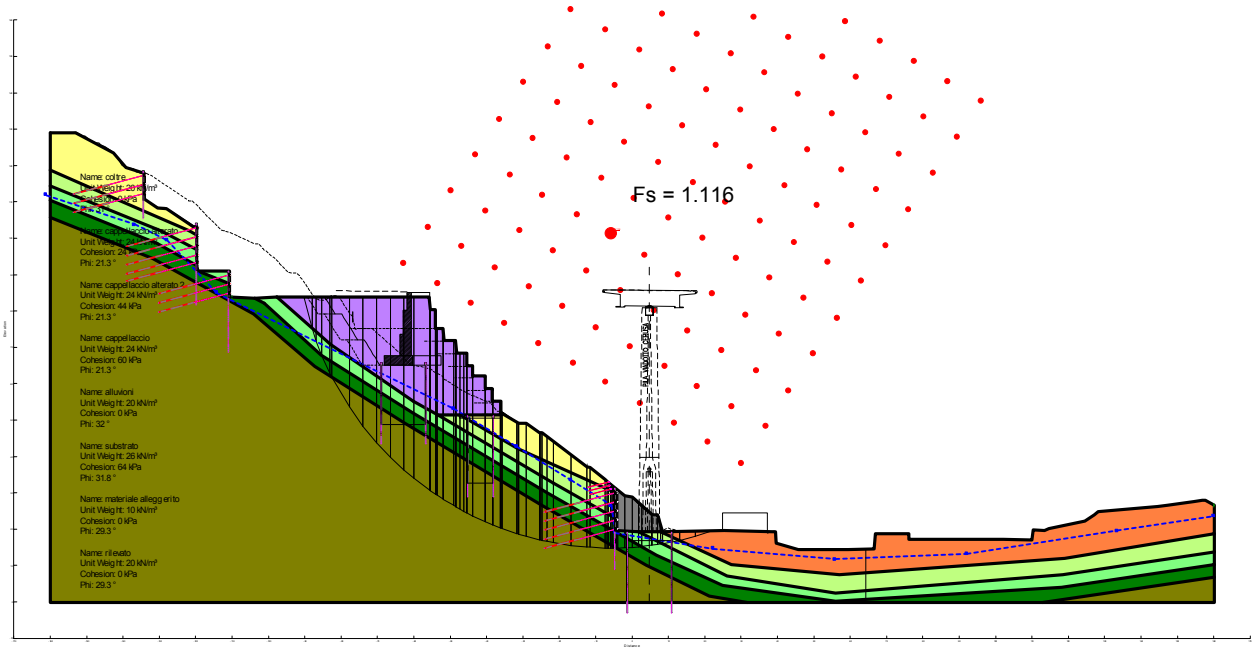


Figura 4-7 – Verifica di stabilità globale - condizioni statiche

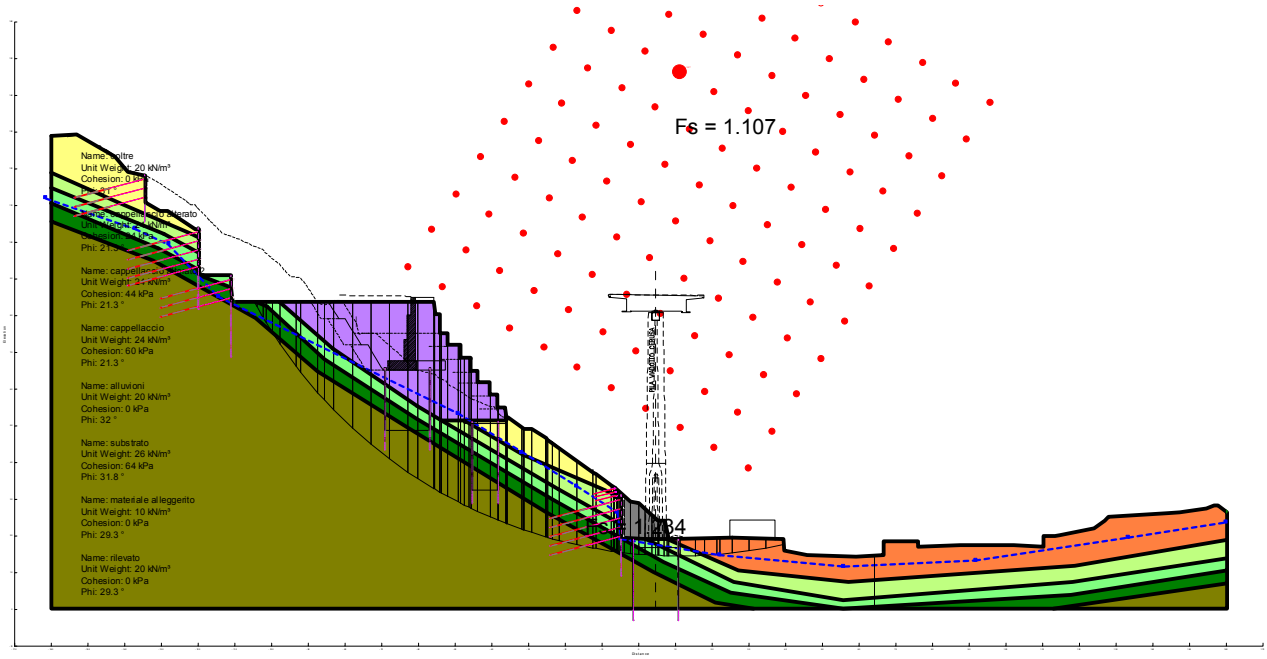


Figura 4-8 – Verifica di stabilità globale - condizioni sismiche

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

- k_H = 0.0214 g
- k_V = ± 0.0107 g

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

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo

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

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 = 0.074 g

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ = 0.074 · 1.2 · 1.2 = 0.107 g

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

Infine, si è verificato che gli interventi in progetto non comportino ampliamenti del corpo di frana, andando a innescare ulteriori movimenti franosi nelle aree limitrofe agli interventi.

In particolare è stata analizzata l'area tra le due pile del torrente Cerusa, ritenuta critica non essendo protetta dalle berlinesi a sostegno degli scavi. In particolare si è verificato che i le superfici di scivolamento critiche dopo l'esecuzione dell'opera di presidio garantiscano fattori di sicurezza non inferiori alla condizione ante-opera. Tenuto conto dei risultati della analisi, é quindi lecito affermare che la presenza delle opere in progetto non comportano un peggioramento delle condizioni di stabilità del pendio, ma anzi comportano locali miglioramenti.

Nelle figure seguenti sono riportate le analisi svolte.

