autostrade per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

STUDIO SUSCETTIVITA' AL DISSESTO
SCHEDE DISSESTI PG4–PG3

DA CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO
PIANO DI BACINO – TORRENTE POLCEVERA
FRANA 725

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	2	0	0	–	1	SCALA: –

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

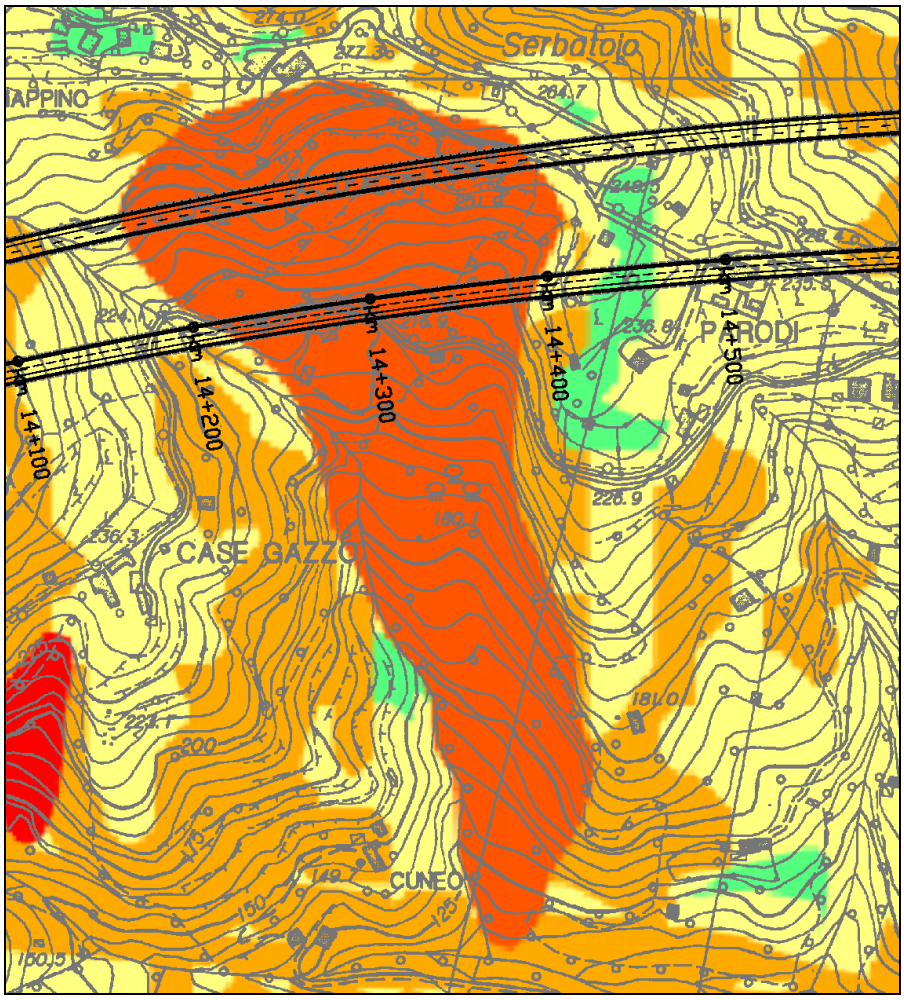
	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

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 725 (PG3A)

OPERA INTERFERENTE: GALLERIA MONTEROSSO

EST E 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

3.3.1 Aree Interferenti 10

3.3.2 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a 10

3.3.3 Interventi previsti dal Piano di Bacino 12

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

3.5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 14

3.6 INDAGINI ESEGUITE 15

3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 15

3.8 CAUSE DEL DISSESTO 41

3.9 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 41

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 42

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 42

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 45

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 48

5. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 52

5.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 52

6. CONCLUSIONI 65

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 gennaio 2016)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata gennaio 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* – Analisi di stabilità

Annessi alla Scheda:

- *Elaborato SGT0201: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana 725 (Pg3a) – Opere interferenti: Planimetria e sezione – Sistemazione definitiva"*

1. PREMESSA

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

I riferimenti normativi sono pertanto:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Al fine di ottemperare alla prescrizione citata ed acquisire i pareri in essa richiamati, per tutte le aree classificate, dalle cartografie dei piani di bacino, a suscettività di dissesto 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*

- *GEO0005: Carta geologica – Tavola 4*
- *GEO0023: Carta geomorfologica – Tavola 4*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *TUN0007-1: Gallerie naturali – Relazione di calcolo gallerie scavate con TBM*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata 725, che risulta interferente con la galleria Monterosso est fra le progressive chilometriche 14+200 e 14+400 e con la galleria Monterosso ovest fra le progressive chilometriche 14+200 e 14+450.

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 (GEO0005 - cfr. stralcio riportato nell'Allegato 2);
- profili geologici in asse ai tracciati delle opere principali;
- carta geomorfologica (GEO0023 - 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.

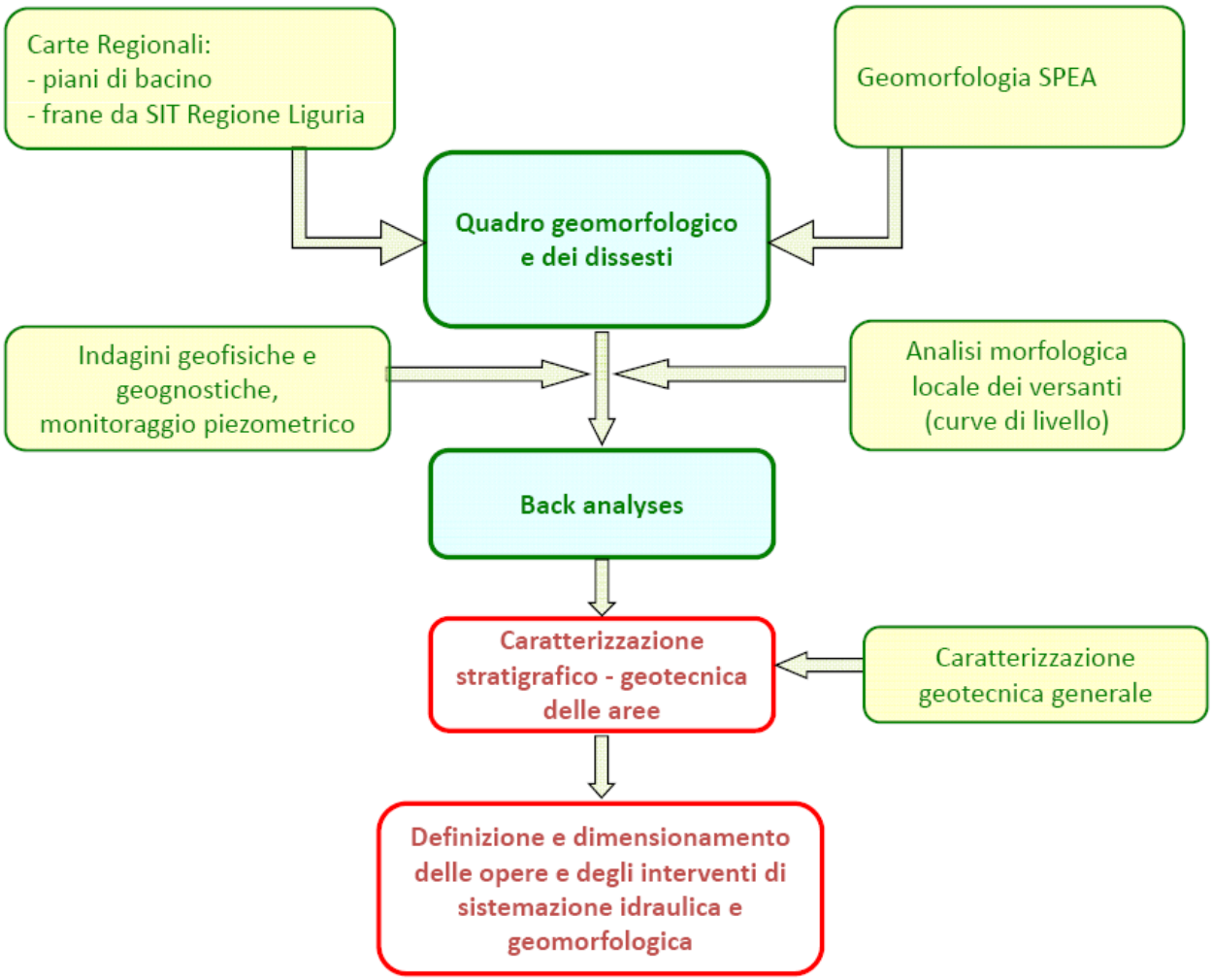


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: MURTA - C. D'ALTO

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: Torrente Polcevera

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): 725

3.2 CARTOGRAFIA

CTR 1:10.000: 213110

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO

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

3.3.1 Aree Interferenti

L'oggetto della presente scheda è l'interferenza tra il dissesto **Pg3a** e le gallerie Monterosso est fra le progressive chilometriche 14+200 e 14+400 e Monterosso ovest fra le progressive chilometriche 14+200 e 14+450.

3.3.2 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a

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

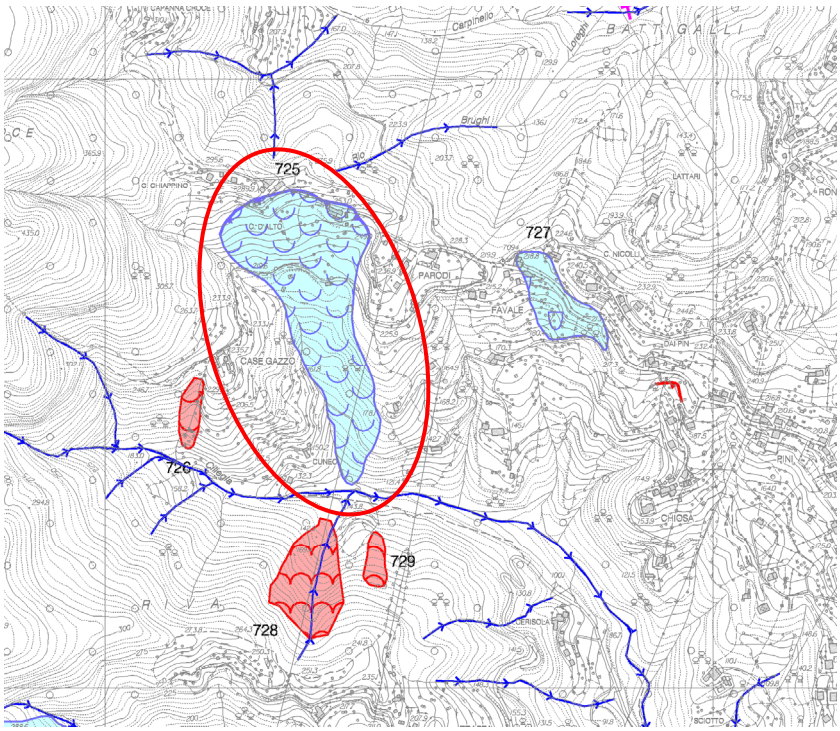
a) Tipologia di frana:

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

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

b) Stati di attività:

	Attiva
X	Quiescente
	Stabilizzata



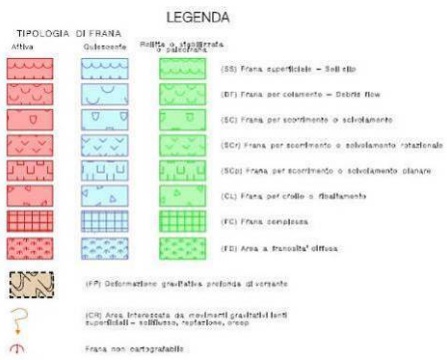


Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

3.3.3 Interventi previsti dal Piano di Bacino

Il Piano degli interventi di mitigazione del rischio del Piano di Bacino prevede delle opere di regimazione delle acque superficiali lungo il versante in oggetto, (intervento codificato come 43) ed interventi idraulici sul Rio Ciliegia (TRA_IDR_1) più a valle.

