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 VARENNA
FRANA 034044

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 **PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI**

CODICE IDENTIFICATIVO																																						Ordinatore:
RIFERIMENTO PROGETTO											RIFERIMENTO DIRETTORIO															RIFERIMENTO ELABORATO														
Codice Commessa						Lotto, Sub–Prog, Cod. Appalto				Fase			Capitolo		Paragrafo			WBS tipologia		WBS progressivo		PARTE D'OPERA										Tip.		Disciplina			Progressivo				Rev.		
1	1	0	7	1	2	0	0	0	0	P	D	D	G	S	T	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	R	G	E	N	0	1	3	0	–	1	SCALA: –

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

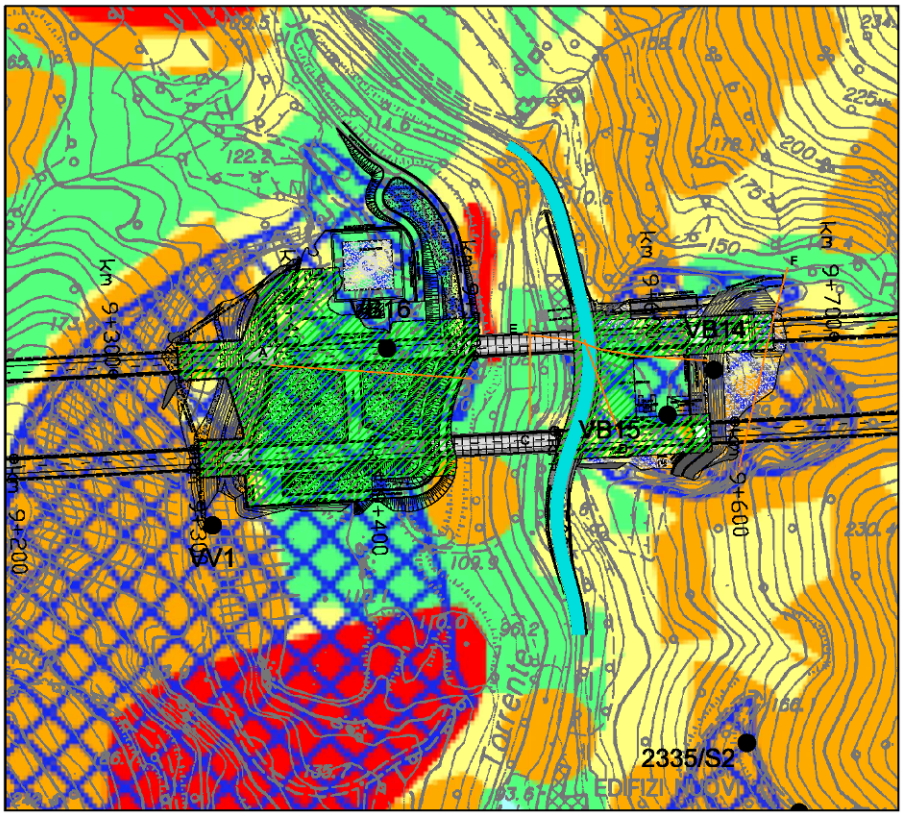
	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

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

SCHEDA FRANA 034044 (PG4)

OPERA INTERFERENTE: RAMPA DI SERVIZIO

VIADOTTO VARENNA OVEST



INDICE

1. PREMESSA 4

2. METODOLOGIA DI LAVORO 7

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 10

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI 10

3.2 CARTOGRAFIA 10

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO 10

3.4 Aree Interferenti 10

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg4 10

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino 12

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

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 13

3.9 INDAGINI ESEGUITE 15

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 20

3.11 CAUSE DEL DISSESTO 30

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 30

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 32

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 32

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 36

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 39

4.4 QUADRO DI SISTESI 46

5. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI 47

6. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 48

6.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 48

7. CONCLUSIONI 51

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 febbraio 2016)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata febbraio 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 SGT0131: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana 034044 (Pg4) – Opera interferente: Viadotto Varenna Ovest – Planimetria e sezione"*

1. PREMESSA

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

I riferimenti normativi sono pertanto:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- *GEO0001: Relazione geologica e idrogeologica generale*

- *GEO0004: Carta geologica – Tavola 3*
- *GEO0022: Carta geomorfologica – Tavola 3*
- *APE0001: Relazione geotecnica*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata 034044, che risulta interferente con la rampa di servizio che permette l'accesso alla spalla ovest del viadotto e all'adiacente area di emergenza.

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 (GEO0004 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 2);
- profili geologici in asse ai tracciati delle opere principali;
- carta geomorfologica (GEO0022 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 3);
- carta dei vincoli (cfr. stralcio riportato nell'Allegato 1);
- carta di ubicazione delle indagini (cfr. stralcio riportato in allegato);
- carta geomorfologica specifica per le aree in frana a scala 1:1.000 (cfr. l'Allegato 4).

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

Le attività propedeutiche effettuate sono:

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

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

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

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

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

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

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

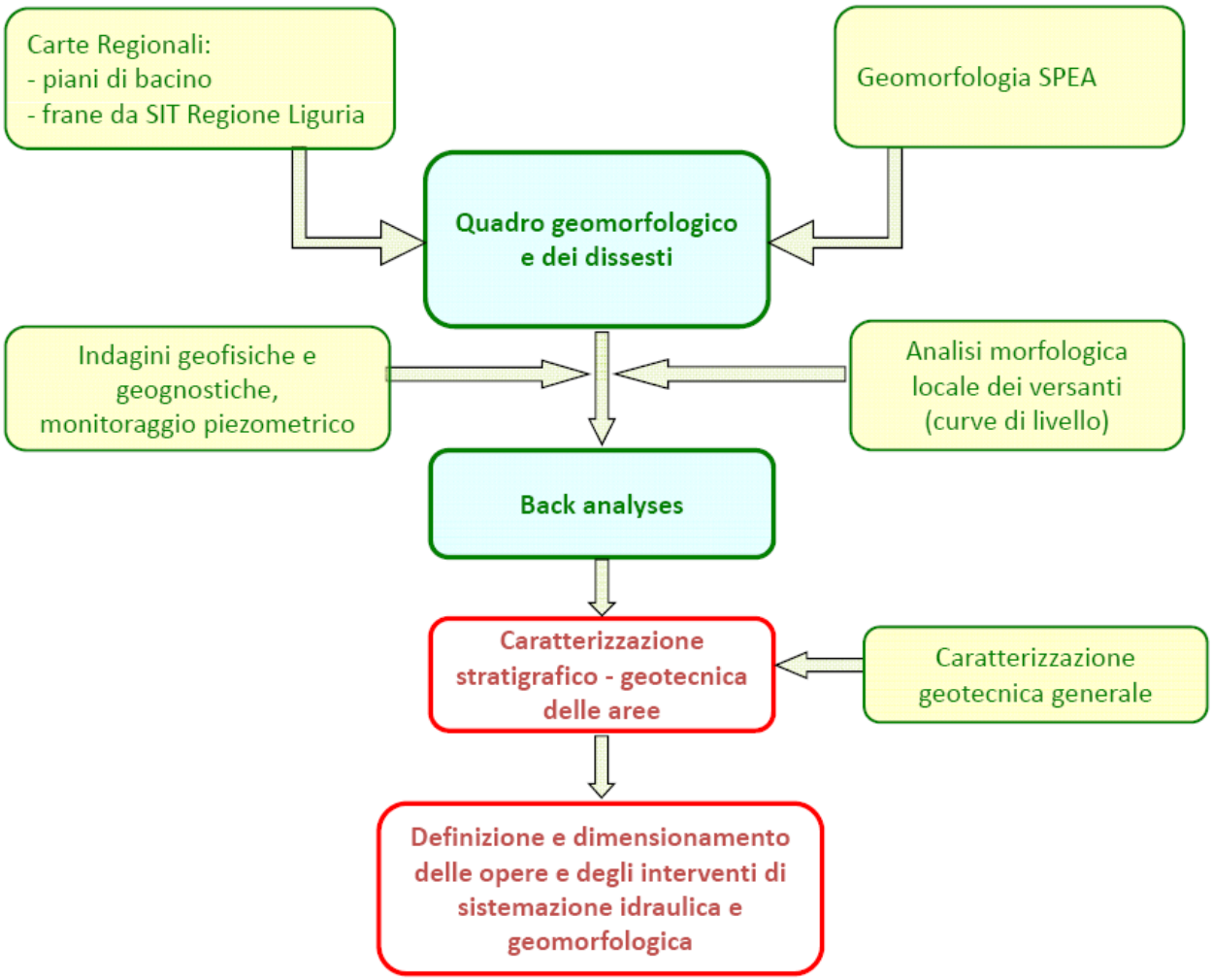


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: Cava Pian di Carlo

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: Torrente Varenna

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): 034044

3.2 CARTOGRAFIA

CTR 1:10.000: 213100

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO

La cartografia fa riferimento alla Carta della suscettività al dissesto fornita dalla Provincia di Genova – rev. febbraio 2015 (Allegato 1).

3.4 Aree Interferenti

L'oggetto della presente scheda è l'interferenza tra il dissesto **Pg4** e la viabilità di servizio che permette l'accesso alla spalla ovest del viadotto, all'imbocco della Galleria Amandola lato Genova e all'adiacente area di emergenza.

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg4

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

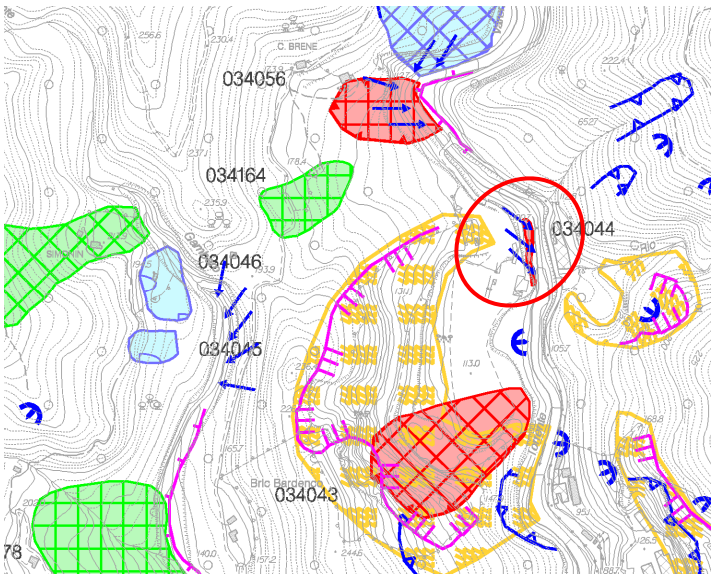
a) Tipologia di frana:

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

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

b) Stati di attività:

X	Attiva
	Quiescente
	Stabilizzata



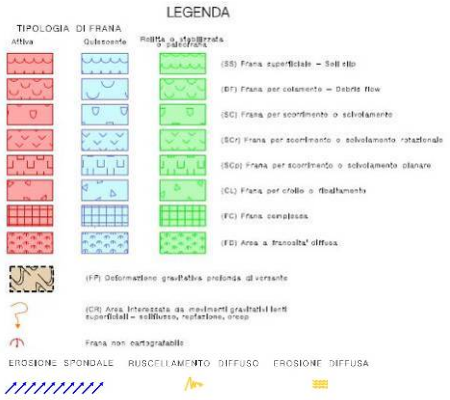


Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino

Nel Piano degli interventi di mitigazione del rischio del Piano di Bacino sono previsti nell'area sottostante la cava, interventi di carattere idraulico (I-7 e I-8), mentre sul versante di fronte, in cui sarà realizzato l'imbocco della Galleria Monterosso lato Savona, sono previsti interventi di versante (G-7)
In particolare nel Piano degli interventi, per l'area della Cava Pian di Carlo è previsto (***Figura 3-2***):

