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 – TORRENTE POLCEVERA
FRANA 836

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	3	5	–	1	SCALA: –

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

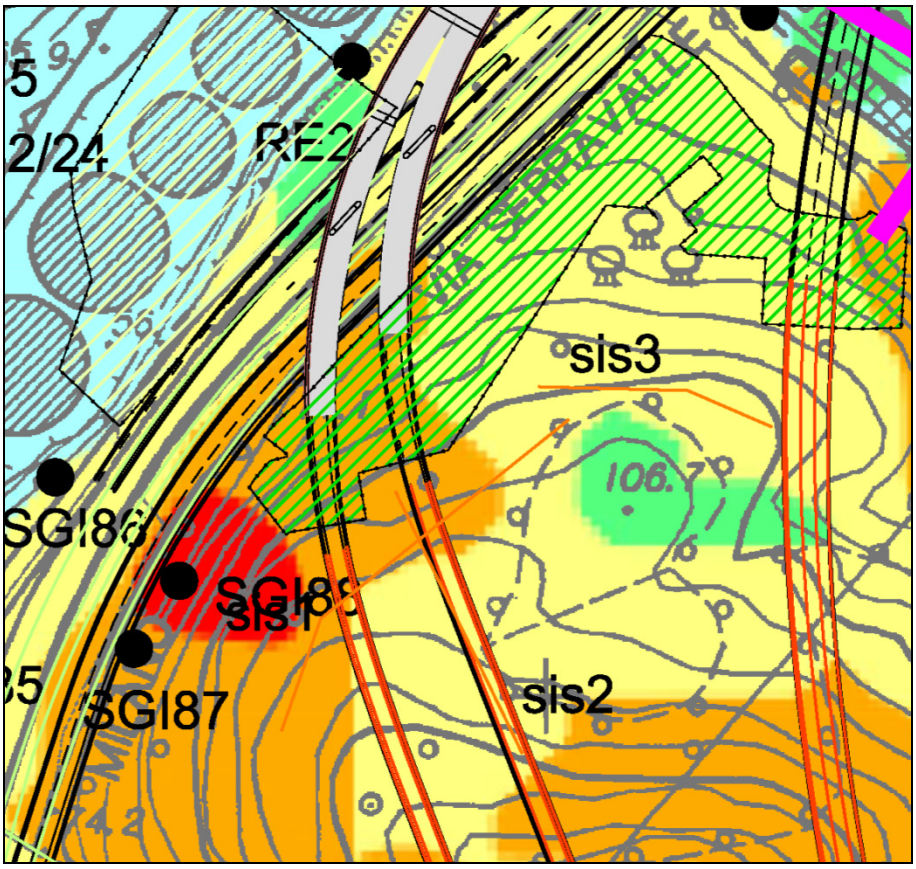
	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

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

SCHEDA FRANA 836 (PG4)

OPERA INTERFERENTE: IMBOCCO GALLERIA

POLCEVERA LATO MILANO



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 13

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 16

3.11 CAUSE DEL DISSESTO 22

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 23

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 24

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 24

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 27

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 29

4.4 QUADRO DI SISTESI 37

5. IDRAULICA 38

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE 38

6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI 39

7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 40

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 40

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 novembre 2015)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata novembre 2015)
- *Allegato n.4* - Carta geomorfologica di dettaglio, indagini integrative e punti di ripresa fotografici
- *Allegato n.5* - Sezione geologica
- *Allegato n.6* - Scheda di sintesi
- *Allegato n.7* - Stratigrafia sondaggi e geofisica
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità

Annessi alla Scheda:

- *Elaborato GEN0136: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana 836 (Pg4) – Opere interferenti: Planimetria e sezione – Fase di scavo"*
- *Elaborato GEN0137: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana 836 (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*

- *GEO0006: Carta geologica – Tavola 5*
- *GEO0024: Carta geomorfologica – Tavola 5*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *APE 0321: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) – Pianta Scavi 1a fase e Sezioni*
- *APE 0322: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Pianta Scavi 2a fase e Sezioni*
- *APE 0323: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Pianta Scavi 3a fase e Sezioni*
- *APE 0324: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Berlinese "A" Sviluppata tav.1/2*
- *APE 0325: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Berlinese "A" Sviluppata tav.2/2*
- *APE 0326: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Berlinese "B" Sviluppata*
- *APE 0327: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Berlinese "C" Sviluppata*
- *APE 0328: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Relazione di Calcolo Opere di Imbocco*
- *APE 0329: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Muro in terra armata - Planimetria e Particolari Costruttivi*
- *APE 0330: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Muro in terra armata - Prospetto Sezioni tav. 1/2*
- *APE 0331: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Muro in terra armata - Prospetto Sezioni tav. 2/2*
- *APE 0332: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) - Muro in terra armata – Relazione di calcolo*
- *AUA 156-1: Galleria Forte Diamante – Imbocco lato Milano (con Polcevera e San Rocco Nord) – Sistemazione definitiva – Planimetria, prospetti e sezioni*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata 836, che risulta interferente con l'imbocco della galleria Polcevera lato Milano.

Per comodità di lettura è stato prodotto un elaborato di sintesi per la fase definitiva:

- *Elaborato GEN0136: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana 836 (Pg4) – Opere interferenti: Planimetria e sezione – Fase di scavo"*
- *Elaborato GEN0137: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana 836 (Pg4) – Opere interferenti: Planimetria e sezione – Sistemazione definitiva"*

2. METODOLOGIA DI LAVORO

Ai fini dell'inquadramento geologico e geomorfologico delle aree di interesse, la prima fase del lavoro è consistita nel reperimento di tutti i dati disponibili presso vari Enti e Biblioteche universitarie, e di ogni altro dato disponibile ritenuto significativo per l'elaborazione di un modello concettuale dell'area. Sono, inoltre, stati utilizzati i dati di campagne geognostiche relative a studi pregressi ed indagini appositamente realizzate per il Progetto Definitivo.

La disponibilità, per l'area d'interesse, di documentazioni geologiche di dettaglio e di modelli geologico-strutturali di riferimento ha permesso di inquadrare fin dall'inizio le attività di studio e di analisi all'interno di un modello generale adatto alle finalità del progetto.

Lo studio (cfr. elaborato GEO001 "Relazione geologica e idrogeologica generale") si è svolto mediante lo sviluppo delle seguenti attività:

- Analisi aerofotogrammetrica finalizzata sia al controllo delle risultanze geomorfologiche pregresse ed alla loro integrazione, sia al riconoscimento dei principali lineamenti tettonici dell'area;
- Rilevamento geologico strutturale in scala 1:5.000 volto al riconoscimento dei litotipi presenti, alla definizione del loro assetto tettonico con riconoscimento e misura di elementi fragili e duttili presenti in affioramento;
- Rilievo geomorfologico con verifica delle risultanze dell'analisi aerofotogrammetrica ed integrazione dati;
- Analisi di tutte le stratigrafie dei sondaggi pregressi per integrare i dati di superficie;
- Realizzazione di apposite campagne geognostiche in sito (sondaggi, geofisica e rilievi geomeccanici) ed in laboratorio;
- Prelievo di campioni e analisi chimiche eseguiti sulle diverse litologie attraversate dai tracciati;
- Rilievo geomorfologico di dettaglio (scala 1:1.000) eseguito sulle specifiche aree in frana.

Sulla base delle attività conoscitive e di tutti i dati raccolti, è stato ricostruito il quadro geologico dell'area di studio (che interessa una fascia di larghezza variabile tra circa 2 e 4 km) e sono stati redatti i seguenti elaborati cartografici (a scala 1:5.000):

- carta geologica (GEO0002 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 2);
- profili geologici in asse ai tracciati delle opere principali carta geomorfologica (GEO0020 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 3);
- carta dei vincoli (cfr. stralcio riportato nell'Allegato 1);
- carta di ubicazione delle indagini (cfr. stralcio riportato nell'Allegato 1);
- 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.