Intervento n. 43: *"Rio Ciliegia – a N di loc. Trasta - interventi di consolidamento dei movimenti franosi che insistono sul corso d'acqua e di regimazione del corso d'acqua stesso."*

Intervento idraulico TRA_IDR_1: "*Per limitare il trasporto verso valle appare necessario aumentare la stabilità del fondo dei due rami superiori del corso d'acqua che convergono in località Sciotto. A monte di tale confluenza, per una estensione da determinare a seguito di uno studio di maggiore dettaglio, occorrerà realizzare alcune briglie in gabbioni e/o briglie in legname riempite con pietrame, in modo da utilizzare il materiale direttamente reperibile in loco. L'altezza e la posizione delle opere trasversali dovrà essere opportunamente valutata, in modo da favorire l'invaso dei volumi di materiale solido lungo l'asta del corso d'acqua. La diminuzione della pendenza dell'alveo limiterà peraltro la capacità erosiva della corrente, favorendo quindi una limitazione complessiva del fenomeno del trasporto solido.*"

In **Figura 3-2** è riportata l'area interessata dagli interventi previsti dal Piano di Bacino, necessari a ridurre la criticità relativa all'attivazione o alla riattivazione di dissesti presenti sui versanti del bacino idrografico del Rio Ciliegia.

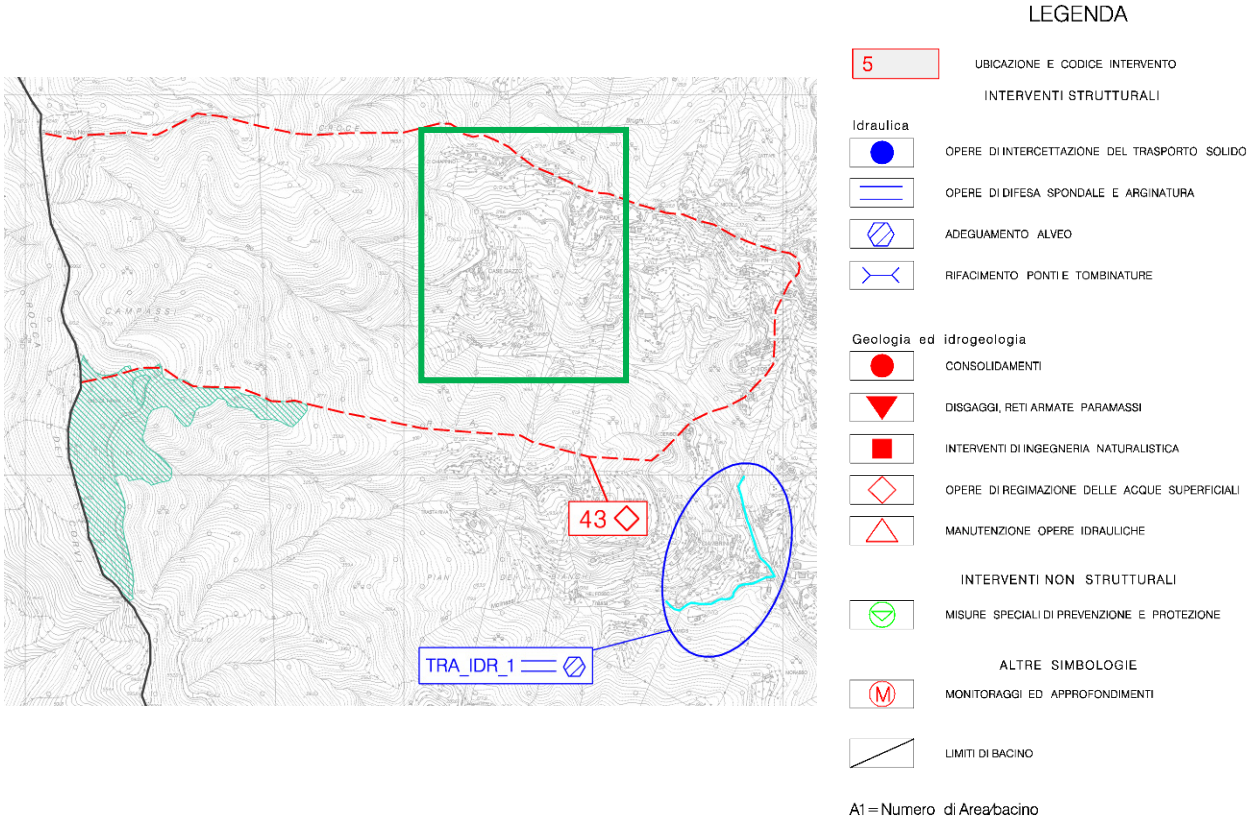


Figura 3-2 – Stralcio della carta degli interventi da Piano di Bacino (in verde è evidenziata l'area di interesse)

3.4 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 quiescente coincidente con il dissesto 727 avente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100195800
- Tipo di movimento: Colamento rapido
- Attività: Quiescente
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Viene inoltre segnalata la presenza di un dissesto di scivolamento quiescente sul medesimo versante a est della zona di interesse e un'area attiva/riattivata/sospesa soggetta a franosità superficiale diffusa sul versante a sud dell'area di studio (2 e 3 nella figura seguente).

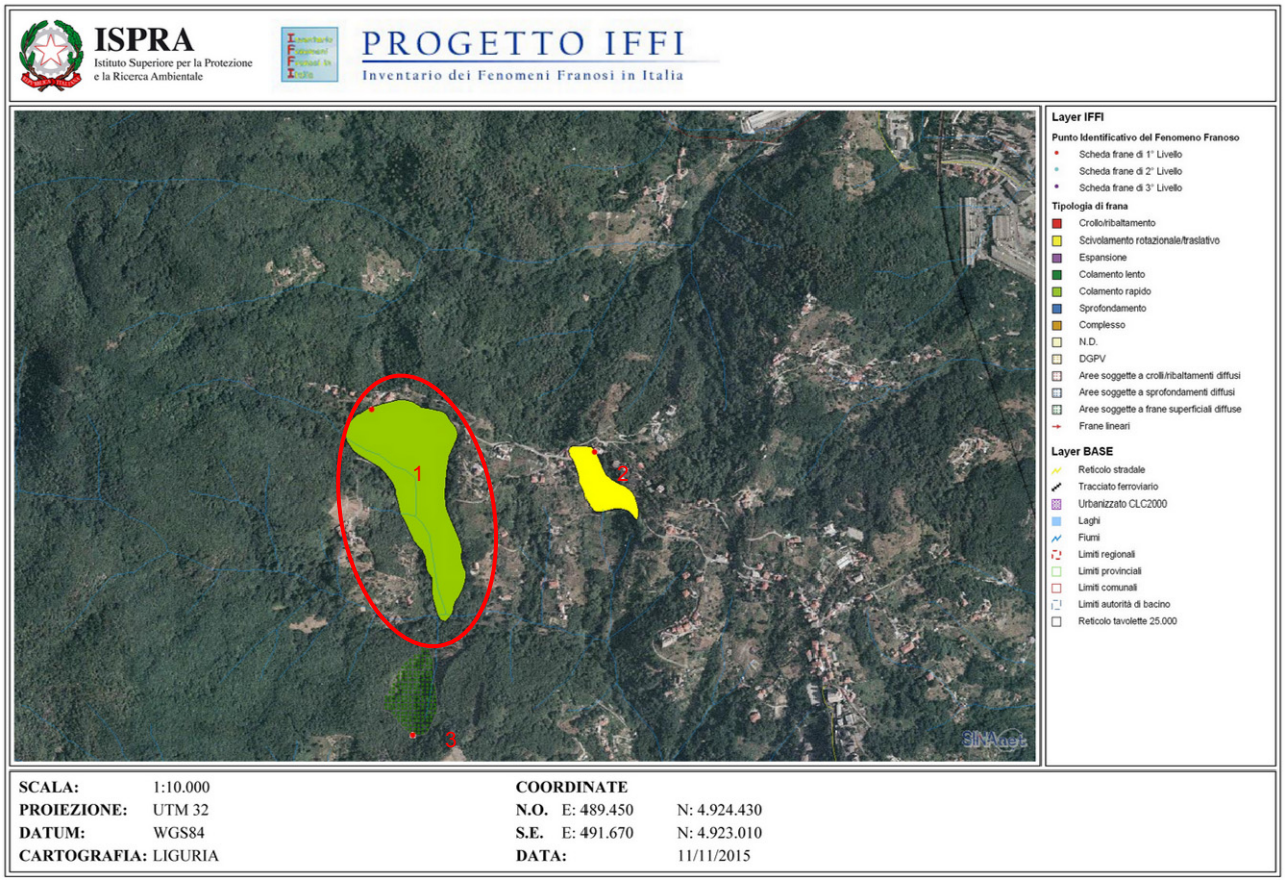


Figura 3-3 –– Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

3.5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg3a si imposta nell'Unità Tettonometamorfica Figogna, qui rappresentata prevalentemente dagli Argilloscisti di Costagiutta e dagli Argilloscisti di Murta (Allegato 2).

Argilloscisti di Costagiutta (AGI)

Alternanze di argilloscisti e di calcari cristallini, metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi, più frequenti alla base della sequenza.

Lo spessore degli strati è generalmente centimetrico, ma nella parte alta della sequenza si osserva stratificazione più irregolare con stati decimetrici ed interstrati pelitici foliati. Sono frequenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro.

Argilloscisti di Murta (AGF)

Alternanza di argilloscisti filladici grigio scuro e grigio argenteo, a patina sericitica, con intercalazioni di sottili strati calcarei di spessore centimetrico (1-2 cm), di metasiltiti e meta areniti fini di colore grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele

localmente convolute. Gli strati hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 centimetri di argilliti e metasiltiti.

Il rapporto stratimetrico meta areniti / metapeliti è di 1:2. Le superfici di strato su roccia fresca sono normalmente lucide, con veli di sericite talcosa al tatto; presentano talvolta tracce di scivolamento ed aspetto vetrificato (fenomeni di dinamometamorfismo).

Possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro.

L'area della Pg3a è ubicata in corrispondenza degli Argilloscisti di Costagiutta mentre la Formazione di Murta affiora più ad est.

I *depositi superficiali* sono rappresentati essenzialmente da depositi di versante, da depositi eluvio/colluviali e da depositi grossolani torrentizi all'interno degli alvei ed hanno spessore stimato in sito nell'ordine di circa 5-6 m

Da un punto di vista geomorfologico, il versante si presenta con acclività da media a bassa ed è caratterizzato dalla presenza di terrazzamenti a scopo agricolo, talora abbandonat e colonizzati da vegetazione arbustiva ed erbacea nella parte più prossima alle abitazioni e arborea nelle zone marginali e basse dell'area (Allegato 3).

3.6 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in esame non sono state eseguite indagini a supporto del Progetto Definitivo 2011 a causa dell'opposizione dei comitati locali.

Al fine della verifica delle ipotesi progettuali, nell'area classificata come Pg3a dai documenti del Piano di Bacino, è prevista l'esecuzione di due sondaggi a carotaggio continuo (che raggiungeranno la quota della galleria per verificare lo spessore della coltre e le caratteristiche geomeccaniche dei materiali sottostanti), affiancati ad un sondaggio a distruzione. All'interno delle perforazioni saranno installati tubi inclinometrici e piezometri. E inoltre prevista l'esecuzione di stese sismiche a rifrazione.

Attualmente è in corso la procedura di esproprio temporaneo finalizzata a poter accedere alle aree di indagine.

3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 18/12/2015 è stato effettuato un sopralluogo dell'area di interesse, procedendo dalla cresta del versante fino alle quote più basse dell'area classificata come Pg3a e nel suo intorno significativo, con lo scopo 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 mentre in Allegato 4 è riportata la planimetria con indicati tutti gli elementi significativi rilevati.

- Il versante in esame è caratterizzato da acclività da media a bassa e da fitta vegetazione, sia ad alto fusto sia arbustiva, che impedisce localmente l'acceso ad alcune zone; nella parte medio-alta sono presenti alcune abitazioni e dei terrazzamenti antropici.