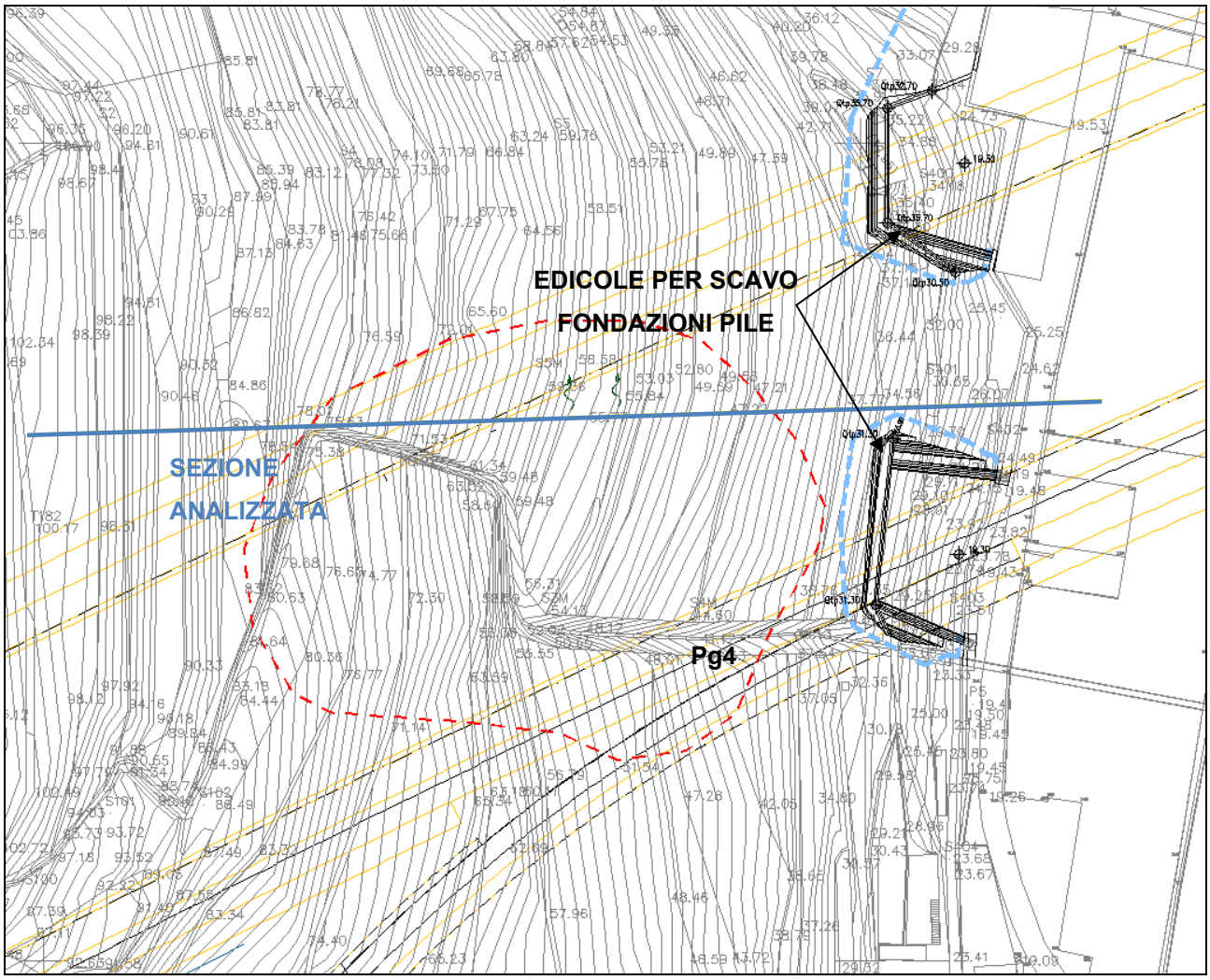


Figura 4-9 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata

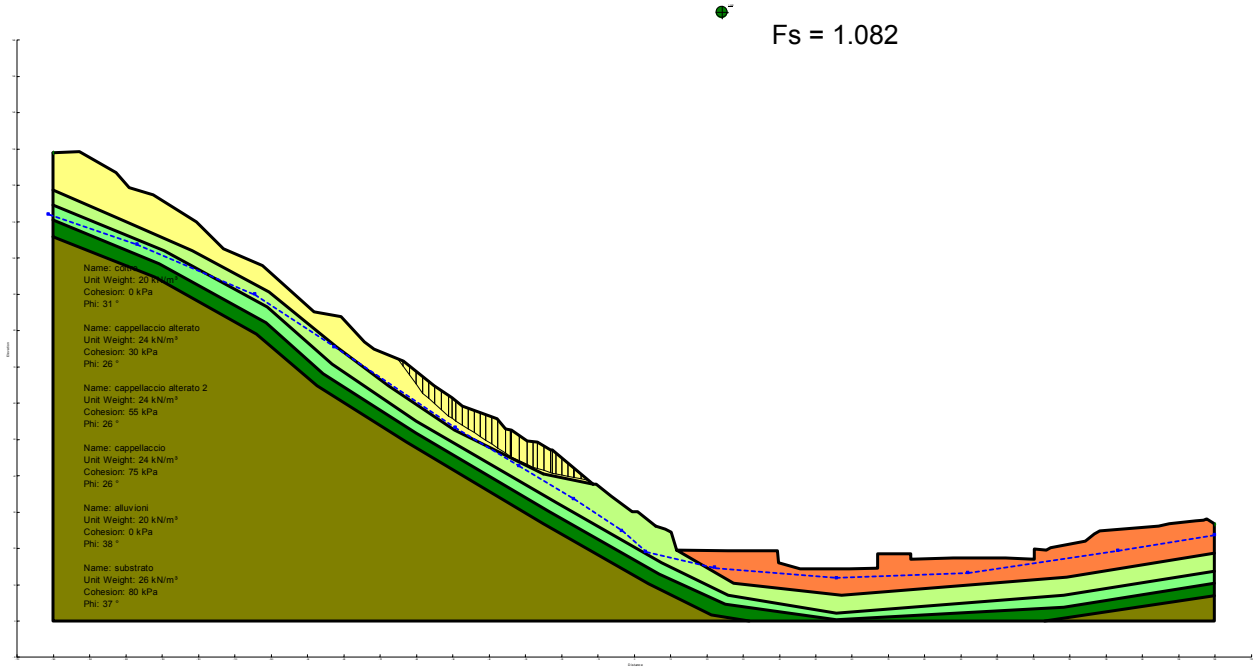


Figura 4-10 – Verifica di stabilità globale - condizione prima degli interventi

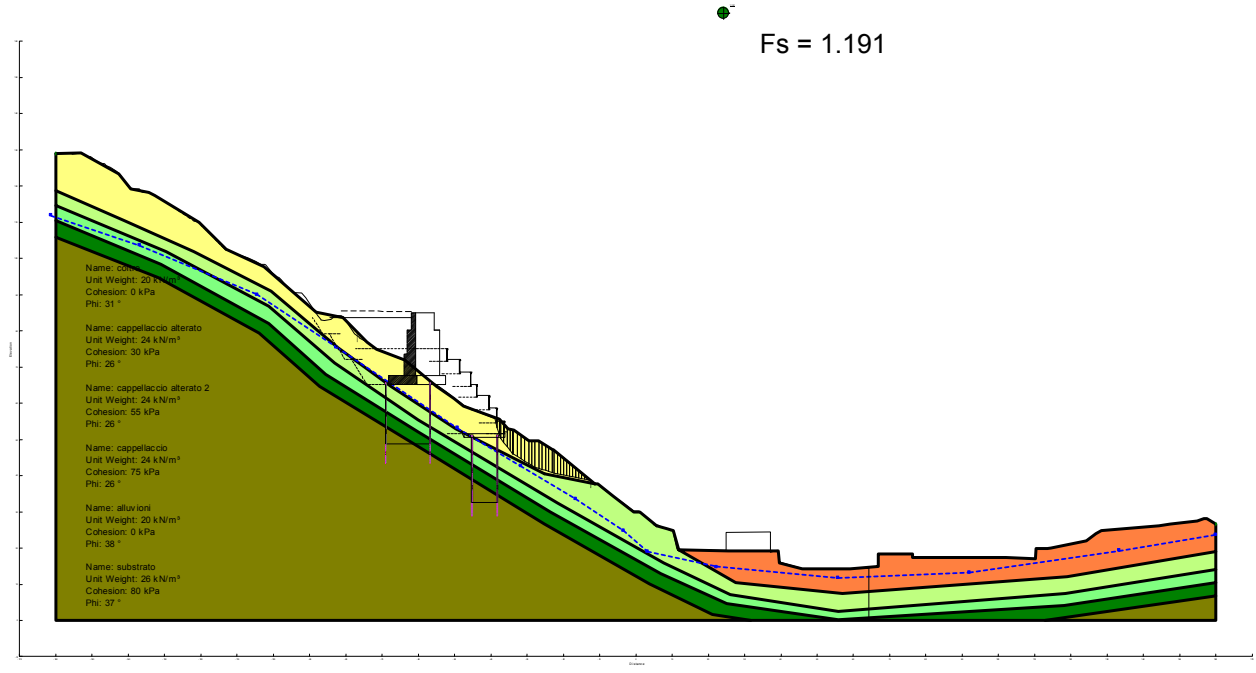


Figura 4-11 – Verifica di stabilità globale - condizione dopo l'esecuzione dell'opera

4.4 QUADRO DI SISTESI

Nel seguito vengono riassunti i risultati delle analisi eseguite.

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

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

ANALISI ESEGUITE	**FS min**	
	statico	**sismico**
Analisi **ante-operam** - area imbocco a monte pila	1.02	--
Analisi **post-operam** - fase provvisionale monte pila	1.13	--
Analisi **post-operam** - fase definitiva monte pila	1.12	1.11
Analisi **ante-operam** - sezione intermedia pile	1.08	--
Analisi **post-operam** - sezione intermedia pile	1.19	--

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

5. IDRAULICA

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE

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

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

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

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

La rete secondaria ha la funzione di raccogliere e allontanare verso i fossi esterni le altezze di pioggia cadute all'interno delle aree d'imbocco. A seconda della specifica sistemazione di versante prevista, sono stati adottati differenti elementi di raccolta delle acque: mezzi tubi in C.A.V., al piede di scarpate in terreno naturale; canalette rettangolari, a tergo dei muri di sostegno e canalette grigliate, in corrispondenza di piazzali carrabili. Nei punti in cui la rete interferisce con viabilità in progetto o esistenti è stato previsto l'utilizzo di collettori in modo da garantire la continuità idraulica del sistema di drenaggio.

Nel caso in esame le acque raccolte ed intercettate dal reticolo di drenaggio, precedentemente descritto, vengono convogliate a valle e recapitate in due tombini idraulici esistenti.