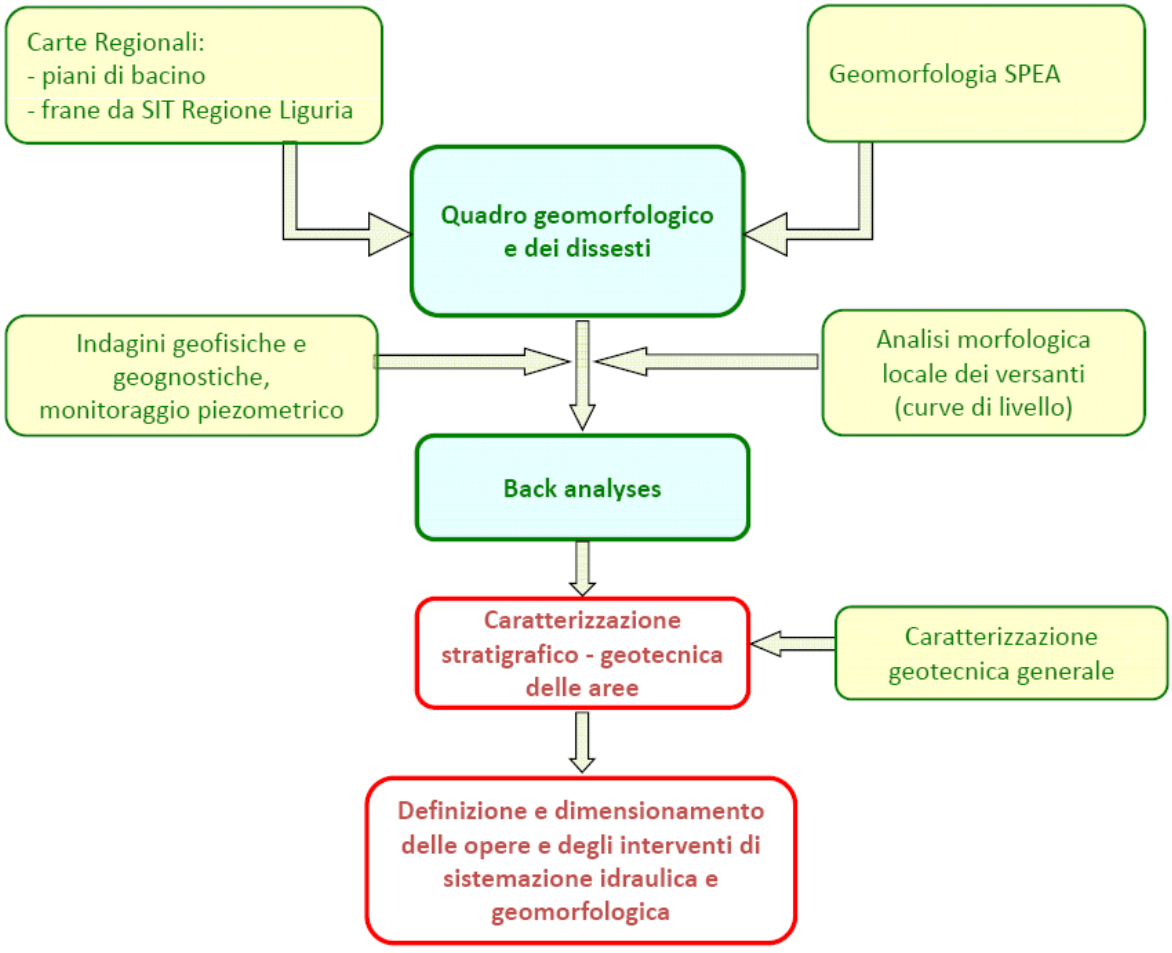


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: BOLZANETO

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: Torrente Polcevera

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): 836

3.2 CARTOGRAFIA

CTR 1:10.000: 213110

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** parzialmente interferente con l'imbocco della galleria Polcevera lato Milano; sono altresì presenti Pg3a, Pg2 e Pg1 nelle aree limitrofe, 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

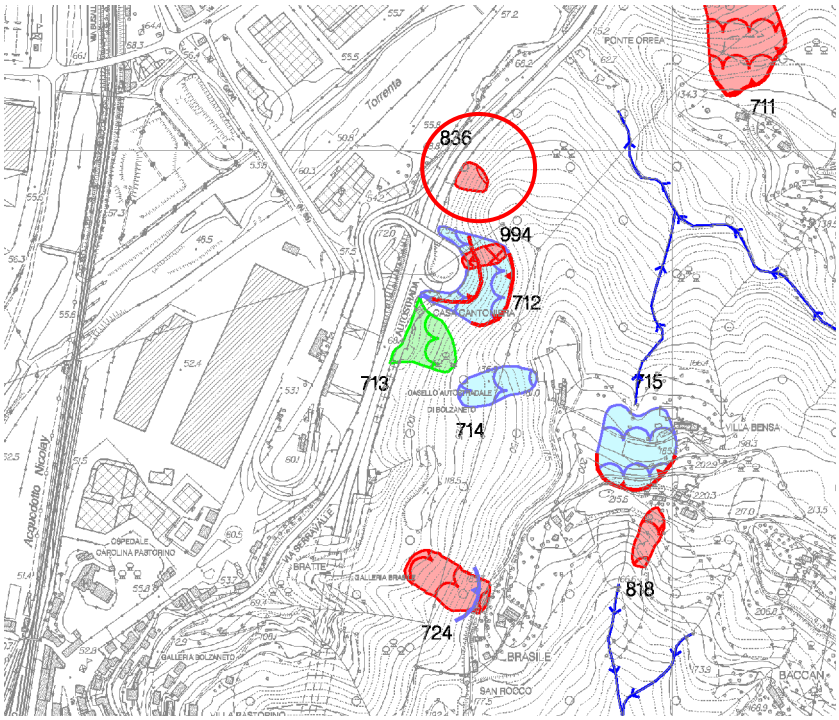


Figura 3-1 – Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

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**) non identifica sul versante alcun dissesto attivo nell'area di interesse, solamente una zona interessata da franamenti superficiali diffusi ubicata più a sud in corrispondenza dello svincolo Bolzaneto dell'autostrada A7 lato Genova (indicata con il numero 1 in figura).

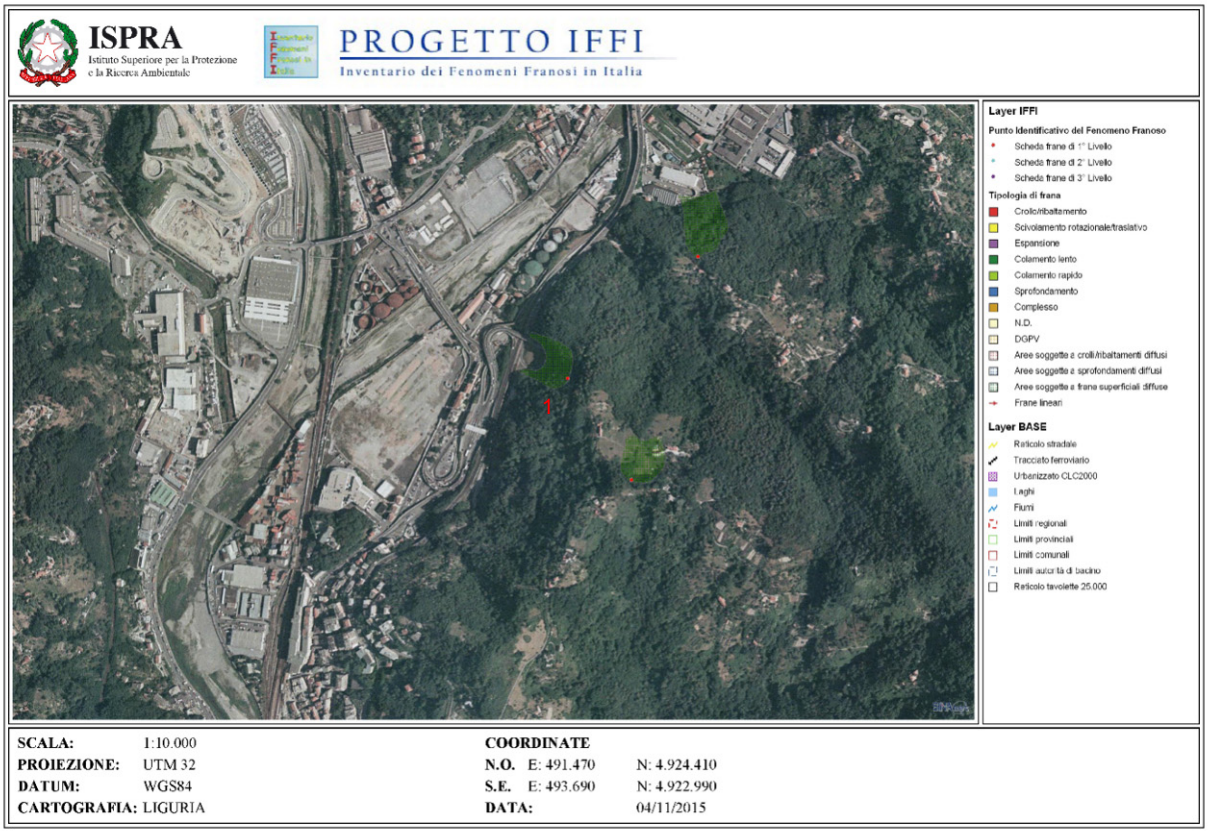


Figura 3-2 – Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg4 si imposta nell'Unità Tettonica Montanesi (Allegato 2).

Argilliti di Montanesi (MTE)

Le Argilliti di Montanesi sono argilliti e argilliti siltose fittamente laminate, di colore da grigio nerastro a nero, immergenti verso N-NE con inclinazione compresa fra 20° e 30°, solo raramente policrome, nocciola in alterazione; superfici di laminazione planari da lisce a molto lisce, leggermente alterate con patine argillose, localmente riempite. Talora si rinvengono intercalazioni di arenarie quarzose fini laminate, grigie, nocciola in alterazione. È caratteristica la presenza di numerose vene di quarzo di spessore centimetrico. Le superfici di laminazione risultano lisce, con ossidazione superficiale e sviluppo di patine limoso - argillose.

I *depositi superficiali* sono generalmente descritti come elementi liticii, localmente scagliosi, all'interno di una matrice sabbiosa o limoso sabbiosa.

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

3.9 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in esame sono stati realizzati per il Progetto Definitivo 2011 due stese di geofisica a rifrazione (sis1-sis2) e sono state recuperate le stratigrafie di due sondaggi a carotaggio, realizzati in autostrada nel 1998 (SGI87 e SGI88) . I due sondaggi sono stati eseguiti a partire dal muro di controripa in autostrada e sono suborizzontali. Si riporta di seguito lo stralcio planimetrico con la localizzazione delle indagini eseguite ed i profili sismici a rifrazione.