Foto 1 - Panoramica dell'area



Foto 2 - Panoramica dell'area con indicata l'area Pg3a ed i sondaggi integrativi

- Lungo la viabilità a monte dell'area (Via per Scarpino) sono state rilevate in più punti lesioni in prossimità del ciglio di valle, sprofondamenti della sede stradale e piccoli dissesti non cartografabili, probabilmente connessi sia alla tipologia di strada ed alla mancanza di un adeguato sistema di smaltimento delle acque superficiali sia alle caratteristiche geomeccaniche degli argilloscisti affioranti in più punti. A valle della porzione di strada soggetta a cedimento è stato rilevato un orlo di scarpata di frana attivo. Tali evidenze, seppur non connesse con l'area della Pg3a, sono comunque indicative di un versante delicato e soggetto a fenomeni di instabilità locali.



Foto 3 – Sede stradale lesionata a monte dell'area classificata come Pg3a (q.274 m s.m.)

- Lungo la strada che attraversa la parte alta del dissesto si nota la presenza di scarpate morfologiche (sia a monte sia a valle), muri e muretti a secco, alcune piccole sorgenti talora captate e zone con vegetazione costituita da canneto, indice di locale ristagno d'acqua. I terrazzi ed i muri di sostegno a valle della strada sono per lo più in buono stato di conservazione; localmente sono stati rilevati piccoli dissesti superficiali non cartografabili alla scala del rilievo in corrispondenza dei fronti dei terrazzi.



Foto 4 - Parte alta del dissesto con terrazzi e zone a canneto



Foto 5 - Strada nella parte alta del dissesto



Foto 6 – Terrazzi in buono stato di conservazione (q.285 m s.m.)



Foto 7 - Terrazzi in buono stato di conservazione (q.265 m s.m.)



Foto 8 – Dissesto non cartografabile in corrispondenza di un muretto a secco (q.258 m s.m.)

- I primi edifici che si incontrano lungo la strada mostrano alcune piccole lesioni e distacchi dell'intonaco nella facciata di monte mentre alcune fratture sono presenti sui muri più vecchi a valle. I muri dell'area di parcheggio, di più recente costruzione, sono invece in buono stato.



Foto 9 – Lesione sull'angolo del primo edificio



Foto 10 – Frattura su muro a valle degli edifici

- Anche in corrispondenza del secondo gruppo di abitazioni più ad ovest, si notano lesioni su alcuni manufatti.



Foto 11 – Frattura su muro (secondo gruppo di abitazioni)

- Tutta la porzione medio-superiore dell'area di studio è caratterizzata dalla presenza di elevata umidità all'interno dei depositi sciolti superficiali, come testimoniato dalla presenza di locali canneti, ristagni di acqua superficiali e solchi di erosione concentrata non continui.



Foto 12 – Dissesto superficiale in corrispondenza di un terrazzo abbandonato (q.240 m s.m.)



Foto 13 – Dissesto superficiale in corrispondenza di un terrazzo abbandonato nella zona orientale dell'area (q.238 m s.m.)



Foto 14 – Canneti nella porzione medio sommitale dell'area, zona occidentale (q.255÷265 m s.m.)



Foto 15 – Ristagno d'acqua nella porzione medio sommitale dell'area, zona orientale (q.227÷230 m s.m.)

- La fascia centrale della Pg3a è attraversata da via dei Nicolli; l'area a monte ella strada è colonizzata da fitta vegetazione (sia arborea che arbustiva) ed è

caratterizzata dalla presenza di terrazzi abbandonati e degradati dal passaggio di animali selvatici. Localmente sono state rilevate lesioni in corrispondenza di alcuni muretti a secco (deformazioni e dislocamenti) legati presumibilmente ad un non adeguato sistema di drenaggio delle acque, a movimenti della coltre superficiale ed al generale stato di abbandono dell'area.





Foto 16 e 17– Muretto a secco lesionato nella zona nord occidentale dell'area (q.261 m s.m.) e terrazzi abbandonati nella zona nord occidentale dell'area (q.283 m s.m.)

- Fra le quote 240 m s.m. e 245 m s.m., nell'intorno dell'alveo torrentizio che attraversa l'area, sono stati rilevati alcuni dissesti superficiali e un orlo di scarpata di erosione legato all'azione delle acque superficiali e meteoriche.

- Proseguendo su via dei Nicolli si incontra un primo gruppo di case con terrazzi agricoli in buono stato di conservazione. Successivamente, oltre l'impluvio che delimita verso ovest l'area della Pg3a, è presente un secondo edificio che, invece, mostra una scarpata fortemente degradata verso valle, deformazioni della pavimentazione del terrazzo, lesioni sui muri e scollamento della scala esterna di accesso al muro di sottoscarpa della strada. Immediatamente a monte dell'edifico sono presenti affioramenti di argilloscisti.



Foto 18 – Edifici e terrazzi in buon ostato su Via dei nicolli.a (q.217.17 m s.m.)



Foto 19 – Edificio lesionato nella zona esterna alla Pg3a. Si nota scarpata fortemente degradata a valle



Foto 20 – Pavimentazione deformata





Foto 21 e 22 – Cedimento e deformazione della pavimentazione sul lato a valle dell'edificio

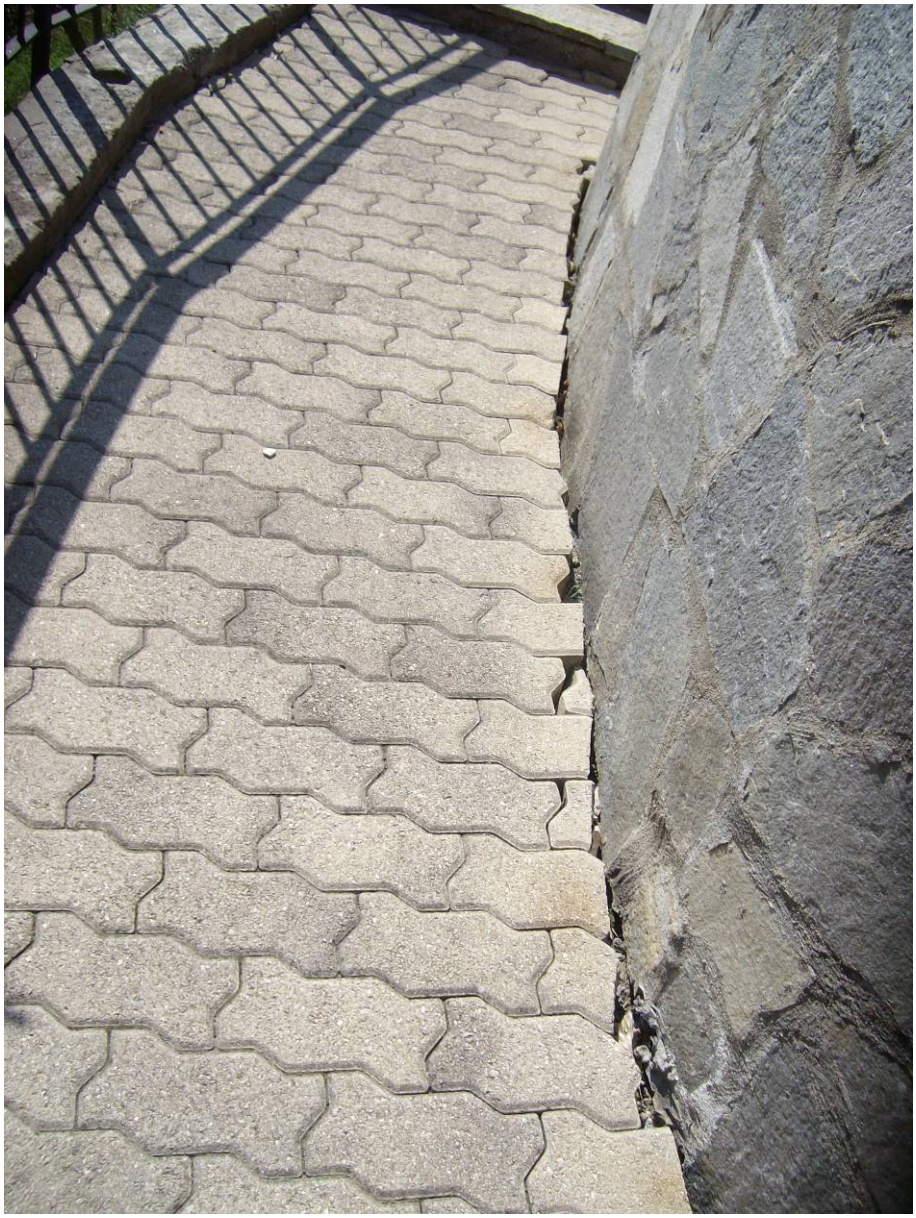


Foto 23 – Scollamento sul lato a monte dell'edificio di quota 231.60

- Procedendo ancora verso ovest, è presente, lungo il sentiero che continua da Via dei Nicolli, un altro dissesto attivo in corrispondenza di un impluvio.
- La porzione medio-inferiore del versante è caratterizzata dalla presenza di diversi ordini di terrazzi a scopo agricolo, perlopiù abbandonati.



Foto 24 – Dissesto sulla sponda destra dell'alveo (q.245 m s.m.)



Foto 25 – Dissesto sulla sponda sinistra dell'alveo (q.241 m s.m.)



Foto 26 – Terrazzi abbandonati nella zona centrale della porzione medio inferiore dell'area (q.180 m s.m.)

- Lungo l'alveo orientale sono stati rilevati diversi dissesti corticali che interessano i depositi superficiali e gli argini antropici non più soggetti a manutenzione.
- Lungo l'alveo occidentale, fra q.160 m s.m. e q,150 m s.m. sono stati rilevati due orli di scarpata di erosione su entrambe le sponde del torrente, legate all'azione delle piene in periodi caratterizzati da forte precipitazione e al restringimento della sezione dell'alveo stesso. È stata rilevata la presenza di un orlo di erosione di lunghezza pari a circa 50 m anche in corrispondenza del versante sinistro dell'alveo orientale, fra q.135 m s.m. e q.148 m s.m..



Foto 27 – Dissesto sulla sponda sinistra dell'alveo occidentale (q.175 m s.m.)



Foto 28 – Dissesto sulla sponda destra dell'alveo occidentale (q.182 m s.m.)



Foto 29 – Dissesto non cartografabile sull'argine sinistro dell'alveo occidentale (q.164 m s.m.)



Foto 30 – Orlo di scarpata di erosione sulla sponda destra dell'alveo (q.150 m s.m.)



Foto 31 – Orlo di scarpata di erosione versante sinistro dell'alveo (q.135÷148 m s.m.)

- La zona orientale della porzione medio-inferiore dell'area di interesse è caratterizzata dalla presenza di terrazzi abbandonati e degradati, completamente colonizzati da vegetazione arborea, da locali ristagni superficiali d'acqua e da dissesti non cartografabili alla scala del rilievo.



Foto 32 – Terrazzi abbandonati nella zona orientale della porzione medio inferiore dell'area (q.133 m s.m.)



Foto 33 – Terrazzi abbandonati nella zona orientale della porzione medio inferiore dell'area (q.180 m s.m.)



Foto 34 – Ristagno di acqua nella zona orientale della porzione medio inferiore dell'area (q.165 m s.m.)



Foto 35 – Dissesto non cartografabile nella zona orientale della porzione medio inferiore dell'area (q.170 m s.m.)

- All'interno di tutta la zona della Pg3a sono stati osservati affioramenti del substrato (argilloscisti) unicamente su via dei Nicolli in posizione esterna rispetto all'a frana quiescente. Gli argilloscisti sono caratterizzati da una scistosità con strutture plicative a scala decimetrica immergente verso O e dalla presenza di due famiglie di discontinuità.





Foto 36 e 37– Affioramento di argilloscisti lungo un taglio stradale

Dai risultati del rilievo geomorfologico si nota la presenza di aree a drenaggio difficoltoso; in particolare, nella zona della Pg3a, si possono osservare numerosi piccoli dissesti connessi alla tipologia di materiale ed allo stato di abbandono che caratterizza alcune parti dell'area. La presenza tali elementi è indice di un versante con elevata propensione al dissesto.

3.8 CAUSE DEL DISSESTO

	Materiale di riporto
X	Depositi sciolti
X	Coltre di alterazione del substrato
X	Litologia del substrato
	Giacitura del substrato
X	Fratturazione/tettonizzazione del substrato
	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, la sua natura litologica 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).