- *I7-I8 Prolungamento scogliera d'argine ex Cava Pian di Carlo e sostituzione del guado esistente con adeguato ponte L'intervento è necessario per completare ed integrare la scogliera a protezione del piazzale della Cava Pian di Carlo, in sponda destra del T. Varenna; detta scogliera allo stato attuale risulta inadeguata. Inoltre è necessario prevedere la sostituzione del guado attuale con un nuovo ponte per l'accesso all'area di cava.*
- *G7 Sistemazione e ripristino ambientale ex cava Rio Lavino in località Edifizi Nuovi. L'area si presenta come parzialmente gradonata e con accumuli detritici del tipo a conoide alla base dei due fronti di cava principali e richiede interventi di ripristino consistenti nel disgaggio delle porzioni lapidee instabili, regimazione delle acque superficiali e dell'alveo del rio Lavino, che scorre nelle adiacenze della zona di scavo, in quanto la situazione attuale mostra un chiaro dissesto del pendio, indebolito dal taglio artificiale e condizioni di forte instabilità. A conclusione occorrerà sistemare al piede del versante gabbionate con talee, su cui innestare successivi interventi di inerbimento e piantumazione degli accumuli detritici, dal basso verso l'alto, con specie colonizzatrici.*

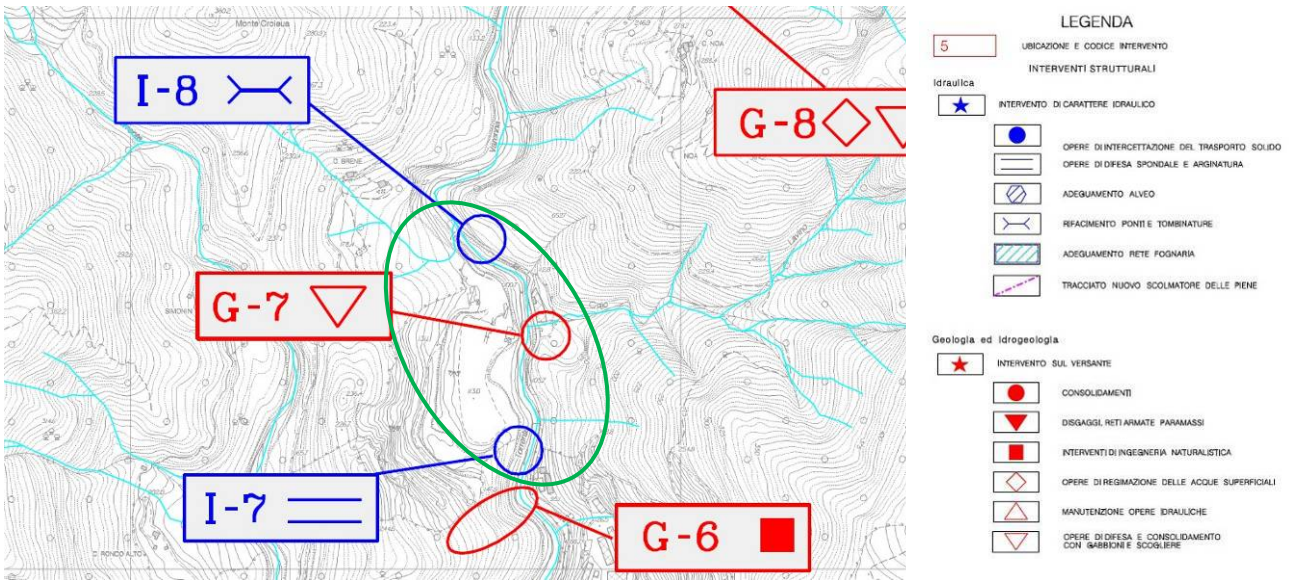


Figura 3-2 - Stralcio Carta degli interventi da Piano di Bacino

3.7 DISSESTI SEGNALATI DALL'INVENTARIO FENOMENI FRANOSI D'ITALIA

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

La cartografia IFFI (**Figura 3-3**) non identifica sul versante alcun dissesto in corrispondenza della Pg4 segnalata dal Piano di Bacino; sono segnalate due dissesti ubicati rispettivamente a nord e a sud dell'area di interesse, classificati come scivolamenti rotazionali/traslativi quiescenti (indicati con il numero 1 e 2 in **Figura 3-3**):

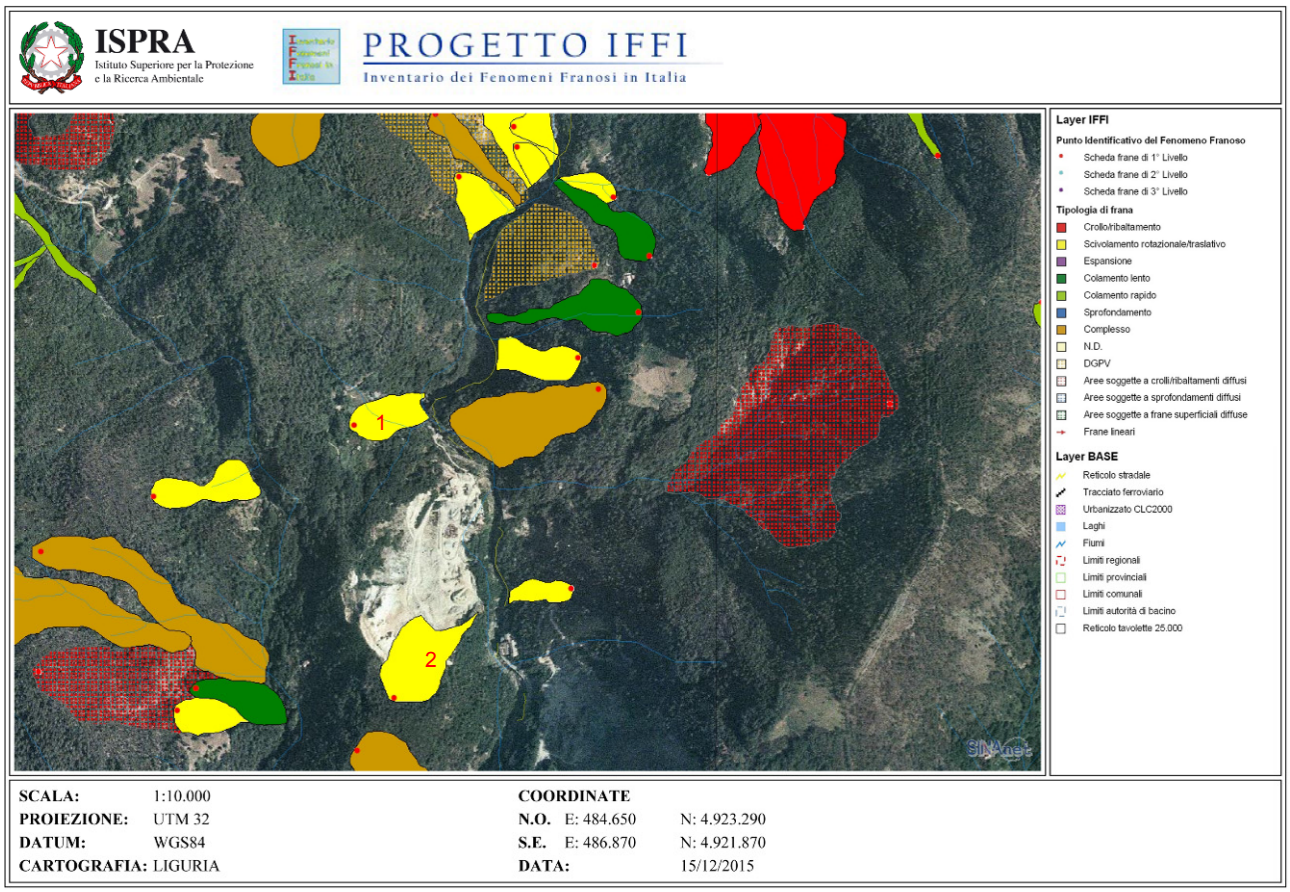


Figura 3-3 –– Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

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

Calcescisti (CS)

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

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

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

Gli scisti quarzoso micacei, invece, assumono 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.

Metabasiti (MB)

Con questo termine si indicano rocce derivate da originari basalti o gabbri per le quali non è stato possibile riconoscere il protolito in maniera continua. Solo a livello degli affioramenti, quando possibile, sono stati distinti i metabasalti. Questi si presentano sia compatti che scistosi a grana fine frequentemente a tessitura listata di spessore da millimetrico a centimetrico a prevalenti albite + epidoto e anfibolo + clorite.

Serpentiniti (S)

Sotto questa voce sono comprese serpentiniti e serpentinoscisti derivanti dal materiale peridotitico del mantello superiore, che mantengono talvolta relitti della tessitura lherzolitica originaria. Si presentano con colore verde, da chiaro a scuro, in frattura fresca; quando alterate, invece, assumono colorazione più arancione-rossiccia, talvolta marrone.

In affioramento si presentano con caratteristiche tessiturali e strutturali estremamente variabili in risposta alla deformazione subita. La facies tessiturale più diffusa è quella foliata, caratterizzata dallo sviluppo di clivaggi e/o scistosità evidenti, riferibili a diverse generazioni di deformazione, subordinatamente si osservano tessiture massicce, con aspetto generalmente compatto con foliazioni subordinate. Queste due litofacies affiorano con continuità nell'intera parte centro-settentrionale dell'area (Val Varenna, Rio Condotti), mentre in quella occidentale (Val Vesima, Val Cerusa e Val Leira) formano lenti ettometriche trasposte, parallelizzate alla foliazione regionale.

I *depositi superficiali* hanno spessore molto limitato, variabile da circa 2 m nell'area di studio fino a un massimo di 15 m circa nelle aree limitrofe e sono rappresentati essenzialmente depositi di riporto (derivanti dall'attività estrattiva), da depositi di versante, e da depositi alluvionali lungo il corso del Torrente Varenna; in corrispondenza della scarpata classificata come Pg4, i depositi superficiali sono caratterizzati dalla presenza al loro interno di grossi blocchi rocciosi metrici, derivanti con ogni probabilità dall'attività estrattiva.

Da un punto di vista geomorfologico, l'area di interesse si sviluppa lungo il versante idrografico destro del Torrente Varenna ed è caratterizzata dalla presenza di attività estrattiva immediatamente a monte. La porzione di versante classificata come Pg4 si trova

su una scarpata a pendenza elevata, lungo il corso del Torrente, per lo più incolta ma localmente colonizzata da vegetazione arborea e arbustiva; a monte dell'area classificata come Pg4 è presente il piazzale di cava, caratterizzato da una debole pendenza verso est (Allegato 3).

3.9 INDAGINI ESEGUITE

Nell'ambito della campagna di indagini a supporto del Progetto Definitivo, nell'intorno dell'area di studio sono stato eseguiti quattro sondaggi a carotaggio (VB14, VB15, VB16 e VV1,) e cinque stendimenti di sismica a rifrazione, di cui quattro sul versante destro della Val Varenna (C, D, E ed F) ed uno su quello in esame (A) (**Figura 3-4**).

Sono, inoltre, stati recuperati ed analizzati i report stratigrafici di quattro sondaggi a carotaggio (S1÷S4) realizzati sul piazzale della cava nell'ambito del progetto di variante del piano di coltivazione, finalizzato alla sistemazione definitiva della cava Pian di Carlo e risalente all'anno 2001.

Delle indagini citate sopra, non sono stati presi in considerazione i sondaggi VV1 e VB14 in quanto si tratta di perforazioni orizzontali eseguite direttamente all'interno dell'ammasso roccioso per la progettazione degli imbocchi e quindi non utili per la definizione degli spessori della coltre detritica superficiale

Tutte le indagini eseguite non interessano direttamente l'area classificata come Pg4, ma risultano comunque molto utili per definire gli spessori di coltre e le caratteristiche del substrato.

