autostrade per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

STUDIO SUSCETTIVITA' AL DISSESTO
SCHEDE DISSESTI PG4–PG3

DA CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO
PIANO DI BACINO – AMBITI 12 E 13
FRANA ARZ054

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	6	0	–	2	SCALA: –

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

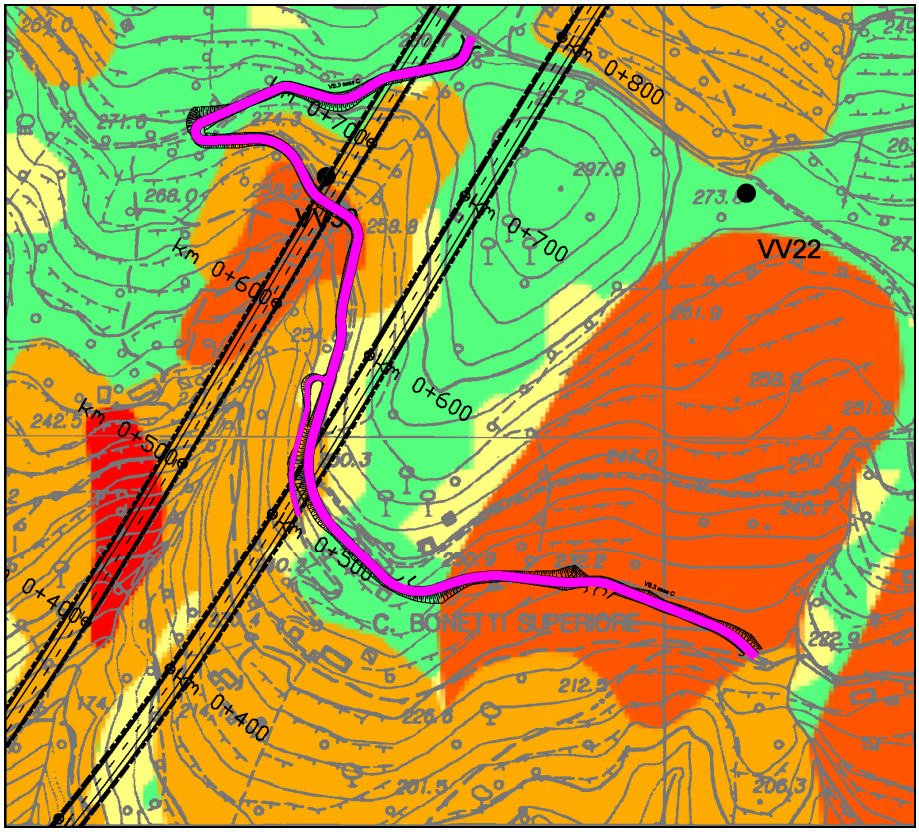
	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

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

SCHEDA FRANA ARZ 054 (PG3A)

OPERA INTERFERENTE: VIABILITÀ DI SERVIZIO VS.03

ASSE C



INDICE

1. PREMESSA 4

2. METODOLOGIA DI LAVORO 7

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 10

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI 10

3.2 CARTOGRAFIA 10

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO 10

3.4 Aree Interferenti 10

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a 10

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino 12

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

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 13

3.9 INDAGINI ESEGUITE 15

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 16

3.11 CAUSE DEL DISSESTO 27

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 28

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 29

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 29

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 30

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 31

4.4 QUADRO DI SISTESI 38

5. IDRAULICA 40

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE 40

6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI 41

7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 42

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 42

8. 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 marzo 2016)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata marzo 2016)
- *Allegato n.4* - Carta geomorfologica di dettaglio, indagini integrative e punti di ripresa fotografici
- *Allegato n.5* - Sezione geologica
- *Allegato n.6* - Scheda di sintesi
- *Allegato n.7* - Stratigrafia sondaggi
- *Allegato n.8* - Prove di laboratorio
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità

1. PREMESSA

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

I riferimenti normativi sono pertanto:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- *GEO0001: Relazione geologica e idrogeologica generale*

- *GEO0002: Carta geologica – Tavola 1*
- *GEO0020: Carta geomorfologica – Tavola 1*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *IDR1207: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri-Viabilità di accesso Cantiere piazzale gallerie Borgonuovo-Bric del Carmo – Sistema di drenaggio piattaforma – Planimetria idraulica*
- *IDR1208: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri-Viabilità di accesso Cantiere piazzale gallerie Borgonuovo-Bric del Carmo – TB33-34-Tombini idraulici – Sistemazione idraulica definitiva – Planimetria e profili*
- *IDR1209: Cantierizzazione e fasi costruttive viabilità di servizio – VS.03 – Viabilità di servizio Voltri-Viabilità di accesso Cantiere piazzale gallerie Borgonuovo-Bric del Carmo – TB35-36-Tombini idraulici – Sistemazione idraulica in fase di cantiere – Planimetria e profili*
- *STD1011: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Planimetria di insieme VS03 - VS04 - VS05 - VS06*
- *STD1013: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Planimetria progetto, stato di fatto, tracciamento e sezioni tipo Asse C - tav 2/2*
- *STD1015: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Profilo longitudinale Asse C - tav 2/2*
- *STD1016: Cantierizzazione e fasi costruttive – Viabilità di servizio – Viabilità di servizio Voltri - Sezioni trasversali*

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

- *GEN0161 "Schede dissesti Pg4 e Pg3a - Frana ARZ054 (Pg3a) - Opere interferenti: Planimetria e sezione"*, che riporta i dettagli progettuali relativi agli scavi, alle sistemazioni idrauliche, alle opere relative alla viabilità, nonchè le opere di ingegneria naturalistica previste in progetto;

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata ARZ 054, che risulta interferente, nella porzione inferiore, con la della strada di servizio VS.03 asse c.

2. METODOLOGIA DI LAVORO

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

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

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

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

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

- carta geologica (GEO0002 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 2);
- profili geologici in asse ai tracciati delle opere principali;
- carta geomorfologica (GEO0020 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 3);
- carta dei vincoli (cfr. stralcio riportato nell'Allegato 1);
- carta di ubicazione delle indagini (cfr. stralcio riportato in allegato);
- carta geomorfologica specifica per le aree in frana a scala 1:1.000 (cfr. l'Allegato 4).

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

Le attività propedeutiche effettuate sono:

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

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

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

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

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

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

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

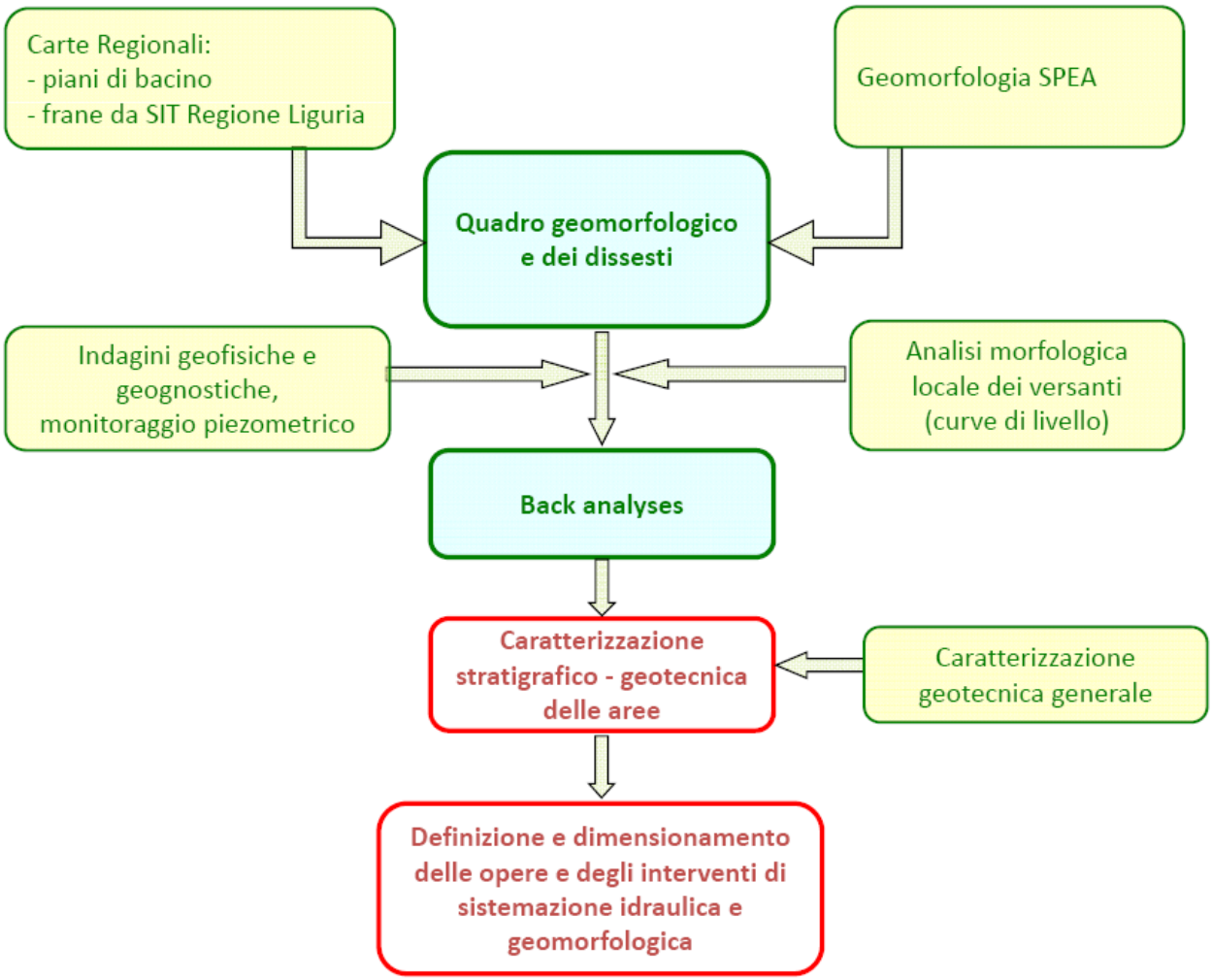


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: VOLTRI - BORGONUOVO

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: AMBITI 12 e 13

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

3.2 CARTOGRAFIA

CTR 1:10.000: 213130

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO

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

3.4 Aree Interferenti

L'oggetto della presente scheda è l'interferenza tra il dissesto Pg3a ,codificato nella documentazione del Piano di Bacino come ARZ 054, e la strada di sevizio VS.03 asse C, progettata per migliorare la viabilità locale nell'area di Borgonuovo, tramite l'adeguamento e la riqualificazione della pista forestale esistente.