3.9 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

La sezione verrà realizzata lungo la traccia riportata in Allegato 4, codificata 725-Sez. A e coincidente con la sezione di verifica, successivamente alla realizzazione delle indagini geognostiche integrative.

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica (modello geotecnico di riferimento) si sono utilizzati:

- dati geologici-geomorfologici descritti nel Capitolo 3;
- Progetto Definitivo – Relazione di calcolo gallerie autostradali realizzate con TBM (cfr. elaborato TUN0007);
- Progetto Definitivo – Caratterizzazione geotecnica generale (cfr. elaborato APE0001); in particolare è stato fatto riferimento alla caratterizzazione basata sulle indagini eseguite in fase di progettazione definitiva. Le formazioni di interesse sono quelle riguardanti le Argilloscisti e della relativa fascia di alterazione.

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

- 2.0 ÷ 6.0 metri da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso: depositi costiuiti principalmente da sabbie limose argillose debolmente ghiaiose con ciottoli;
- 13.0 ÷ 17.0 metri da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione della formazione delle Argilloscisti, avente caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla formazione di base;
- Oltre 17.0 da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Argilloscisti di Costagiutta (AGI).

In **Tabella 4-1** sono riportati i parametri geotecnici di progetto utilizzati per le Argilloscisti di Costagiutta nella relazione di calcolo delle gallerie scavate con TBM e utilizzati nelle analisi numeriche sotto descritte.

Formazione	Copertura minima e massima	Peso specifico γ	Coesione caratteristica c'_k	Angolo di resistenza al taglio φ'_k	Modulo di deformabilità E'_k	Modulo di Poisson
	[m]	[kN/m³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
Argilloscisti di Costagiutta	55	26	240	41	1950	0.3
	155	26	420	33	1950	0.3

Tabella 4-1 – Dati Geotecnici di riferimento per il substrato roccioso

Per poter valutare l'influenza dello scavo della galleria sulla stabilità globale del versante, è stato sviluppato un apposito modello numerico ad elementi finiti attraverso il quale è

stato ricostruito lo stato attuale in termini di campo tensio-deformativo e margini di sicurezza nei confronti di eventuali ulteriori processi di dinamica morfologica (analisi stabilità globale).

Come sezione significativa ai fini della verifica di stabilità è stata considerata parte della sezione geologica. Essa attraversa la parte centrale dell'area Pg3a interessata dal passaggio delle gallerie "Monterosso". L'interazione tra la sezione di verifica e le gallerie è mostrata nella **Figura 4-3**.

Il modello numerico è stato implementato utilizzando un codice di calcolo appositamente sviluppato per applicazioni di tipo geotecnico (MIDAS GTS NX 2015 V.2.1), attraverso il quale è possibile tenere conto sia del comportamento elasto-plastico non lineare tipico dei materiali geotecnici, sia dell'effettiva storia di carico cui essi sono sottoposti.

Sono state sviluppate analisi non lineari per successivi passi di carico (staged construction) attraverso le quali sono state simulate le variazioni nello stato tensio-deformativo dell'ammasso roccioso per effetto delle successive fasi costruttive.

Le analisi di stabilità globale sono state condotte mediante l'approccio SRM (Strength Reduction Method, Griffith et. al. 1999; Matsui, 1990) che consente di utilizzare il modello numerico ad elementi finiti per individuare le superfici di scivolamento caratterizzate dal minimo fattore di sicurezza.

Il metodo definisce come fattore di sicurezza (FoS) il minimo coefficiente riduttivo della resistenza al taglio delle unità geotecniche tale per cui si attiva un cinematismo (i.e. l'analisi numerica non raggiunge convergenza).

L'approccio, basandosi sul modello numerico ad elementi finiti, consente di tenere conto non solo della resistenza dei materiali, ma anche della loro deformabilità, della presenza di elementi strutturali e della storia di carico (come ad esempio le variazioni di stato tensionale dovute alla realizzazione della galleria).

In **Figura 4-1** è riportata la maglia ad elementi finiti utilizzata, le differenti unità geotecniche considerate e il sovraccarico variabile applicati al modello.

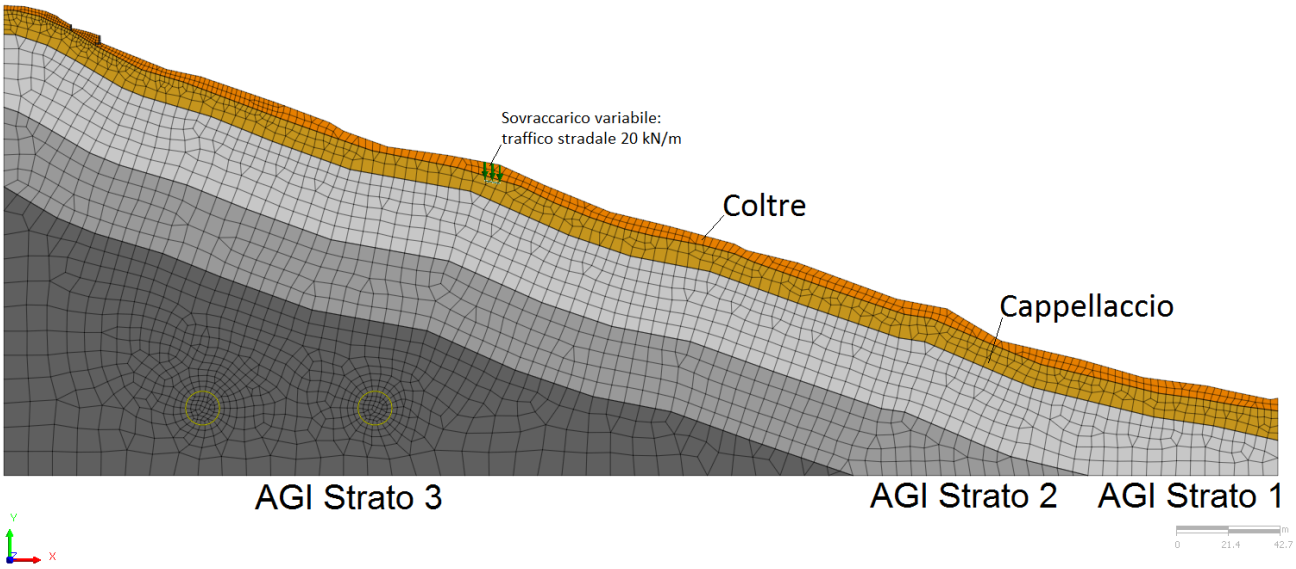


Figura 4-1 – Modello geotecnico ad elementi finiti – Stratigrafia

I valori dei parametri geotecnici utilizzati per la verifica sono riportati in **Tabella 4-1**. Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento ai dati riportati nei documenti di progetto della galleria (cfr. TUN0007) e mostrati in **Tabella 4-1**. I valori intermedi degli strati del substrato roccioso sono stati individuati attraverso interpolazione lineare.

Per quanto riguarda la caratterizzazione meccanica della coltre e della fascia di alterazione, non sono ad oggi disponibili prove di laboratorio su campioni prelevati in sito di argilloscisti di Costagiutta. Per questo, ai fini delle verifiche di stabilità, sono stati utilizzati in via preliminare gli stessi parametri geotecnici caratteristici dell'unità degli argilloscisti di Murta, affine per caratteristiche litologiche e geotecniche alla formazione in esame, come anche indicato dall'osservazione degli affioramenti presenti nell'area di Murta, eseguita durante il sopralluogo del Dicembre 2015.

Si fa notare come, al fine di evitare problemi di instabilità numerica del modello ad elementi finiti, nella definizione delle caratteristiche geotecniche della coltre si sia tenuto conto di una coesione efficace di 0.5 kPa. Tale valore, essendo molto limitato, permette di evitare problemi numerici senza però influire significativamente sul risultato delle verifiche di stabilità globale.

Strato	Peso di volume (kN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kPa)	Modulo di deformabilità (kPa)
Coltre	20.5	28	0.5	15000
Cappellaccio	23	20	20	60000
AGI Strato 1	26	43	195	1950000
AGI Strato 2	26	40.2	258	1950000
AGI Strato 3	26	35.8	357	1950000

Tabella 4-1 - Parametri geotecnici caratteristici impiegati

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nell'area interessata dal dissesto (codificata 725 nella cartografia del Piano di Bacino) è previsto il passaggio delle gallerie Monterosso, con un ricoprimento in calotta di circa 103 m per la galleria Est e 130 m per la galleria Ovest in corrispondenza della sezione considerata per le verifiche di stabilità globale del versante.

Le gallerie verranno realizzate mediante TBM con un diametro in intradosso pari a 12.84m. Esse saranno rivestite con conci prefabbricati dello spessore di 0.6 m e della lunghezza di 2 m. Tenendo conto di un gap di 22cm, il diametro di scavo previsto risulta essere 14.48 m.

In **Figura 4-2** sono riportate le sezioni tipo delle due gallerie.

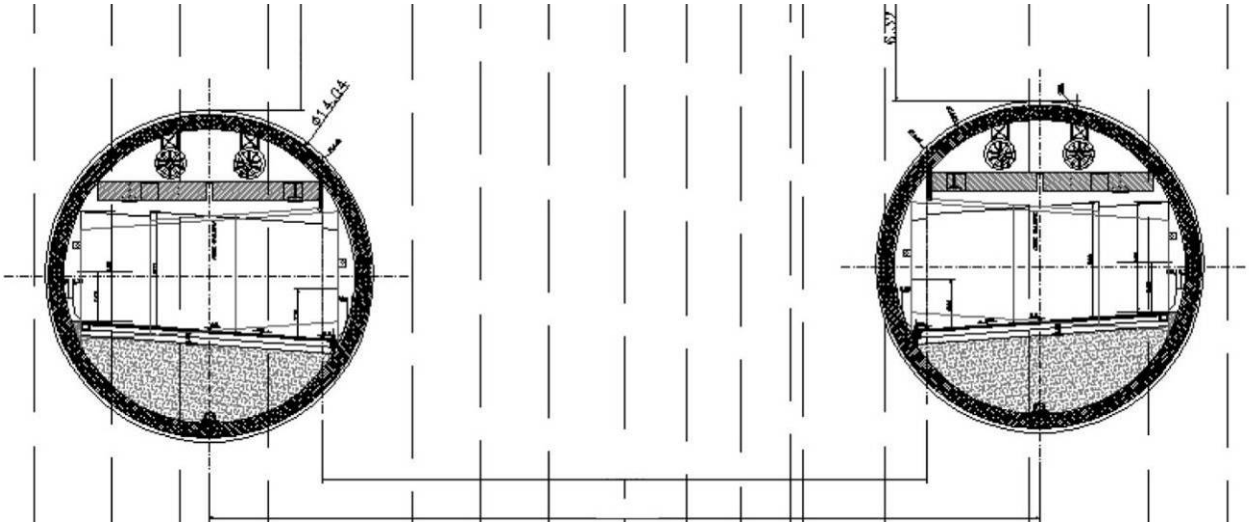


Figura 4-2 – Sezioni tipo Gallerie Monterosso

Nella relazione di calcolo (elaborato TUN0007) gli scavi sono stati analizzati facendo riferimento ad una sezione circolare con diametro di scavo di 14.48m (14.04 m in estradosso), adottando sia l'approccio delle linee caratteristiche, sia sviluppando appositi modelli numerici assialsimmetrici.

La possibile interferenza dell'opera con la stabilità globale del versante è legata alla variazione di stato tensionale nell'ammasso roccioso che si avrà per effetto delle convergenze del profilo di scavo.

Le analisi svolte per il progetto definitivo hanno considerato coperture orizzontali da 55 m a 155 m, prevedendo convergenze radiali massime comprese tra 0.8 mm e 40 mm.

In **Figura 4-3** è riportata una vista planimetrica dell'area in oggetto sulla quale è riportata sia la sezione di verifica che il tracciato previsto delle Gallerie Monterosso.