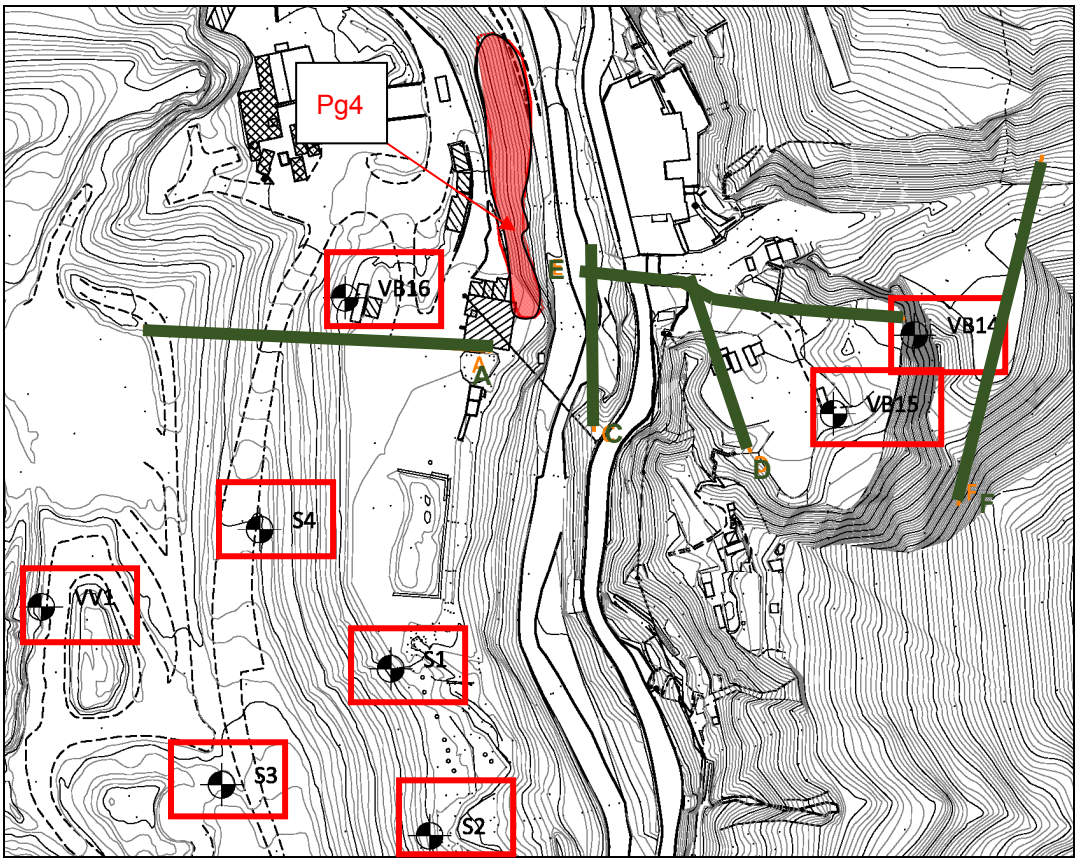


Figura 3-4 - Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini

Dalla stratigrafia del sondaggio VB15, realizzato nella cava presente sul versante sinistro del Torrente Varenna, il substrato lapideo è stato incontrato a circa 3.60m da p.c., al di sotto di materiali di riporto misti a regolite. Il substrato roccioso è costituito da serpentiniti, localmente brecciate e con differenti gradi di fratturazione. La soggiacenza dell'acqua – misurata il 17/11/2010 – risultava essere -0.55 m da p.c.

Nel sondaggio VV16, eseguito sul piazzale della cava Pian di Carlo, il substrato roccioso (rappresentato da metabasiti) è stato rinvenuto a una profondità di circa -1.5 m da p.c., al di sotto del materiale di riporto superficiale. Le metabasiti si presentano poco alterate e con differenti gradi di fratturazione. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 17/11/10 - risultava essere -1.71 m da p.c.

Dalle stratigrafie dei sondaggi S1, S2, S3 e S4 la porzione superficiale, costituita essenzialmente da riporto derivato dalle attività di cava, ha spessori variabili da 1 a circa 10 m. Al di sotto è presente il substrato (in questa zona rappresentato da metabasiti), con differenti gradi di fratturazione, prevalentemente molto fratturato; all'interno del foro S3, a una profondità di circa 10 m da p.c., sono state rinvenute metabasiti milonitizzate. I livelli della falda sono molto variabili:

Sondaggio	Soggiacenza da p.c.
S1	-10.30
S2	-7.50
S3	-2.10
S4	-4.10

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

- Unità sismica R: caratterizzata da velocità delle onde P inferiore a 1.8÷2.0 km/s, con spessore compreso fra 2 m circa e 15 m circa, ascrivibile ai depositi sciolti superficiali;
- Unità sismica L: caratterizzata da velocità delle onde P compresa fra 1.8÷2.0 km/s e 2.6÷2.8 km/s, con spessore massimo pari a circa 5 m, ascrivibile alla porzione più alterata e fratturata dell'ammasso roccioso ("Cappellaccio");
- Unità sismica S: caratterizzata da velocità delle onde P superiore a 2.6 2.8 km/s, ascrivibile all'ammasso roccioso poco fratturato e poco alterato (Metabasiti, Calcescisti e Serpentiniti);