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a

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

a) Tipologia di frana:

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

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

b) Stati di attività:

	Attiva
X	Quiescente
	Stabilizzata

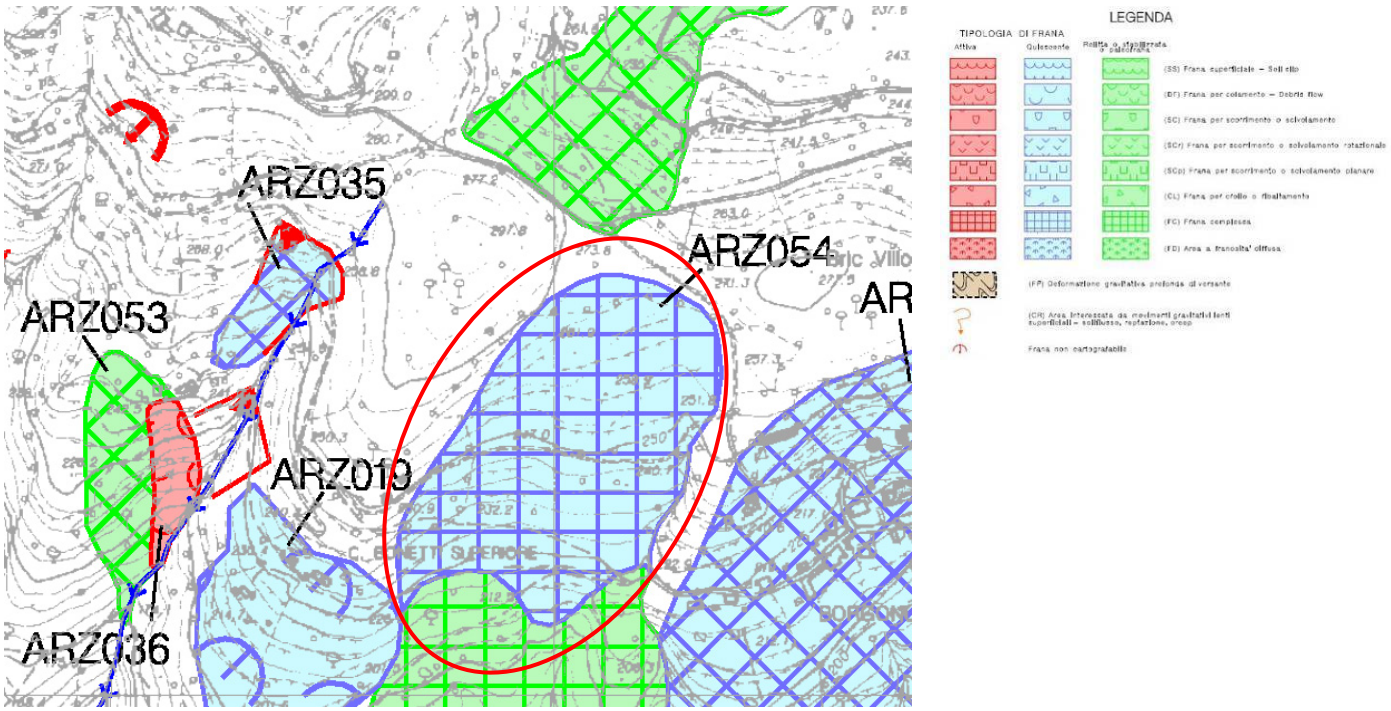


Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino

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

Sono invece prescritti alcuni accorgimenti relativi all'area in frana quiescente collocata tra la S.S. Aurelia e il crinale Bric Villon-Bric Campenave.

Il piano di Bacino prevede in questa area interventi di versante e lungo il reticolo idrografico tra loro raccordati e integrati, che risolvano le singole situazioni di rischio presenti sul territorio (A3-GM6). La progettazione dei vari interventi di mitigazione del rischio deve essere preceduta da una fase preliminare di monitoraggio strumentale necessaria per la definizione delle principali caratteristiche del dissesto.

In **Figura 3-2** è riportata l'area interessata dagli interventi previsti dal Piano di Bacino.

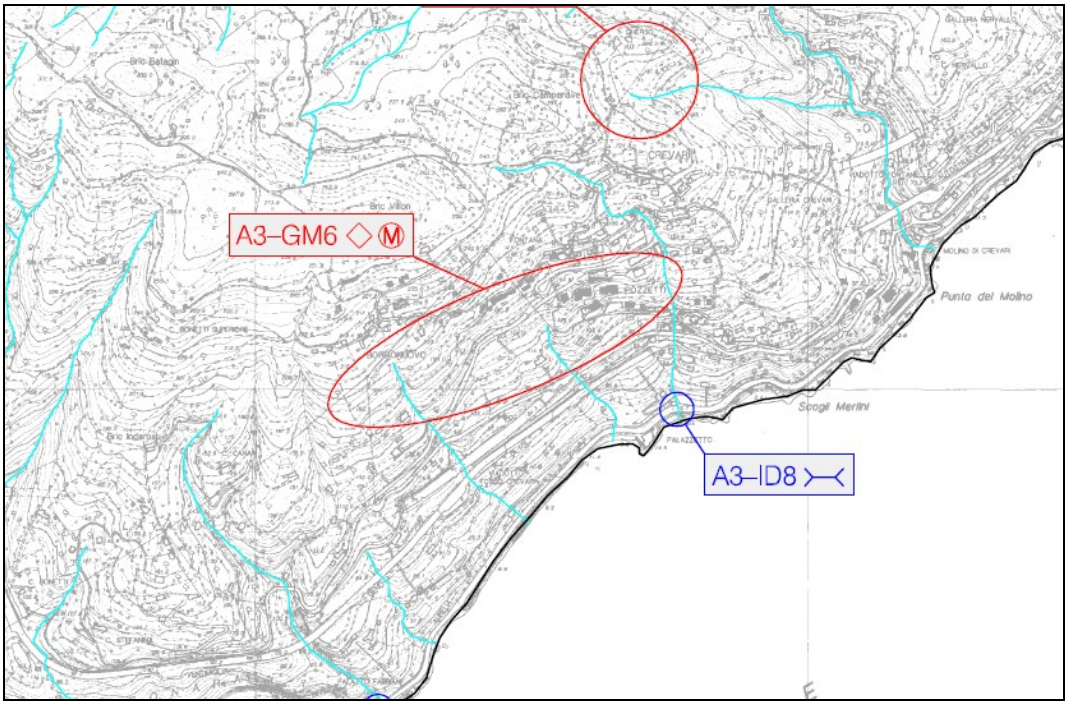


Figura 3-2 - Stralcio Carta degli interventi da Piano di Bacino

3.7 DISSESTI SEGNALATI DALL'INVENTARIO FENOMENI FRANOSI D'ITALIA

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

La cartografia IFFI (**Figura 3-3**) identifica sul versante un dissesto attivo coincidente con ARZ 054 avente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100219201

- Tipo di movimento: Complesso
- Attività: Quiescente
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Vengono inoltre segnalate altre tre aree di dissesto lungo il medesimo versante, classificate rispettivamente come un'area soggetta a frane superficiali diffuse quiescente (2 nella figura seguente) e due movimenti complessi quiescenti (rispettivamente 3 e 4).