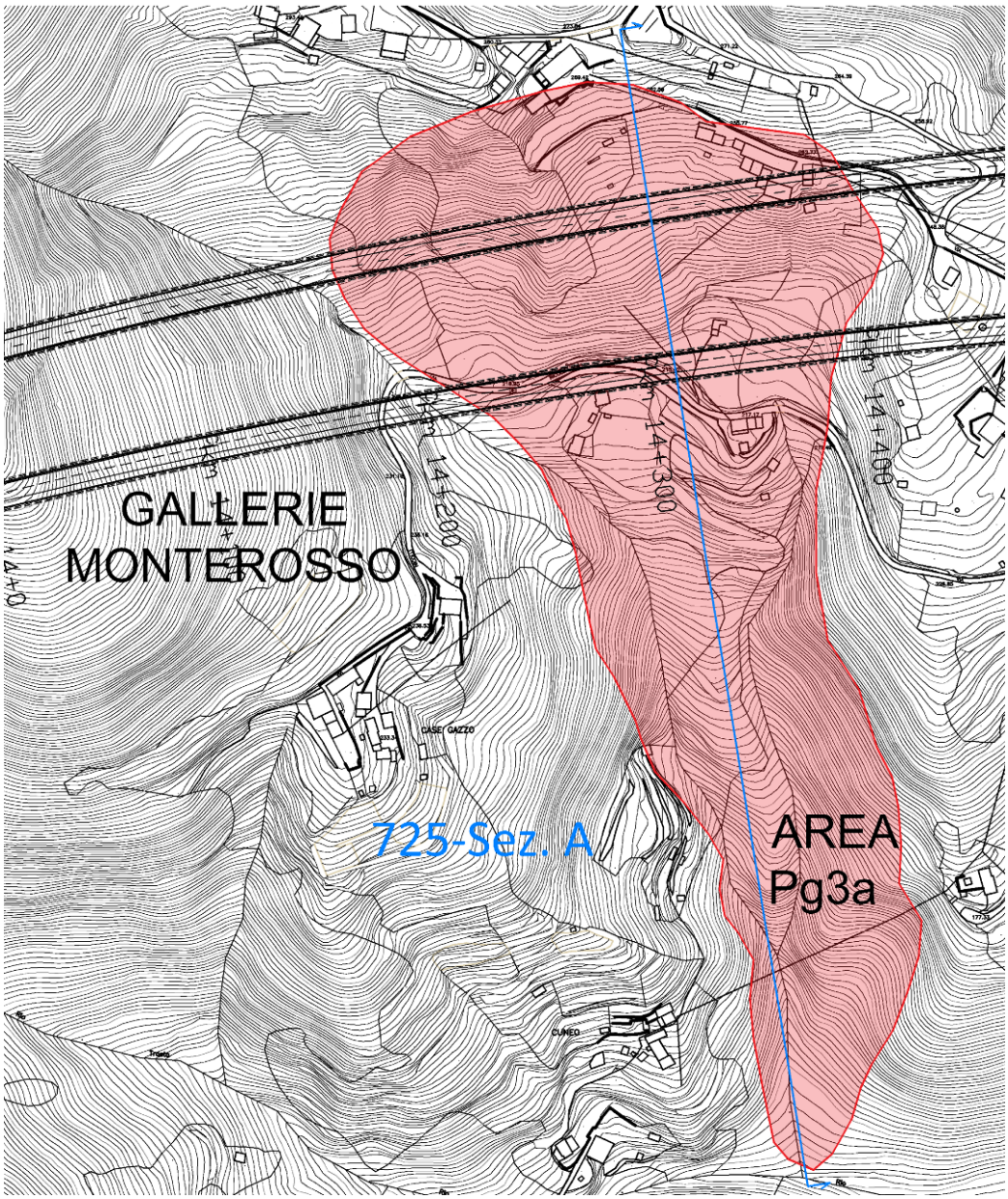


Figura 4-3 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata e del tracciato delle gallerie

4.3 ANALISI DI STABILITÀ

La verifica dell'influenza delle opere in progetto sulla stabilità globale del versante è stata eseguita utilizzando il modello numerico ad elementi finiti descritto al §4.1. La verifica di stabilità è stata eseguita per passi (staged construction) dallo stato attuale fino alla realizzazione del rivestimento finale.

Il modello numerico considera le seguenti fasi:

1. Equilibrio geostatico iniziale;
2. Realizzazione dello scavo della galleria;
3. Realizzazione del rivestimento definitivo della galleria;

In analogia a quanto assunto per il progetto definitivo della galleria, la geometria di scavo è stata considerata come una circonferenza con raggio 14.48 m.

Allo stesso modo il rivestimento in C.A. è stato semplificato come un anello avente spessore di 0.6 m, pari allo spessore minimo del rivestimento previsto a progetto.

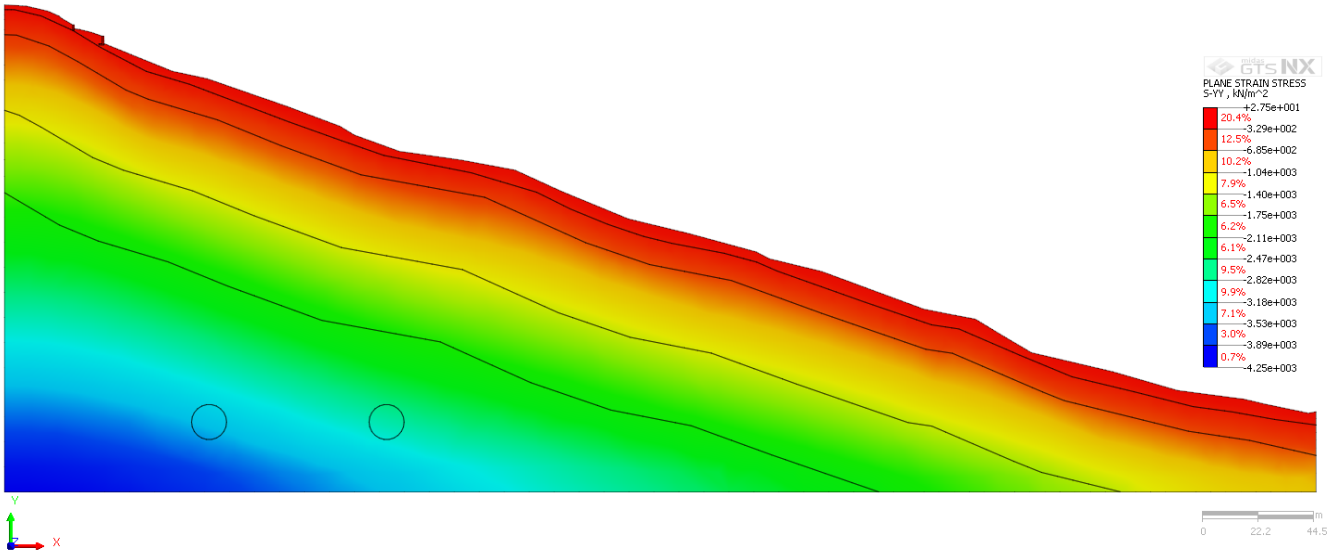


Figura 4-4 – Modello FEM per l'analisi delle condizioni attuali del versante – Stato di sforzo verticale

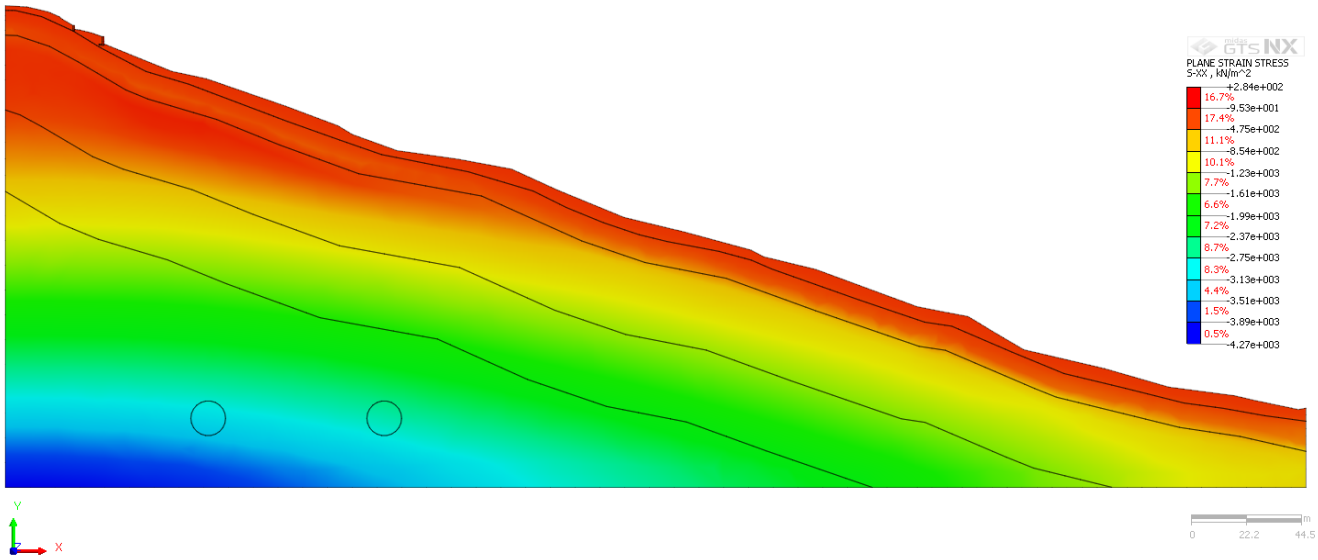


Figura 4-5 – Modello FEM per l'analisi delle condizioni attuali del versante – Stato di sforzo orizzontale

In **Figura 4-4** e **Figura 4-5** sono riportate le mappature ottenute per lo stato tensionale iniziale del modello numerico, in termini di sforzi totali verticali (σ_{yy}) e orizzontali (σ_{xx}).

Le analisi di stabilità globale per le condizioni attuali sono state condotte utilizzando i parametri caratteristici riportati in **Tabella 4-1**.

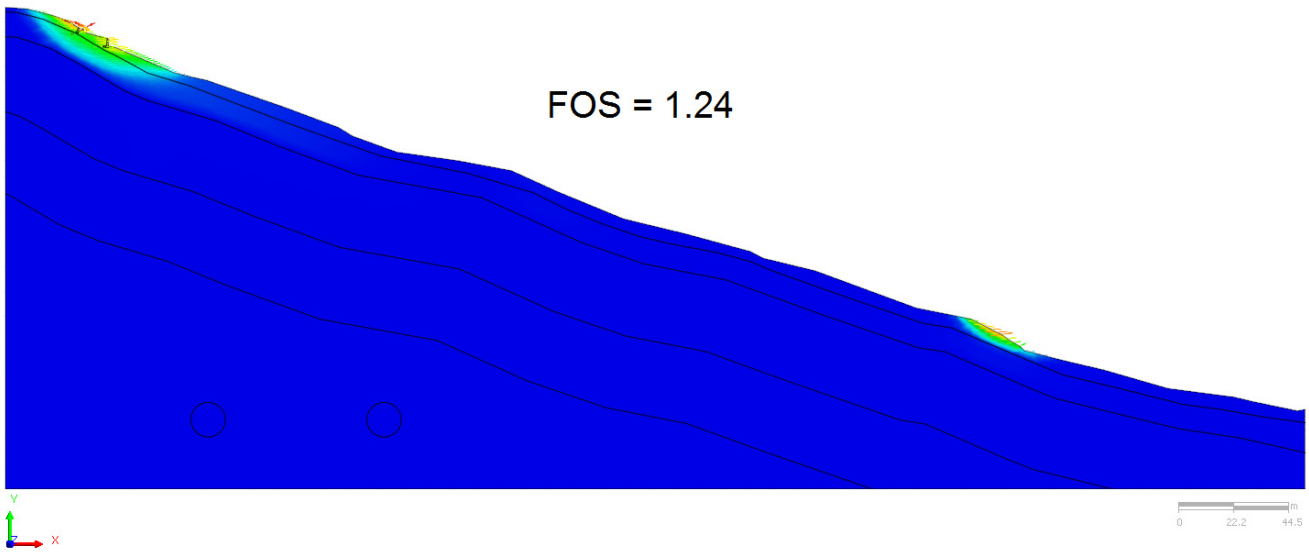


Figura 4-6 – Analisi stabilità globale allo stato attuale

In **Figura 4-6** sono riportati i risultati dell'analisi di stabilità globale in termini di minimo fattore di sicurezza ottenuto e relativo cinematismo. Il fattore di sicurezza minimo ottenuto allo stato attuale è pari a 1.24.