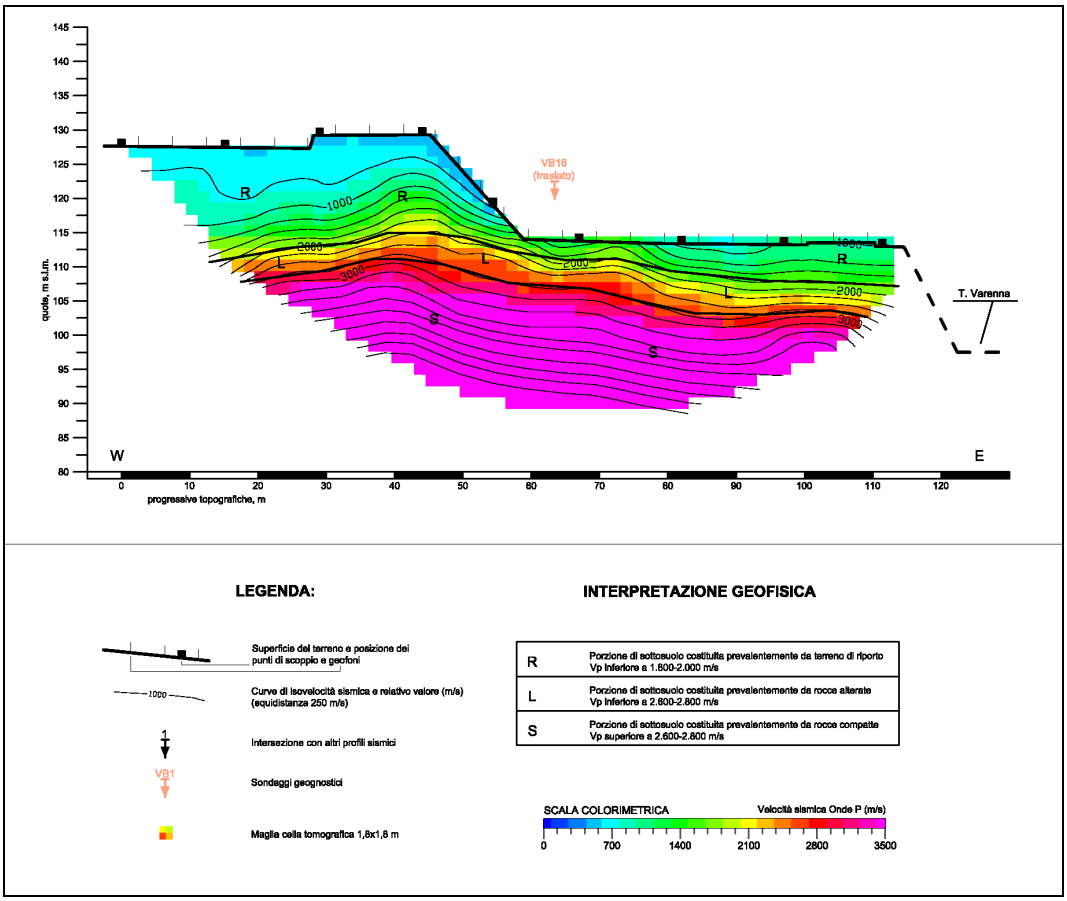


Figura 3-5 – Profilo sismico A

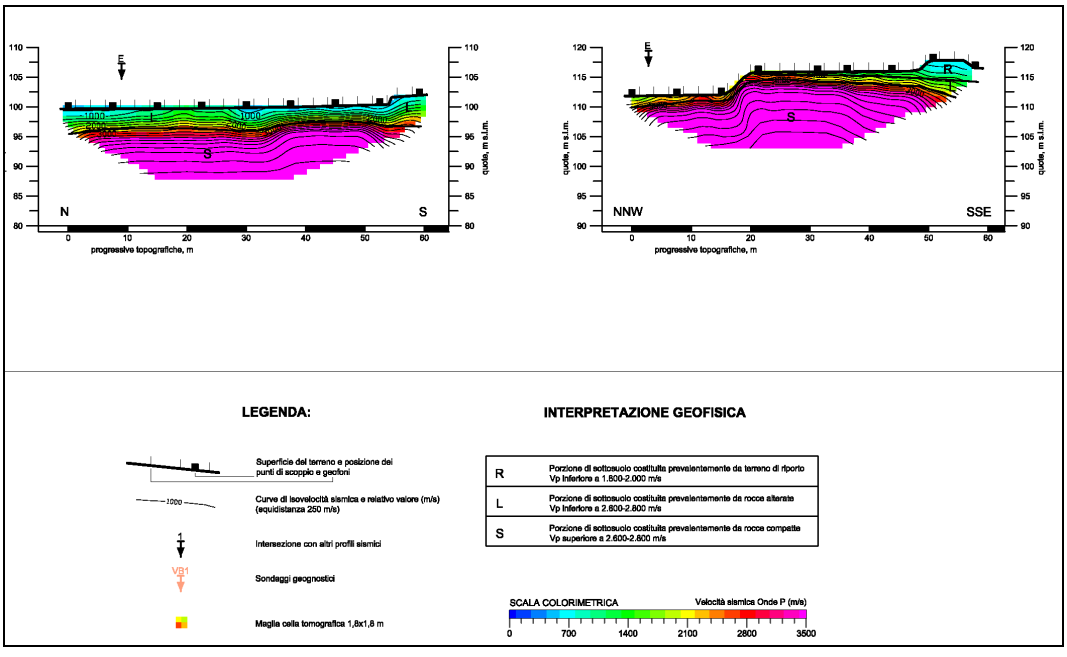


Figura 3-6 – Profili sismici C e D

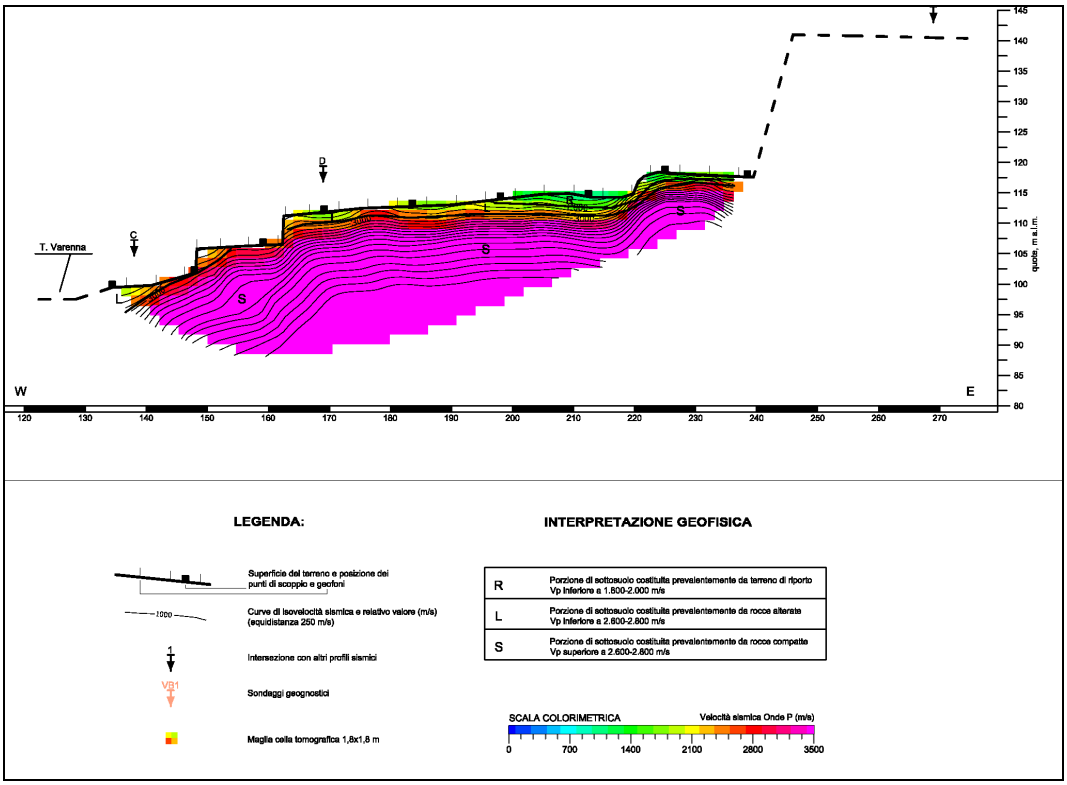


Figura 3-7 – Profilo sismico E

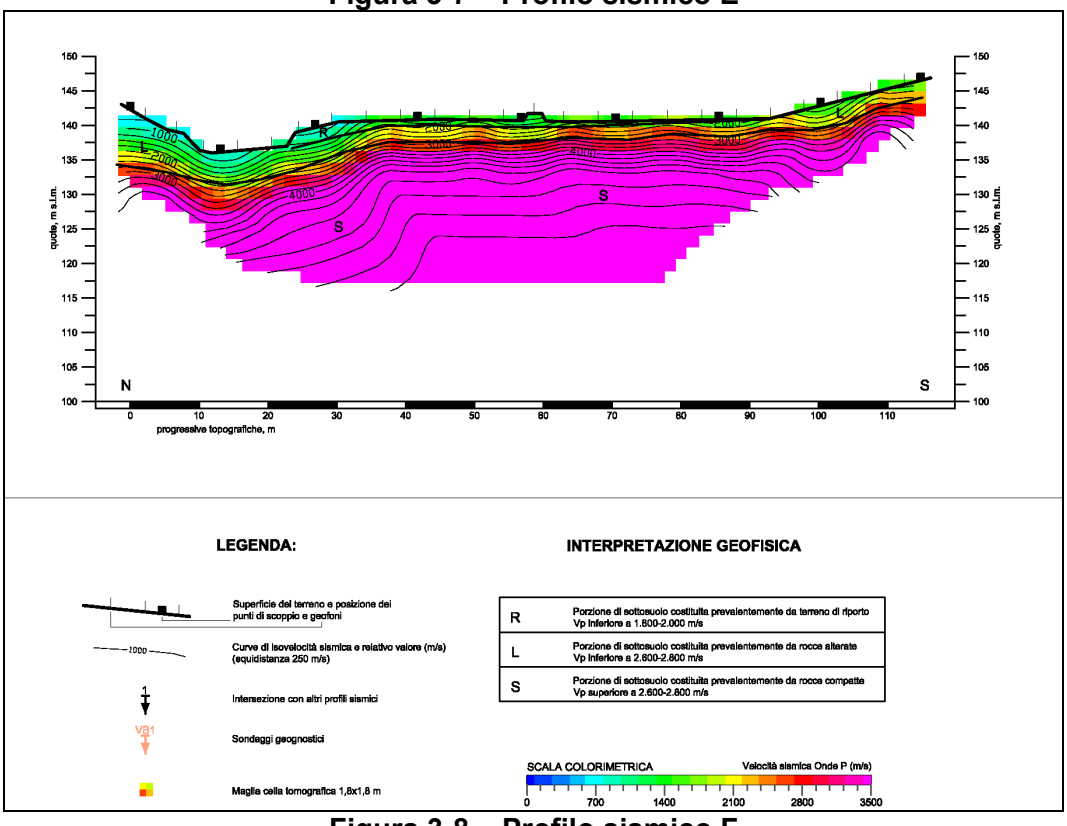


Figura 3-8 – Profilo sismico F

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 16/12/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante destro del Torrente Varenna, procedendo dall'alveo fino al piazzale della cava, ed è stato analizzato unintorno significativo esterno all'area perimetrata nella cartografia del Piano di Bacino, con lo scopo di affinare e integrare le conoscenze rispetto agli elementi geologici e geomorfologici in sito.

Particolare attenzione è stata prestata all'identificazione e rilevamento degli elementi e delle morfologie caratteristiche dei processi di dinamica gravitativa e, in generale, degli indicatori geomorfologici di potenziali o reali cinematismi.

Di seguito viene descritto quanto evidenziato durante il sopralluogo; in Allegato 4 è riportata la planimetria con indicati tutti gli elementi significativi rilevati.

- l'area in esame si colloca sulla sponda in destra idrografica del Torrente Varenna; in questa zona sono presenti alcune cave, ora dismesse, sia in destra sia in sinistra. In particolare in destra è presente la Cava Pian di Carlo, oggetto negli ultimi anni di interventi di ripristino; la PG4 risulta compresa tra il piazzale di cava ed il sottostante torrente. La cava è attualmente raggiungibile mediante una pista, in parte asfaltata che supera il corso d'acqua con un guado; una seconda pista scende verso il Varenna (è di realizzazione più recente e non segnalata sulla cartografia a scala 1:5.000. Il versante al di sotto del piazzale di cava è caratterizzato da acclività accentuata e dalla presenza locale di vegetazione, sia ad alto fusto sia arbustiva (**Foto 1**).

- Il tratto di pista dal guado fino al piazzale di cava è caratterizzato da una scarpata antropica con il ciglio localmente in erosione a causa della presenza del corso d'acqua (**Foto 1**).

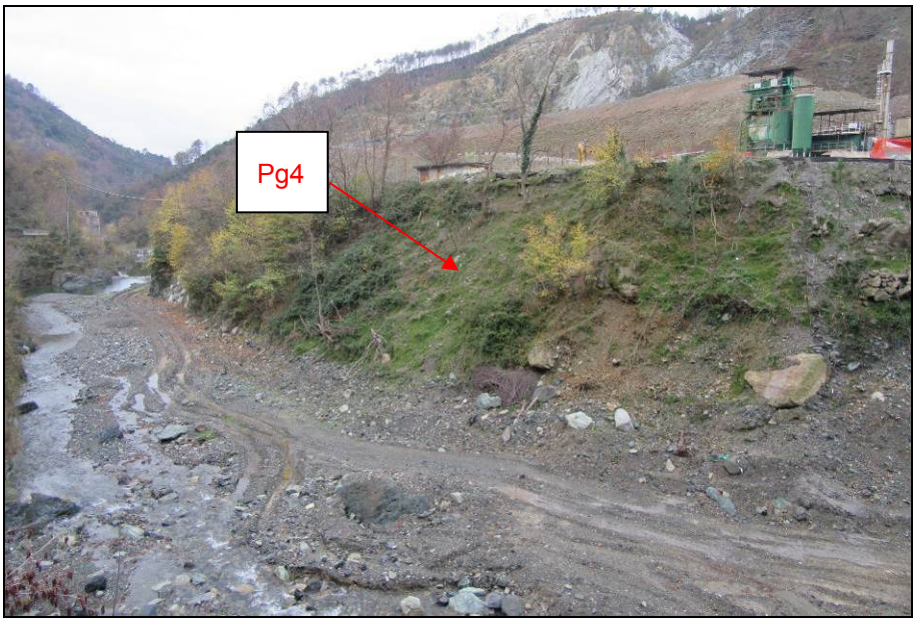


Foto 1 - Panoramica dell'area.

Percorrendo l'alveo da nord verso sud lungo la pista che scende verso il corso d'acqua, sono stati osservati due corpi di frana che si estendono dalla testa della scarpata sino all'alveo, ubicati nella porzione settentrionale dell'area classificata come Pg4; i due dissesti sono quasi coalescenti, solo in sommità si notano due nicchie separate.(**Foto 2**, **Foto 3** e **Foto 4**). Per entrambi i corpi non è stato possibile rilevare l'intero sviluppo degli orli di scarpata di frana sommitali, in quanto obliterati dai lavori di rimodellamento antropico. I dissesti si sono sviluppati all'interno di un deposito antropico con elementi di dimensioni metriche derivate dalle attività di cava; la realizzazione della pista secondaria ha probabilmente causato il franamento di parte della pista superiore.

All'interno del corpo detritico sono presenti dei resti di un manufatto in cls armato completamente distrutto ed i residui della parte asfaltata della strada (**Foto 5**). Alla base sul lato S si rileva un affioramento roccioso costituito da serpentiniti caratterizzato dalla presenza a monte di una netta contropendenza di lunghezza pari a circa 10 m (**Foto 6**).

I corpi di frana sono colonizzati da vegetazione arbustiva e localmente arborea (sul lato più a S).

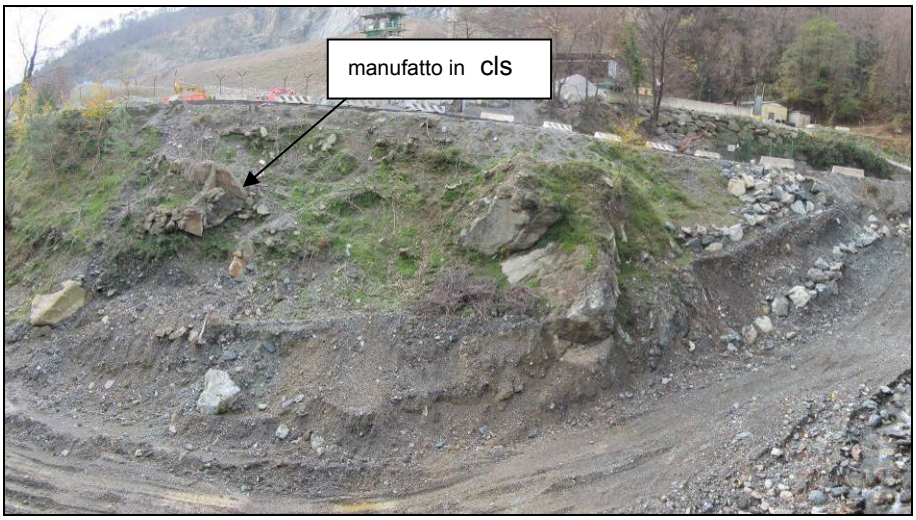


Foto 2 – Dissesto settentrionale visto di fronte (q.104÷117 m s.m.)



Foto 3 – Dissesto settentrionale visto da ESE (q.104÷117 m s.m.)



Foto 4 – Dissesto meridionale (q.102÷117 m s.m.)



Foto 5 – Manufatto in c.a. distrutto sul corpo frana del dissesto settentrionale (q.112 m s.m.)



Foto 6 – Contropendenza all'interno del corpo frana del dissesto settentrionale (q.114 m s.m.)

- Lungo l'alveo, a sud dei due dissesti descritti sopra, è stata rilevata la presenza di una scogliera in massi ciclopici di altezza pari a circa 5 m e di lunghezza pari a circa 50 m; la prima porzione di scogliera (circa 15-20 m) risulta essere lesionata da un dissesto sviluppatosi nei depositi sciolti superficiali che ne hanno causato il parziale ribaltamento (**Foto 7**); proseguendo verso sud la scogliera appare intatta e senza alcuna lesione strutturale che ne comprometta la funzionalità (**Foto 8**).