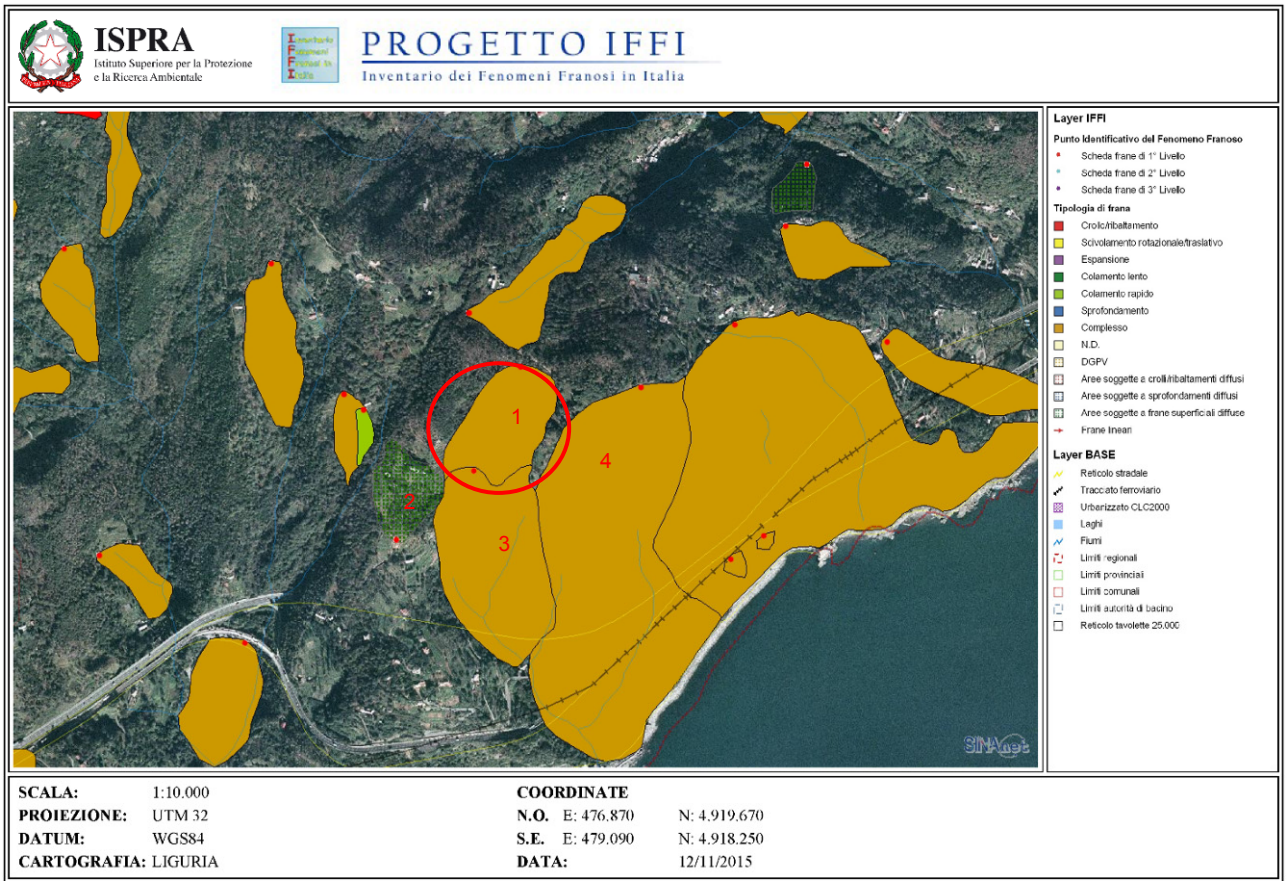


Figura 3-3 –– Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg3a si imposta nell'Unità Tettonometamorfica Palmaro Caffarella e Voltri, qui rappresentate prevalentemente da Micascisti, ascrivibili all'unità dei Calcescisti s.l. (Allegato 2).

Calcescisti s.l. (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 SE con inclinazioni prossime alla verticale.

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

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.

Nell'intorno dell'area in esame sono inoltre presenti lenti serpentinitiche, rinvenute nel sottosuolo nel corso delle indagini svolte per il progetto definitivo 2011 (§3.6).

Serpentiniti (S)

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

In affioramento si presentano con caratteristiche tessiturali e strutturali estremamente variabili in risposta alla deformazione subita. 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 nella zona in esame formano lenti ettometriche trasposte, parallelizzate alla foliazione regionale.

I *depositi superficiali,* con spessore compreso fra 5 m e 15 m circa, sono rappresentati essenzialmente da depositi di versante e da depositi eluvio/colluviali.

Da un punto di vista geomorfologico, l'area di interesse si sviluppa fra le località Borgonuovo e C. Bonetti Superiore lungo il versante idrografico sinistro del Rio Vesima, fra q. 210 m s.m. e q. 295 m s.m. circa. Il versante, esposto a sud, si presenta con acclività medio bassa nella parte sommitale, terrazzato e localmente interessato da vegetazione ad alto fusto ed arbustiva (Allegato 3).

3.9 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in esame è stato realizzato, per il Progetto Definitivo 2011, un sondaggio a carotaggio (VV22) sul crinale, ubicato circa 125 m a ESE dell'asse della Galleria Borgonuovo Est. Tale perforazione è stata eseguita circa 20 m a monte dell'area identificata come Pg3a e risulta quindi molto utile per definire gli spessori di coltre detritica, substrato alterato e substrato non alterato caratteristici del versante in esame.

Dalla stratigrafia del sondaggio VV22 il substrato lapideo alterato (in questa zona rappresentato da micascisti e calcescisti), è stato rinvenuto a circa -15 m dal p.c., al di sotto della copertura detritica ed alla regolite.

Il substrato roccioso è costituito da micascisti da mediamente a molto fratturati sino a -38 m da p.c., passanti a calcescisti con intercalate, nella zona più profonda del foro, lenti serpentinitiche con spessori nell'ordine dei 30÷35 m. La soggiacenza dell'acqua - misurata a novembre 2011 - risultava essere -37.00 m da p.c..

Per i certificati delle indagini eseguite, sia di sito che di laboratorio, si rimanda agli allegati 6 e 7 del presente documento.

Durante il sopralluogo del 18/11/15 sono state rinvenute le casse di un sondaggio realizzato in corrispondenza della nuova viabilità nella parte bassa dell'area di dissesto (sondaggio S1). Il sondaggio, indica la presenza di depositi sciolti superficiali e dello strato di alterazione del substrato roccioso (in questa zona rappresentato da micascisti) sino a circa -8.5 m da p.c.. Da questa profondità sino a -30 m da p.c. (profondità di fine sondaggio) sono presenti micascisti da poca a mediamente fratturati con locali fasce di alterazione di spessore massimo pari a 0.5 m.

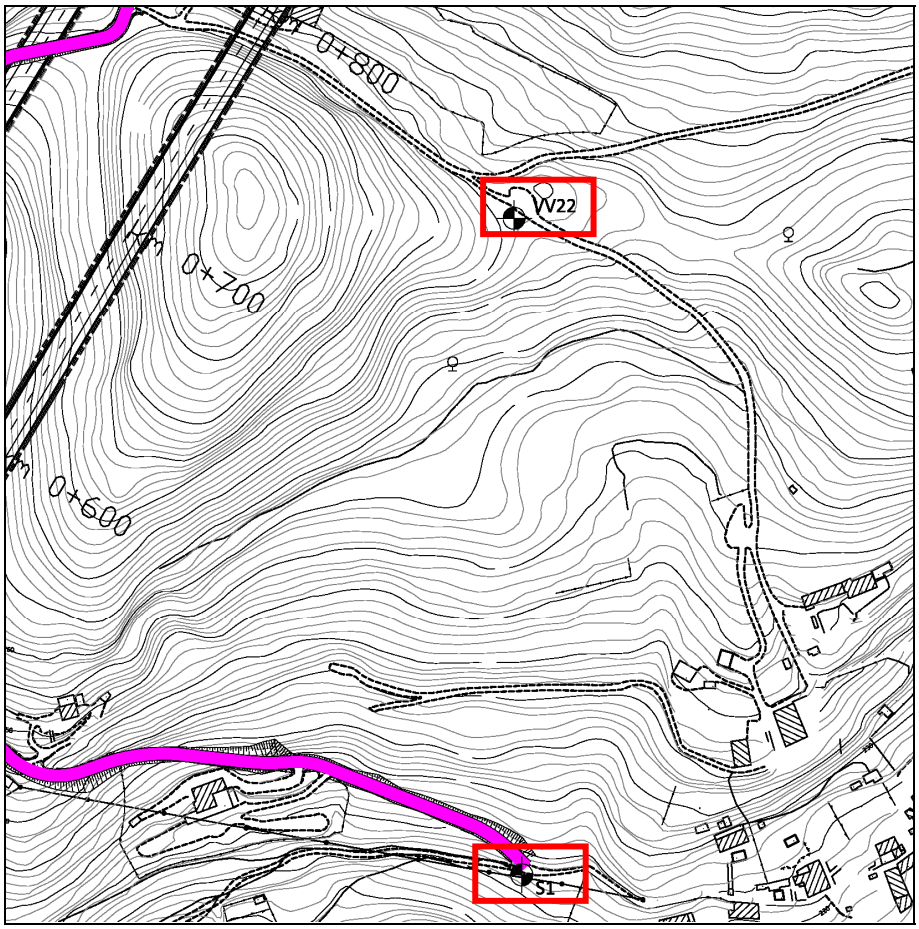


Figura 3-4 - Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 18/11/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante, procedendo dalla porzione inferiore dell'area di studio, attualmente interessata da lavori di riadeguamento della pista forestale esistente, fino alla porzione sommitale della zona classificata dai documenti del Piano di Bacino come Pg3a e nel suo intorno significativo, al fine di affinare e integrare le conoscenze rispetto agli elementi geologici e geomorfologici in affioramento.

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.

Il rilievo è stato restituito su apposita cartografia tematica in scala 1:1000 (Allegato 4).

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 classificata come Pg3a si colloca sul versante sud-occidentale di Bric Villon, tra la sella posta sul crinale e la strada in costruzione che collegherà Borgonuovo all'abitato di Lavandaro. Il pendio in esame è caratterizzato da terrazzi antropici a

scopo agricolo, localmente abbandonati e invasi da fitta vegetazione arborea e arbustiva.

- Osservando l'areale di studio (**Foto 1**), l'area si presenta con una zona sommitale subpianeggiante limitata lateralmente da due alture di cui quella posta più ad ovest, senza nome, è terrazzata; una parte centrale ad acclività media terrazzata, con vegetazione ed un torrente sul lato est; la parte di piede è interessata dalla nuova viabilità e da interventi di ingegneria naturalistica. Dalle immagini non è possibile individuare l'area Pg3a perimetrata sulla cartografia del Piano di Bacino, non risultano né cambi di vegetazione né variazioni di pendenza.



Foto 1 - Panoramica dell'area

- Percorrendo la pista forestale che attraversa la porzione inferiore dell'area classificata come Pg3a (tale pista costituisce di fatto la VS3c) sono state rilevate scarpate di origine antropica continue, caratterizzate da un buono stato di conservazione (**Foto 2**); i muretti a secco presenti lungo il taglio della pista non presentano alcuna lesione o deformazione ascrivibile a movimenti franosi antichi o in atto (**Foto 3**).

- La strada in costruzione che collega gli abitati di Borgonuovo e Lavandaro, attualmente interessata da lavori di adeguamento, è caratterizzata dalla presenza di opere di sostegno di ingegneria naturalistica (palizzate in legname e terre rinforzate di altezza fino a circa 2.5 m), sia a monte sia a valle della sede stradale, e opere di regimazione idraulica dei torrenti presenti nell'area (**Foto 4**, **Foto 5**, **Foto 6** e **Foto 7**). Lungo la strada è stato rilevato un affioramento di micascisti mediamente fratturato, con giacitura della scistosità concorde all'assetto strutturale generale della zona (**Foto 8**).



Foto 2 – Palificata con terrazzamenti della parte inferiore del versante (q.217÷230 m s.m.)