La parte più instabile del pendio è quella interessata dalle pendenze maggiori nella parte bassa e nella parte alta della sezione, dove la coltre di copertura è sostenuta dalle opere murarie presenti. Il cinematismo coinvolge solamente lo strato superficiale della coltre e non interessa la fascia di alterazione delle argilloscisti sottostante.

La verifica di stabilità in condizioni di progetto è stata svolta a valle del secondo e del terzo passo di carico, che prevedono lo scavo delle gallerie e la realizzazione del rivestimento definitivo. Prima di procedere all'aggiornamento delle analisi di stabilità globale del versante, è stata verificata la validità della modellazione confrontando le convergenze ottenute con il modello ad elementi finiti con quelle previste dai documenti di progetto definitivo delle gallerie. Il confronto è stato eseguito a valle del secondo passo di carico, prima del passo in cui viene modellata la realizzazione del rivestimento. In **Figura 4-7** è riportata la mappatura degli spostamenti alla fine delle operazioni di scavo.

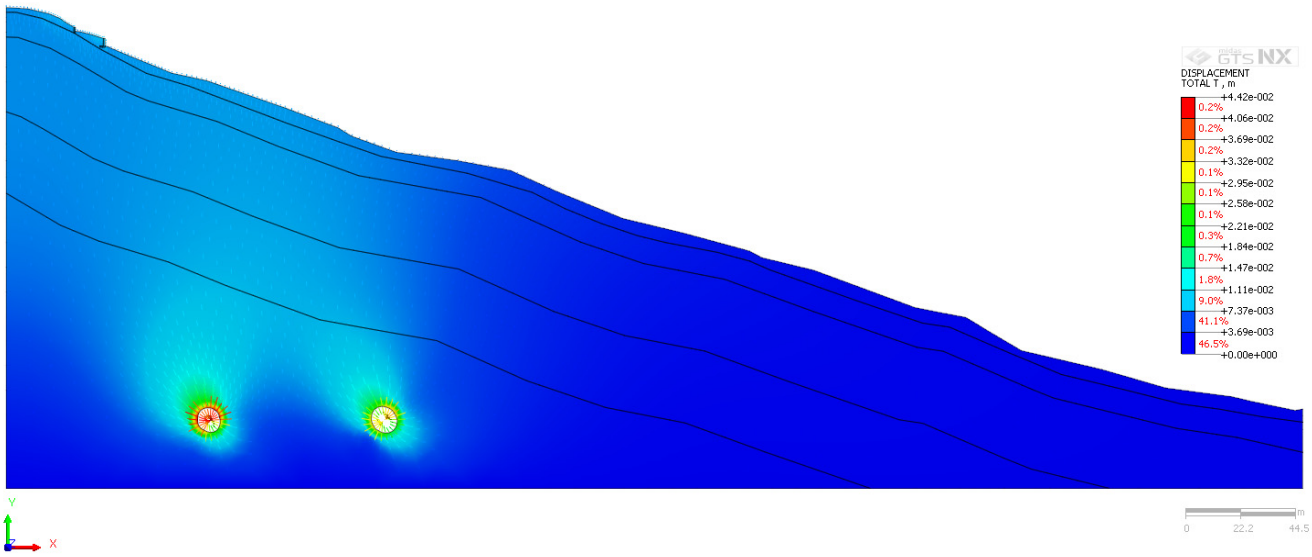


Figura 4-7 – Modello FEM – Mappatura spostamenti alla fine delle operazioni di scavo

Le analisi hanno fornito valori di spostamento massimi pari a 4.42 mm in corrispondenza della parte superiore dello scavo della galleria Monterosso Ovest, valori che si discostano di pochi millimetri dall'intervallo di convergenza indicato per le argilloscisti di Costagiutta lontano dal fronte di scavo. I risultati dell'analisi si ritengono per tanto congruenti con le previsioni del progetto definitivo per il comportamento del cavo delle gallerie.

Per quanto riguarda i cedimenti in superficie in corrispondenza del versante, la mappatura degli spostamenti (**Figura 4-7**) mostra come essi siano compresi tra 6 mm e 7 mm, distribuiti omogeneamente al di sopra delle gallerie.
L'analisi di stabilità globale in condizioni di progetto è stata eseguita a partire dallo stato tensio-deformativo che si ottiene a valle della simulazione delle operazioni di rivestimento della galleria mediante conci prefabbricati.
In **Figura 4-8** è riportato il risultato dell'analisi di stabilità globale in termini di minimo fattore di sicurezza ottenuto e del relativo cinematismo.

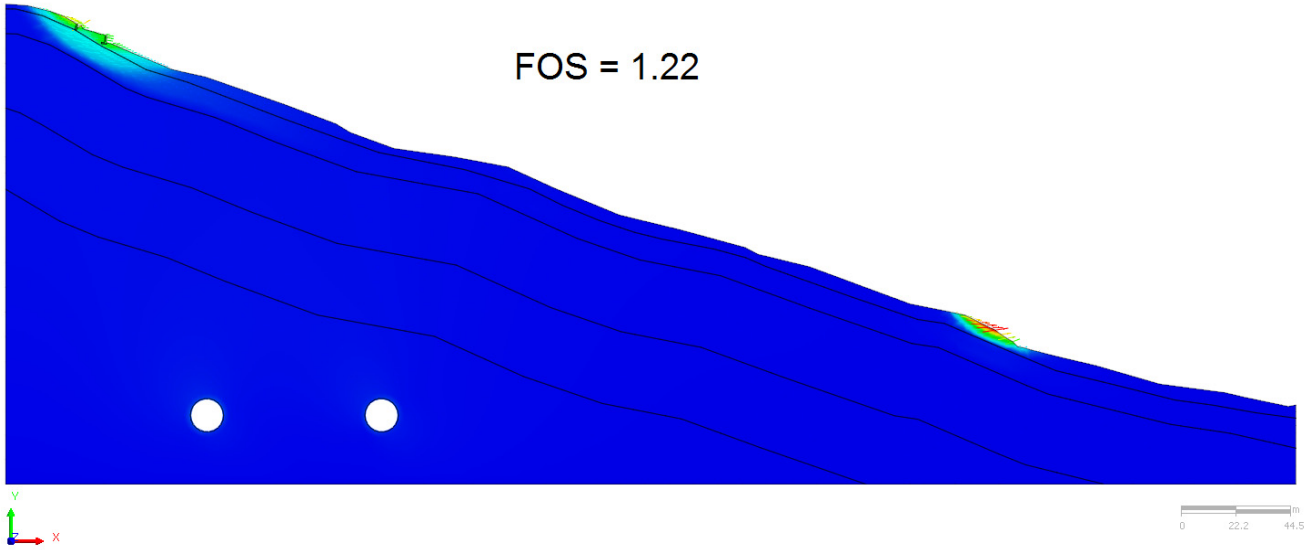


Figura 4-8 – Analisi stabilità globale alla fine delle operazioni di scavo e rivestimento delle gallerie

Il minimo fattore di sicurezza ottenuto nelle condizioni di progetto è pari a 1.22, valore analogo a quello ottenuto per le condizioni attuali (1.24 di **Figura 4-6**). Come si evince dal confronto tra le figure la porzione di coltre interessata da un potenziale scivolamento è esattamente la stessa. Questo indica che le condizioni di equilibrio non hanno subito variazioni sostanziali a seguito della realizzazione dei cavi delle gallerie Monterosso Este ed Ovest.

Sulla base delle analisi descritte si conclude che la realizzazione delle Gallerie Monterosso Est e Monterosso Ovest non ha alcun effetto significativo sulla stabilità globale del versante soprastante.

5. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO

A completamento delle attività effettuate, si valuta l'opportunità di svolgere le indagini di seguito descritte in corrispondenza della zona medio-sommitale dell'area identificata come dissesto quiescente nei documenti prodotti dagli enti:

- n.2 sondaggi a carotaggio continuo, , in modo tale da definire in maniera più precisa lo spessore dei depositi superficiali interessati dal dissesto e le caratteristiche dei materiali sovrastanti la galleria in progetto ;
- n. 1 sondaggi a distruzione di nucleo;
- Stese sismiche a rifrazione.

Tali indagini sono previste a conferma delle ipotesi di progetto circa gli spessori dei materiali potenzialmente instabili.

5.1 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 5-1 – 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 ciascun satellite 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