  Nella porzione più a sud della scogliera, è stato rilevato un dissesto a monte della stessa, che interessa i depositi sciolti presenti sul versante e che non ha causato lesioni all'opera (**Foto 9**).



Foto 7 – Porzione settentrionale della scogliera in massi ciclopici interessata da un dissesto (q.102 m s.m.)



Foto 8 – Porzione meridionale della scogliera in massi ciclopici (q.100÷101 m s.m.)



Foto 9 – Dissesto a monte della porzione meridionale della scogliera in massi ciclopici (q.100÷101 m s.m.)

- Proseguendo lungo il torrente Varenna è stata rilevata la presenza di una briglia in massi ciclopici (**Foto 10**) e di una scogliera di altezza pari a circa 2 m lungo la sponda destra dell'alveo (**Foto 11**); tutte le opere di regimazione idraulica osservate risultano in buono stato di conservazione e prive di lesioni strutturali.



Foto 10 – Briglia in massi ciclopici e cls nell'alveo del torrente Varenna (q.102 m s.m.)



Foto 11 – Scogliera in massi ciclopici a valle della briglia sulla sponda destra del torrente Varenna

- Sul versante destro dell'alveo, in corrispondenza della briglia in massi ciclopici, è stato rilevato un orlo di scarpata di frana di lunghezza pari a circa 35 m, ubicato sul margine del piazzale di cava (**Foto 12** e **Foto 13**). Il corpo di frana sottostante, interessato da solchi di erosione concentrata, è stato parzialmente stabilizzato mediante la posa di massi ciclopici nella sua porzione centrale trattenuti con una rete in aderenza (**Foto 14**).



Foto 12 – Porzione settentrionale dell'orlo di scarpata di frana sul versante destro del torrente Varenna (q.111 m s.m.)



Foto 13 – Porzione meridionale dell'orlo di scarpata di frana sul versante destro del torrente Varenna (q.110 m s.m.)



Foto 14 – Parziale sistemazione del corpo frana a ovest della briglia con massi ciclopici e rete in aderenza (q.102÷110 m s.m.)

- Lungo le sponde dell'alveo e lungo la strada di accesso all'area di cava sono stati osservati diversi affioramenti costituiti principalmente da serpentiniti (**Foto 15**) e subordinatamente da calcescisti (**Foto 16**). Gli affioramenti rilevati presentano tre famiglie di discontinuità con caratteristiche tali da poter classificare gli ammassi rocciosi di qualità variabile da media a buona.



Foto 15 – Affioramento di serpentiniti sul versante destro del torrente Varenna (q.100÷109 m s.m.)



Foto 16 – Affioramento di Calcescisti sull'argine sinistro del torrente Varenna (q.101÷103 m s.m.)

Tutto il ciglio del piazzale di cava e della pista risulta interessato da fenomeni di instabilità locale e l'intera area è soggetta ad erosione da parte del corso d'acqua. Le opere di difesa presenti (scogliere) hanno la funzione di protegger il versante sovrastante, costituito da depositi sciolti (per lo più riporto connesso con le attività di cava).

3.11 CAUSE DEL DISSESTO

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

Come cause predisponenti del dissesto si possono evidenziare la presenza di depositi sciolti poco addensati costituite da materiale di riporto; le cause innescanti dei dissesti rilevati sono imputabili all'azione erosiva del corso d'acqua in particolar modo in occasione di precipitazioni intense

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

La sezione geologica è stata realizzata lungo la traccia riportata in Allegato 4, codificata 034044-Sez. A, coincidente con la sezione di verifica.

I limiti fra le formazioni rocciose che caratterizzano il sottosuolo dell'area non sono certi, in quanto le indagini eseguite non permettono di determinarne l'esatta ubicazione; anche il contatto fra il substrato roccioso e depositi sciolti superficiali non sono certi in alcune zone della sezione (in particolare nella zona ovest della sezione e al di sotto della scarpata nella zona orientale del piazzale di cava), in quanto non interessate da indagini dirette o indirette.

I limiti riportati nella sezione geologica derivano dall'interpretazione delle prove geognostiche e geofisiche eseguite nell'area e proiettate lungo la traccia della sezione stessa, nonché dalle osservazioni effettuate in sito durante il sopralluogo.

Nelle stratigrafie dei sondaggi (si veda Allegato 7) i depositi sciolti superficiali sono classificati come materiale di riporto derivante dalle lavorazioni effettuate in cava; i depositi sciolti superficiali presenti sulla scarpata destra del torrente Varenna sono da attribuirsi in parte ai depositi di versante e in parte a depositi antropici derivanti dalle lavorazioni di cava (in particolare i blocchi di dimensioni metriche osservati durante il sopralluogo). Nella sezione geologica è stato scelto di classificare tutti i depositi sciolti superficiali come depositi misti (in parte di origine naturale, in parte di origine antropica).

La sezione geologica interpretativa è riportata in Allegato 5.

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

- sui dati geologici-geomorfologici descritti nel Capitolo 3;
- su quanto riportato nel documento relativo alla caratterizzazione geotecnica allegata al Progetto Definitivo (cfr. elaborato APE0001); in particolare, si è fatto riferimento alla caratterizzazione relativa alle formazioni di base, Serpentiniti (S) e Metabasiti (MB), e delle relative fasce di alterazione (rispettivamente S-Cap e MB-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.

Come già accennato precedentemente, il rilievo geomorfologico di dettaglio ha evidenziato la presenza di vari dissesti diffusi lungo tutta la scarpata del piazzale di cava, legati principalmente a movimenti della coltre detritica superficiale che presenta generalmente uno spessore massimo compreso fra circa 5 m nell'area del piazzale di cava e fra 8÷9 m circa nella zona di scarpata classificata come Pg4.

A monte della porzione sommitale dell'area indicata come soggetta a dissesto attivo nella cartografia del Piano di Bacino non sono stati osservati indicatori morfologici rappresentativi di movimenti in atto (quali rotture di pendio improvvise e continue o fratture di trazione), fatta eccezione per una netta contropendenza ubicata a monte di uno sperone roccioso nella porzione settentrionale della scarpata, la quale, comunque, sottende un volume roccioso limitato.

Vista la complessità geologica del substrato roccioso presente nell'area in esame, sia per le Back analysis che per le verifiche in condizioni di progetto si è scelto di considerare un substrato roccioso indifferenziato (nonchè un conseguente strato di alterazione del substrato roccioso indifferenziato) al quale, a favore di sicurezza, sono stati attribuiti i parametri di resistenza più scadenti tra quelli delle tre formazioni osservate nell'area (in questo caso i parametri dell'unità delle Serpentiniti).

Per quanto riguarda i depositi sciolti superficiali, come già accennato al §3.9, si è scelto di accorpare i depositi di versante e i depositi antropici in un'unica unità geotecnica, in quanto i parametri di resistenza al taglio di questi ultimi, riportati nel progetto di variante del piano di coltivazione, finalizzato alla sistemazione definitiva della cava Pian di Carlo e risalente all'anno 2001 (c'=0 kPa, ϕ'=28°), rientrano nell'intervallo dei valori caratteristici delle coltri di copertura superficiali (c'=0 kPa, ϕ'=26°÷30°).

In definitiva, le analisi di stabilità globale del versante sono state condotte assumendo la seguente sequenza stratigrafica:

- da p.c. a -5.0÷-9.0 m da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso (potenzialmente instabile): depositi misti di versante/antropici costituiti principalmente da ghiaie angolose in matrice sabbiosa e sabbie limose con clasti spigolosi con abbondanti blocchi rocciosi angolosi di dimensioni metriche presenti sulla scarpata, derivanti dall'attività estrattiva (unità C_{mista});
- da -5.0÷-9.0 m a -7.0÷-12.0 m da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione del substrato roccioso indifferenziato, aventi caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alle formazioni di base (Unità S_I-Cap);
- al di sotto di -7.0÷-12.0 m da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, ammasso roccioso indifferenziato (Unità S_I).

Oltre alle unità qui sopra riportate, nelle analisi è stata considerata la presenza all'interno dell'alveo dei depositi alluvionali del torrente Varenna, costituiti da ghiaia e sabbia con ciottoli in matrice sabbiosa e caratterizzati da uno spessore variabile sempre inferiore a 1.5 m (Unità Al).

Al fine di considerare l'effetto di incremento della resistenza al taglio dei depositi superficiali legato all'azione dei grossi blocchi metrici presenti al loro interno, nelle analisi eseguite è stata attribuita alle coltri superficiali una componente di resistenza di tipo coesivo pari a 5 kPa, sulla base di quanto riportato nell'articolo "Effect of the coarse fractions to the shear strength of colluvium" (T.Y. Ifran & K.Y. Tang, 1992, Geotechnical Engineering Office- Civil Engineering Department Hong Kong).

Le analisi sono state condotte secondo il modello riportato in **Figura 4-1**.

Nelle back analysis eseguite, il manufatto in c.a. ubicato a monte della scarpata su cui insiste il dissesto identificato dai documenti del Piano di Bacino è stato modellato come un sovraccarico permanente pari a 30 kPa distribuito su 4 m circa di lunghezza, i manufatti e i fabbricati presenti nella porzione occidentale del piazzale di cava non sono stati considerati in quanto il loro effetto è ininfluente per la problematica in esame.

La falda considerata nelle verifiche interessa solamente i depositi misti superficiali e i depositi alluvionali; all'interno dei depositi misti la falda è caratterizzata da una soggiacenza pari a circa due terzi del loro spessore, all'interno dei depositi alluvionali la falda è caratterizzata da una soggiacenza nulla.

Per determinare le caratteristiche di resistenza delle coltri di copertura dell'ammasso roccioso, sono state eseguite una serie di analisi a ritroso (back analysis), mediante un apposito codice di calcolo (GeoStudio 2007). È stato ricercato il valore dei parametri di resistenza residui in grado di determinare coefficienti di sicurezza pressoché unitari (Fs ≈ 1), ossia in condizioni di equilibrio limite.

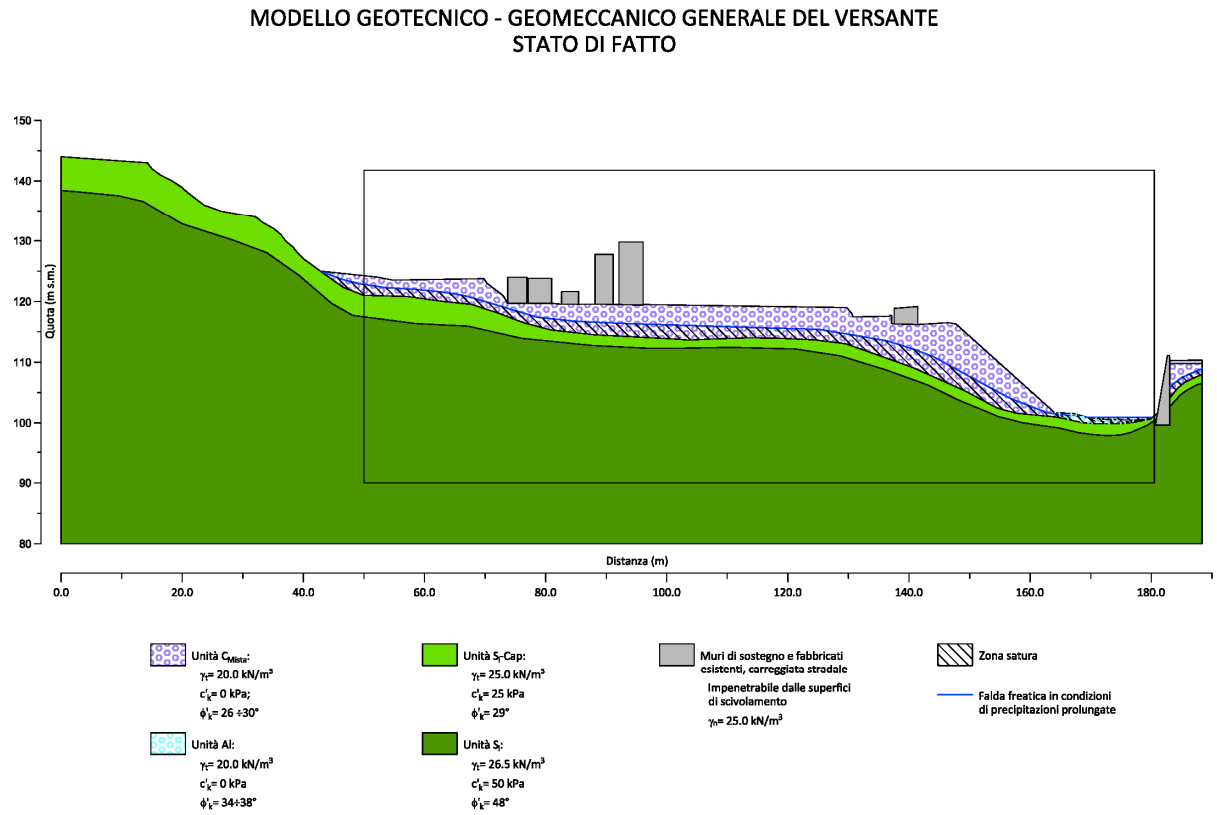


Figura 4-1 – Modello stato attuale

Il modello geotecnico utilizzato è stato costruito sulla base della cartografia esistente e delle evidenze geologiche e morfologiche rilevate in sito. La sezione geologica è stata determinata sul profilo altimetrico riportato in **Figura 4-3**, scelto nella parte centrale dell'area Pg4 all'incirca secondo la massima pendenza.