Foto 3 – Muretti a secco sulla pista forestale nella porzione inferiore dell'area Pg3a (q.239 m s.m.)



Foto 4 – Opera di sostegno in legname (q. 225 m s.m.).



Foto 5 - Opera di sostegno in legname (q. 217 m s.m.)



Foto 6 – Opera di regimazione idraulica a valle della pista forestale riqualificata (q. 223 m s.m.)



Foto 7 - Opera di regimazione idraulica a valle della pista forestale riqualificata (q. 221 m s.m.); si nota il terrazzamento del versante a valle



Foto 8 – Affioramento di micascisti lungo il taglio stradale (q.221 m s.m.)

- Risalendo lungo il corpo del dissesto sono stati rilevati diversi ordini di terrazzi realizzati con muretti a secco, in parte abbandonati, costituiti da scarpate antropiche di altezza compresa fra 1 m e 3 m circa, in buono stato di conservazione. Le scarpate antropiche osservate nella porzione medio inferiore dell'area Pg3a non mostrano evidenze di movimenti in atto (alberi uncinati o piccoli dissesti lungo i fronti) (**Foto 9** e **Foto 10**).

- Nella porzione media del versante, in corrispondenza del limite orientale dell'area di interesse, è stata rilevata la presenza di un orlo di scarpata di erosione in corrispondenza del fianco sinistro idrografico del torrente presente al confine ovest dell'abitato di Borgonuovo (**Foto 11**).



Foto 9 – Scarpate antropiche abbandonate sulla porzione centrale del versante (q.230 m s.m.)



Foto 10 – Scarpate antropiche riqualificate nella porzione media del versante (q.240 m s.m.)



Foto 11 – Orlo di scarpata di erosione sul fianco sinistro idrografico del torrente a ovest di Borgonuovo (q.240 m s.m.)

- Nella porzione superiore Pg3a, caratterizzata da una superficie a bassa acclività adibita a pascolo e coltivazioni agricole, è stata rilevata la presenza di alberi uncinati, indicativi di un movimento lento corticale, limitati a zone arealmente ristrette (**Foto 12**).

- La porzione sud orientale dell'altura presente a nord ovest dell'area di studio, risulta anch'essa totalmente terrazzata mediante diversi ordini di scarpate antropiche (**Foto 13**) localmente interessate da piccoli dissesti superficiali non cartografabili (**Foto 14** e **Foto 15**) e caratterizzati da estensione areale estremamente limitata (nell'ordine di 4÷5 m^2).

- Sulla strada che collega l'abitato di Borgonuovo alla zona superiore dell'area classificata come Pg3a non è stata rilevata alcun tipo di lesione imputabile né sulla carreggiata asfaltata né sul muro a secco a monte della sede stradale stessa (**Foto 16**).



Foto 12 – Porzione superiore del versante interessata da locali fenomeni di soliflusso (q.258 m s.m.)



Foto 13 – Altura terrazzata a NO dell'area di interesse (q.265÷295 m s.m.



Foto 14 – Piccolo dissesto in corrispondenza di una scarpata antropica (q.277 m s.m.)



Foto 15 – Piccolo dissesto in corrispondenza di una scarpata antropica (q.280 m s.m.)



Foto 16 – Strada di collegamento fra Borgonuovo e porzione superiore dell'area di interesse (q.256 m s.m.)

- All'interno dell'area di interesse non sono stati rilevati affioramenti rocciosi, mentre a monte della zona classificata come Pg3a, lungo la strada che porta verso Località Case Porcelletto, sono presenti diversi affioramenti di micascisti da poco a mediamente fratturati, con caratteristiche delle discontinuità tali da poterli classificare come ammassi rocciosi di qualità media.

Dall'analisi degli elementi rilevati nel corso del sopralluogo (rappresentati nella cartografia in scala 1:1000 in allegato 4) si evince la presenza di una morfologia concava nella porzione nord occidentale del versante, caratterizzata da una porzione sommitale pianeggiante che passa ad un tratto più acclive della zona inferiore. Gli elementi antropici presenti (muretti a secco, strade) non presentano deformazioni significative; ciò fa supporre la presenza di una frana relitta della quale tuttavia non si percepiscono con chiarezza i né limiti del deposito né un orlo di scarpata netto, a causa della forte antropizzazione a scopo agricolo del versante. L'insieme delle osservazioni lascia spazio all'ipotesi che si tratti di un movimento riferibile a un periodo temporale antecedente alla rimodellazione del versante.

3.11 CAUSE DEL DISSESTO

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

Come cause predisponenti del dissesto si possono evidenziare la fratturazione / alterazione del substrato roccioso (di spessore particolarmente rilevante ove sono presenti litotipi micascistosi), la morfologia acclive della porzione NW dell'area e la presenza di depositi superficiali sciolti poco addensati; le cause innescanti dei dissesti rilevati sono imputabili all'azione delle acque meteoriche in occasione di precipitazioni intense

(ruscellamento concentrato) e prolungate (formazione all'interno dei depositi superficiali di una falda acquifera effimera).

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

La sezione geologica, realizzata lungo la traccia codificata come ARZ 054 - Sez. A riportata in Allegato 4, è stata interpretata sulla basse delle risultanze dei due sondaggi descritti al §3.6 (VV22 e S1).

La sezione geologica interpretativa, coincidente con una delle sezioni di verifica, 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 alla formazione di base, Calcescisti (CS), e della relativa fascia di alterazione (CS-CAP);
- sulle prove dirette di carotaggio condotte nella zona;

A monte della porzione sommitale dell'area indicata come soggetta a dissesto quiesciente (Pg3a) 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), inoltre non sono state osservate lesioni strutturali imputabili a un processo di dinamica geomorfologica in atto o pregresso negli edifici presenti alla base del versante.

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

- da p.c. a 13.0÷16.0 m da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso (potenzialmente instabile) e REGOLITE: depositi costituiti principalmente da sabbie limose argillose debolmente ghiaiose con rari di ciottoli (C_{CS}) e porzione superficiale dell'ammasso roccioso caratterizzata da intensa fratturazione;
- al di sotto di 13.0÷16.0 m da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Calcescisti e Micascisti (CS).

Il cappellaccio di alterazione è stato "inglobato" nell'unità dei depositi superficiali/regoliti, in quanto il limite tra cappellaccio di alterazione, regolite e unità di depositi sciolti superficiali non è facilmente distinguibile. A favore di sicurezza la caratterizzazione geotecnica ha attribuito all'unità così uniformata i parametri meccanici dei depositi superficiali.

La falda considerata nelle verifiche interessa solamente i depositi di versante superficiali ed è stata posta poco al di sopra della fascia di contatto tra coltre e cappellaccio, considerando i punti di infiltrazione e di drenaggio delle acque meteoriche.

I parametri caratteristici (vedi relazione di caratterizzazione geotecnica) sono quelle ottenute da apposite prove in sito e in laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi effettuati nell'intera area di intervento.

I parametri caratteristici della coltre superficiale (C_{CS}) sono stati utilizzati, procedendo a favore di sicurezza, anche per la porzione superficiale intensamente fratturata dell'ammasso roccioso (regolite).

Parametri geotecnici caratteristici	Coltre di copertura e regolite (Unità C_{CS})	Calcescisti (Unita CS)	Cappellaccio di alterazione dei Calcescisti (Unità CS-Cap)
γ_t (kN/m^3)	20.5	26.0	24.0
c'$_K$ (kPa)	0	50.0	30.0
ϕ'_K (°)	28	49.0	38.0

Tabella 4.1 - Parametri di resistenza caratteristici delle unità geotecniche

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nell'area interessata dal dissesto ricadono le opere di viabilità di servizio VS.03 Asse C impiegate per la realizzazione delle gallerie Borgonuovo Est ed Ovest (cfr. **Figura 4-1**).

Le opere consistono in un adeguamento della strada esistente attraverso una riprofilatura delle scarpate, la posa della pavimentazione stradale e le opere accessorie (barriera di sicurezza, collettore acque), come previsto nel progetto. Verrà realizzato anche un allargamento della sede stradale stessa.

Poiché l'intervento prevede la movimentazione di una porzione materiale di copertura (scavo e riempimento), sono previsti interventi di stabilizzazione sia a monte che a valle della strada costituiti da opere di ingegneria naturalistica.

A monte della strada, lungo tutto il tratto di strada che interessa l'area catalogata come "frana quiescente" dal piano di bacino, verrà realizzata una palificata viva di sostegno. Essa è costituita da una serie di pali in legno infissi nel terreno per almeno un metro di profondità alla distanza l'uno dall'altro di 50 cm lungo tutto il tracciato. Sulla loro sommità, a sostegno dello scavo effettuato ed in sostituzione dei muretti esistenti, verranno posizionate gabbionate costituite da tondame scortecciato riempite con il materiale proveniente dallo scavo.

A valle della strada sono previste quattro filari di cordonata viva distanti l'uno dall'altro 2 metri, il primo dei quali parallelo al bordo strada. Ciascun filare è composto da picchetti verticali infissi nel terreno per almeno 1,5 metri di profondità, con distanza 2 metri l'uno dall'altro. Essi sono collegati da tondame in legno disposto orizzontalmente ed ancorati tramite chiodatura. La cordonata viva viene completata attraverso la piantagione in maniera regolare di talee o piantine al di sopra di ciascun filare.