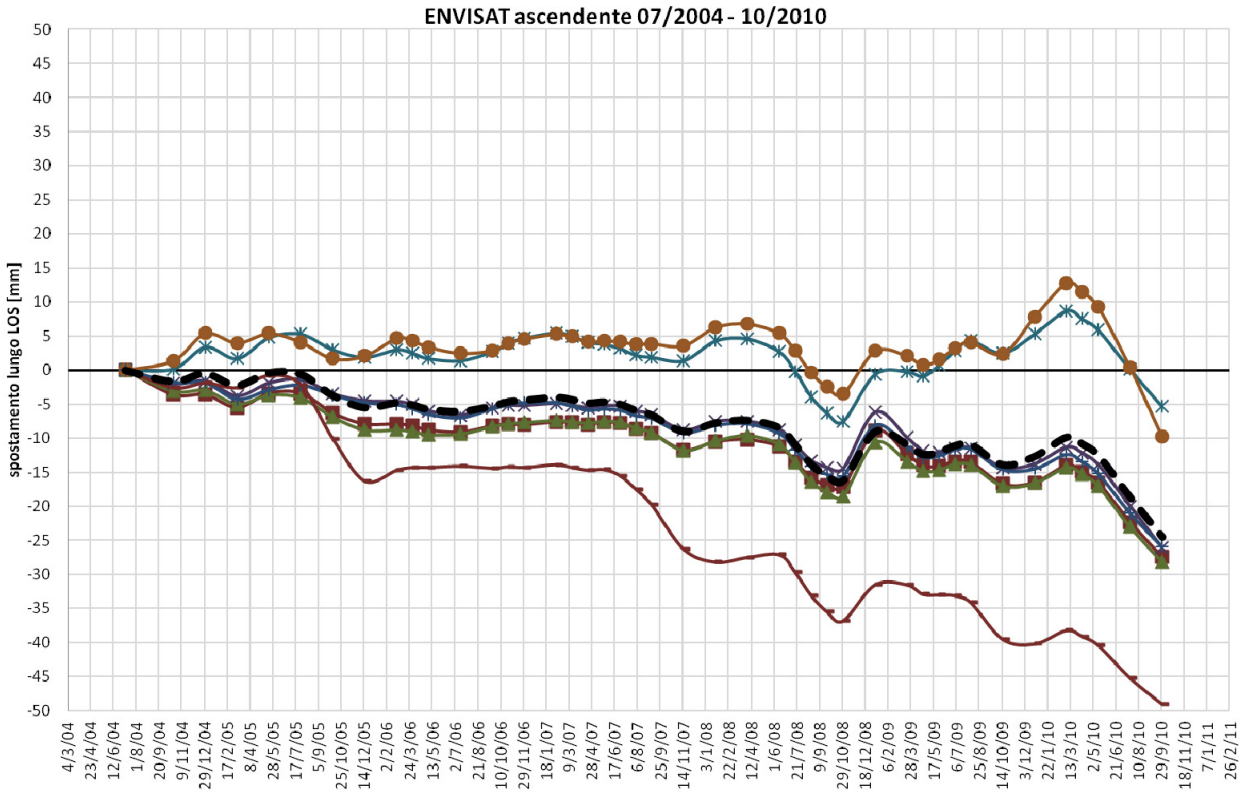


Figura 5-2 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

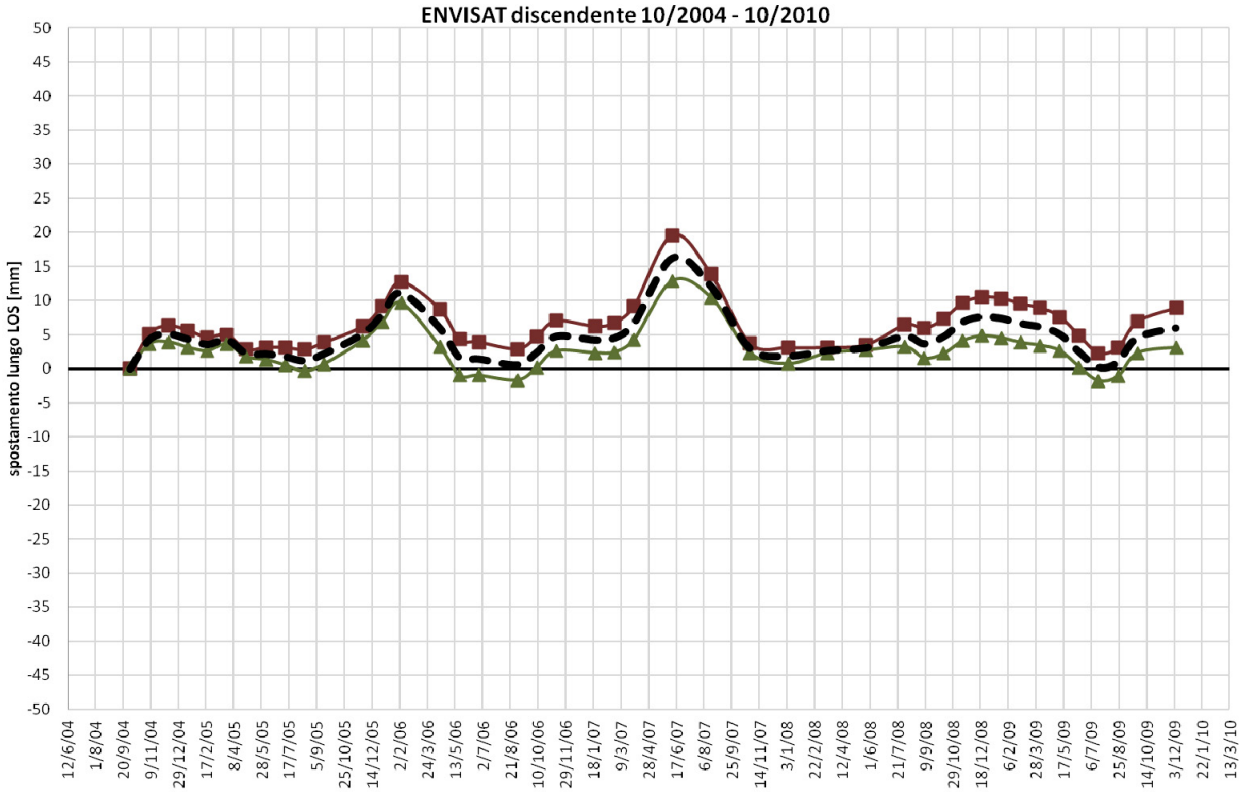


Figura 5-3 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

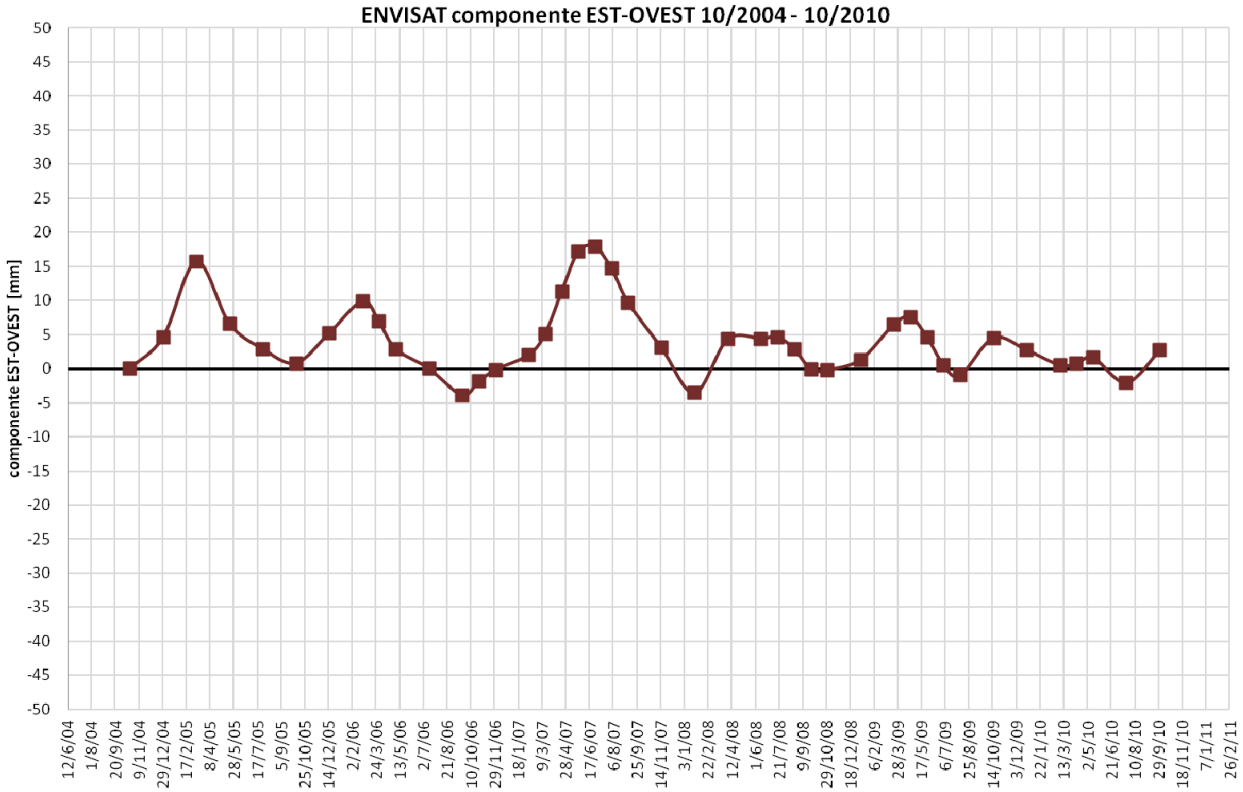


Figura 5-4 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

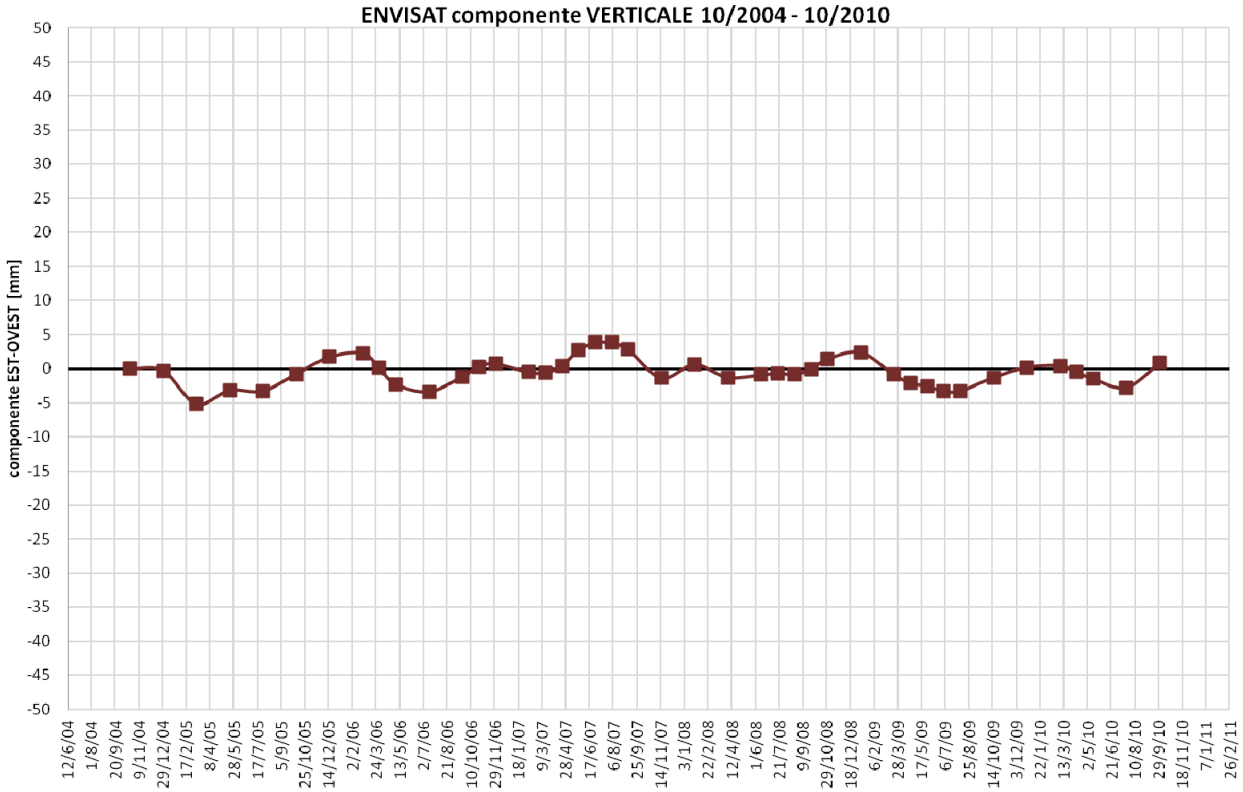


Figura 5-5 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano un abbassamento.