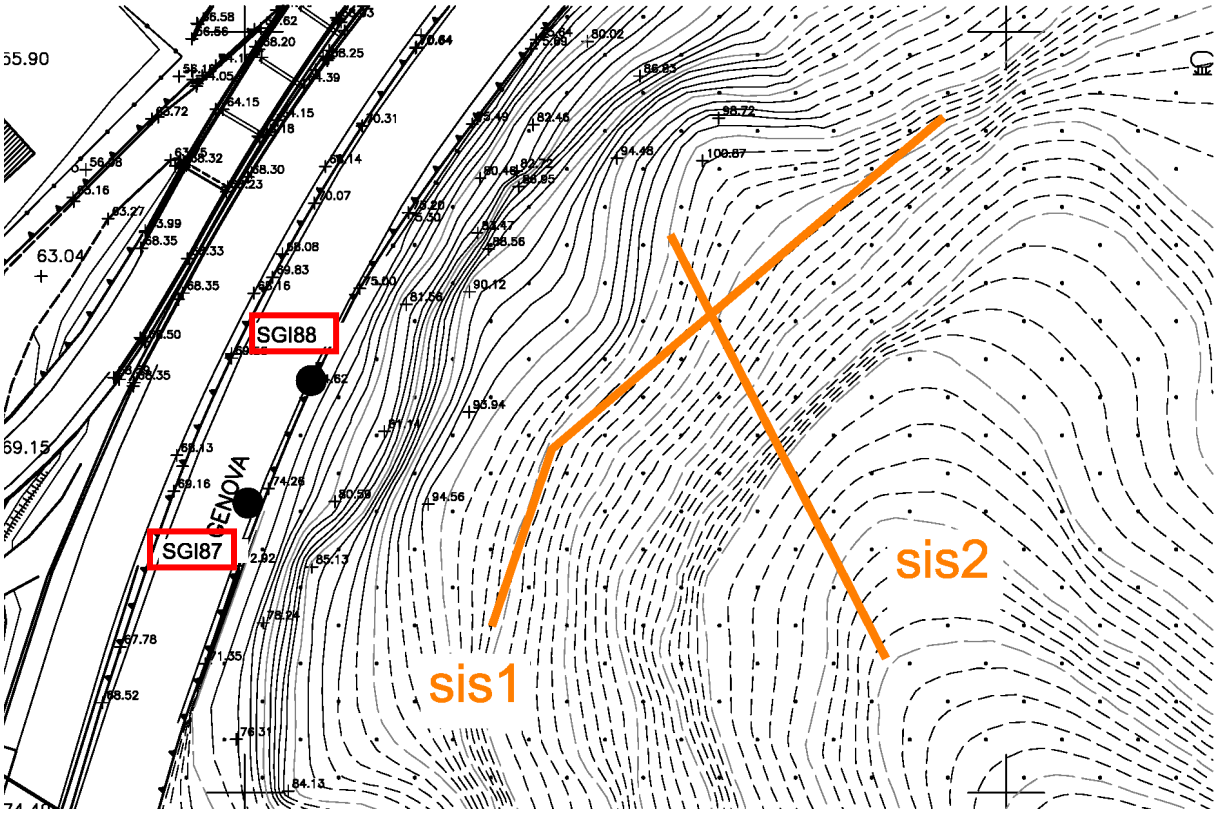


Figura 3-3 – Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini

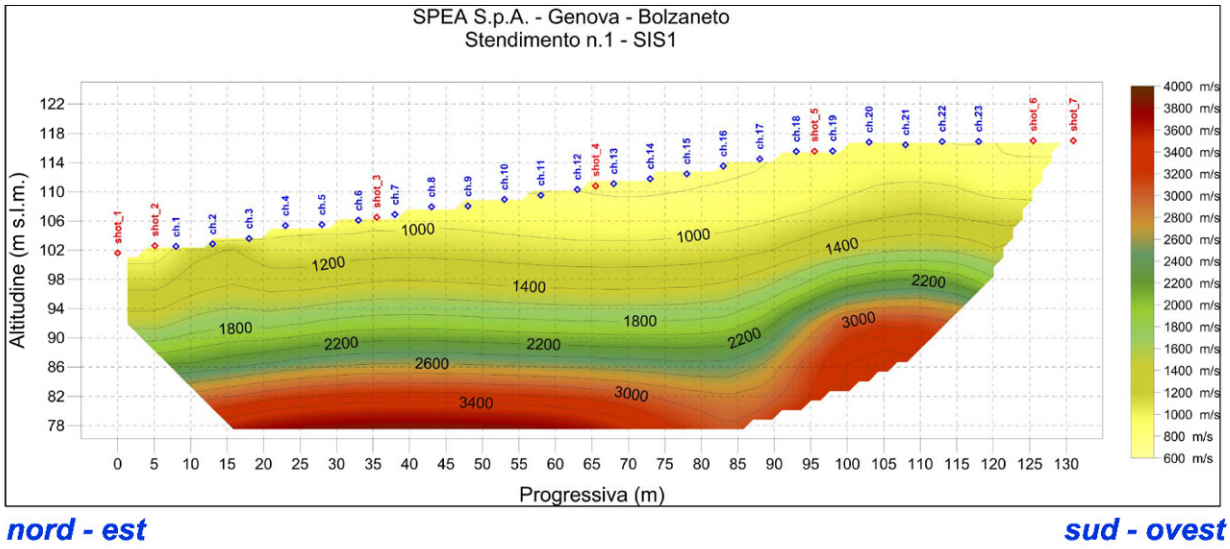


Figura 3-4 – Profilo sismico sis1

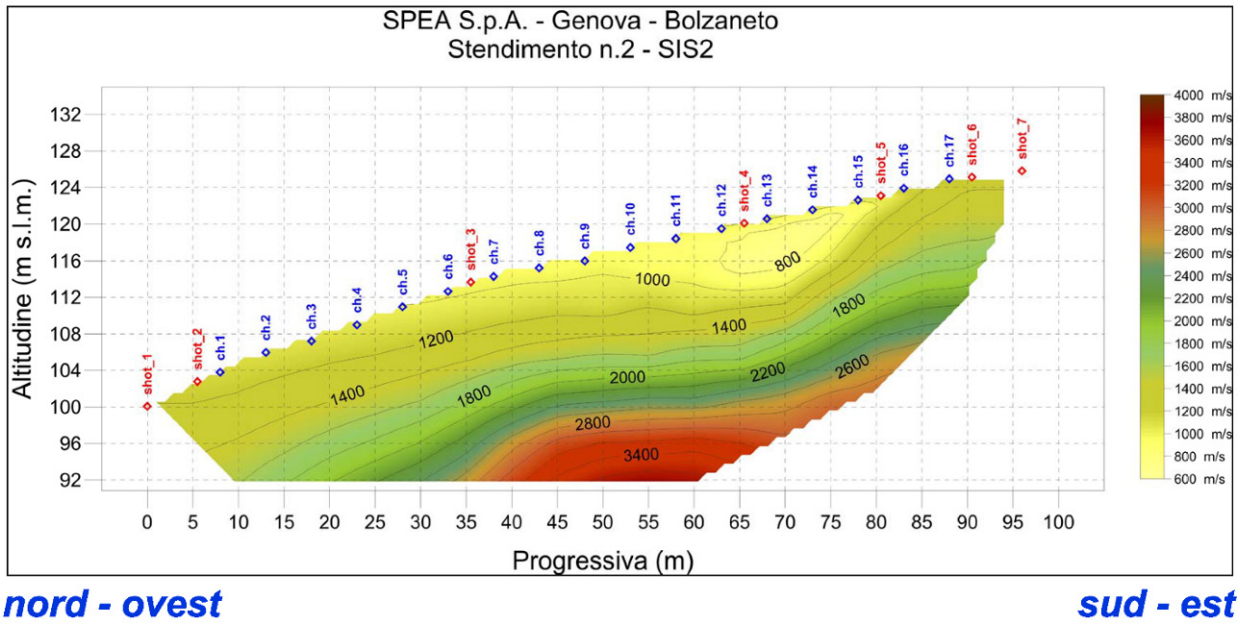


Figura 3-5 – Profilo sismico sis2

Per le stratigrafie dei sondaggi i certificati delle indagini in sito eseguite si rimanda all'allegato 7 del presente documento.

Dalla stratigrafia dei due sondaggi del 1998 (SGI 87 e SGI 88) si rileva la presenza di roccia immediatamente dietro il muro in cls. Il substrato è costituito da argilliti nerastre con vene di quarzo e superfici dei giunti lucide della Formazione di Montanesi; la fascia ad intensa alterazione è stata riscontrata fino a circa 7.5-11 m da testa foro.

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 03/11/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante in oggetto, procedendo dalla sede autostradale fino al di sopra della zona interessata dal dissesto, con la finalità di verificare con un rilievo di dettaglio (scala 1:1.000) lo stato dell'area, l'effettiva perimetrazione del dissesto segnalato come attivo dalla cartografia PAI e la presenza di indicatori di dinamica geomorfologica specifici.