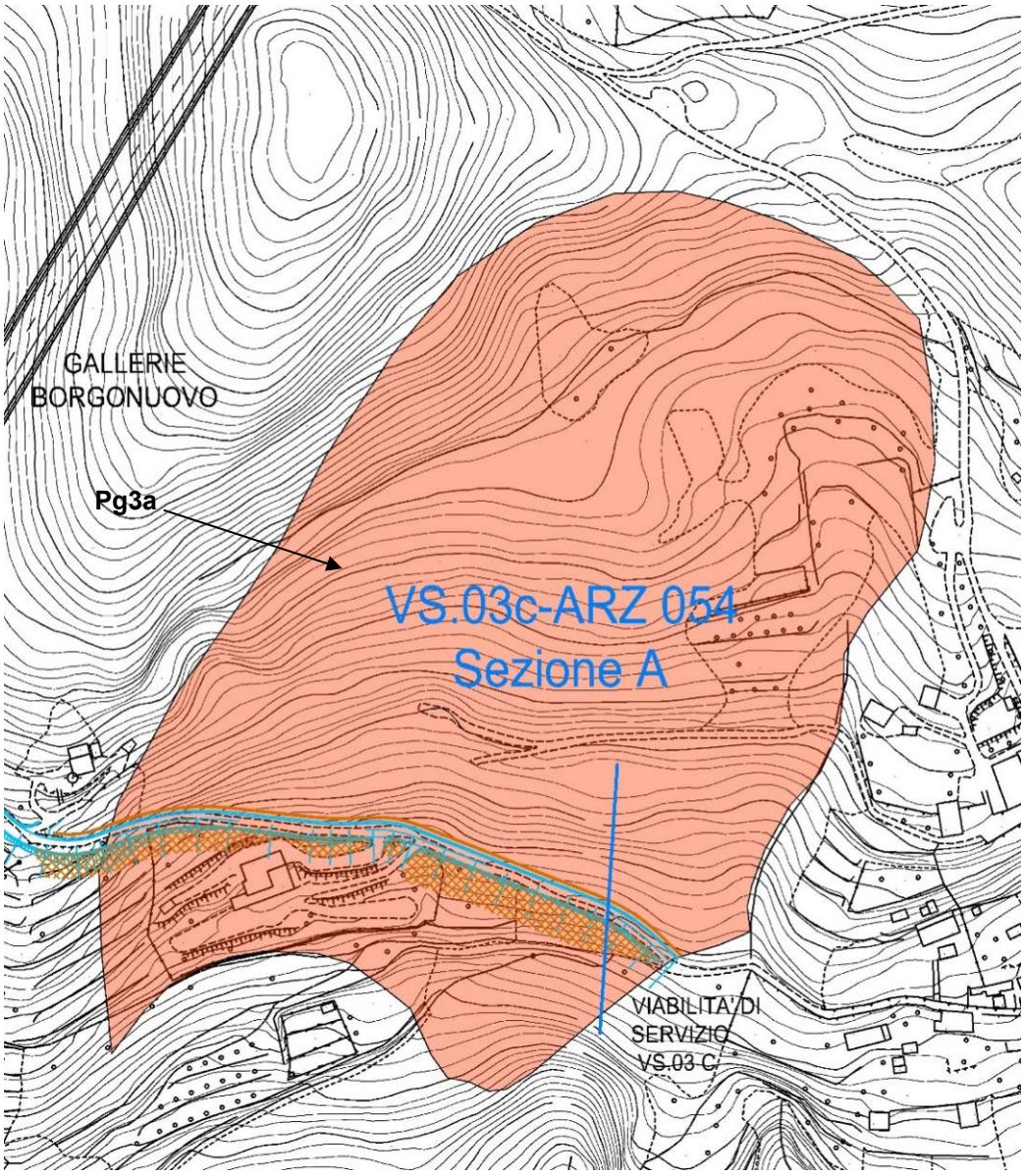


Figura 4-1 - Stralcio planimetrico con l'indicazione delle sezione analizzata e delle opere in progetto – Pg3a

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

Per il dimensionamento delle opere previste (cfr.4.2) è stata presa in considerazione una porzione della sezione geologica A precedentemente descritta, ubicata all'interno dell'area

di frana Pg3a ed attraversata dalla viabilità secondaria VS.03C. Nella sezione di verifica è stata inserita la nuova geometria del versante che si otterrà in seguito alle operazioni di allargamento della sede stradale prevista nel progetto definitivo e le opere di ingegneria naturalistica descritte al punto precedente. Per il dimensionamento e la verifica delle stesse si rimanda alla relazione di calcolo specifica.

Come evidenziato dal modello geotecnico/geomeccanico (**Figura 4-2**) allo stato attuale, le potenziali interazioni fra i processi di dinamica geomorfologica descritti al §3 e le opere in progetto sono estremamente localizzate, pertanto le analisi di stabilità globale sono state sviluppate in corrispondenza della zona interessata dagli interventi di adeguamento stradale, che rappresentano le situazioni di maggior criticità ai fini della stabilità del versante.

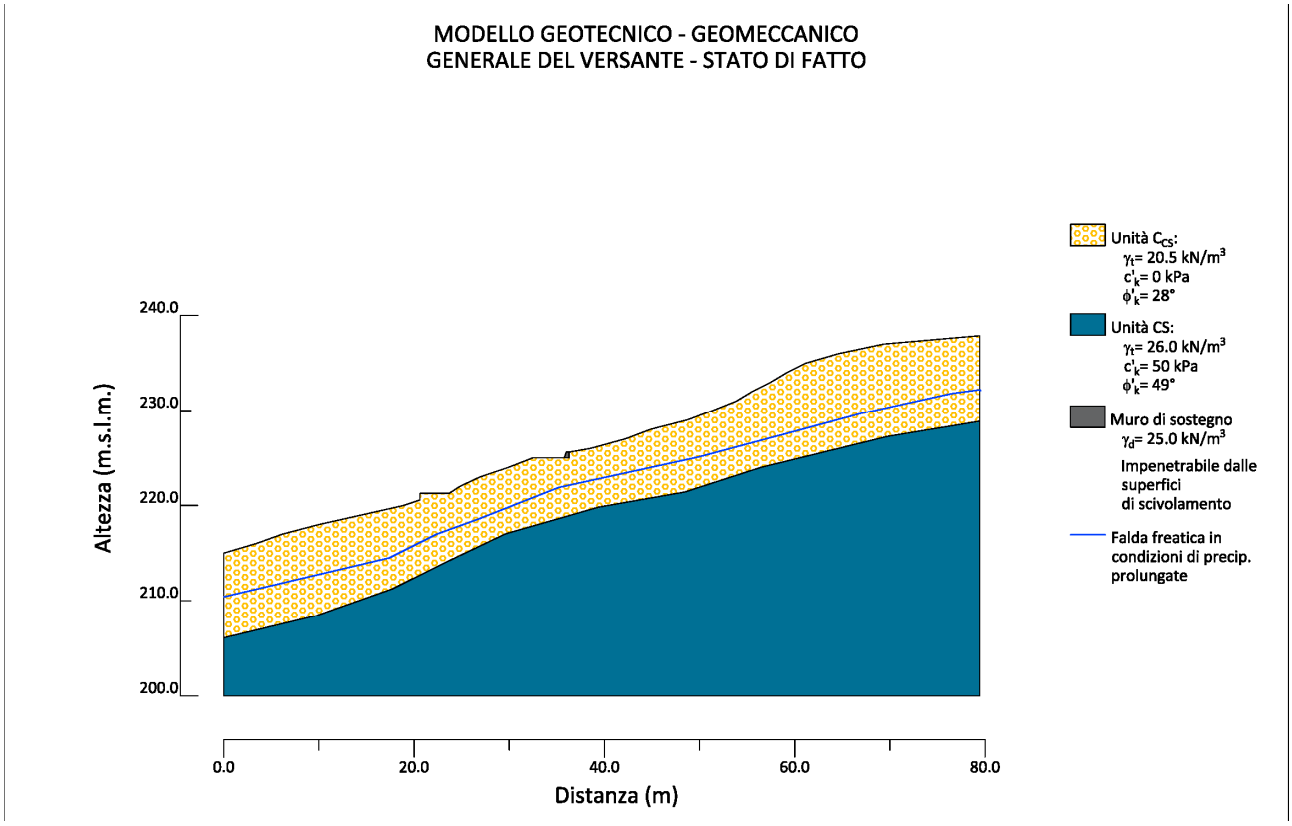


Figura 4-2- Modello geotecnico adottato nelle analisi di stabilità

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 della coltre, del cappellaccio (CS-Cap) e del substrato roccioso (CS), desunti dai parametri caratteristici riportati nella relazione geotecnica del progetto definitivo per la realizzazione della Gronda di ponente (Riqualificazione A10 – Potenziamento A7 e A12). Essi, in ottemperanza alle Normative Tecniche sulle costruzioni 2008, sono state ridotte del coefficiente di riduzione parziale M2.

In **Tabella 4.2** 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)
Coltre superficiale e regolite (C_{CS})	20.5	23.0	0.0
CS-Cap	24.0	32.0	24.0
CS	26.0	42.5	40.0

Tabella 4.2 - Parametri di resistenza di progetto utilizzati per l'analisi

La prima verifica è stata effettuata sul modello geotecnico allo stato attuale, in modo da poter individuare le zone maggiormente predisposte all'instabilità.