Considerato lo spessore dei depositi superficiali, la tipologia e l'ubicazione del dissesto desunte durante i rilievi geomorfologici di dettaglio effettuati, si è scelto di eseguire la back analysis nella porzione della sponda destra del torrente Varenna, caratterizzata dalla presenza di detriti con il maggior spessore, pari a circa 8÷9 m come evidenziato dai risultati delle indagini geofisiche riportate al §3.6 (riquadro in **Figura 4-1**).

La superficie di scivolamento critica individuata è localizzata interamente nello strato superficiale della coltre di copertura, parte dal margine orientale del piazzale di cava a q.116 m s.m. circa ed emerge alla base della scarpata fra q.101 m s.m. e q.102 m s.m.. I risultati in termini di caratteristiche di resistenza delle coltri superficiali e di fattore di sicurezza sono indicati nella **Figura 4-2** e in **Tabella 4-1**; il fattore di sicurezza calcolato al termine della Back Analysis è pari a FS=1.013.

BACK ANALYSIS - STATO DI FATTO

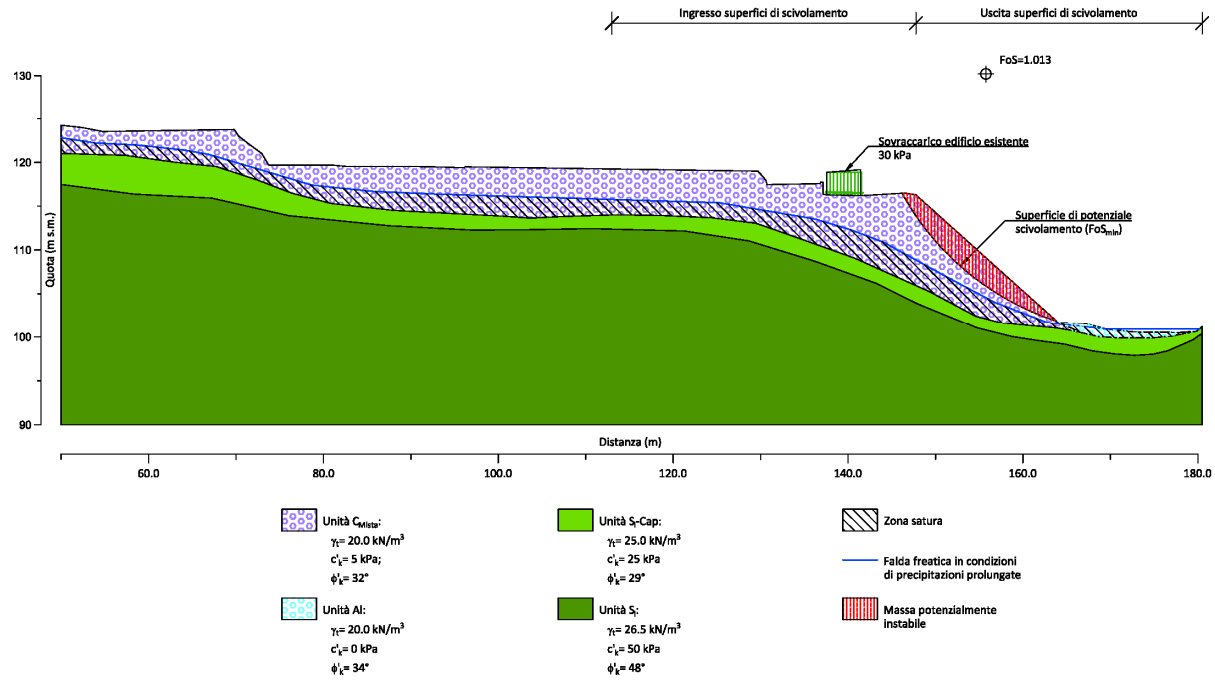


Figura 4-2 – Risultati back analysis stato di fatto

Parametri del detrito misto superficiale (Unità C_{mista}) ottenute tramite back analysis	
γ_t (kN/m^3)	20
c' (kPa)	5
φ' (°)	32.0
FS	1.013

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

La back analysis eseguita mostra che i parametri di resistenza al taglio residui ottenuti per depositi superficiali sono leggermente superiori a quelli caratteristici indicati nella relazione geotecnica generale (cfr. Ape001).

ϕ'_{res} (angolo di resistenza al taglio residuo derivante da back analysis) = 32°

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

c'_{res} (coesione efficace residua derivante da back analysis): =5 kPa

c'_K (coesione efficace caratteristica da caratterizzazione geotecnica) 0 kPa

I valori di resistenza al taglio ottenuti tramite back analysis rappresentano i valori minimi in condizioni di equilibrio limite. I parametri caratteristici (vedi relazione di caratterizzazione geotecnica, Cfr. APE001) sono quelli ottenuti da apposite prove in sito e in laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi effettuati nell'intera area di intervento.

Ai fini della valutazione della pericolosità geologica/geotecnica dell'area di influenza considerata da questo documento si sono utilizzati per i depositi superficiali i valori di resistenza residui ricavati dalla back analysis; per quanto riguarda l'ammasso roccioso profondo e la sua porzione superficiale, maggiormente alterata e fratturata (Cappellaccio), sono stati utilizzati i parametri caratteristici relativi alle serpentiniti e al loro cappellaccio di alterazione (parametri di resistenza più scadenti fra le tre unità presenti nell'area), indicati nella relazione geotecnica (Cfr. APE001), riportati sinteticamente in **Tabella 4-2**

Parametri geotecnici caratteristici	Substrato roccioso indifferenziato (*) (Unita S_I)	Cappellaccio di alterazione del Substrato roccioso indifferenziato (**) (Unità S_I-Cap)	Depositi Alluvionali (Unità Al)
γ_t (kN/m^3)	26.5	25.0	20.0
c'_K (kPa)	50.0	25.0	0.0
ϕ'_K (°)	48.0	29.0	34
(*) Parametri di resistenza delle Serpentiniti (Unità S); (**) Parametri di resistenza del cappellaccio di alterazione delle Serpentiniti (Unità S-Cap).			

Tabella 4-2 - Parametri di resistenza caratteristici delle unità geotecniche

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Come già anticipato, a monte dell'area interessata dal dissesto 034044, verrà realizzata la rampa di servizio che permette l'accesso alla spalla ovest del viadotto e all'adiacente area di emergenza (cfr. **Figura 4-3**).

Le opere consistono nella realizzazione sul margine esterno dell'attuale piano di cava di una strada di servizio che passerà sotto il viadotto Varenna per raggiungere l'area di emergenza in corrispondenza degli imbocchi lato Savona delle gallerie Amandola ovest ed est. Verrà inoltre realizzata un'elisuperficie a nord della carreggiata ovest dell'autostrada, che sarà collegata alla rampa di servizio principale per mezzo di una seconda pista.

A valle della rampa di servizio principale è prevista la realizzazione lungo la sponda destra del torrente Varenna di una scogliera in massi ciclopici, intasata con malta di calcestruzzo,

su fondazione profonda realizzata mediante micropali e da due ordini di terre rinforzate a monte della scogliera stessa, fino al raggiungimento della quota dell'attuale piazzale di cava (**Figura 4-4**). La fondazione profonda della scogliera in massi ciclopici realizzata tramite micropali è prevista unicamente nelle aree in cui la base della scogliera stessa sia intestata all'interno dell'ammasso roccioso per una profondità inferiore a 1.0 m o nelle aree in cui la base della scogliera sia in materiale sciolto.

Precedentemente alla realizzazione delle opere di sostegno descritte è previsto il disgaggio dei blocchi rocciosi instabili osservati nel corso dei rilievi geomorfologici di dettaglio (cfr. 3.7), presenti sulla sponda destra del torrente Varenna.