6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI

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

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

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

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

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

7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO

A completamento delle attività effettuate, sono state eseguite nel 2015-2016 le indagini di seguito descritte in corrispondenza delle opere di consolidamento più rilevanti:

- un sondaggio a carotaggio ed uno a distruzione all'interno dell'area segnalata in dissesto Pg4, con installazione di inclinometro e piezometro (ubicazione in allegato 4). Per la realizzazione di tali perforazioni si è operato approntando la sonda con elicottero, previa predisposizione di adeguata piazzuola;
- due stendimenti di geofisica.

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI

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

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

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

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

In particolare:

- l'elaborazione con dati ENVISAT ascendenti è relativa al periodo 07/2004 – 10/2010 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 170.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (43 immagini ENVISAT acquisite in geometria ascendente con angolo d'incidenza di 22,84° e risoluzione a terra di 25 m x 5 m).
- l'elaborazione con dati ENVISAT discendenti è relativa al periodo 10/2004 – 10/2010 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 165.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (50 immagini ENVISAT acquisite in geometria discendente con angolo d'incidenza di 22,83° e risoluzione a terra di 25 m x 5 m).
- l'elaborazione con dati COSMO-SkyMed ascendenti è relativa al periodo 02/2011 – 08/2015 ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 2.540.000

punti distribuiti sull'intera area d'interesse (76 immagini COSMO-SkyMed acquisite in geometria ascendente con angolo d'incidenza di 33,97° e risoluzione a terra di 3 m x 3 m).

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



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

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

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

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

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

Il processo di installazione è suddiviso nelle seguenti fasi:

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

Per una maggiore comprensione di eventuali fenomeni di spostamento superficiale e al fine di confermarne l'assenza o valutarne l'evoluzione e consentire un'eventuale integrazione con altre tecniche di monitoraggio, è, inoltre, previsto che il monitoraggio interferometrico continui anche durante la fase di costruzione dell'infrastruttura autostradale.

8. CONCLUSIONI

In corrispondenza del fondovalle Cerusa si evidenzia il rischio di erosione operato dal Torrente Cerusa sulle sponde e nell'alveo, come evidenziato dagli eventi dell'alluvione novembre 2014.

Lungo il versante oggetto di studio si rileva la presenza di franosità diffusa, che interessa essenzialmente la coltre e che si estende nel sottosuolo presumibilmente per pochi metri, e che è indice di propensione al dissesto.

Un ulteriore importante elemento di attenzione è rappresentato dal "rischio toppling" connesso alla giacitura degli strati rocciosi che sono localmente intensamente alterati e contraddistinti da giunti aperti e soggetti ad infiltrazione ed accumulo d'acqua (incremento delle pressioni e diminuzione delle resistenze).

La presenza di un'area ad alta suscettività al dissesto in corrispondenza delle opere in progetto ha portato alla necessità di prevedere opere di contenimento intese a evitare lo sviluppo di fenomeni di arretramento e/o espansione delle aree di dissesto e di presidi a garanzia della stabilità delle opere e delle porzioni di versante direttamente interessate.

Nella configurazione finale del progetto, la frana CER 054 potrà essere considerata stabilizzata sulla base delle seguenti motivazioni:

- gli **accorgimenti costruttivi adottati** (paratie multitirantate, materiali alleggeriti,...) e le fasi realizzative sono tali da garantire, nei confronti della stabilità dei versanti, il rispetto dei fattori di sicurezza sia durante le attività di cantiere che nell'assetto definitivo;

- la **limitazione dei prescavi** e la **realizzazione di paratie di micropali multitirantate** ha permesso di prevenire i fenomeni di arretramento e/o espansione delle aree di dissesto contenendo le deformazioni indotte, al fine di evitare il degrado delle caratteristiche meccaniche di resistenza delle coltri potenzialmente instabili;

- per le opere in rilevato che gravano su pendii in frana sono stati previsti **materiali alleggeriti**, in modo da limitare i sovraccarichi indotti, e opere di presidio a garanzia della stabilità delle opere, o comunque opere di sostegno su fondazione profonda;

- 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.;

- gli interventi di inserimento paesaggistico verificati dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo in ottemperanza alla prescrizione B3 del DEC/VIA n.28 del 23.01.2014, completano tutti gli interventi.

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

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

Alla luce di quanto sopra, si ritiene che gli interventi previsti nel progetto, 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