Di seguito viene 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 a ridosso della sede autostradale (circa 50°), ove affiorano localmente le argilliti di Montanesi; tutta l'area è caratterizzata da fitta vegetazione ad alto fusto (**Foto 1**). Osservando l'areale di studio dai margini, si osserva a monte dell'area fortemente acclive a ridosso dell'autostrada A7 una diminuzione di pendenza repentina sino a 25-30° (**Foto 2**), ancora più a monte si incontra una scarpata localmente vegetata, talora con roccia affiorante (**Foto 3**).



Foto 1 - Area interessata dal dissesto osservata dalla nicchia



Foto 2 - Porzione di versante acclive a monte dell'autostrada



Foto 3 - Fianco destro dell'area di frana osservato dal centro della zona di dissesto

- Nell'intorno di q.104 m s.m. si osserva un orlo di scarpata di altezza compresa fra 2 m e 3 m, orientato circa N-S all'interno del quale affiorano, in modo discontinuo, le argilliti. Proseguendo verso N si osserva una scarpata collegata coperta da vegetazione (**Foto 4** e **Foto 5**).



Foto 4 - Orlo di scarpata di frana in roccia



Foto 5 - Orlo di scarpata di frana in detrito di versante

- Nella porzione meridionale dell'area interessata dal dissesto si osservano due solchi di erosione concentrata che convergono in alla base della scarpata principale proseguendo poi sino al muro di protezione della sede autostradale (**Foto 6** e **Foto 7**).



Foto 6 - Solco di erosione concentrata ubicato a monte della scarpata principale



Foto 7 - Solco di erosione concentrata ubicato a valle della scarpata principale

- A monte della scarpata principale non sono stati osservate trincee o fratture di trazione o altri indicatori morfologici indicativi dell'attività del dissesto disposti parallelamente al coronamento (**Foto 8** e **Foto 9**).

- Nell'intorno dell'area interessata dal dissesto la vegetazione è costituita per lo più da alberi ed arbusti abbastanza giovani, che non mostrano uncinature, mentre le piante più vecchie mostrano talora repentini cambiamenti di angolazioni nella direzione di crescita, indice che in passato l'area è stata soggetta a movimenti (**Foto 10**).

- Nell'area interessata dalla frana è stata rilevata la presenza di un cordolo in cls a q. 95 m s.m. circa, localmente sepolto, che attraversa l'area interessata dal dissesto in direzione circa N-S. il cordolo osservato, di larghezza pari a circa 50 cm e altezza pari a circa 30 cm (dove osservabile), non sembra svilupparsi in profondità all'interno dei depositi di versante.

- Nella zona settentrionale dell'area interessata dal disseto, a circa 30 m dalla frana, è presente una canaletta per il drenaggio delle acque superficiali costitutita da embrici prefabbricati in cls che si sviluppano lungo la massima pendenza del versante in direzione circa SE-NO; la canaletta di drenaggio presenta locali disallineamenti e riempimenti di materiale sciolto misto a fogliame che ne preclude la corretta funzionalità; ciò fa presupporre all'assenza di manutenzione costante dell'opera stessa.



Foto 8 - Porzione di versante a monte della scarpata principale



Foto 9 - porzione di versante a monte della scarpata principale



Foto 10 – Particolare combio di direzione di crescita in un albero

- A valle dell'area intressata dal dissesto è presente un muro di protezione attrezzato con rete paramassi in testa a protezione della sede autostradale. Il muro non presenta alcuna lesione strutturale; da ciò si evince che il dissesto avvenuto a monte dell'opera non interessa né la struttura di sostegno né le carreggiate (**Foto 11**).



Foto 11 – Muro di ciglio con rete paramassi in testa.

- Il rilievo geomorfologico di dettaglio ha evidenziato la presenza di un deposito di frana a monte della sede autostradale di larghezza pari a circa 35 m e lunghezza pari a circa 40 m, con a monte un orlo di scarpata con roccia affiorante e sub affiorante ben riconoscibile; lo spessore del deposito è stato stimato in 1.5-2.0 m.

- Gli ammassi rocciosi affioranti, si presentano molto fratturati a causa della loro natura litologica e a causa dell'effetto delle radici della vegetazione ad alto fusto, che con la loro crescita tendono ad ampliare le fratture già presenti nella porzione corticale dell'ammasso roccioso.

3.11 CAUSE DEL DISSESTO

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

Come cause predisponenti del dissesto si possono evidenziare lo stato di fratturazione del substrato roccioso connesso alla sua natura argillitica e la presenza di depositi superficiali sciolti; le cause scatenanti sono presumibilmente imputabili all'azione di ruscellamento concentrato e diffuso delle acque meteoriche in occasione di eventi di precipitazioni intense e prolungate.

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

La sezione è stata realizzata lungo la traccia riportata in Allegato 4, coincidente con la sezione di back analysis e di verifica del progetto ed è riportata in Allegato 5.

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica (modello geotecnico di riferimento) si è fatto riferimento a:

- dati geologici-geomorfologici descritti nel Capitolo 3;
- Progetto Definitivo – Caratterizzazione geotecnica generale (cfr. elaborato APE0001); in particolare è stato fatto riferimento alla caratterizzazione basata sulle indagini eseguite in fase di progettazione definitiva dell'interconnessione di Bolzaneto (cfr. elaborato APE007). Le formazioni di interesse sono quelle riguardanti le Argilliti di Montanesi (MTE) e della relativa fascia di alterazione (MTE-cap)
- Dati di calcolo e di back analysis utilizzati nelle sezioni di progetto delle opere di imbocco delle gallerie di Polcevera, San Rocco e Forte Diamante lato Nord – Milano;

Il rilievo geomorfologico di dettaglio ha evidenziato la presenza di una scarpata in corrispondenza della zona segnalata come PG4, confermando la presenza di un processo franoso sul versante interessato dalle opere; il rilievo e le indagini geognostiche svolte nell'area hanno evidenziato la presenza di una coltre detritica con spessore nell'ordine di 1.5 - 2.0 metri.

Dai dati di caratterizzazione geologica e dalle osservazioni effettuate attraverso il rilievo geomorfologico, è stato possibile confermare la seguente stratigrafia:

- 1.5 - 2.0 metri da p.c. si hanno le coltri di copertura dell'ammasso roccioso potenzialmente instabile. Esso è costituito da sabbie con ghiaia miste a ciottoli di dimensioni eterogenee.
- 8.0 – 10.0 metri da p.c. si ha il Cappellaccio delle Argilliti Montanesi costituito di un livello di alterazione della formazione di Argilliti;
- **Oltre 10.0 da p.c. si ha il substrato costituito da Argilliti di Montanesi.**

E' stata considerata nelle analisi una superficie di falda posizionata alla base dello strato di copertura, rappresentativa di condizioni congruenti a precipitazioni intense e prolungate.

Per determinare le caratteristiche di resistenza delle coltri di copertura dell'ammasso roccioso, sono state eseguite una serie di analisi a ritroso (back analysis), eseguite mediante un apposito codice di calcolo (GeoStudio 2007). È stato ricercato il valore del parametro ϕ'_{res} (con c' = 0 kPa) in grado di determinare coefficienti di sicurezza pressoché unitari (Fs ≈ 1), ossia in condizioni di equilibrio limite. Le analisi sono state condotte secondo il modello riportato in **Figura 4.1**.