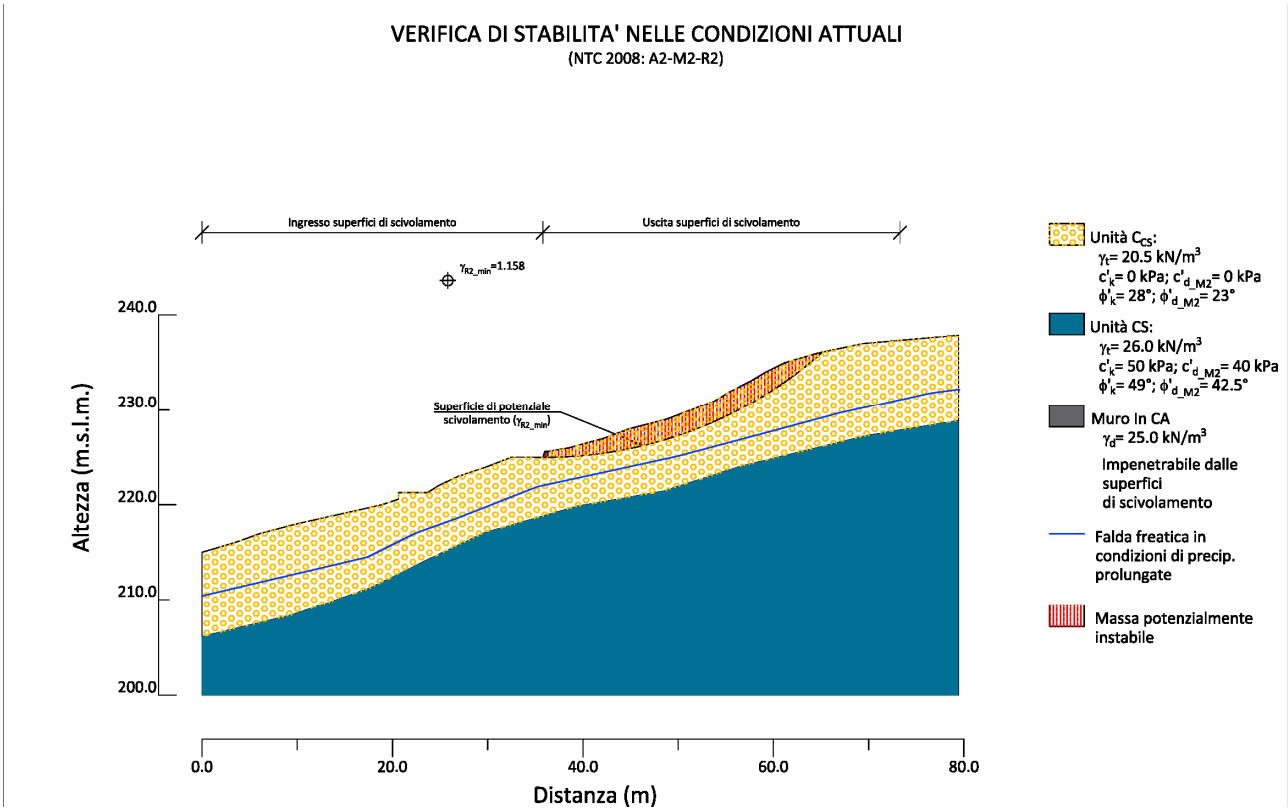


Figura 4-3 - Verifica di stabilità allo stato attuale

La **Figura 4-3** indica per le condizioni attuali, una potenziale superficie di scivolamento a monte dell'opera stradale esistente.

Le verifiche di stabilità in condizioni di progetto sono state condotte inserendo nel modello all'equilibrio limite le opere di ingegneria naturalistica. Esse sono state dimensionate in modo da soddisfare i requisiti di sicurezza del pendio previsti dalla normativa. Si fa comunque riferimento alla relazione di calcolo specifica per le analisi di dettaglio.

Per la verifica di stabilità in condizioni statiche vengono considerati i sovraccarichi stradali accidentali. Essi sono stati assunti come carichi distribuiti su una larghezza di 3.0 metri. Il carico, pari a 20 kPa, viene amplificato del coefficiente parziale A2 per carichi variabili sfavorevoli.

In ***Figura 4-4*** sono riportati i risultati delle analisi condotte; viene evidenziata la superficie di scivolamento critica, caratterizzata dal fattore di sicurezza più basso.

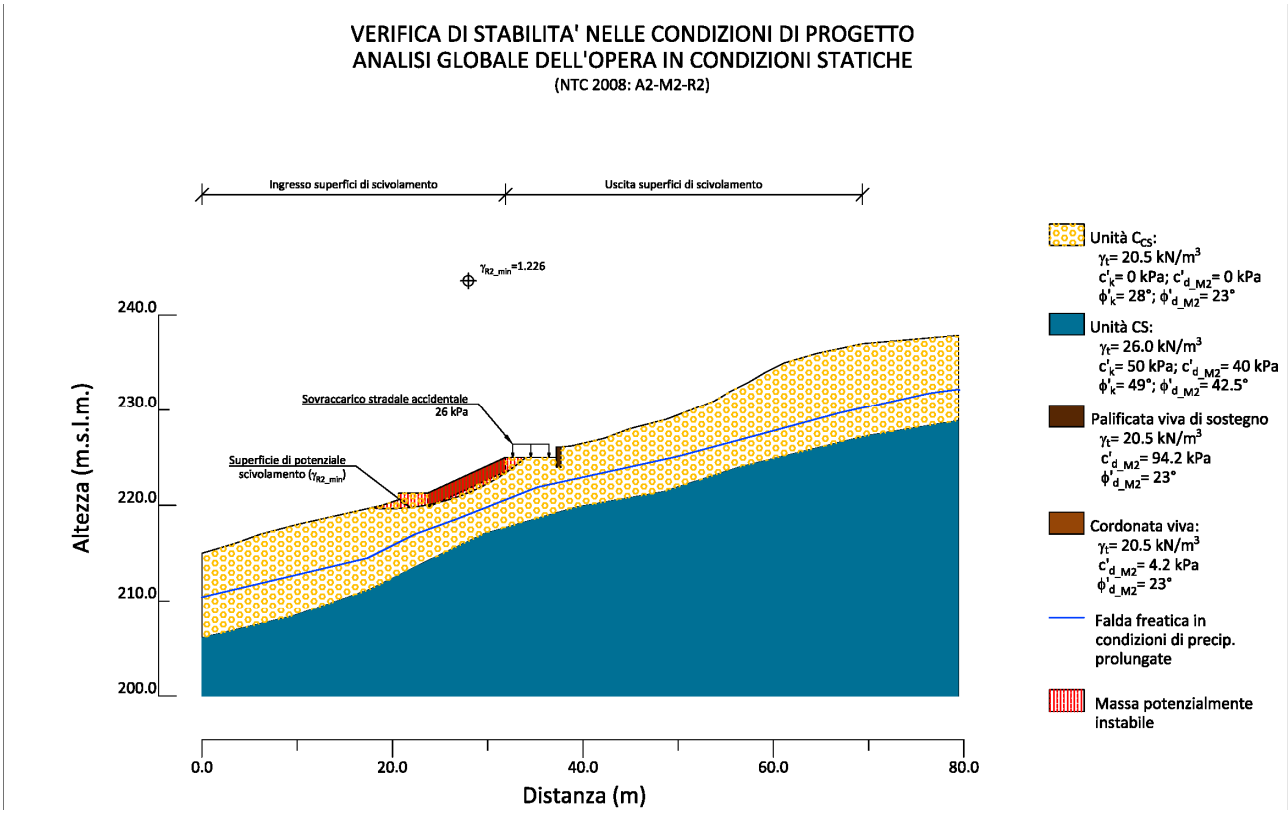


Figura 4-4 - Verifica di stabilità in condizioni statiche

In questo caso il sovraccarico dato dal passaggio di mezzi pesanti sulla sommità stradale comporta una superficie di scivolamento a valle della strada. Essa passa al di sotto delle opere di stabilizzazione previste in progetto.

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 = 0.032 g
- k_V = ± 0.016 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 4.3**).

	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 4.3 - 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

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ = 0.087 · 1.5 · 1.2 = 0.157 g

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

In ***Figura 4-5*** e ***Figura 4-6*** sono riportati i risultati delle analisi in condizioni sismiche.

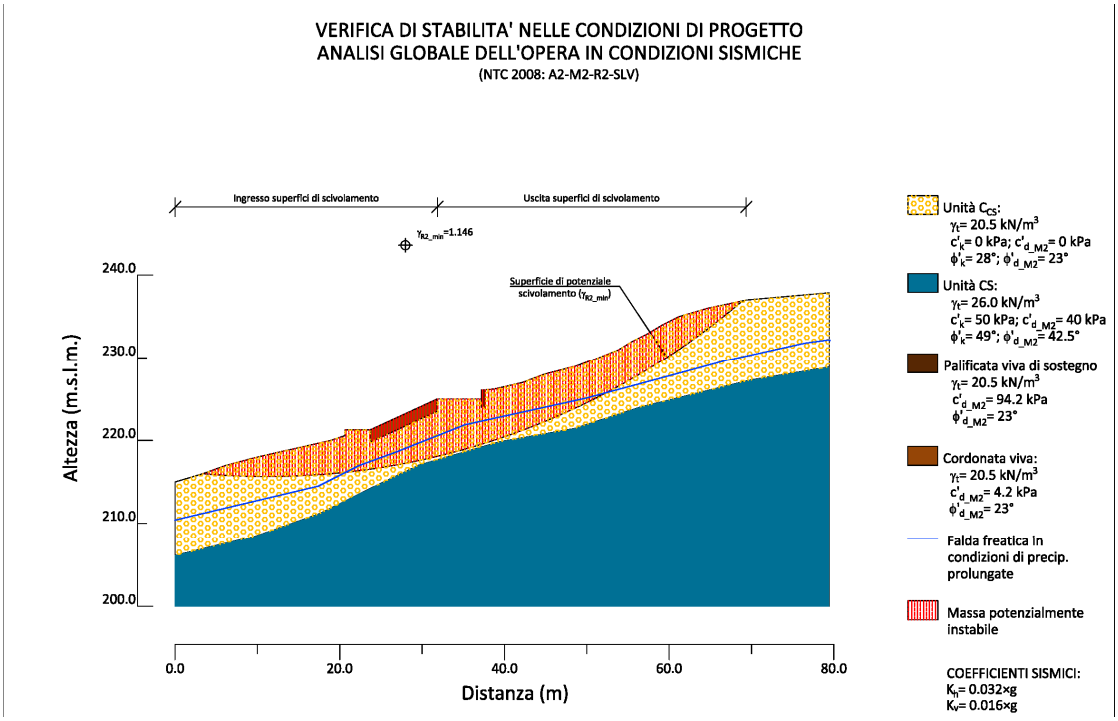


Figura 4-5 – Verifica di stabilità nella porzione a monte dell'opera in condizioni sismiche (kv con segno positivo)