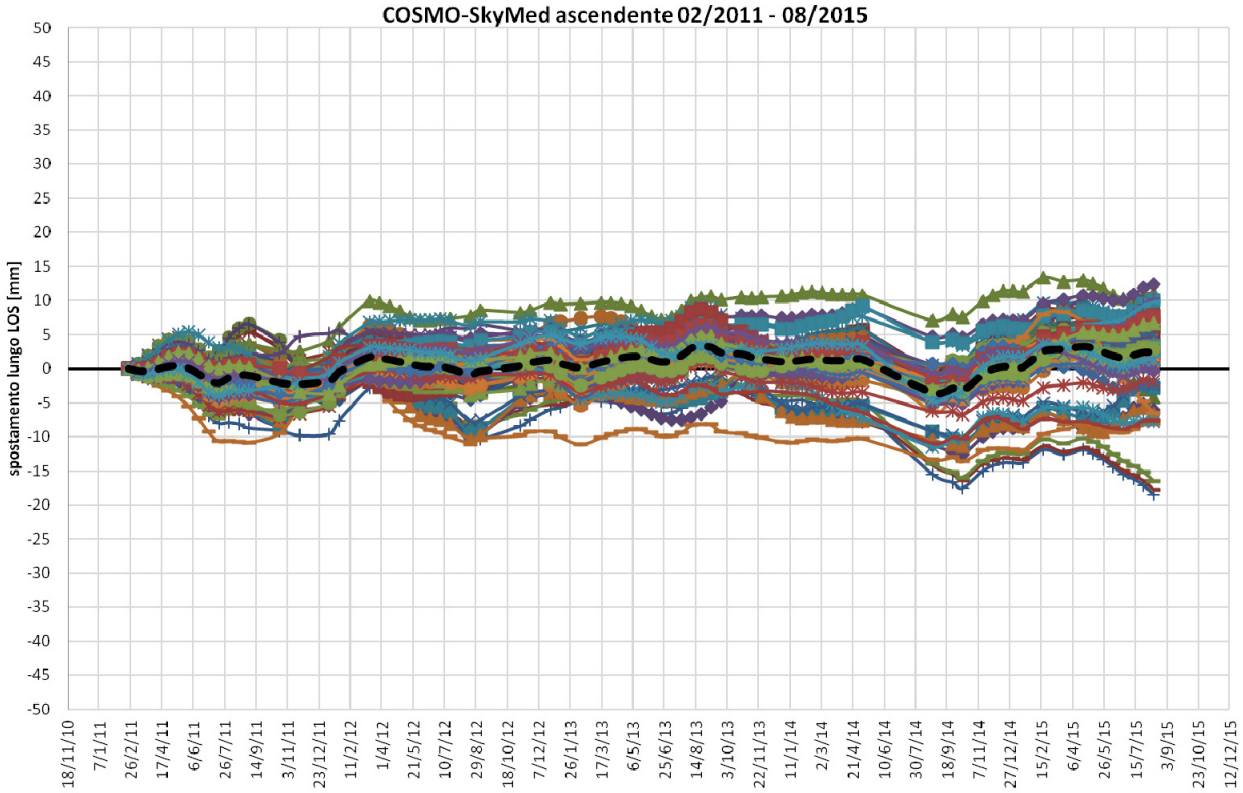


Figura 5-6 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

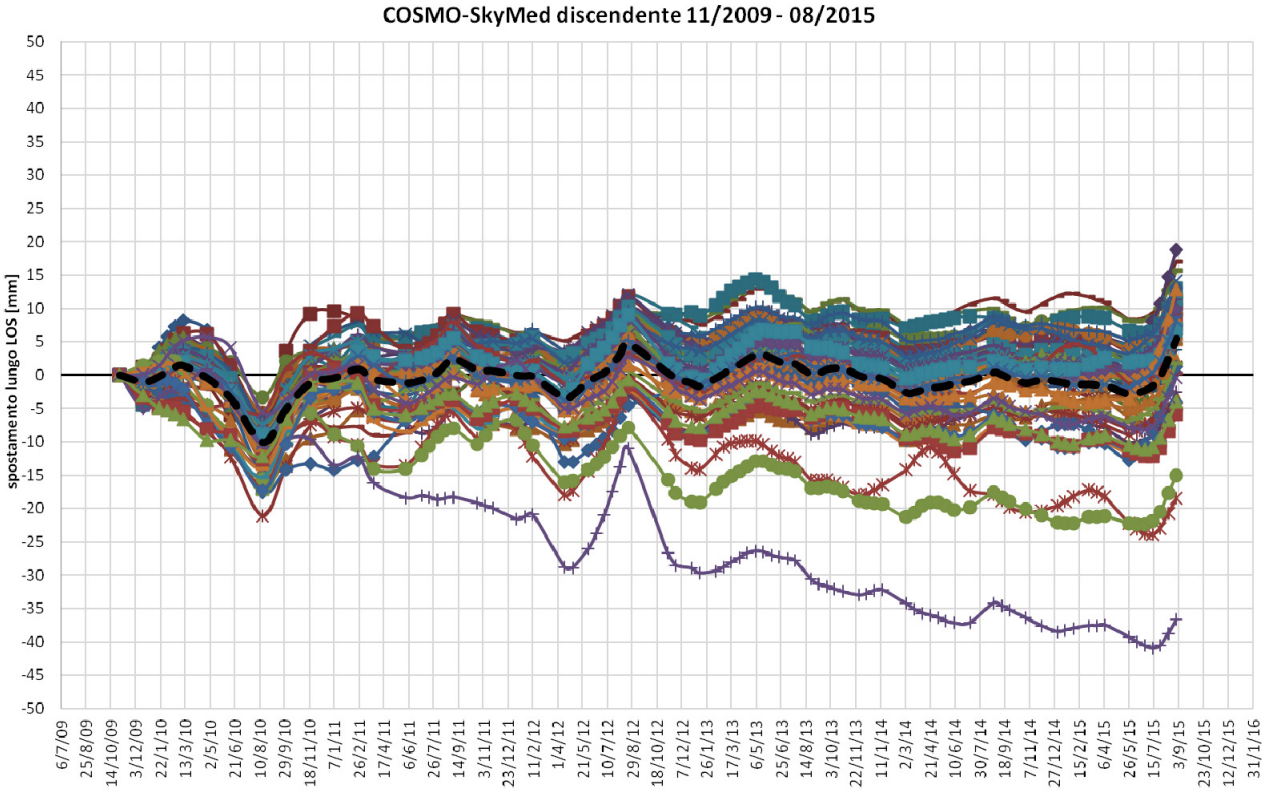


Figura 5-7 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

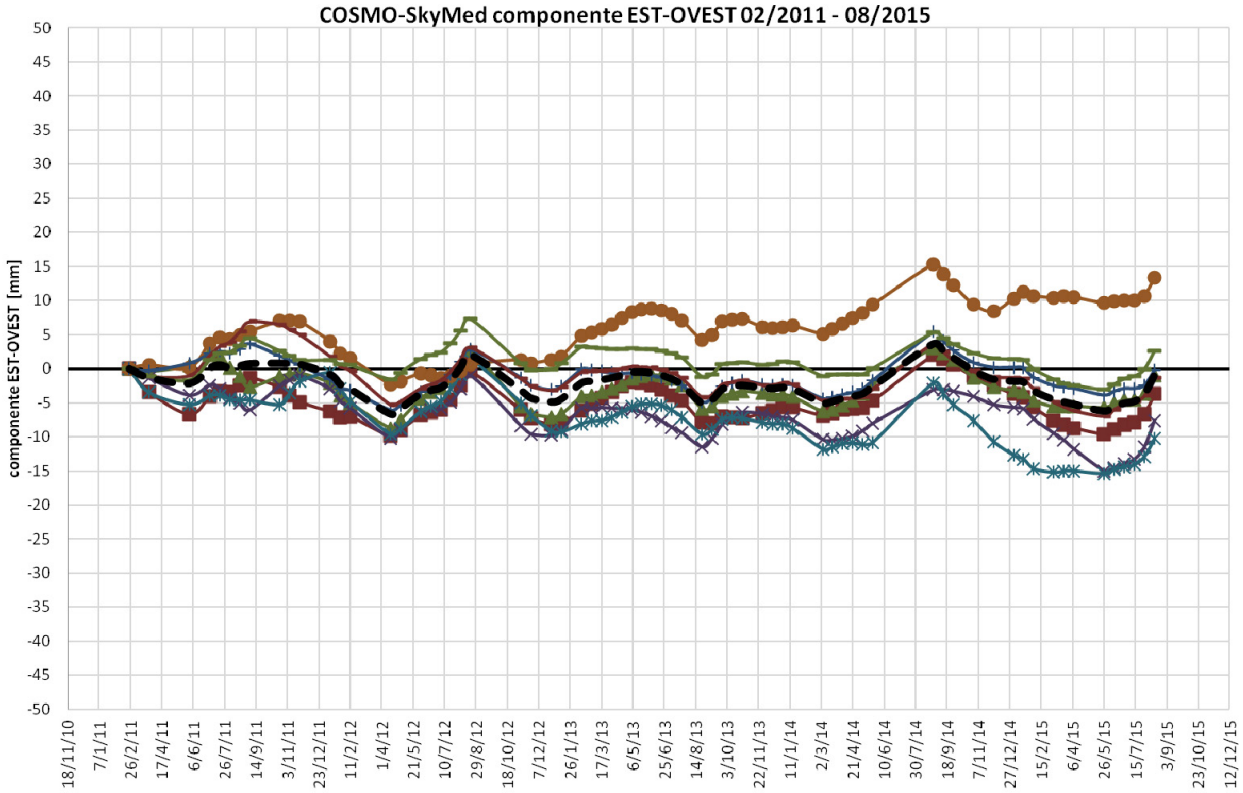


Figura 5-8 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

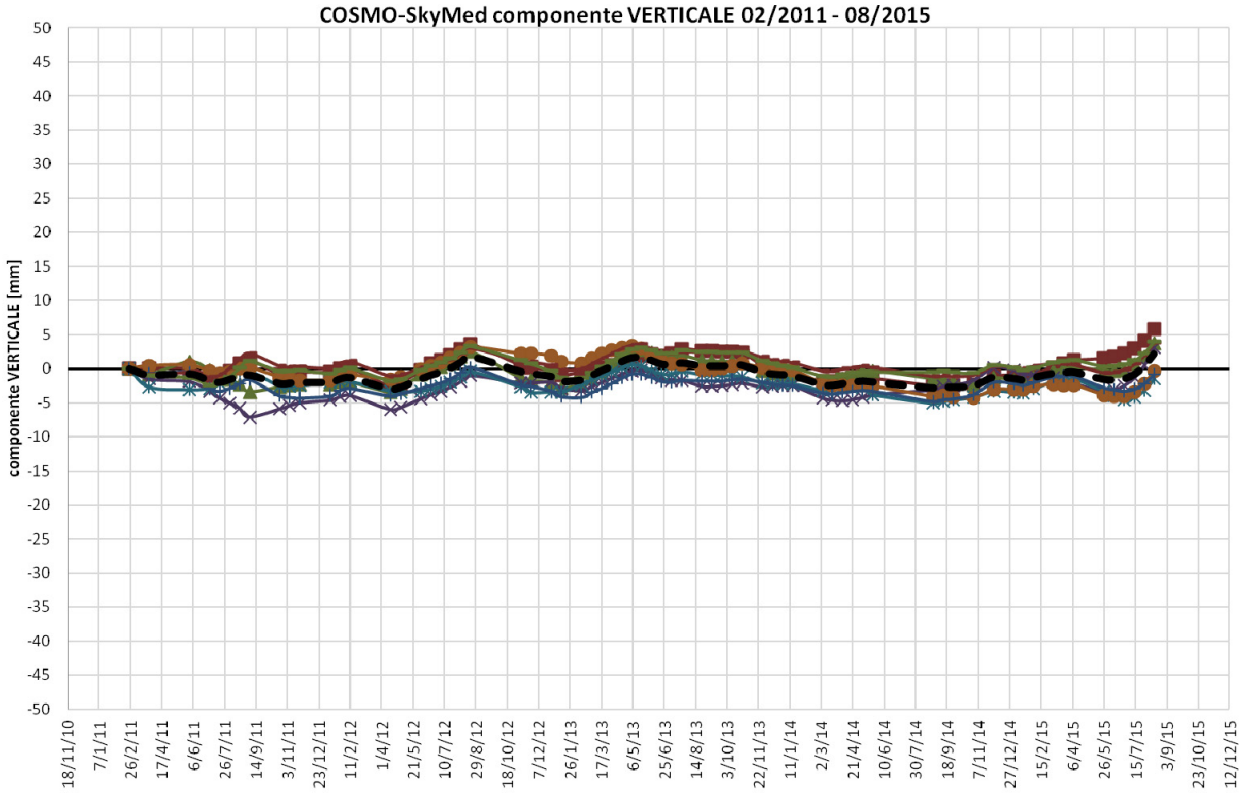


Figura 5-9 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano un abbassamento.

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 ENVISAT e COSMO-SkyMed ascendenti e discendenti, al fine di capire se sono presenti fenomeni significativi di deformazione del terreno.

L'andamento dei pochi riscontri radar visibili dal satellite ENVISAT in orbita ascendente (n. 7 riscontri) e in orbita discendente (n. 2 riscontri), mostrano un'assenza di movimenti nel periodo 2004 – 2010.

L'analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 76 riscontri) e discendenti (n. 57 riscontri) nel periodo 2009 - 2015 non individuano spostamenti significativi.

Dai grafici del dataset del satellite COSMO-SkyMed in orbita discendente si osserva per alcuni punti uno spostamento cumulato di 25 – 40 mm nel periodo 2009 – 2015 con velocità di spostamento comprese tra 4 e 7 mm/anno. Invece, dall'analisi della componente est-ovest, determinata dalla composizione dei dataset ascendenti e discendenti, non è riconoscibile alcun movimento significativo.

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.

6. CONCLUSIONI

Al di sopra delle gallerie Monterosso Est e Ovest, in corrispondenza delle progressive chilometriche 14+200 e 14+400, è presente un'area di frana catalogata come Pg3a "frana quiescente" dalla cartografia del Piano di Bacino.

Sono state svolte analisi numeriche di stabilità del versante in esame al fine di valutare l'influenza dell'intervento di realizzazione di due gallerie previsto nel progetto definitivo. Esse hanno evidenziato come la stabilità dell'area di frana non venga influenzata in maniera significativa dagli scavi eseguiti in profondità.

Si può concludere che la realizzazione delle due gallerie non interferisce negativamente con le condizioni di stabilità dell'area di frana 725.

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, non inficiando la stabilità dell'area in oggetto, 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 ed 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 gennaio 2016)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata gennaio 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* – Analisi di stabilità