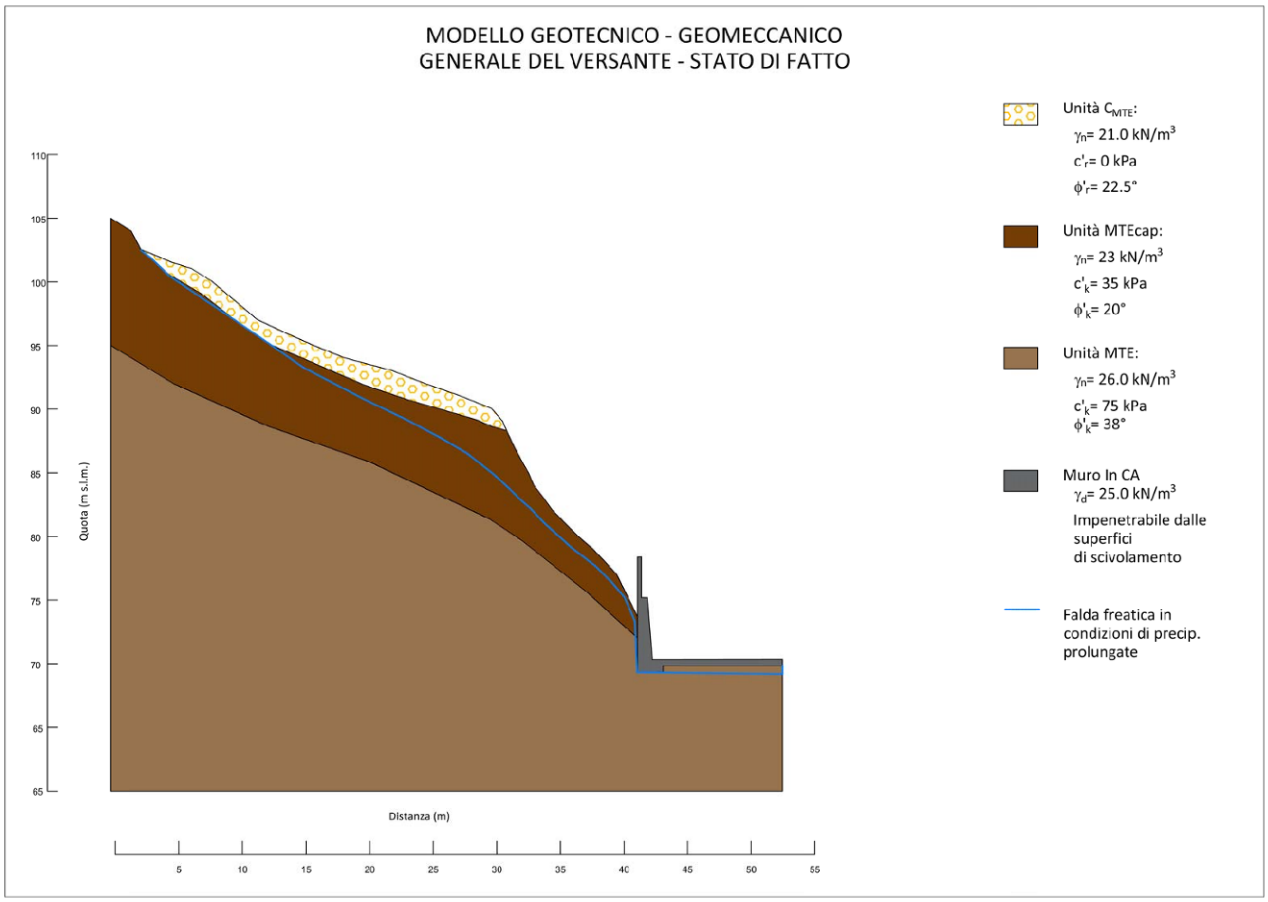


Figura 4.1 - Modello stato attuale

Il modello è stato costruito sulla base della cartografia esistente, delle evidenze morfologiche e geologiche rilevate in sito e dei risultati delle indagini geognostiche. La sezione geologica è stata determinata sul profilo altimetrico riportato in **Figura 4.3** scelto nella parte centrale dell'area PG4 e con le pendenze più rilevanti.

La superficie di scivolamento critica individuata è localizzata interamente nello strato superficiale delle coltri di copertura, partendo in prossimità della scarpata fino all'estremità destra. I risultati in termini di caratteristiche di resistenza delle coltri superficiali e di fattore di sicurezza sono indicati nella **Figura 4.2** e in **Tabella 4.1**.

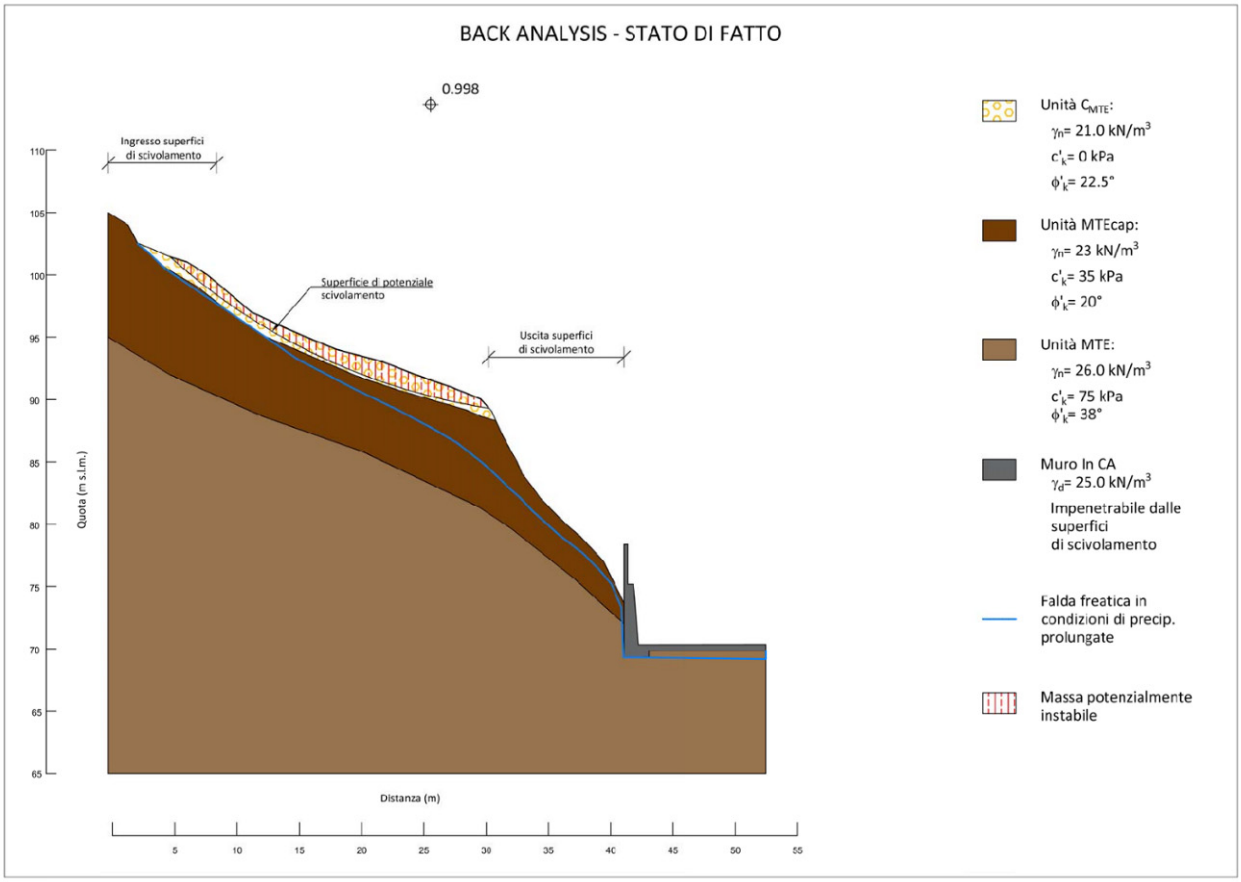


Figura 4.2 - Back Analysis stato attuale

Parametri delle coperture ottenute tramite back analysis	
γ_t (kN/m³)	21
c' (kPa)	0.0
φ' (°)	22.5
FoS	0.998

Tabella 4.1 - Risultati back analysis - Parametri di resistenza residui e fattore di sicurezza

La scelta progettuale è stata quindi conservativa, avendo adottato un valore di ϕ residuo per le coltri superficiali, derivante dalle back analysis e pari a 22.5°, inferiore al valore risultante dalla caratterizzazione geotecnica:

ϕ residuo = 22.5°

ϕ da caratterizzazione geotecnica = 26 ÷ 30°

Tali risultati sono in accordo con quanto risulta dalla relazione di calcolo APE0328, relativa al dimensionamento dell'imbocco a lato del dissesto.

I valori di resistenza al taglio ottenuti tramite back analysis rappresentano i valori minimi in condizioni di equilibrio limite. Ai fini della valutazione della pericolosità geologica/geotecnica dell'area di influenza considerata da questo documento si sono assunti come valori caratteristici della coltre quelli residui ottenuti dalla back analysis, cautelativi rispetto alla reale condizione in sito. I parametri di progetto utilizzati invece per il cappellaccio e il substrato roccioso (vedi relazione e caratterizzazione geotecnica) sono quelli ottenuti da apposite prove in sito e in laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi (**Tabella 4.2**) ed impiegati per il dimensionamento delle opere di imbocco della galleria Polcevera.

Strato	Peso di volume (kN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kPa)
Coltre	21	22.5	0
MTE-cap	23	20	35
MTE	26	38	75

Tabella 4.2 - Parametri geotecnici di progetto impiegati

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nell'area interessata dal dissesto (836 cartografia del Piano di Bacino area metropolitana Genova) e nelle immediate vicinanze verranno realizzate le seguenti opera ai fini della realizzazione della galleria di Polcevera, indicate nella **Figura 4.3:**

- sbancamento del materiale in corrispondenza dell'imbocco della galleria;
- realizzazione di una paratia in micropali multitirantata (cfr. APE0328);
- realizzazione di un piazzale alla quota 82.60 m s.l.m. in fase di lavoro e a quota 84.90 metri s.l.m. in fase definitiva;

- realizzazione di una berlinese in micropali non tirantata lungo la sezione trasversale dell'area di frana catalogata PG4;

Il dissesto si trova localizzato in corrispondenza del lato destro dell'imbocco della galleria di Polcevera. Pertanto le fasi esecutive dell'opera prevedono:

- La realizzazione di una paratia in micropali lungo tutto il perimetro che delimita il piazzale degli imbocchi delle gallerie e parte dell'area PG4, con le seguenti caratteristiche:
  - Diametro esterno tubo acciaio = 177.8 mm con spessore = 12.5 mm
  - Diametro perforazione = 240 mm
  - Spaziatura = 0.4 m
  - Lunghezza massima = 25 m
  - Trave di coronamento in c.a. di dimensioni 0.50x0.70 m
- Multiratantaggio delle stessa in fase di avanzamento degli scavi, secondo quanto riportato nella relazione di calcolo APE0328;
- La realizzazione di una paratia in micropali nell'area di frana con le seguenti caratteristiche:
  - Diametro esterno tubo acciaio = 139.7 mm con spessore = 8 mm
  - Diametro perforazione = 240 mm
  - Spaziatura = 0.5 m
  - Lunghezza massima = 12 m
  - Trave di coronamento in c.a. di dimensioni 0.50x0.70 m
- Lo sbancamento del terreno a valle della prima paratia e di una piccola porzione dell'area di frana;
- Riempimento della parte di scavo a lato della zona in frana con terre armate.