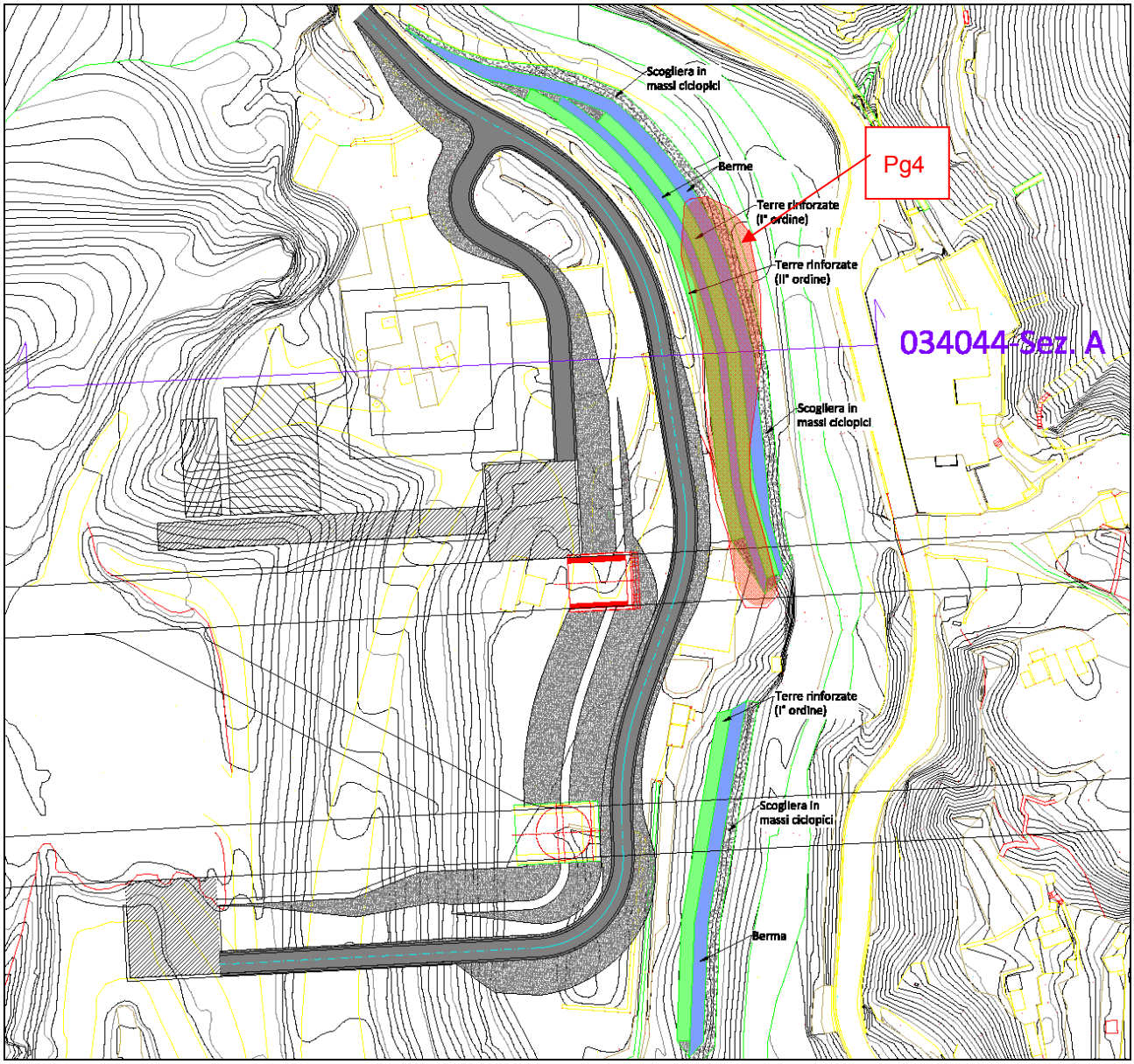


Figura 4-3 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata - Pg4

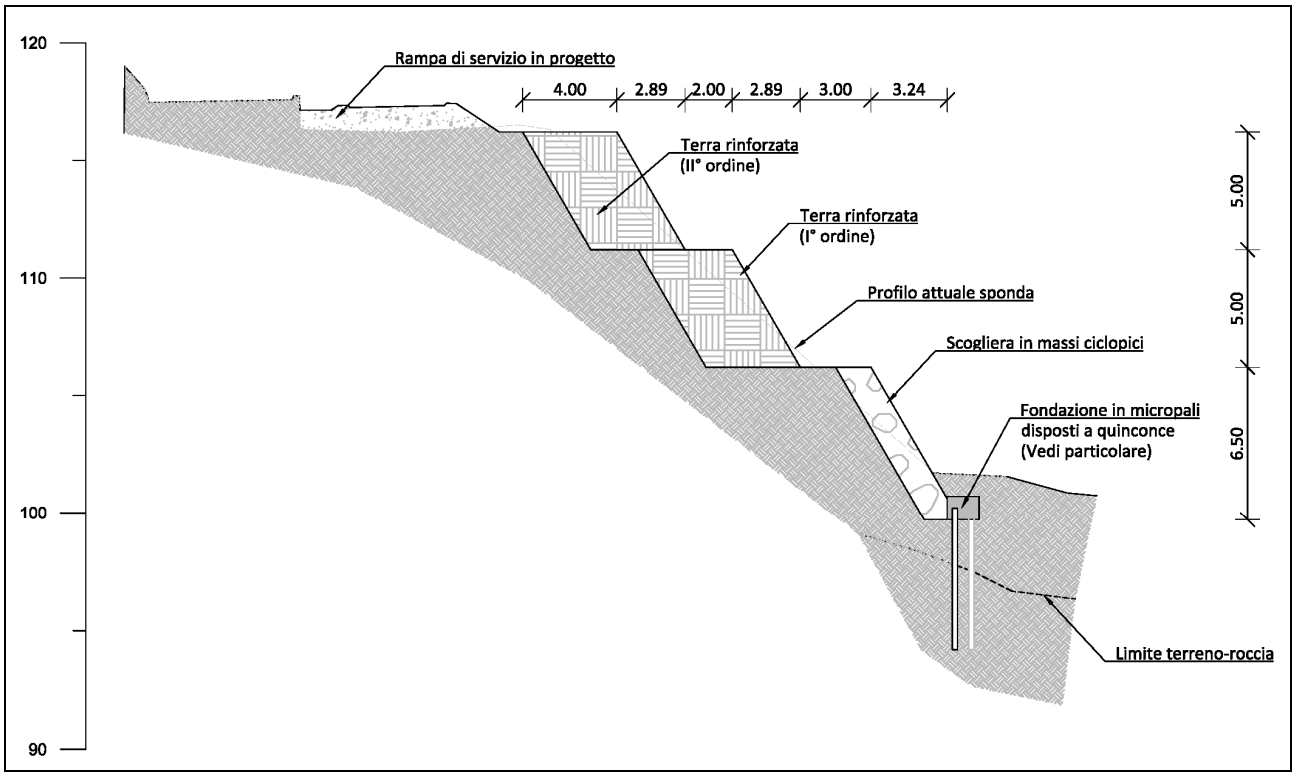


Figura 4-4 – Sezione tipo delle opere di sostegno della sponda

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

Per il dimensionamento delle opere previste (cfr. 4.2) è stata presa in considerazione la sezione utilizzata per la back analysis, ubicata nella parte centrale dell'area di frana Pg4 nella zona di massima pendenza. Nella sezione di verifica sono state inserite le nuove opere necessarie per la realizzazione della rampa di servizio principale (scogliera in massi ciclopici con fondazione profonda in micropali e terre rinforzate). Per il dimensionamento e la verifica delle stesse si rimanda alla relazione di calcolo specifica.

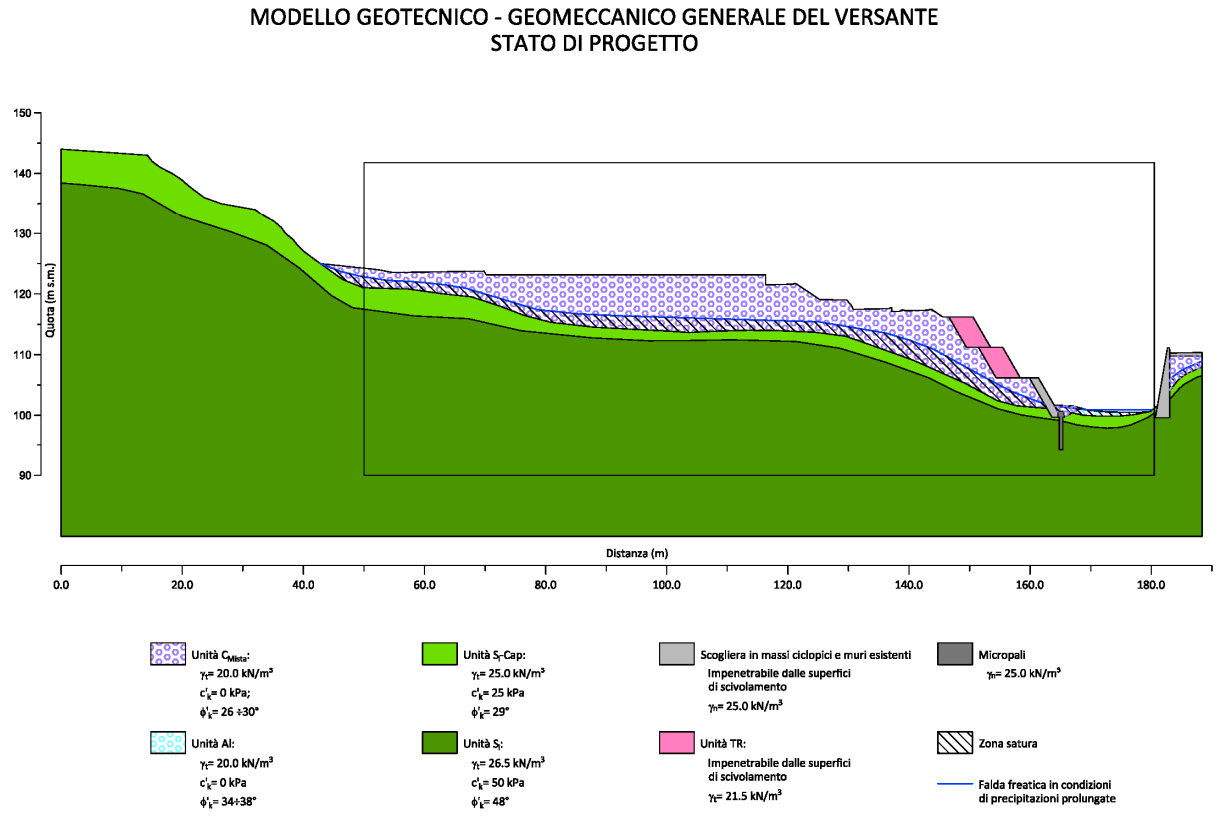


Figura 4-5 – Modello stato di progetto

Come evidenziato dal modello geotecnico/geomeccanico (**Figura 4-5**), le potenziali interazioni fra i processi di dinamica geomorfologica descritti al §3 e le opere in progetto sono estremamente localizzati, pertanto le analisi di stabilità globale sono state sviluppate in corrispondenza dell'area delimitata dal riquadro riportato in **Figura 4-5** in corrispondenza della sponda destra del torrente Varenna, che rappresenta la situazione di maggior criticità ai fini delle condizioni di stabilità.

E' stato adottato il noto approccio all'equilibrio limite, secondo il metodo di Morgenstern e Price (1965), basato su una procedura di risoluzione iterativa che consente di soddisfare sia l'equilibrio alla rotazione che quello alla traslazione orizzontale, tenendo conto sia delle

forze normali che delle forze di taglio trasmesse tra i conci in cui il pendio viene discretizzato.

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

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

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

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

$$E_d \leq R_d$$

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

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

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

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

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

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

L'analisi di stabilità globale all'equilibrio limite viene eseguita calcolando il coefficiente riduttivo della resistenza del sistema geotecnico ($\gamma_{R_CALC} = R/E_d$) 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 sia in condizioni statiche (SLU) sia in condizioni sismiche (SLV).

L'analisi di stabilità è stata svolta con i parametri di progetto del substrato roccioso indifferenziato (Unità S_I), della relative fascia di alterazione sommitale (S_I-Cap) e dei depositi alluvionali grossolani del torrente Varenna (Unità Al), desunti dai parametri caratteristici e ridotti mediante i coefficienti parziali M2.

Per le coltri superficiali miste (Unità C_{mista}) sono invece stati impiegati come parametri di progetto i parametri residui derivati dalla back analysis, ai quali viene applicato un coefficiente riduttivo unitario, in accordo con le indicazioni e i suggerimenti dell'Eurocodice 7 e del documento "Designers Guide to EN1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – General Rules".

In **Tabella 4-3** sono sinteticamente riportati i parametri di progetto utilizzati per le analisi.

Unità geotecnica/Geomeccanica	γ_t (kN/m³)	ϕ'_{d_M2} (°)	c'_{d_M2} (kPa)
C_{Mista}	20.0	32.0	5.0
S_I-Cap	25.0	23.9	20.0
S_I	26.5	41.6	40.0
Al	20.0	28.4	0.0

Tabella 4-3 - Parametri di resistenza di progetto utilizzati per l'analisi

La ricerca delle potenziali superfici di scorrimento viene effettuata imponendo un'elevata resistenza delle opere in progetto, quindi escludendo le superfici che interessano le opere di sostegno, le cui condizioni di stabilità vengono trattate nella relazione di calcolo specifica.

I sovraccarichi variabili stradali e quello legato all'atterraggio di un elicottero al centro dell'elisuperficie (pari a 20 kPa distribuiti lungo una fascia di lunghezza pari a 3.0 m), nonché i sovraccarichi variabili di progetto presenti sull'elisuperficie (pari a 0.5 kPa distribuiti su una fascia di 17 m) sono stati considerati esclusivamente dove la loro presenza comporta un peggioramento delle condizioni di stabilità globale; e sono stati amplificati del coefficiente parziale A2; nelle analisi i sovraccarichi non vengono applicati quando il loro effetto ha carattere stabilizzante.