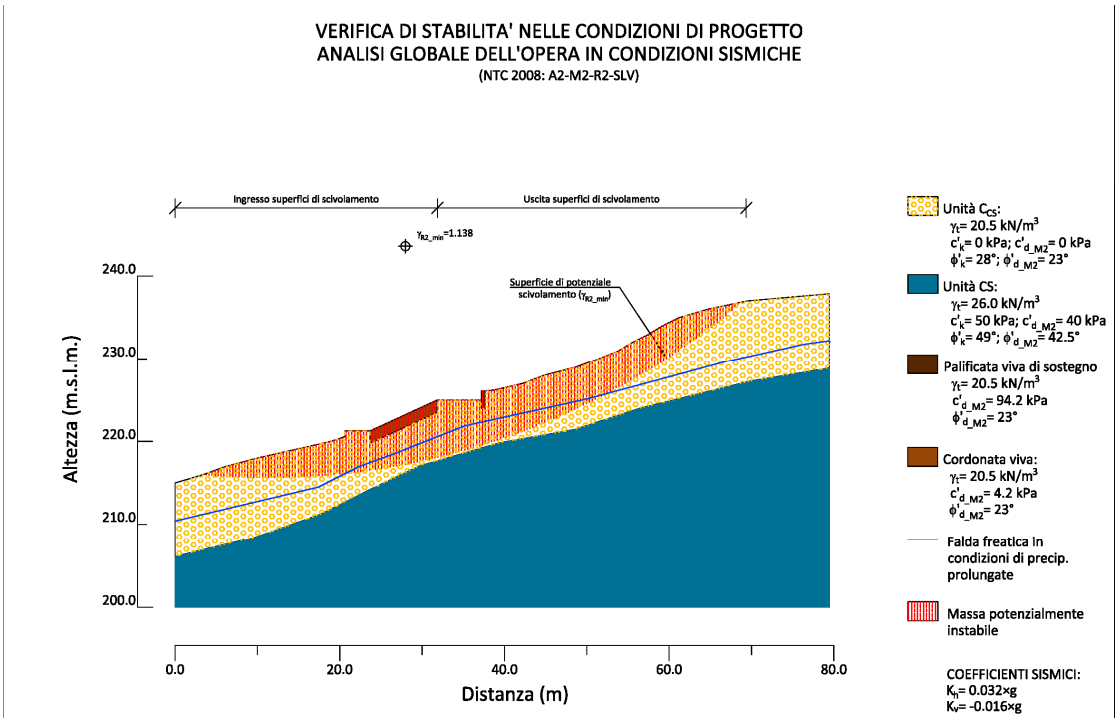


Figura 4-6 – Verifica di stabilità nella porzione a monte dell'opera in condizioni sismiche (kv con segno negativo)

I risultati delle analisi di stabilità condotte sono riassunte nella **Tabella 4.4**.

Analisi di stabilità	Coefficiente γ_{R2_Calc}
Condizioni statiche (SLU)	1.226
Condizioni sismiche (SLV, con Kv positivo)	1.146
Condizioni sismiche (SLV, con Kv negativo)	1.138

Tabella 4.4 - Risultati della analisi di stabilità– Stato di progetto

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

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

Si fa comunque presente che nel dimensionamento delle opere di ingegneria naturalistica a sostegno della viabilità di servizio, 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.

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.

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

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

ANALISI ESEGUITE	FS min	
	statico	sismico
Analisi **ante-operam**	1.158	--
Analisi **post-operam**	1.226	1.138

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

5. IDRAULICA

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE

Al fine di assicurare lo smaltimento delle acque meteoriche interessanti la sede viaria, è stato progettato un sistema di drenaggio a gravità in grado di convogliare, con un margine di sicurezza adeguato, le precipitazioni intense verso i recapiti.

Il drenaggio è costituito essenzialmente da un sistema di raccolta marginale primario, ossia da cunette triangolari, caditoie carrabili, embrici, che consente di convogliare l'acqua presente sulla piattaforma stradale verso collettori trasversali di scarico.

La scelta dell'elemento marginale da adottare dipende essenzialmente dalla tipologia di tratto stradale analizzato (trincea, rilevato, mezzacosta) e dalle tipologie di opere presenti (nessuna, paratie, muri di sostegno).

Agli elementi sopra elencati si aggiungono altri elementi legati alla presenza di particolari opere, come ad esempio le canalette rettangolari in testa ai muri di controripa, o utilizzati sporadicamente quali ad esempio i fossi di guardia o mezzi tubi in C.A.V.

In corrispondenza del movimento franoso in oggetto, il sistema primario viene integrato da un sistema longitudinale secondario, cioè da collettori a sezione circolare, in cui gli elementi di drenaggio primari scaricano.

Nel tratto in esame il sistema primario viene integrato da un sistema longitudinale secondario, cioè da collettori a sezione circolare, in cui gli elementi di drenaggio primari scaricano. Lungo la viabilità si prevede quindi la posa di tubazioni DN400-DN500 con la funzione di intercettare e convogliare sino all'impluvio esistente le acque meteoriche di versante e di piattaforma.

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)

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

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

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

- **Evoluzioni temporali dello spostamento dei PS**: si tratta dello spostamento dei PS, espresso in millimetri, e riferito alla prima data dello stack, fornito in corrispondenza di ciascuna data d'acquisizione nel periodo analizzato. Le evoluzioni

temporali sono stimate lungo la LOS (linea di vista) e si riferiscono ad un punto di riferimento considerato “stabile”.

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

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

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

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

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

Vengono fornite la:

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

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

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

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

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

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

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

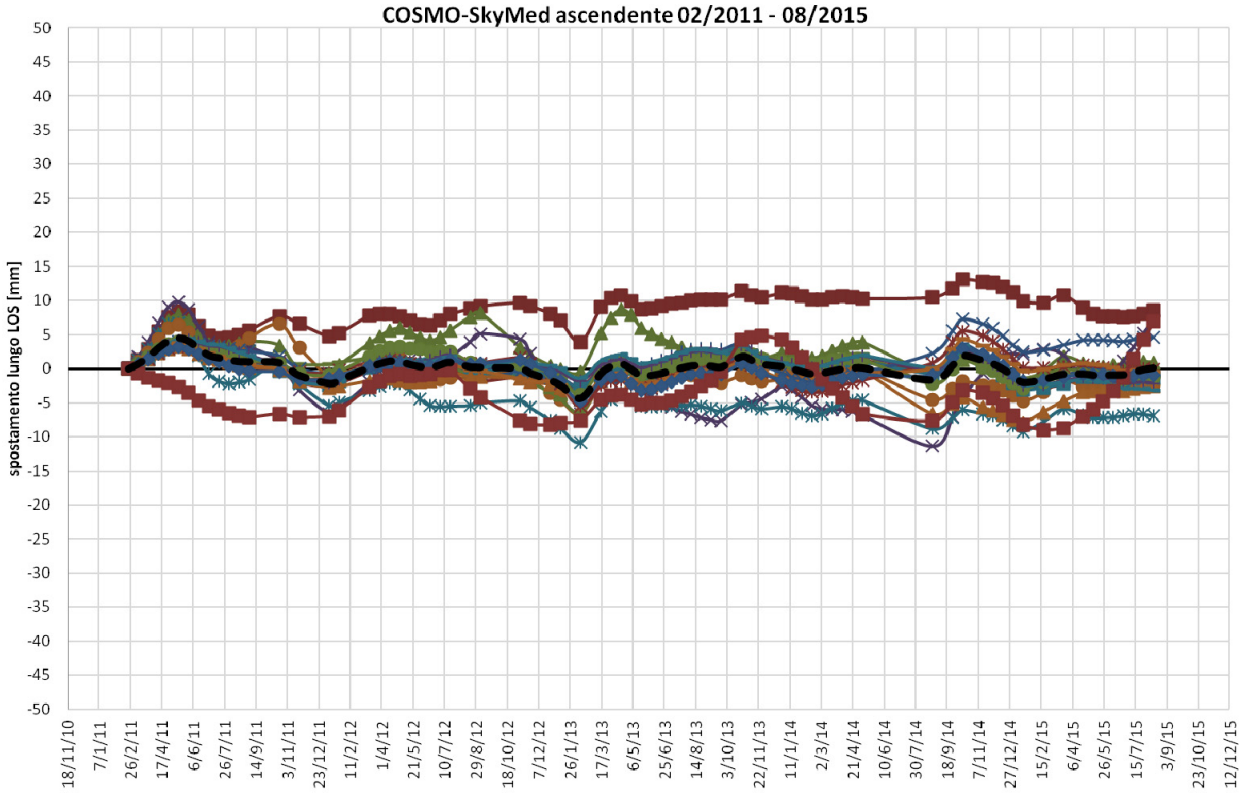


Figura 7-2 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

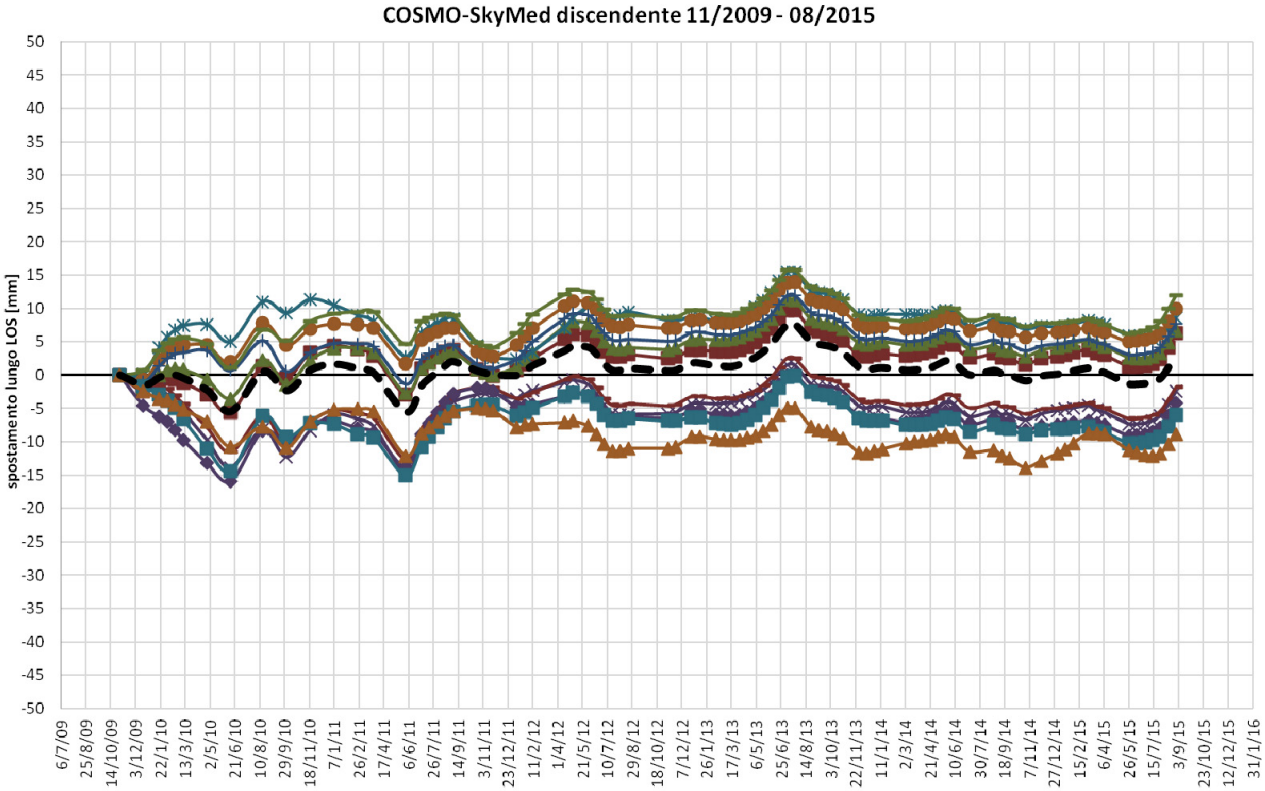


Figura 7-3 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

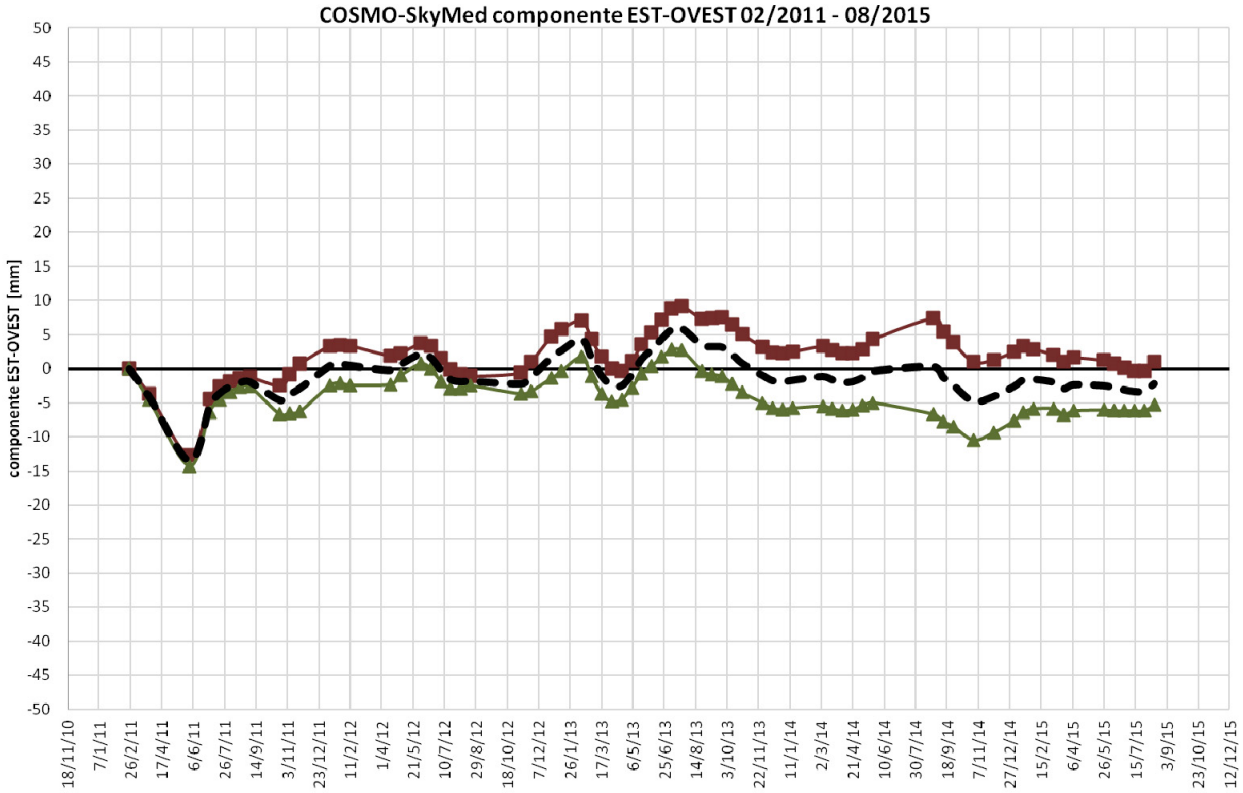


Figura 7-4 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

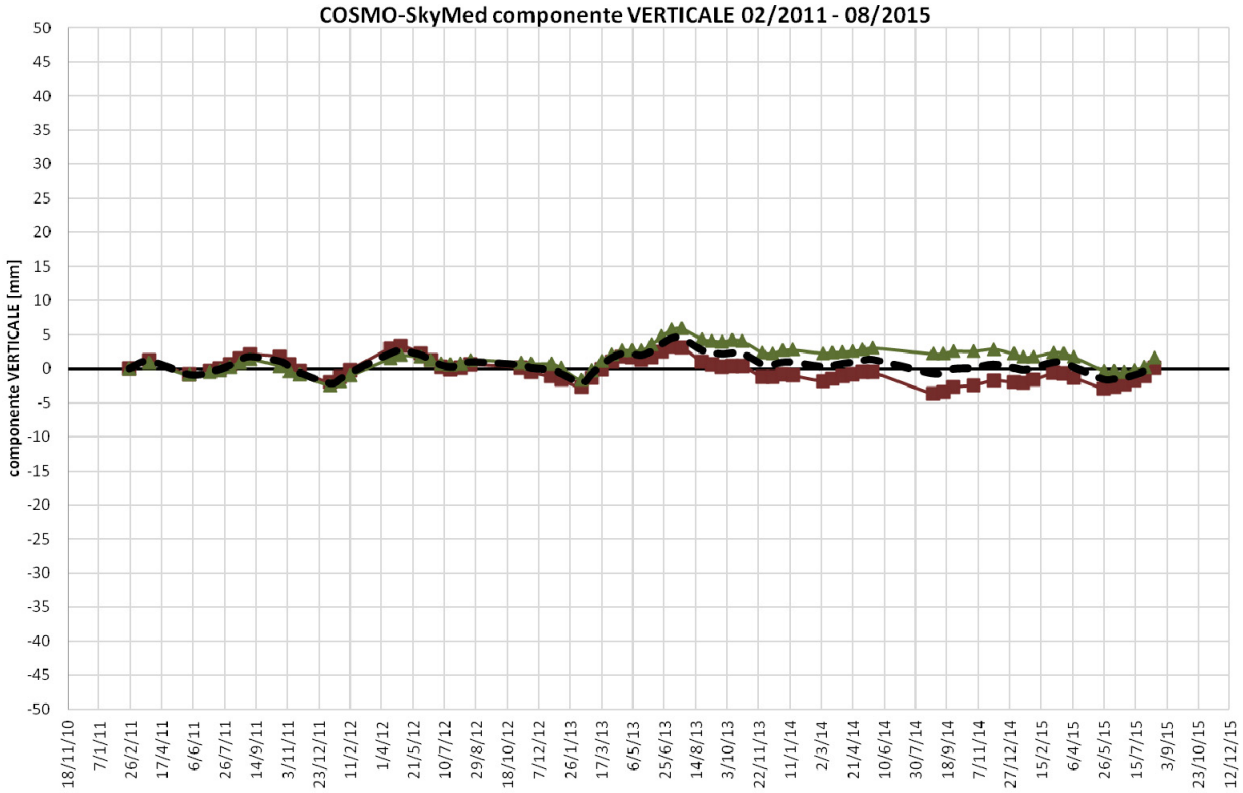


Figura 7-5 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano un abbassamento.

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

L'analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 20 riscontri) e discendenti (n. 12 riscontri) nel periodo 2009 - 2015 non individuano spostamenti significativi né planimetrici né altimetrici.

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 della strada di servizio VS.03 asse C, 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 PG3a "frana quiescente" dalla cartografia del Piano di Bacino. Dall'analisi degli elementi rilevati nel corso del sopralluogo si evince la presenza di una morfologia concava nella porzione nord occidentale del versante, caratterizzata da una porzione sommitale pianeggiante che passa ad un tratto più acclive nella zona inferiore. Gli elementi antropici presenti (muretti a secco, strade) non presentano lesioni né evidenze di deformazioni significative; ciò fa supporre la presenza di una frana relitta della quale tuttavia non si percepiscono con chiarezza i né limiti del deposito né un orlo di scarpata netto, a causa della forte antropizzazione a scopo agricolo del versante.

Sono state svolte analisi numeriche di stabilità del versante in esame al fine di valutare l'influenza dell'intervento di allargamento della strada esistente previsto nel progetto definitivo.

Le analisi di stabilità hanno messo in luce come le condizioni di stabilità del versante a lavori ultimati risulteranno migliorative rispetto alle condizioni attuali nella porzione dell'area interessata dalla sistemazione della strada.

Oltre a questo 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, l'azione sismica e i carichi variabili del traffico. Gli accorgimenti costruttivi adottati (cordonata viva e palificata viva di sostegno) e le fasi realizzative sono tali da garantire, nei confronti della stabilità dei versanti, il rispetto dei fattori di sicurezza nell'assetto definitivo.

Per quanto evidenziato sopra si può concludere che le opere per l'allargamento della strada esistente non interferiscono negativamente con le condizioni di stabilità dell'area di frana ARZ054.

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 e il parere della Provincia.

ALLEGATI

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