Si prevede inoltre la realizzazione di una protezione corticale delle pareti di scavo mediante rete metallica a doppia torsione con maglia tipo 8x10cm e filo Ø2.7mm, al fine di garantire la sicurezza nelle zone di stoccaggio materiale e accesso in fase di realizzazione delle gallerie.

Al termine della realizzazione delle gallerie è prevista una rimodellazione della zona di imbocco con scarpate 2/3, la riprofilatura riguarderà anche la zona interessata dal dissesto.

Si fa presente che l'interferenza con l'area di imbocco è molto marginale e, tra l'altro, gli scavi avvengono sul lato della zona di frana e non perpendicolari alla linea di massima pendenza. Gli interventi di progetto (paratie di micropali) sono comunque estesi all'area instabile al fine di garantire adeguati margini di sicurezza durante le fasi di lavorazione per la realizzazione delle gallerie e nella fase finale di reinterro.

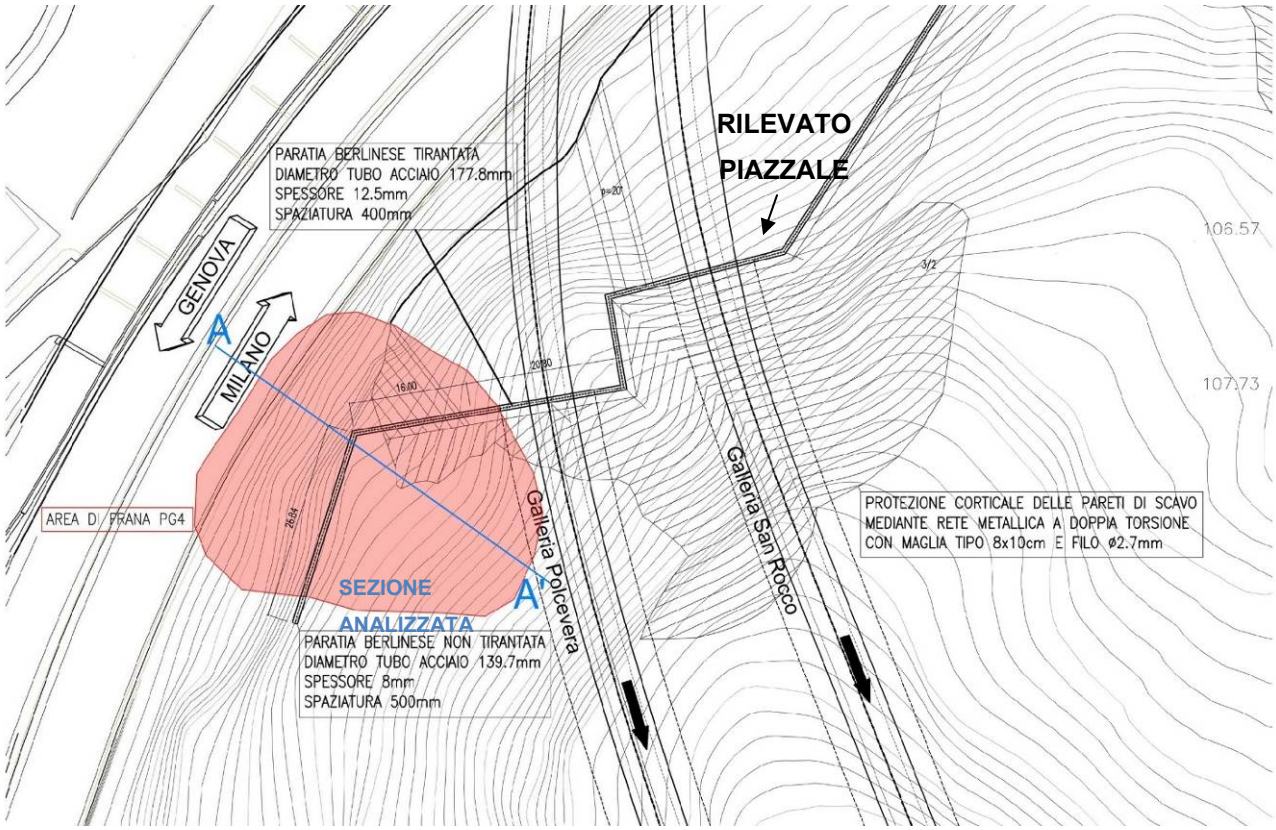


Figura 4.3 - Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata - Pg4

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

Per il dimensionamento delle opere previste (cfr. 4.2) è stata presa in considerazione la sezione utilizzata in back analysis, localizzata nella parte centrale dell'area di frana Pg4 nella zona di massima pendenza. In essa è stata inserita la berlinese in micropali di progetto (**Figura 4.4**). Per dimensionamento e la verifica delle stesse si rimanda alla relazione di calcolo.

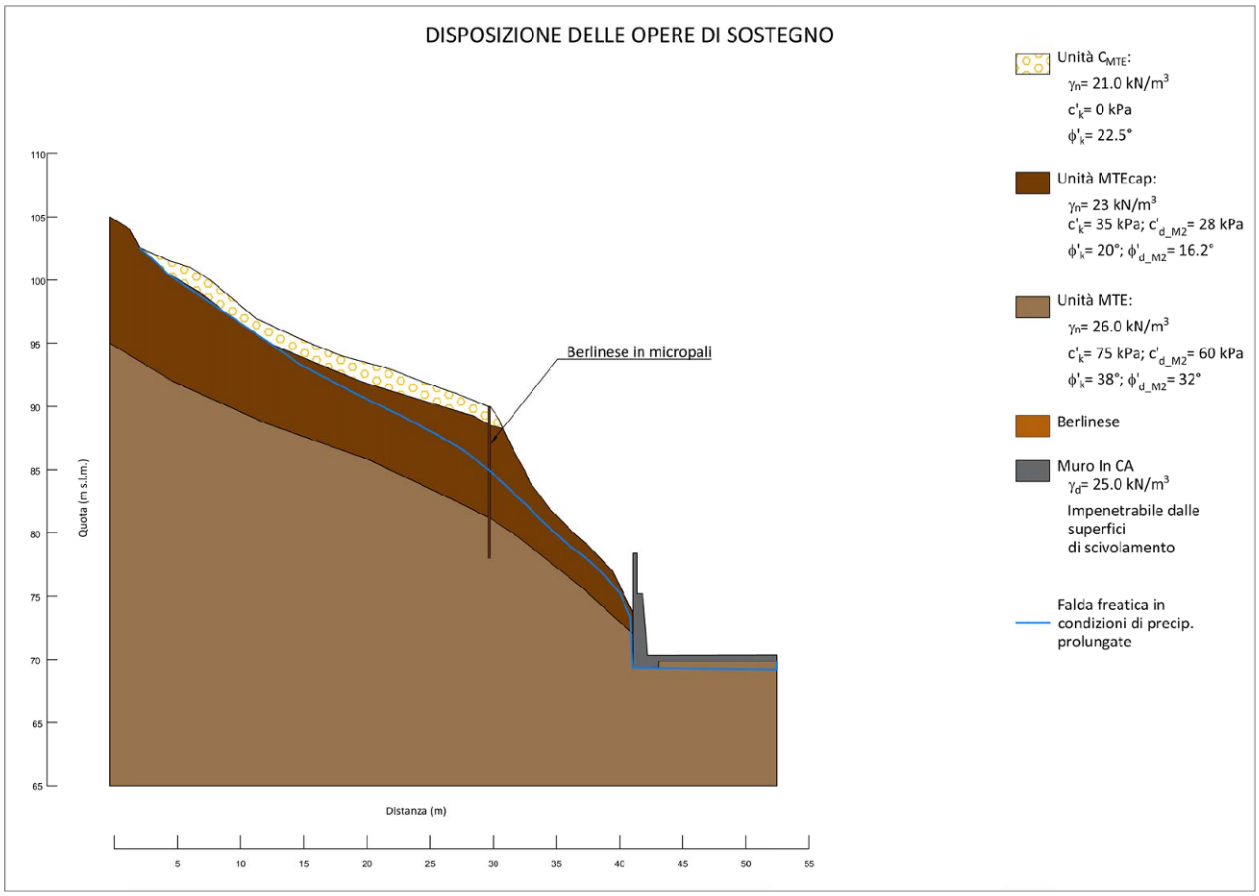


Figura 4.4 - Modello con berlinese in micropali

Per le analisi di stabilità globale è stato adottato il noto approccio all'equilibrio limite, secondo il metodo di Morgenstern e Price (1965), basato su una procedura di risoluzione iterativa che consente di soddisfare sia l'equilibrio alla rotazione che quello alla traslazione orizzontale, tenendo conto sia delle forze normali che delle forze di taglio trasmesse tra i conci in cui il pendio viene discretizzato.

L'analisi è stata eseguita utilizzando il codice di calcolo GEO-SLOPE 2007, in grado di effettuare la ricerca automatica delle superfici di scivolamento caratterizzate dal rapporto minimo fra resistenze e azioni di progetto.