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

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

- k_H = 0.027 g
- k_V = ± 0.0135 g
-

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

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo

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

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

Tabella 4-4 - Coefficiente βs

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

Per il sito in oggetto risulta:

a_g = 0.084 g

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ = 1.6 · 1.0 · 0.084 = 0.134 g

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

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

Da **Figura 4-6** a **Figura 4-8** sono riportati i risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche e in condizioni sismiche dello stato di progetto, in **Tabella 4-5** sono sinteticamente riassunti i coefficienti γ_{R2_calc} ottenuti dalle analisi svolte.

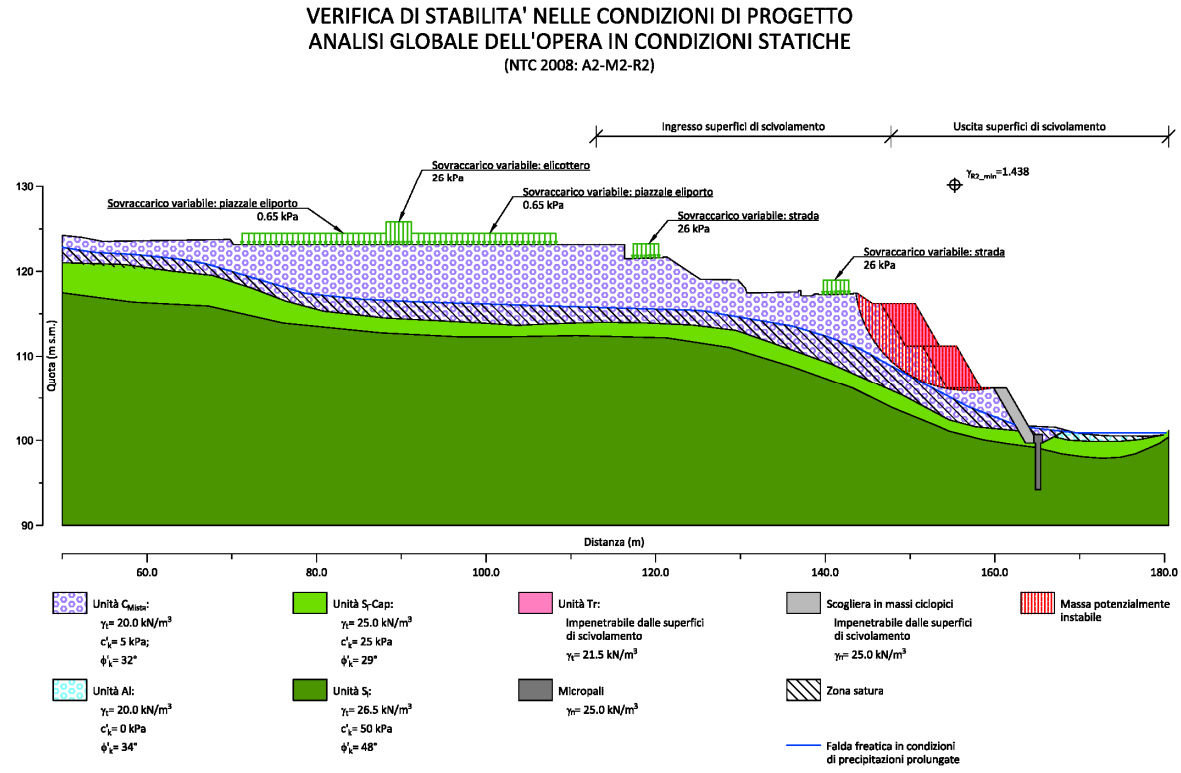


Figura 4-6 – Porzione superiore del versante – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni statiche

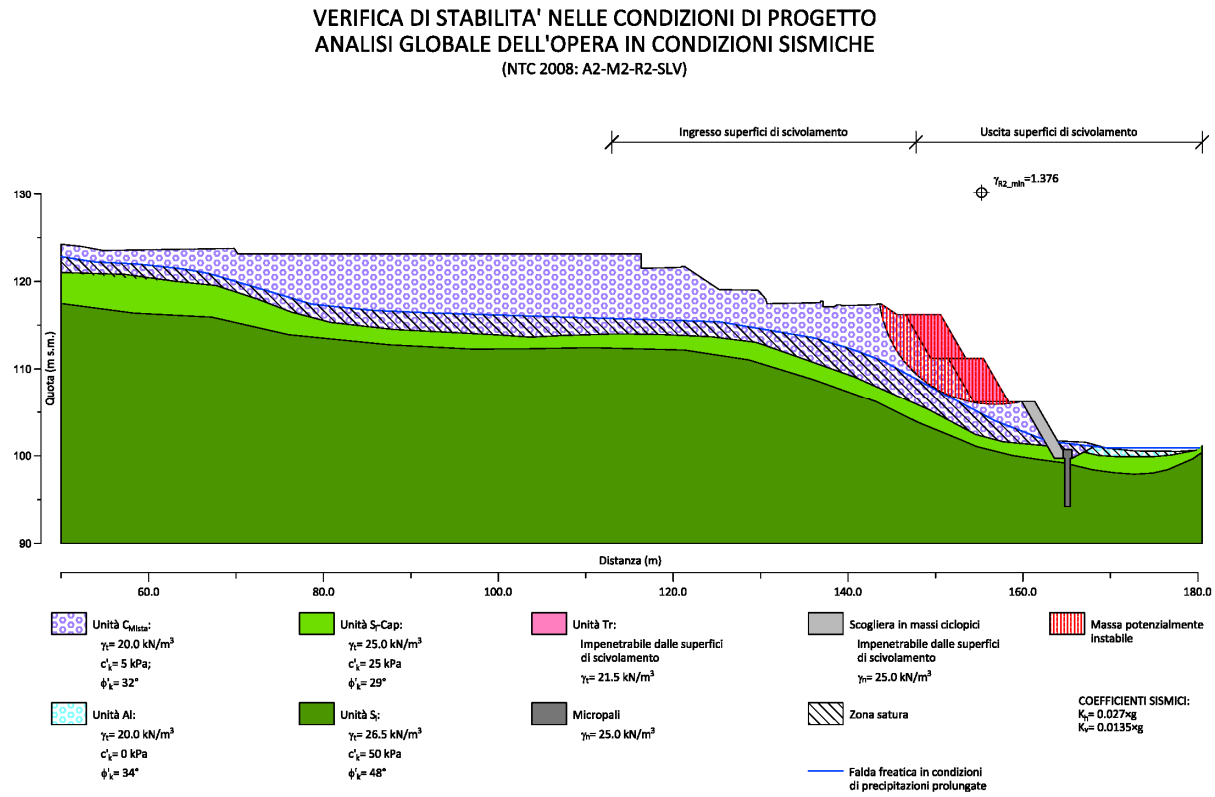


Figura 4-7 –Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni sismiche (Kv con segno positivo)

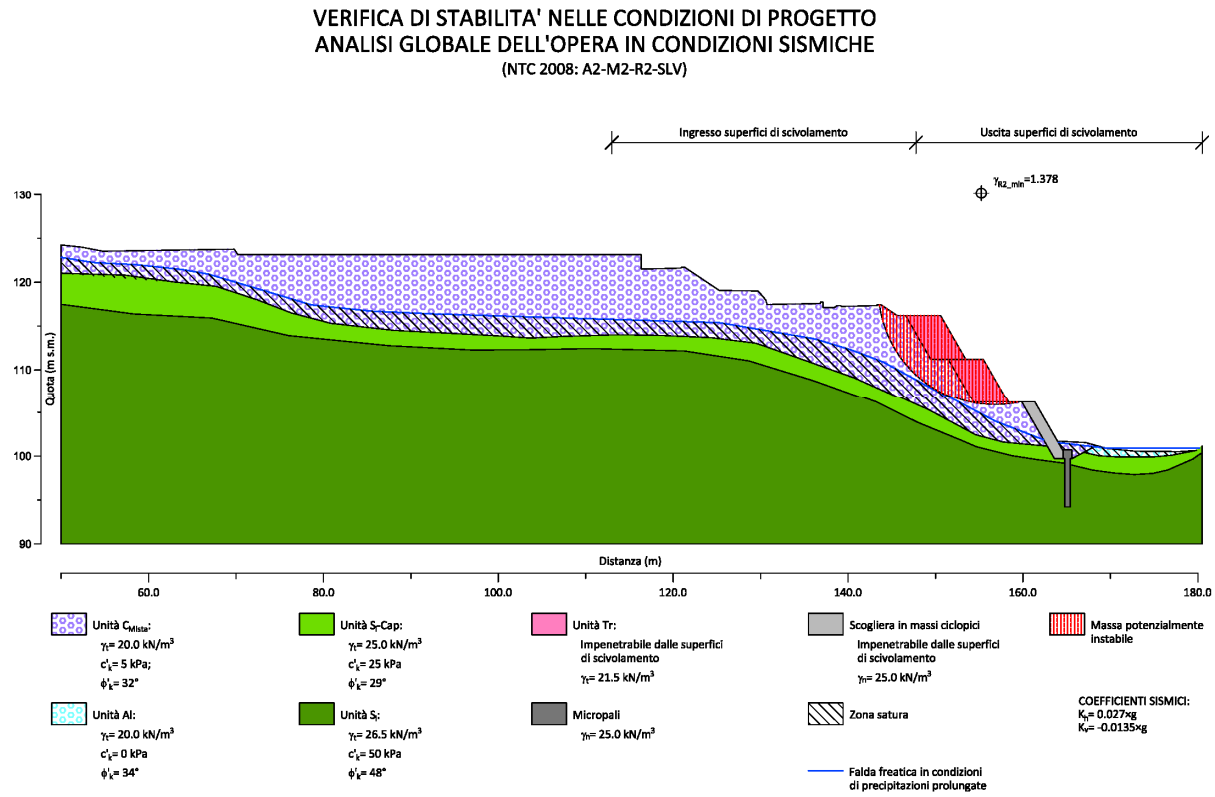


Figura 4-8 – Stato di progetto - Analisi di stabilità in condizioni sismiche (Kv con segno negativo)

Analisi di stabilità	Coefficiente γ_{R2_Calc}
Stato di progetto – Condizioni statiche	1.438
Stato di progetto – Condizioni sismiche (Kv positivo)	1.376
Stato di progetto – Condizioni sismiche (Kv negativo)	1.378

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

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

$$\gamma_{R2_Calc} < \gamma_{R2,} \qquad \text{dove} \quad \gamma_{R2}=1.1$$

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

4.4 QUADRO DI SISTESI

Nel seguito vengono riassunti i risultati delle analisi eseguite.

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

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

ANALISI ESEGUITE	**FS min**	
	statico	**sismico**
Analisi **ante-operam**	1.013	--
Analisi **post-operam**	1.438	1.376

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. 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.

6. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO

Per quanto concerne le opere di sostegno poste a valle della rampa di servizio principale e la rampa stessa, sarà previsto un monitoraggio topografico, con il posizionamento di mire per la misura degli spostamenti in testa, sia durante durante le fasi realizzative sia al termine delle opere stesse.

6.1 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 6-1 – 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.

7. CONCLUSIONI

Lungo il versante oggetto di studio si rileva la presenza di franosità diffusa connessa con l'azione erosiva del corso d'acqua in corrispondenza della sponda destra del torrente Varenna, che interessa essenzialmente la coltre superficiale caratterizzata in questa zona da spessori nell'ordine di 9 m circa.

Gli interventi da realizzarsi durante la fase esecutiva del progetto mirano a stabilizzare depositi superficiali ed a evitare l'insorgere di eventi franosi che possano interferire con la rampa di servizio.

Nella configurazione finale del progetto, la frana 034044 potrà essere considerata stabilizzata sulla base delle seguenti motivazioni:

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

- la limitazione degli scavi e l'utilizzo di opere di sostegno ha permesso di prevenire i fenomeni di arretramento e/o espansione delle aree di dissesto contenendo le deformazioni indotte, al fine di evitare il degrado delle caratteristiche meccaniche di resistenza delle coltri potenzialmente instabili;

- il 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 febbraio 2016)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata febbraio 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