Tutte le verifiche sono state eseguite ai sensi delle vigenti NTC2008.

In accordo con quanto riportato al §6.8.1 delle citate norme tecniche, le verifiche sono state eseguite secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2).

In generale nelle NTC2008 (§6.2.3) è richiesto che sia soddisfatta la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, ovvero:

$$E_d = E\left[\gamma_F \times F_K ; \frac{X_K}{\gamma_M} ; a_d\right]$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \times R\left[\gamma_F \times F_K ; \frac{X_K}{\gamma_M} ; a_d\right]$$

Nelle formulazioni di cui sopra, il valore degli effetti delle azioni (E) e della resistenza (R) dipendono dai seguenti fattori:

- Azioni di progetto ($\gamma_F \times F_K$): dove F_K rappresenta il valore della generica azione caratteristica e γ_F il relativo coefficiente amplificativo (nel caso specifico appartenente al gruppo A2);
- Parametri di progetto (X_K/γ_M): dove X_K rappresenta il generico parametro meccanico caratteristico del terreno/roccia e γ_M il relativo coefficiente riduttivo (nel caso specifico appartenente al gruppo M2);
- Geometria di progetto (a_d).

Inoltre nella formulazione delle resistenze di progetto (R_d), compare il coefficiente riduttivo della resistenza del sistema geotecnico (γ_R, nel caso specifico appartenente al gruppo R2), da applicare alla resistenza (R).

L'analisi di stabilità globale all'equilibrio limite viene eseguita calcolando il coefficiente riduttivo della resistenza del sistema geotecnico ($\gamma_{R_CALC} = R/E_d$) e valutando che quest'ultimo sia maggiore o uguale al il coefficiente parziale minimo imposto dalla normativa (γ_R), funzione della tipologia di sistema geotecnico studiato (nel caso specifico $\gamma_{R2} = 1.1$).

Le analisi sono state eseguite in condizioni statiche (SLU).

L'analisi di stabilità è stata svolta con i parametri di progetto del cappellaccio (MTE-cap) e delle Argilliti Montanesi (MTE) ridotti del coefficiente parziale per i parametri geotecnici M2, riportati in **Tabella 4.3**. Per la coltre superficiale sono invece stati impiegati i parametri di resistenza residui ricavati dalla back analysis, ai quali viene dunque applicato un coefficiente unitario come indicato nel documento "Designers' guide to EN1997-1 Eurocode 7: Geitechnical design – General rules" dell'Eurocodice 7.

Unità geotecnica/geomeccanica	Peso di volume (kN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kPa)
C_{MTE}	21	22.5	0
MTE-cap	23	16.2	28
MTE	26	32	60

Tabella 4.3 - Parametri geotecnici di progetto

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

L'analisi condotta in campo statico ha determinato una superficie di scivolamento in grado di attraversare anche gli strati più profondi passando al di sotto della paratia e terminando al piede del versante a ridosso del muro di sostegno già esistente (**Figura 4.5**).

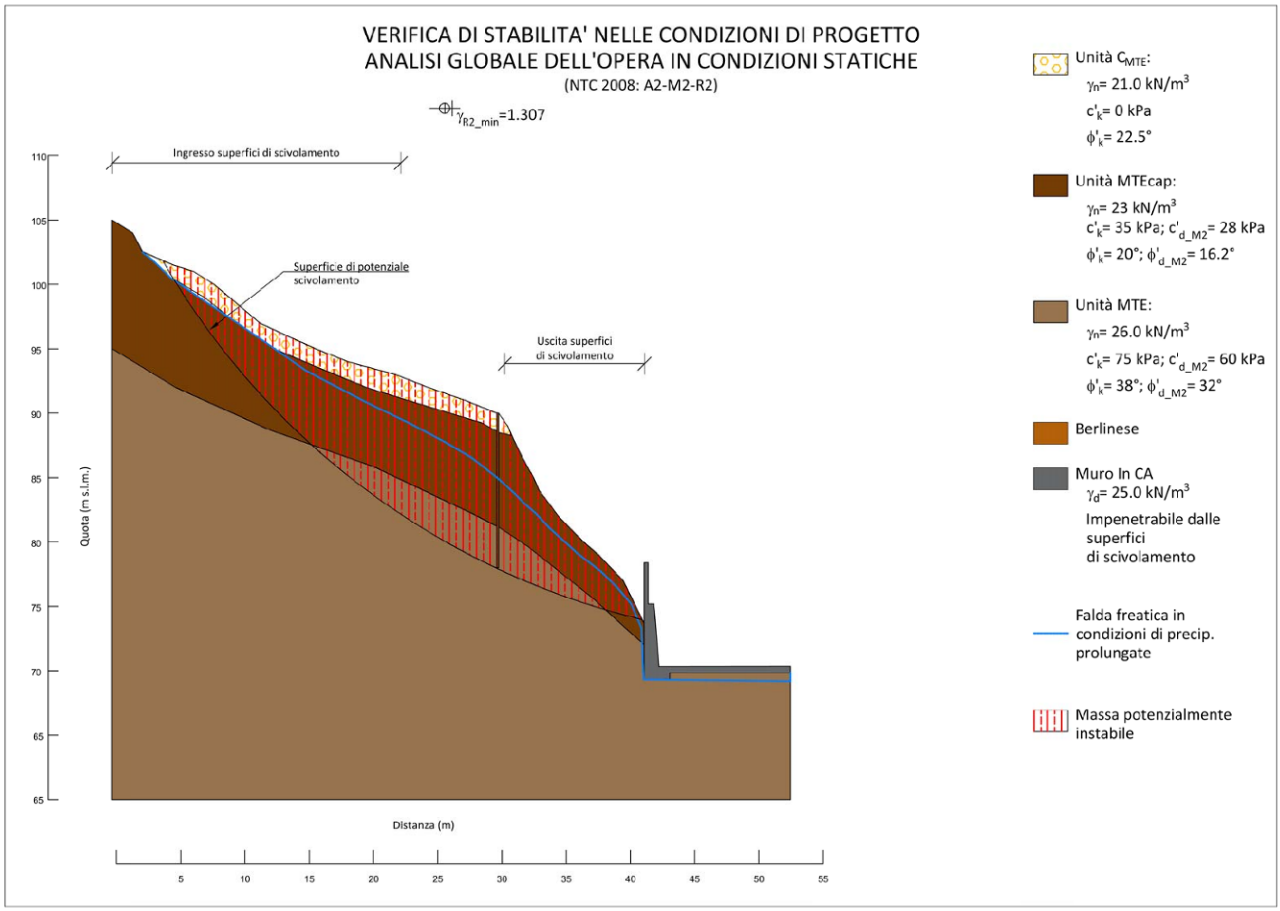


Figura 4.5 - Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni statiche

La stabilità globale dell'opera è verificata, essendo il fattore di sicurezza maggiore del coefficiente parziale minimo γ_{R2}:

R_d / E_d = 1.307 > 1.1 Condizioni statiche

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

- k_H = 0.0312 g
- k_V = ±0.0156 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**).

	Categoria di sottosuolo	
	A	**B,C,D,E**
	β_s	β_s
$0.2 < a_g$ (g) < 0.4	0.30	0.28
$0.1 < a_g$ (g) < 0.2	0.27	0.24
a_g (g) < 0.1	0.20	0.20

Tabella 4.4 - Coefficiente βs

La verifica di stabilità globale costituisce una verifica di Salvaguardia della Vita (SLV), pertanto i coefficienti sismici riportati nella tabella seguente sono relativi ad un evento con tempo di ritorno pari a 949 anni.

Per il sito in oggetto risulta:

$a_g = 0.087$ g

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1.5 \cdot 1.2 \cdot 0.087 = 0.156$ g

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

Le verifiche sono state condotte applicando la componente di spinta pseudostica coerente con la direzione di scivolamento, mentre la componente verticale è stata assunta in entrambi i versi, come mostrato in **Figura 4.6** e **Figura 4.7**:

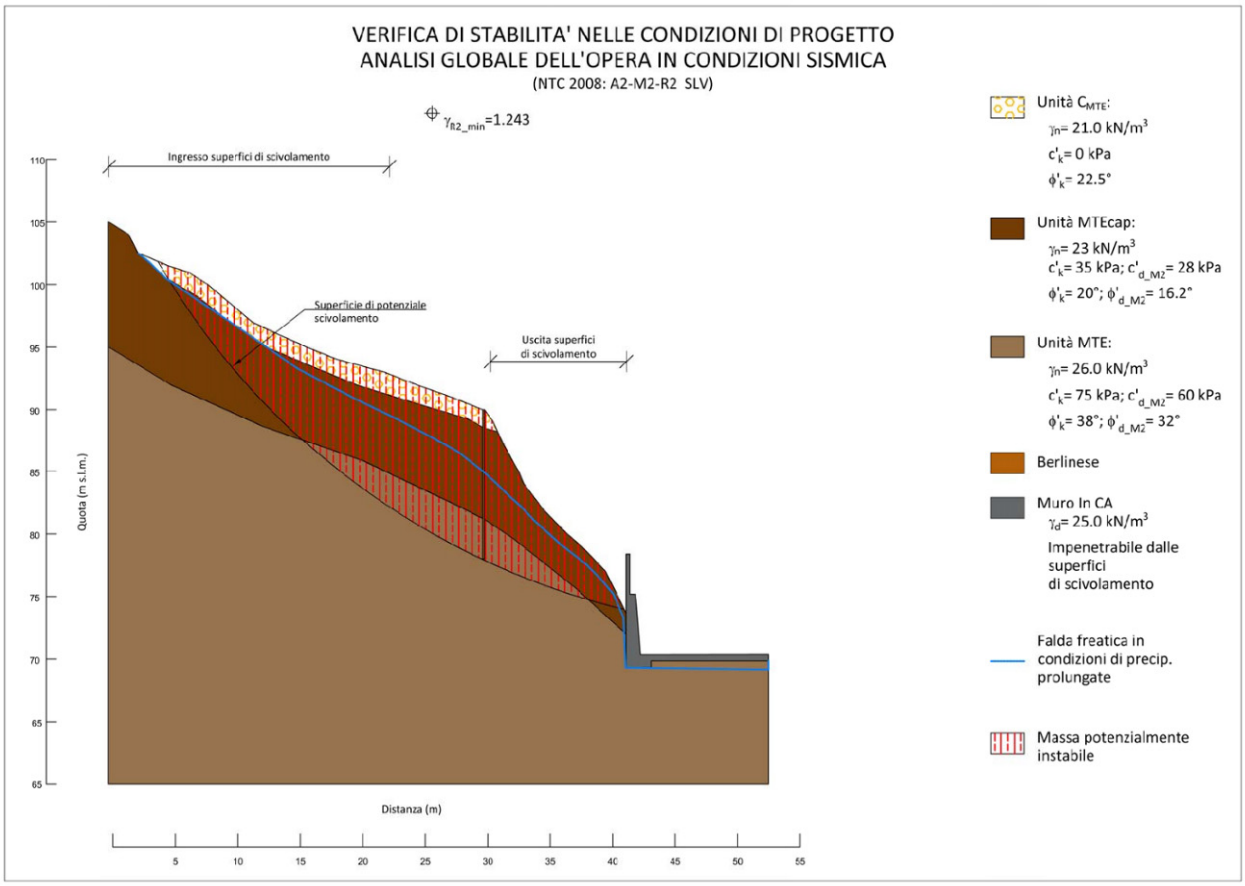


Figura 4.6 - Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni statiche (k_V con segno positivo)

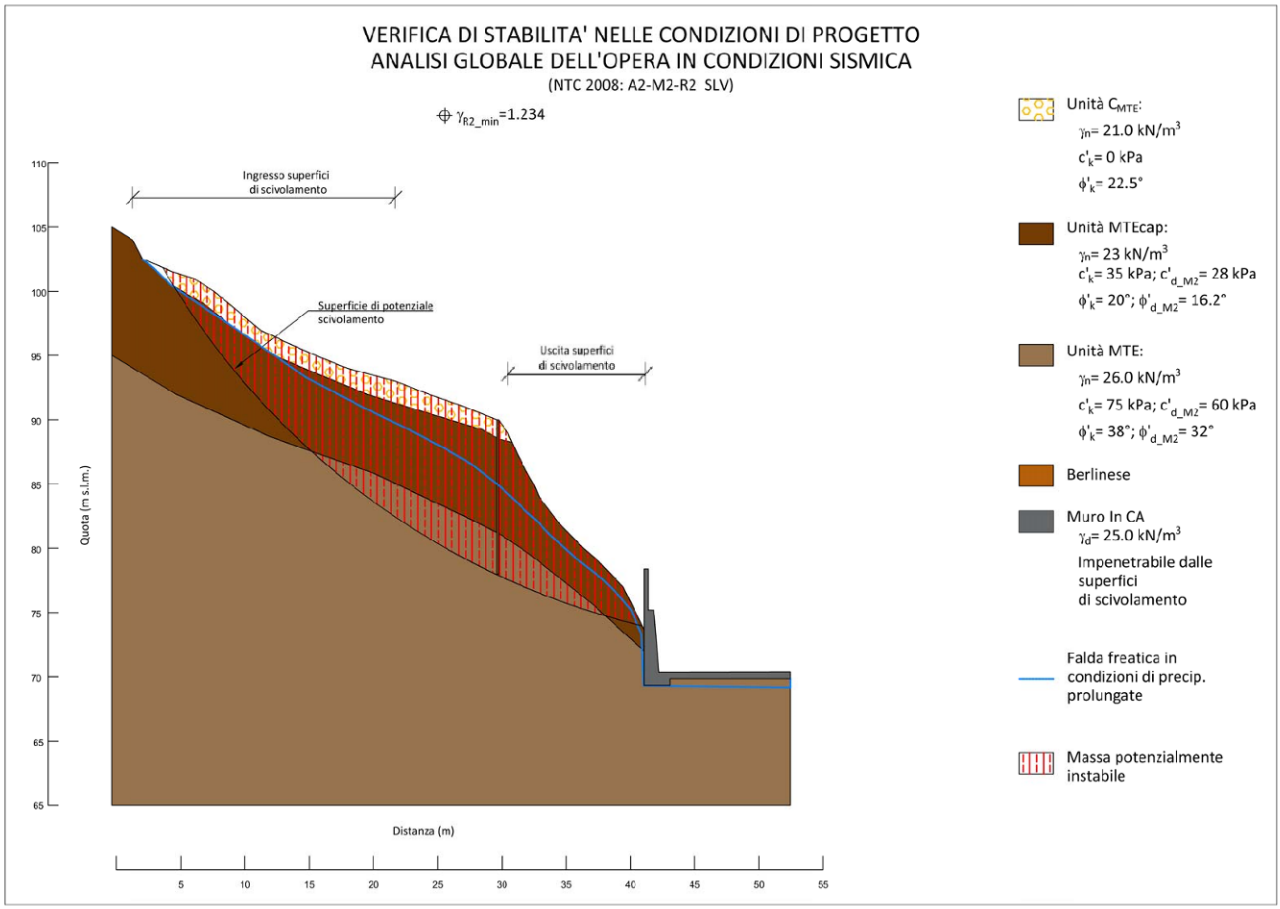


Figura 4.7 - Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni statiche (k_V con segno negativo)

Anche in questo caso le verifiche di stabilità globale dell'opera sono soddisfatte per entrambe le condizioni di carico:

R_d / E_d = 1.243 > 1.1 Condizioni sismiche, k_V positivo

R_d / E_d = 1.234 > 1.1 Condizioni sismiche, k_V negativo

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**	0.998	--
Analisi **post-operam**	1.307	1.234

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: fossi in terra, al piede di scarpate in terreno naturale; canalette rettangolari, a tergo dei muri di sostegno e canalette grigliate, in corrispondenza di piazzali carrabili.

In corrispondenza del movimento franoso in oggetto le acque di ruscellamento di monte vengono intercettate e allontanate da un fosso rivestito posto a tergo della paratia, successivamente le acque mediante una tubazione vengono scaricate a valle e connesse alla rete di drenaggio autostradale esistente.

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

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 dell'imbocco della galleria di Polcevera, prevista all'interno del piano di realizzazione del nodo stradale e autostradale di Genova A7-A10-A12, è presente un'area di frana catalogata come PG4 "frana attiva" dalla cartografia PAI. Dai risultati del rilievo geomorfologico risulta evidente la presenza del dissesto; i cambi di pendenza osservati dalla scarpata sino alla sede autostradale sono indicativi della presenza di un deposito sciolto grossolano che ha subito un processo di scivolamento in direzione dell'autostrada e che si è arrestato circa 3÷4 m più a valle rispetto alla scarpata.

L'assenza di fratture di trazione a monte dell'orlo di scarpata principale, di alberi uncinati e di ristagni di acqua, di sorgenti o di aree di drenaggio concentrato nell'intorno della scarpata di scivolamento esposta sono indicativi di un'attuale assenza di movimenti superficiali.

Eventuali intense precipitazioni potrebbero causare la rimobilizzazione del materiale detritico già coinvolto nel movimento che, in questo caso, andrebbe a interagire potrebbe interagire negativamente con la sede autostradale presente a valle e con l'imbocco della galleria Polcevera lato Milano.

La presenza di un'area ad alta suscettività al dissesto in corrispondenza delle opere di progetto ha portato alla necessità di prevedere opere di stabilizzazione atte ad impedire il movimento della coltre superficiale anche in caso di eventi meteorici eccezionalmente intensi e prolungati, tipici in questa regione geografica nel periodo autunnale.

Nella configurazione finale del progetto, la frana 836 potrà essere considerata stabilizzata sulla base delle seguenti motivazioni:

- gli accorgimenti costruttivi adottati (paratie berlinesi) 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;
- per l'area di imbocco adiacente, 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;
- 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.;
- le condizioni di stabilità del versante a lavori ultimati risulteranno migliorative rispetto alle condizioni attuali;

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.

ALLEGATI

- *Allegato n.1* - Stralcio Carta suscettività al dissesto da Piano di Bacino con progetto ed indagini eseguite
- *Allegato n.2* - Stralcio carta geologica (aggiornata novembre 2015)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata novembre 2015)
- *Allegato n.4* - Carta geomorfologica di dettaglio, indagini integrative e punti di ripresa fotografici
- *Allegato n.5* - Sezione geologica
- *Allegato n.6* - Scheda di sintesi
- *Allegato n.7* - Stratigrafia sondaggi e geofisica
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità