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 727

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	5	–	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	

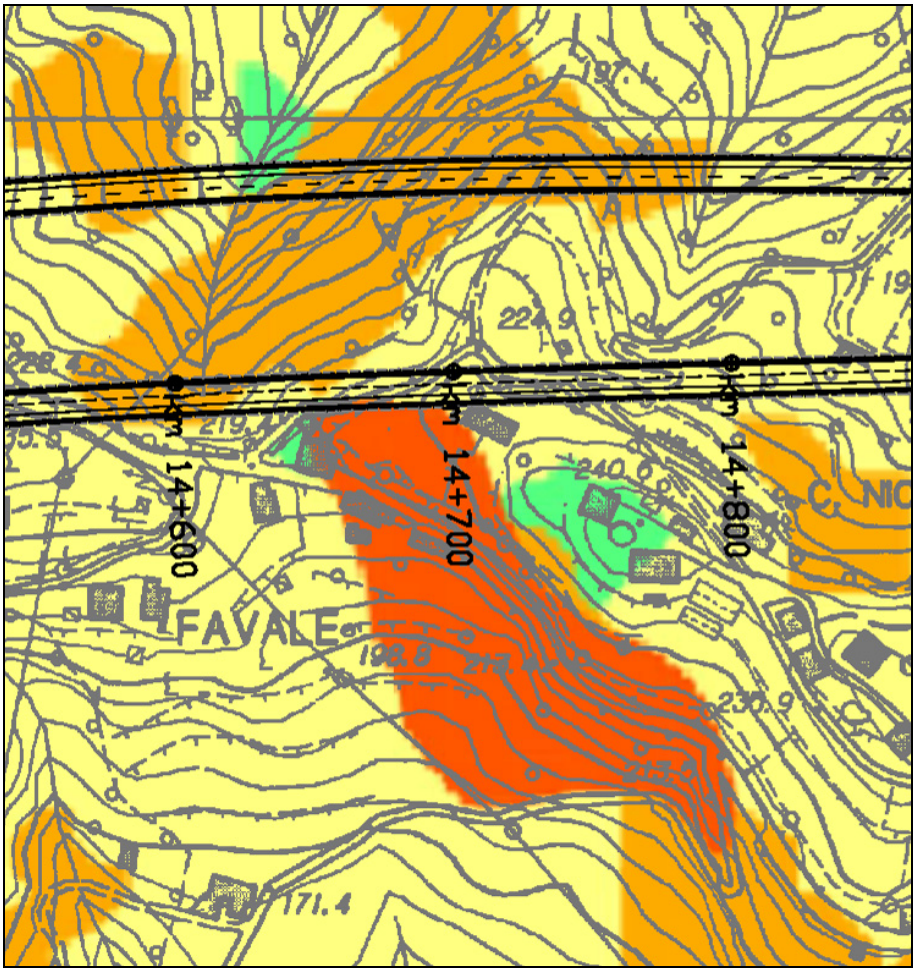
	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

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 727 (PG3A)

OPERA INTERFERENTE: GALLERIA MONTEROSSO

EST



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 15

3.6 INDAGINI ESEGUITE 15

3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 16

3.8 CAUSE DEL DISSESTO 32

3.9 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 32

4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI 33

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 33

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 36

4.3 ANALISI DI STABILITÀ 39

5. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 44

5.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI 44

6. CONCLUSIONI 57

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 SGT0206: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana 727 (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 727, che risulta interferente con la galleria Monterosso est fra le progressive chilometriche 14+600 e 14+750.

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 fotointerpretativa 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.

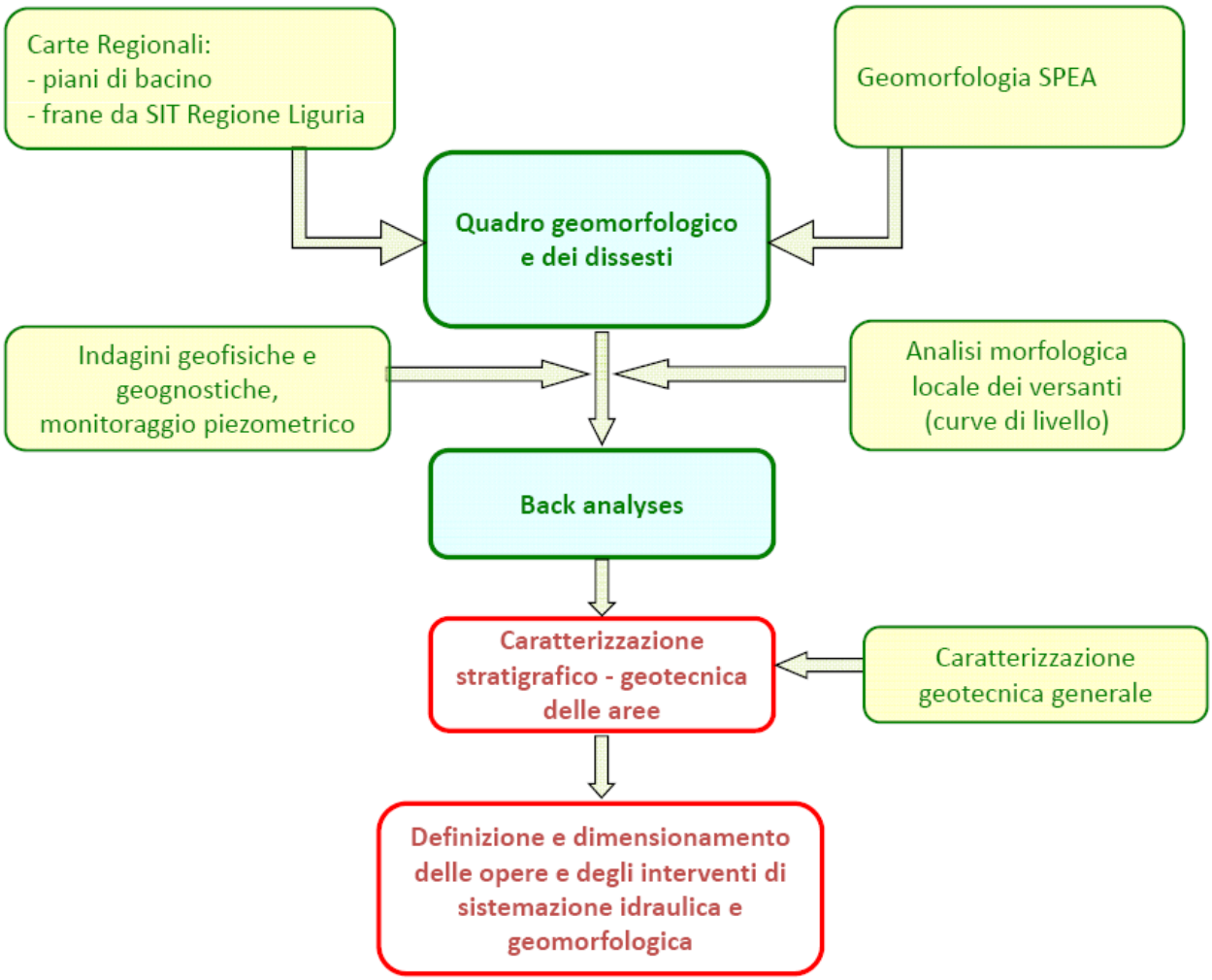


Figura 2-1 – Schema generale metodologia

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: MURTA - FAVALE

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: Torrente Polcevera

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): 727

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 la galleria Monterosso est fra le progressive chilometriche 14+600 e 14+750.

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

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

b) Stati di attività:

	Attiva
X	Quiescente
	Stabilizzata

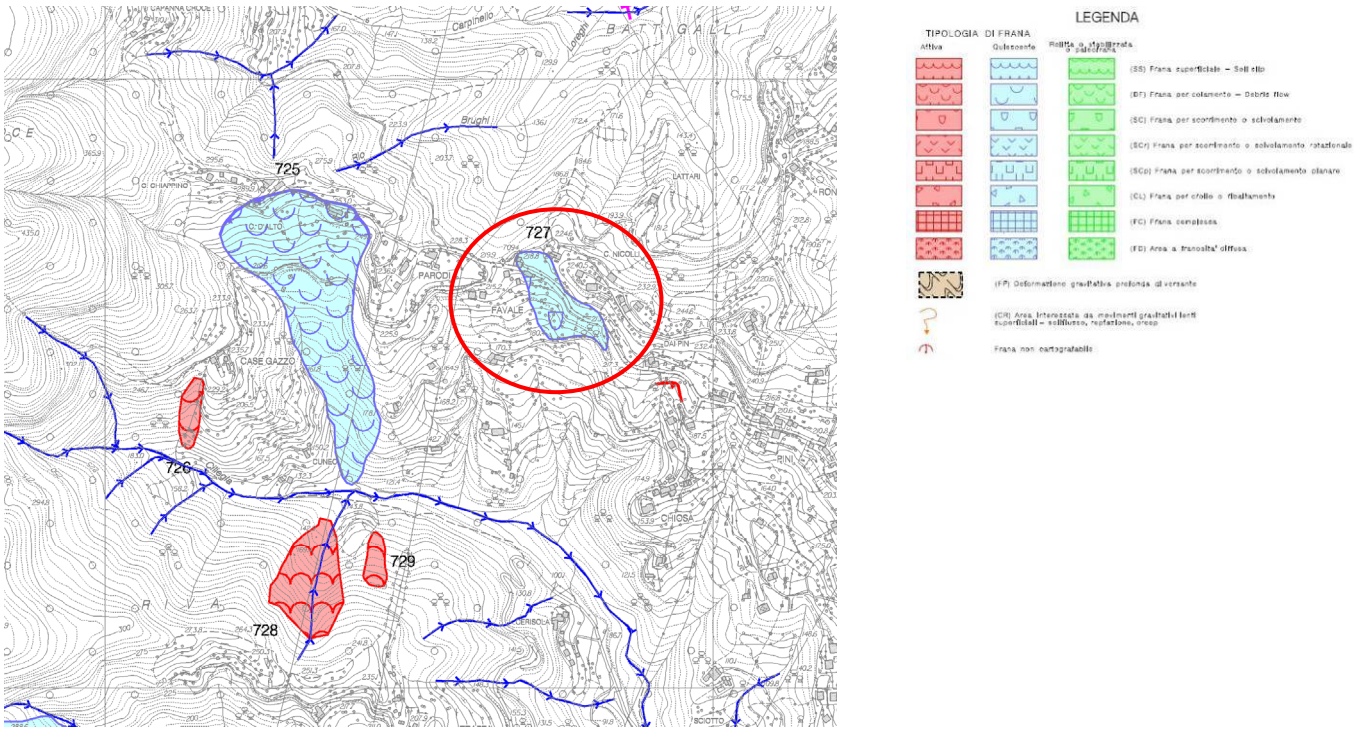


Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino

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.

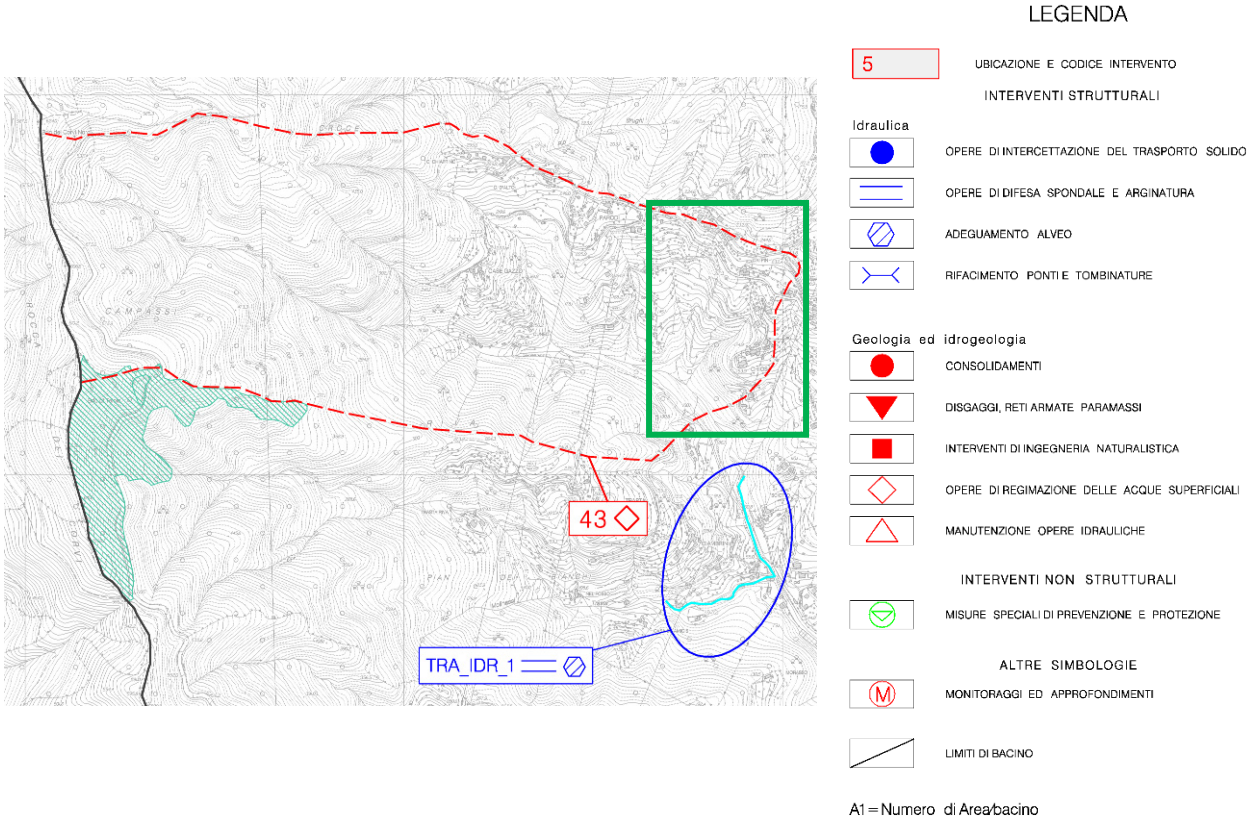


Figura 3-2 – Stralcio della carta degli interventi da Piano di Bacino (in verde è evidenziata l'area di interesse)

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: 0100195700
- Tipo di movimento: Scivolamento rotazionale/traslativo
- Attività: Quiescente
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Viene inoltre segnalata la presenza di un dissesto quiescente per colamento rapido sul medesimo versante 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).

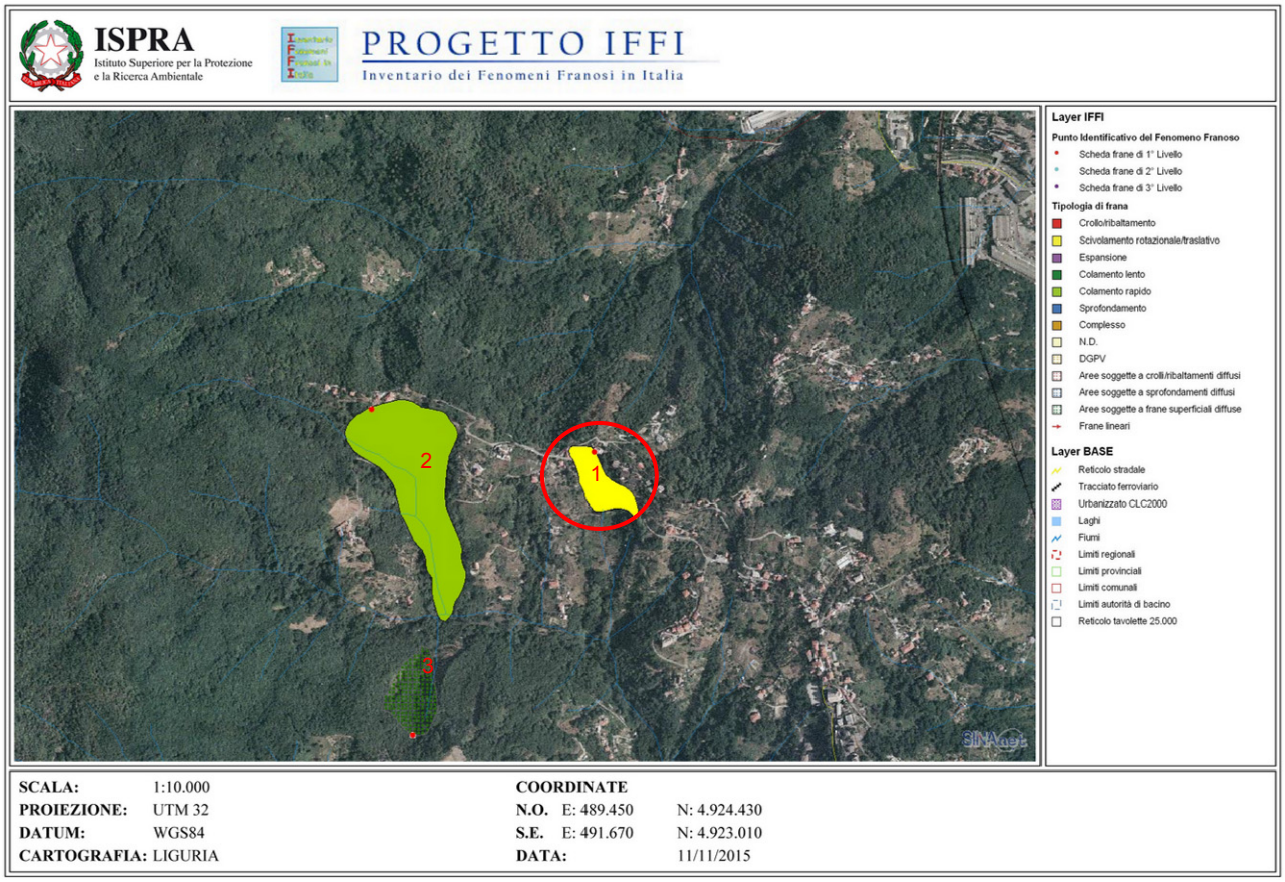


Figura 3-3 — Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)

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 Murta mentre la Formazione di Costagiutta affiora più a ovest.

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 nella porzione settentrionale dell'area (in corrispondenza degli affioramenti esposti è stato osservato uno spessore massimo inferiore a 3 m circa, nella porzione settentrionale dell'area lo spessore aumenta fino a circa 5-6 m

Da un punto di vista geomorfologico, il versante si presenta con acclività media ed è caratterizzato dalla presenza di abitazioni e aree adibite a coltivazioni; localmente l'area è interessata dalla presenza di fitta vegetazione ad alto fusto ed arbustiva, soprattutto nella zona sud orientale (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 un sondaggio a carotaggio continuo (che raggiungerà 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.

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 17/12/2015 è stato effettuato un sopralluogo dell'area di interesse, procedendo dalla cresta del versante fino alle quote più basse dell'area segnalata come Pg3a nella documentazione del Piano di Bacino e nel suo intorno significativo, con lo scopo di affinare e integrare le conoscenze rispetto agli elementi geologici e geomorfologici in sito.

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

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

- Il versante in esame è caratterizzato da acclività medio-alta e da fitta vegetazione sia ad alto fusto sia arbustiva. La porzione più elevata e la porzione mediana del versante sono caratterizzate dalla presenza di terrazzamenti agricoli ed abitazioni. In particolare la casa posta sul quadrivio ha tiranti installati sulle facciate mentre sulla strada sono localmente presenti lesioni nell'asfalto.



Foto 1 - Panoramica dell'area.



Foto 2 - Panoramica con indicata la Pg3a ed i sondaggi integrativi



Foto 3 - Edificio con tiranti

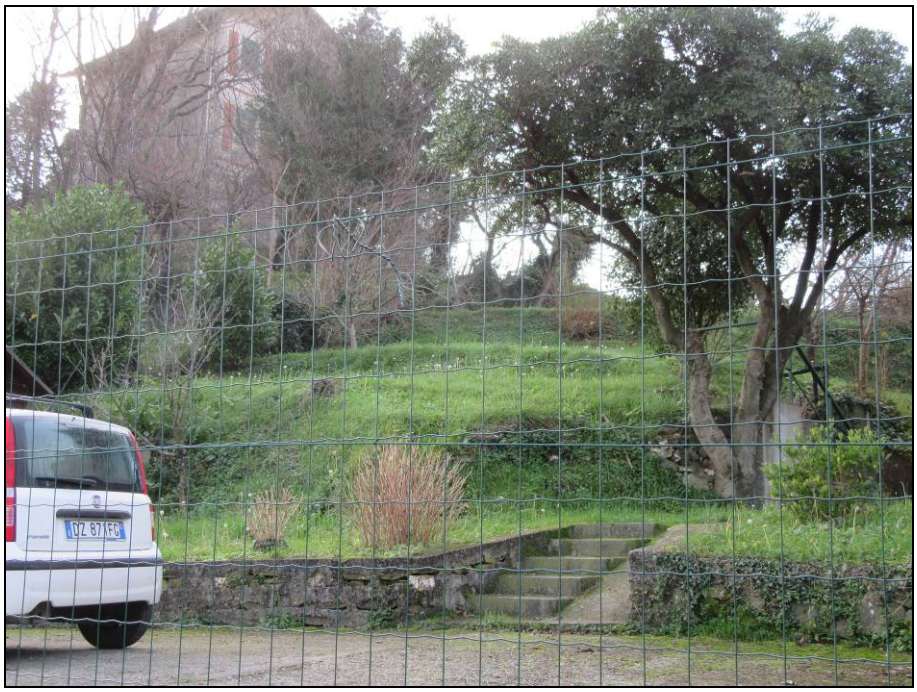


Foto 4 – Porzione superiore dell'area (q.225 m s.m.)



Foto 5 – Porzione mediana del versante (q.190÷210 m s.m.)

- Lungo Via alla Chiesa di Murta, sul versante a monte del muro di controripa, sono stati rilevati alcuni dissesti che interessano il deposito detritico superficiale in corrispondenza del fronte di terrazzi antropici.



Foto 6 – Dissesto a monte della strada (q.219 m s.m.)



Foto 7 – Dissesto nella zona est dell'area di rilievo a monte della strada (q.221 m s.m.)

- Lungo il sentiero che dalla strada conduce alle abitazioni soprastanti, è presente un piccolo dissesto, ormai "colonizzato" da vegetazione arborea, ed un muretto in c.a. (di altezza circa 1 m) soggetto a ribaltamento, deformazione ed interessato da una frattura verticale lungo tutta la sua altezza. Le lesioni sono presumibilmente legate alla tipologia di struttura e ad un difficoltoso drenaggio delle acque superficiali.





Foto 8 e 9 – Muro basculato lungo il sentiero a monte della strada (q.219÷222 m s.m.)



Foto 10 – Frattura nel muro lungo il sentiero a monte della strada (q.220 m s.m.)

- Il muro di controripa di Via alla Chiesa di Murta, su un tratto di qualche decina di metri, presenta un "rinforzo" frontale per un'altezza di altezza di circa 1.5 m. Sul versante sovrastante il muro, in questo tratto, sono presenti due dissesti connessi con le lesioni del manufatto. Anche la parte di rinforzo, comunque, ha nuove fratture in corrispondenza dei giunti del muro più vecchio; tali lesioni seppur di piccole dimensioni e non continue, indicano la presenza di un movimento del terreno retrostante. Il tratto di strada davanti al muro è stato recentemente ripavimentato ma presenta piccole fratture longitudinali.





Foto 11 e 12 – Tratto di muro con rinforzo frontale



Foto 13 – Immagine da Street view del muro



Foto 14 – Dissesto a monte della strada (q.218 m s.m.)



Foto 15 – Dissesto a monte della strada (q.224 m s.m.)



Foto 16 – Ringrosso del muro stradale di monte parzialmente lesionato in corrispondenza di un giunto (q.216.5 m s.m.)

- Sul versante a valle della strada si nota la presenza di una zona adibita a coltivazione ed a pascolo. In entrambe sono stati rilevati alcuni dissesti che interessano i depositi superficiali e degradazione superficiale diffusa, legata presumibilmente all'azione del calpestio degli animali da pascolo.



Foto 17 – Dissesti a valle della strada (q.204 m s.m.)



Foto 18 – Terrazzi degradati soggetti a erosione superficiale diffusa (q.210÷200 m s.m.)

- La zona a valle di Via alla Chiesa di Murta è stata oggetto nel corso del 2014 di interventi di sistemazione e rinforzo di una porzione del muro di sottoscarpa che aveva subito evidenti lesioni strutturali. All'interno dell'opera di rinforzo eseguita sono state rilevate nuove lesioni, di cui alcune in continuità con quelle presenti nel muro di sostegno originale.

Le lesioni dei manufatti continuano su Via Favale, dove si possono osservare lavori di sistemazione in corso: è stato realizzato un sistema di drenaggio che convoglia le acque da Via Chiesa di Murta ai canali presenti a valle mentre il versante sottostante il muro di sottoscarpa è stato sistemato con gabbioni.



Foto 19 – Muro di rinforzo del opera di sostegno stradale di valle lesionato (q.211 m s.m.)



Foto 20 – Particolare della continuità delle fratture nel muro di sostegno stradale di valle (q.211 m s.m.)



Foto 21 – Opera di regimazione idraulica a valle della strada (q.206÷210 m s.m.)



Foto 22 – Particolare Versante della Pg3a visto dal basso

- Il versante a valle delle opere di sistemazione è caratterizzato dalla presenza di alcune abitazioni e da vegetazione prativa ed è delimitato sui due lati da impluvi abbastanza incisi. Alcune delle abitazioni mostrano nuovamente interventi di "placcaggio" sulle facciate mentre i pali della luce sono inclinati. Tali elementi potrebbero essere connessi con un ulteriore dissesto quiescente, di difficoltosa delimitazione a causa dell'intenso rimaneggiamento antropico dell'area.



Foto 23 – Versante a valle di Via alla Chiesa di Murta



Foto 24 – Pali inclinati sul versante a valle di Via alla Chiesa di Murta

- In corrispondenza degli impluvi che delimitano lateralmente l'area sono presenti alcuni piccoli dissesti attivi connessi con l'azione erosiva dei corsi d'acqua, che sono in stato di abbandono.



Foto 25 – Dissesto sulle sponde del corso d'acqua posto ad ovest in prossimità di un'abitazione

- Tutti gli affioramenti rocciosi osservati all'interno dell'area di rilievo, oltre a presentare una scistosità piegata a scala da centimetrica a decimetrica immergente verso SE, sono interessati dalla presenza di ulteriori famiglie di discontinuità (generalmente 2, localmente 3.



Foto 26 – Affioramento di Argilloscisti lungo Via Favale

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
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 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 è stata realizzata lungo la traccia riportata in Allegato 4, codificata 727-Sez. A e coincidente con la sezione di verifica, ed è riportata in allegato 5.

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 di Murta (AGF) e della relativa fascia di alterazione (AGF-CAP).

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

- 1.5 ÷ 6.5 metri da p.c. – COLTRE di copertura dell'ammasso roccioso: depositi costituiti principalmente da sabbie limose argillose debolmente ghiaiose con ciottoli;
- 10.0 ÷ 14.0 metri da p.c. – CAPPELLACCIO: livello di alterazione della formazione delle Argilloscisti di Murta, avente caratteristiche geomeccaniche più scadenti rispetto alla formazione di base (AGF-Cap);
- Oltre 14.0 da p.c. – SUBSTRATO: formazione di base, Argilloscisti di Murta (AGF).

In **Tabella 4-1** sono riportati i parametri geotecnici di progetto utilizzati per i calcescisti 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 Murta	45	26	160	40	1950	0.3
	145	26	330	32	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 l'intera sezione geologica. Essa attraversa interamente l'area di frana Pg3a lungo la linea di massima pendenza, andando ad intercettare la galleria Monterosso Est nella parte a monte. L'interazione tra la sezione di verifica e la galleria 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 i sovraccarichi variabili e permanenti applicati al modello.

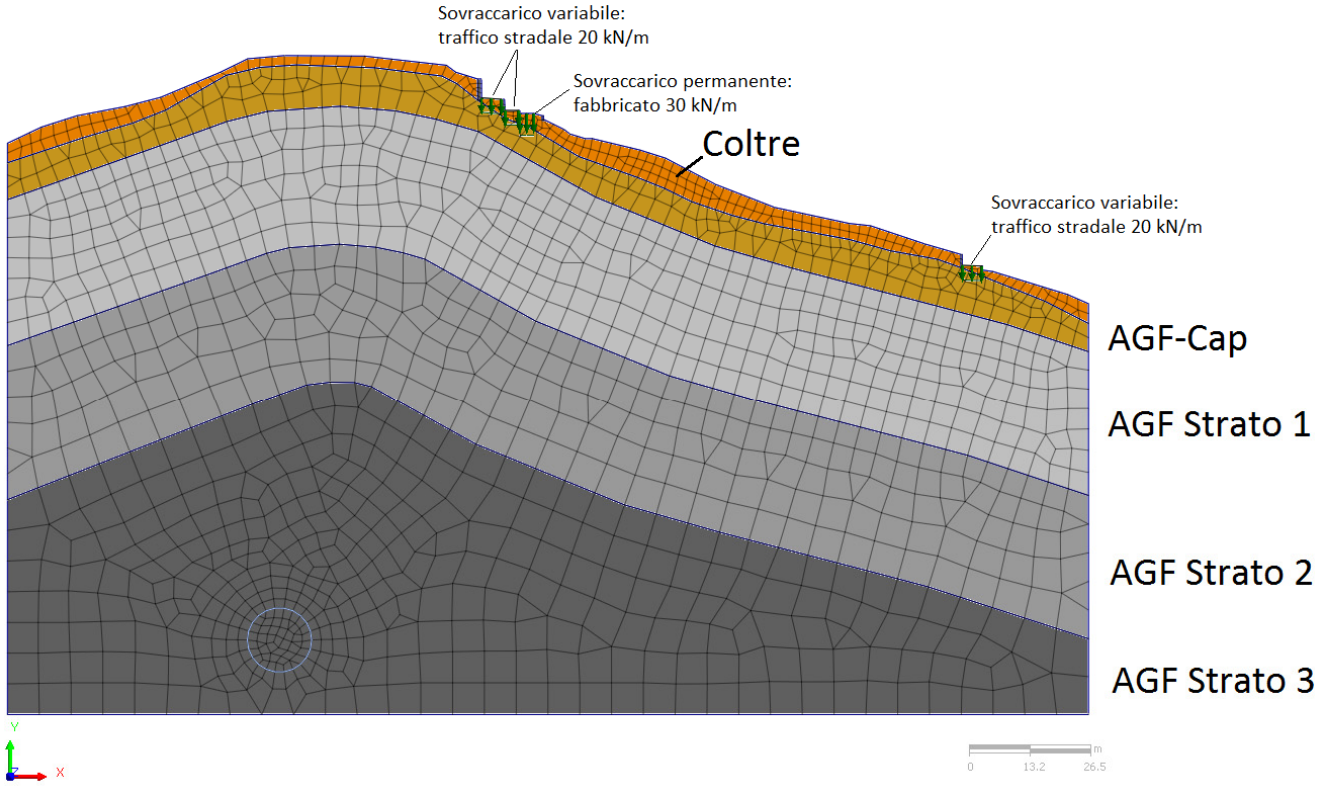


Figura 4-1 – Modello geotecnico ad elementi finiti – Stratigrafia

I valori di caratterizzazione geotecnica utilizzati sono riportati in **Tabella 4-2**. Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento ai dati ricavati dai documenti di progetto della galleria (cfr. TUN0007) e riportati in ***Tabella 4-1***. I valori intermedi sono stati individuati attraverso interpolazione lineare. Per la caratterizzazione delle coltri di copertura e della fascia di alterazione si è invece fatto riferimento alla relazione geotecnica.

Strato	Peso di volume (kN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione efficace (kPa)	Modulo di deformabilità (kPa)
Coltre	20.5	28	0	15000
AGF-CAP	23	20	20	60000
AGF Strato 1	26	41.2	134.5	1950000
AGF Strato 2	26	38.8	190	1950000
AGF Strato 3	26	35.6	368	1950000

Tabella 4-2 – Parametri geotecnici caratteristici impiegati

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nell'area interessata dal dissesto (codificata 727 nella cartografia del Piano di Bacino) è previsto il passaggio della galleria Monterosso Est, con un ricoprimento in calotta di circa 120 m in corrispondenza della sezione considerata per le verifiche di stabilità globale del versante.

La galleria verrà realizzata mediante TBM con un diametro in intradosso pari a 12.84m. Essa sarà rivestita 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** è riportata la sezione tipo della galleria così come concepita in fase di progettazione definitiva.

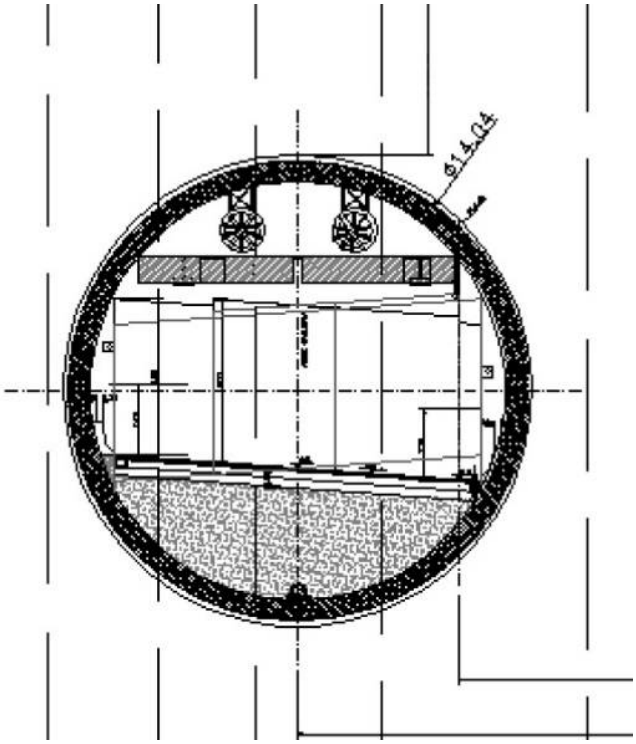


Figura 4-2 – Sezione tipo Galleria Monterosso

Nella relazione di calcolo (elaborato TUN0007) gli scavi sono stati analizzati facendo riferimento ad una sezione circolare con diametro 14.48 m (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 20 m a 260 m, prevedendo convergenze radiali massime comprese tra 8 mm e 46 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 della Galleria Monterosso Est.

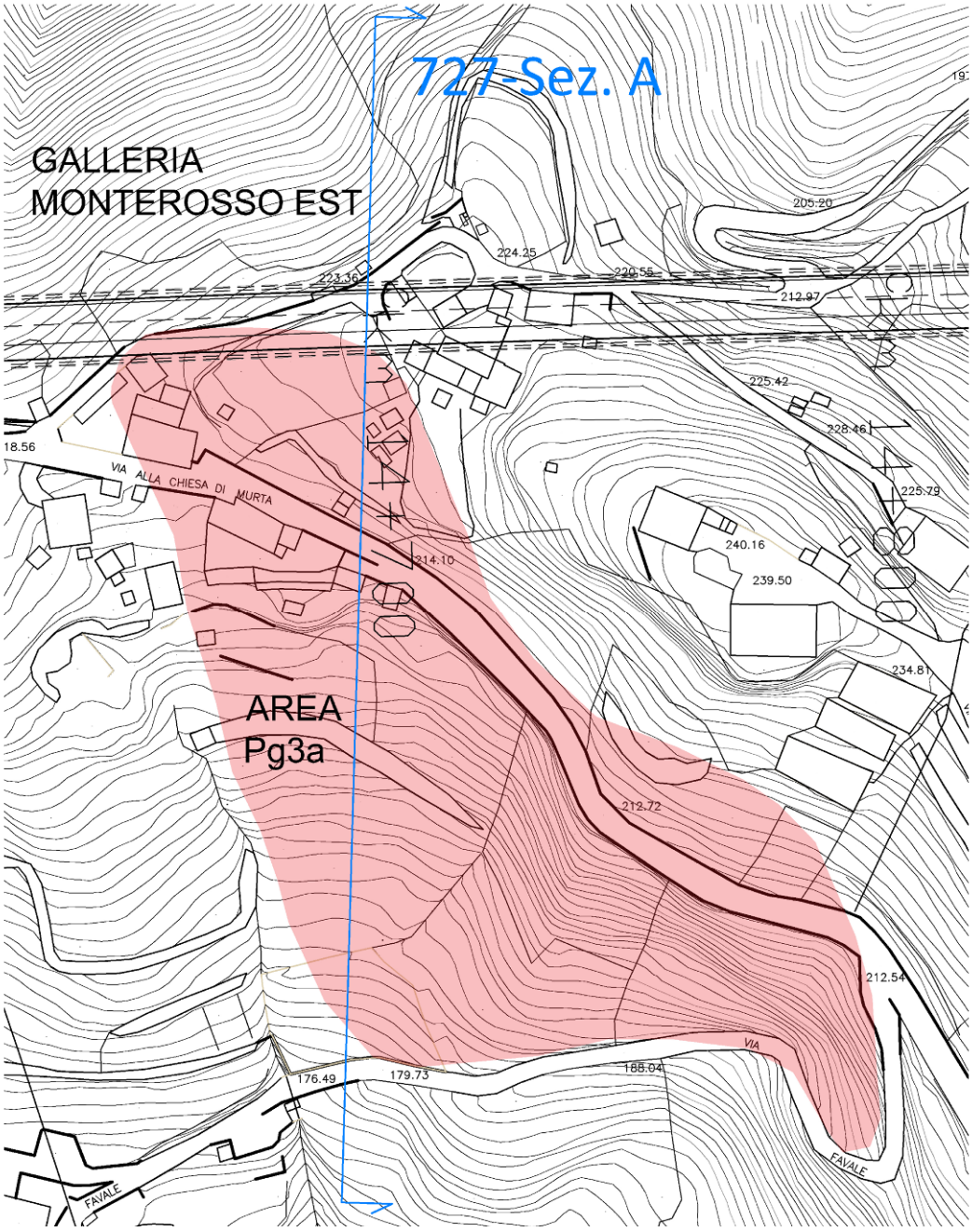


Figura 4-3 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata e del tracciato della galleria

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.

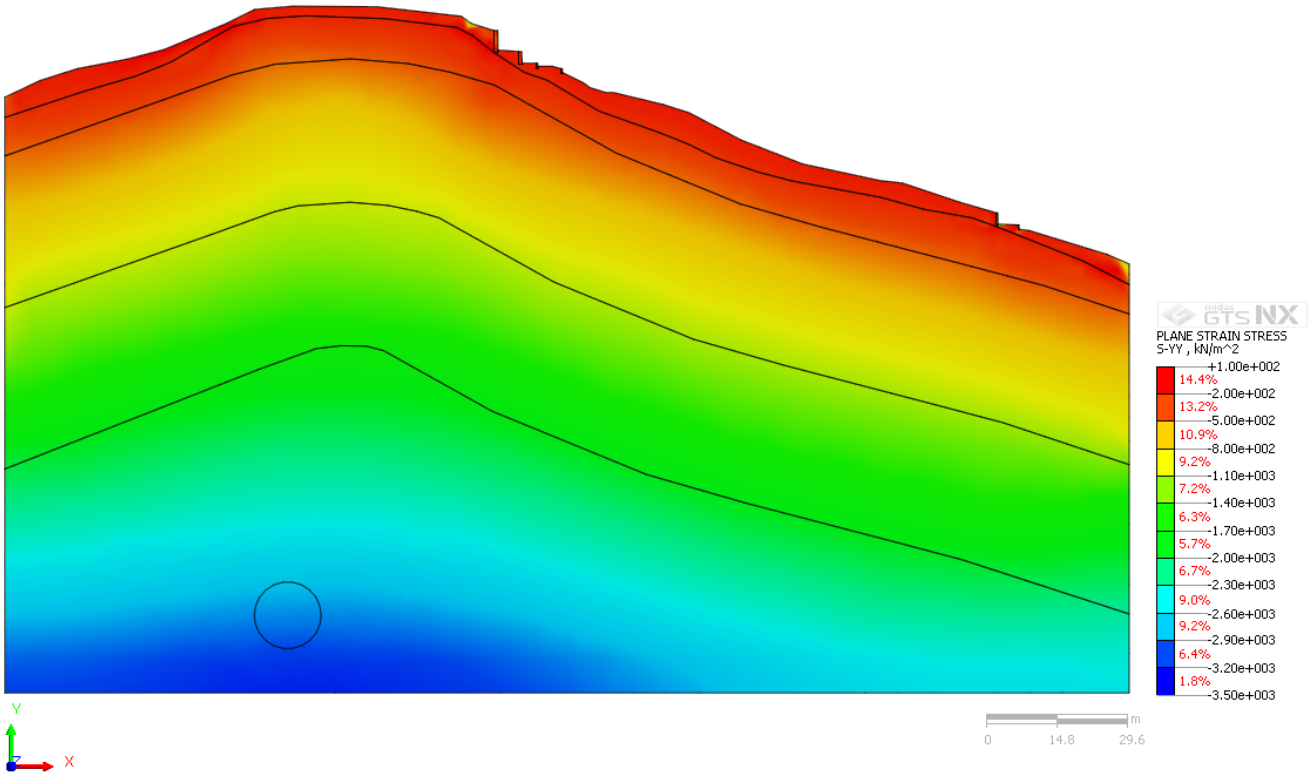


Figura 4-4 – Modello FEM per l'analisi delle condizioni attuali del versante – Stato di sforzo verticale

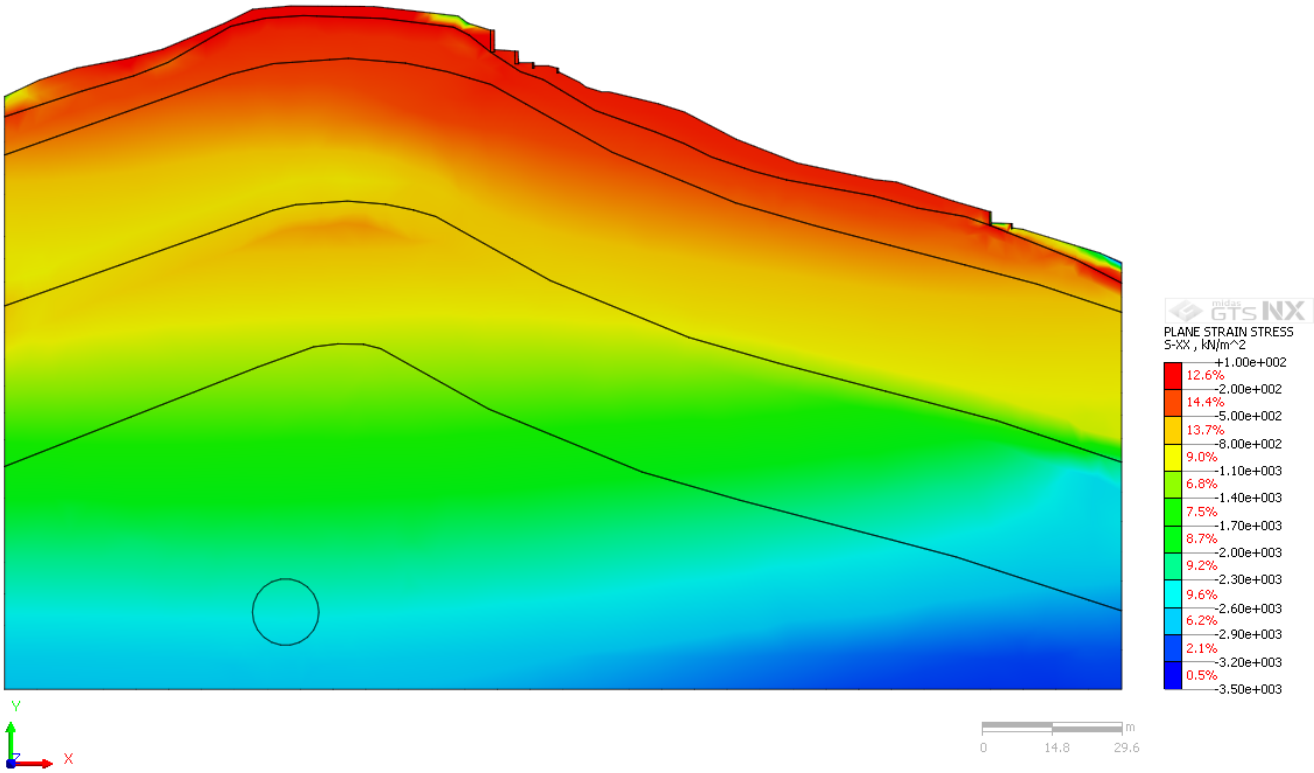


Figura 4-5 – Modello FEM per l'analisi delle condizioni attuali del versante – Stato di sforzo orizzontale

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 4-2**.

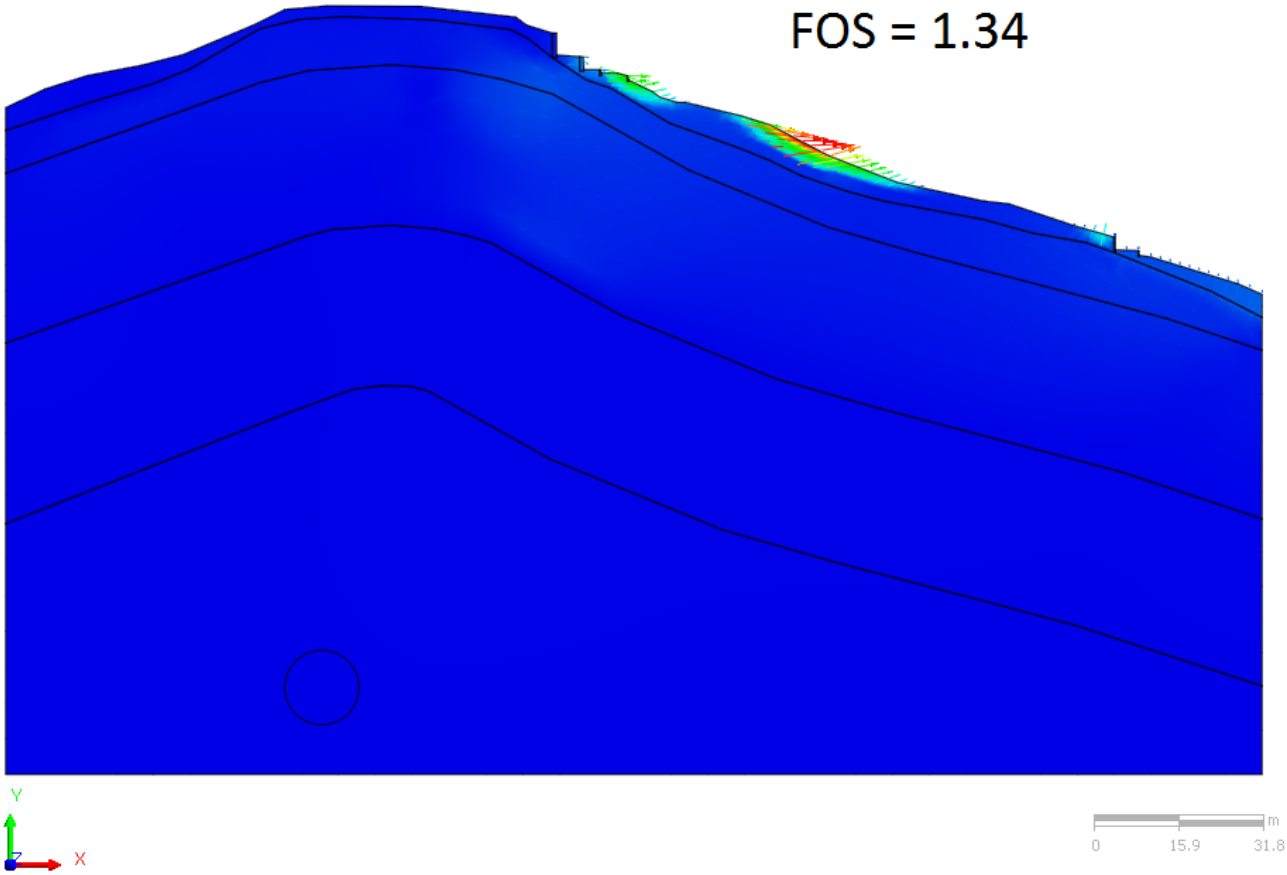


Figura 4-6 – Analisi stabilità globale allo stato attuale

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 1.34.

La parte più instabile del pendio è quella interessata dalle pendenze maggiori nella parte centrale della sezione, dove la coltre di copertura non è sostenuta dalle opere murarie. Il cinematismo ha carattere globale e coinvolge solamente lo strato superficiale della coltre, senza interessare la fascia di alterazione delle argilliti di Murta sottostante.

Tale risultato rappresenta in modo accettabile il comportamento del pendio che, come emerso dal sopralluogo in sito, non presenta evidenze di un movimento generalizzato in atto, ma solo di dissesti superficiali locali nelle aree terrazzate e di instabilità locale di alcuni muri di sostegno.

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 della galleria 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 della galleria. 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.

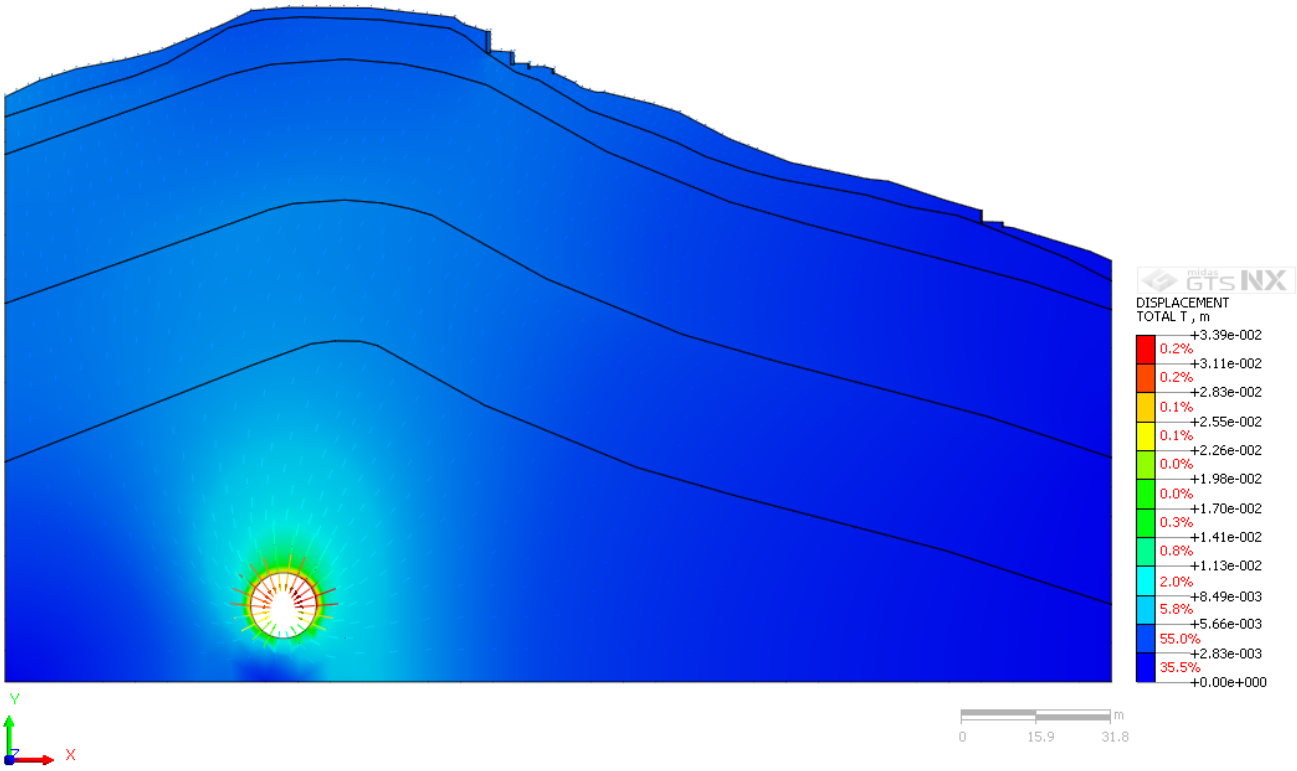


Figura 4-7 – Modello FEM – Mappatura spostamenti alla fine delle operazioni di scavo

I valori di spostamento massimi sono stati ottenuti in corrispondenza della parte superiore destra dello scavo della galleria Monterosso Est con una deformazione massima di 3.39 cm. Essa rientra nel range dello spostamento massimo (0.8-4.6cm) indicato per le Argilliti di Murta lontano dal fronte di scavo. I risultati dell'analisi sono 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 circa 3 mm e 4 mm al di sopra della galleria.
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 relativo cinematismo.

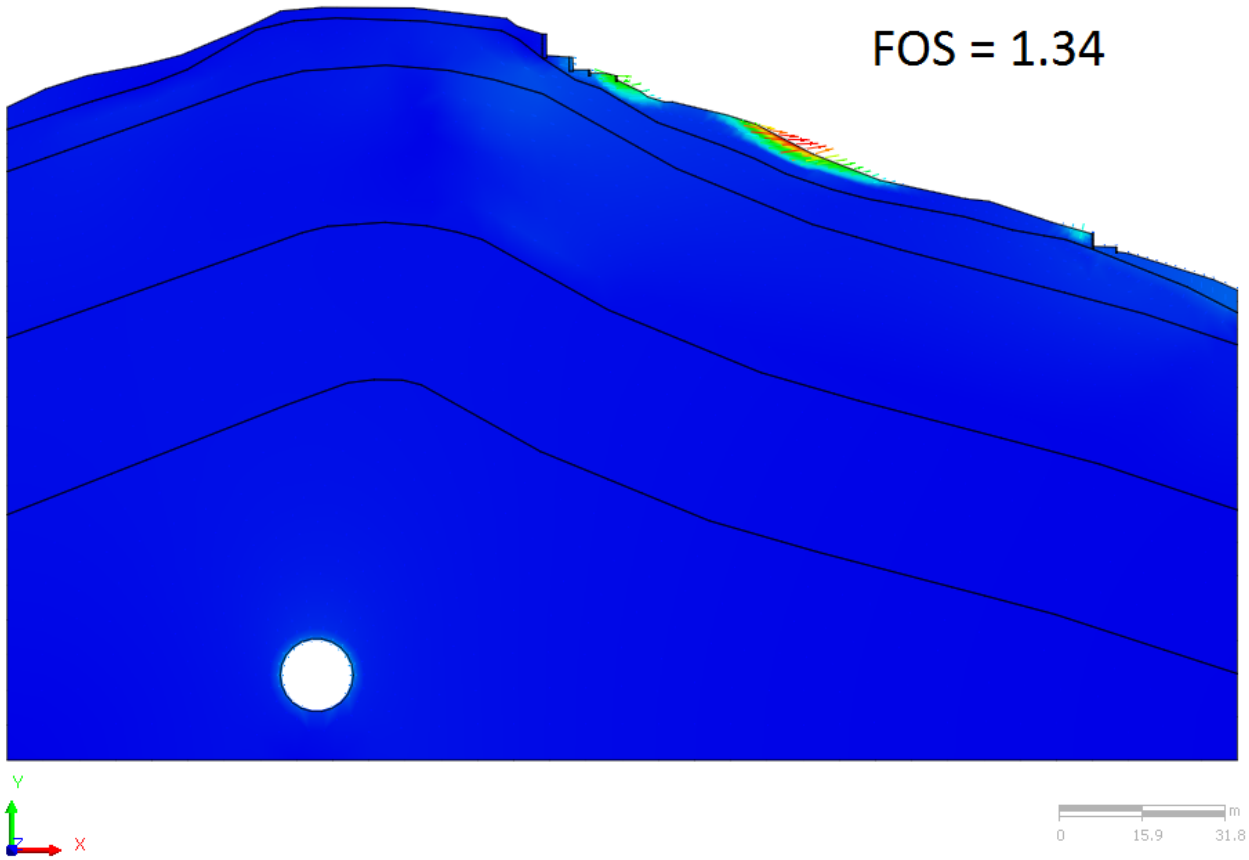


Figura 4-8 – Analisi stabilità globale alla fine delle operazioni di scavo e rivestimento delle gallerie

Il minimo fattore di sicurezza ottenuto nelle condizioni di progetto è pari a 1.34, uguale a quello ottenuto per le condizioni attuali (1.34 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 sono variate a seguito dello scavo della Galleria Monterosso Est.

Sulla base delle analisi descritte si conclude che la realizzazione della Galleria Monterosso Est non ha alcun effetto 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.1 sondaggio 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 sondaggio a distruzione di nucleo;

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

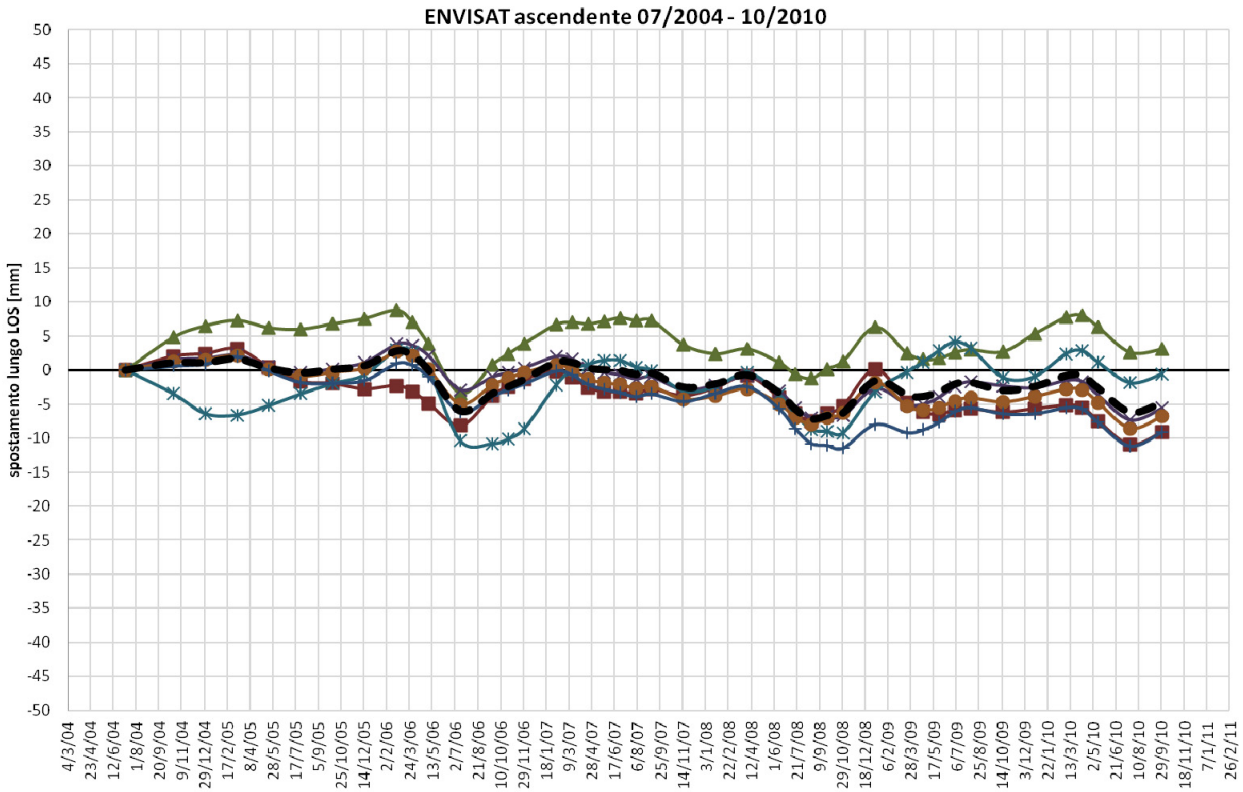


Figura 5-2 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

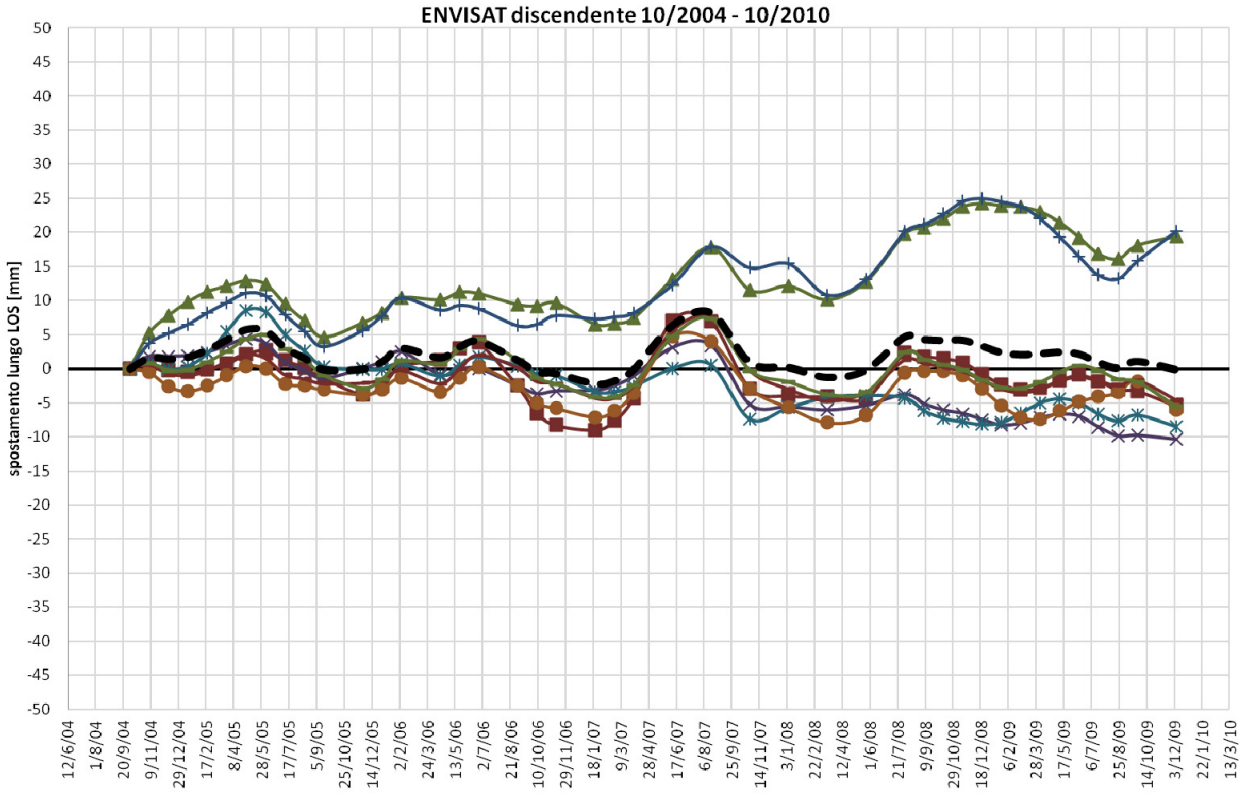


Figura 5-3 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

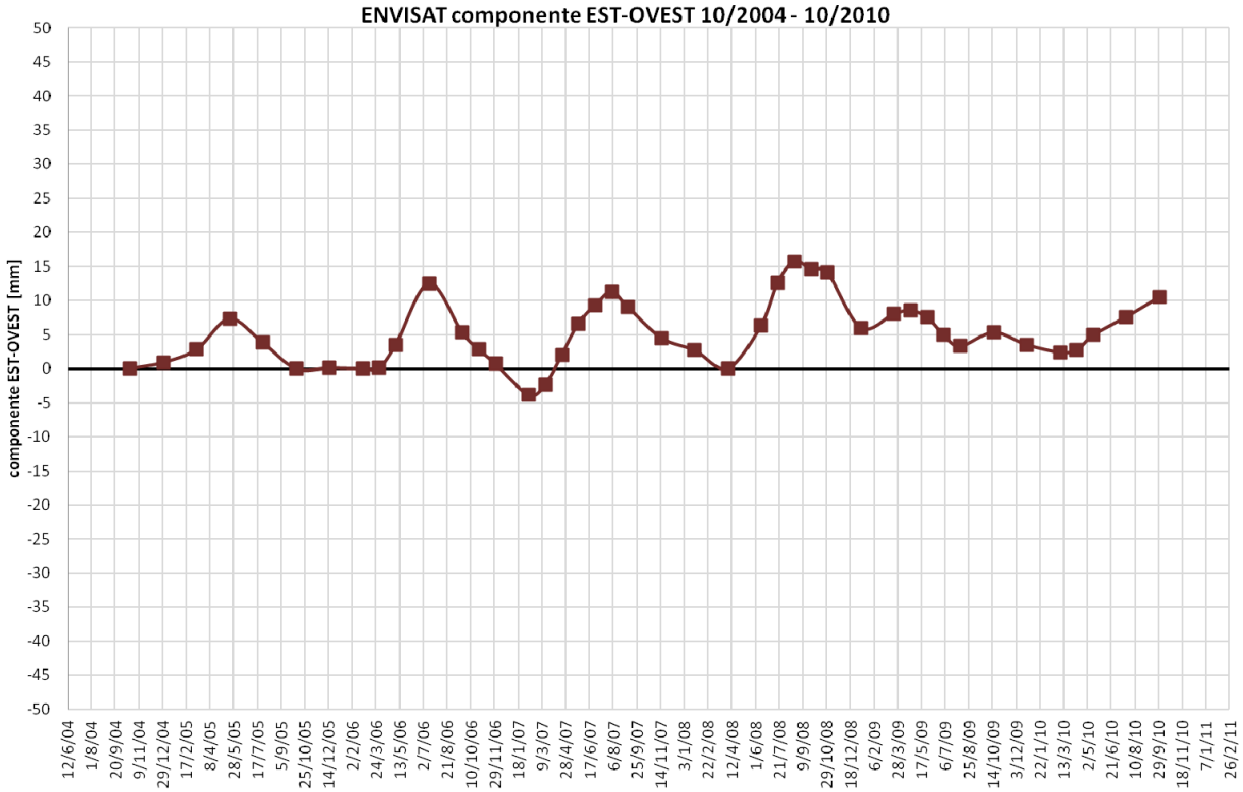


Figura 5-4 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

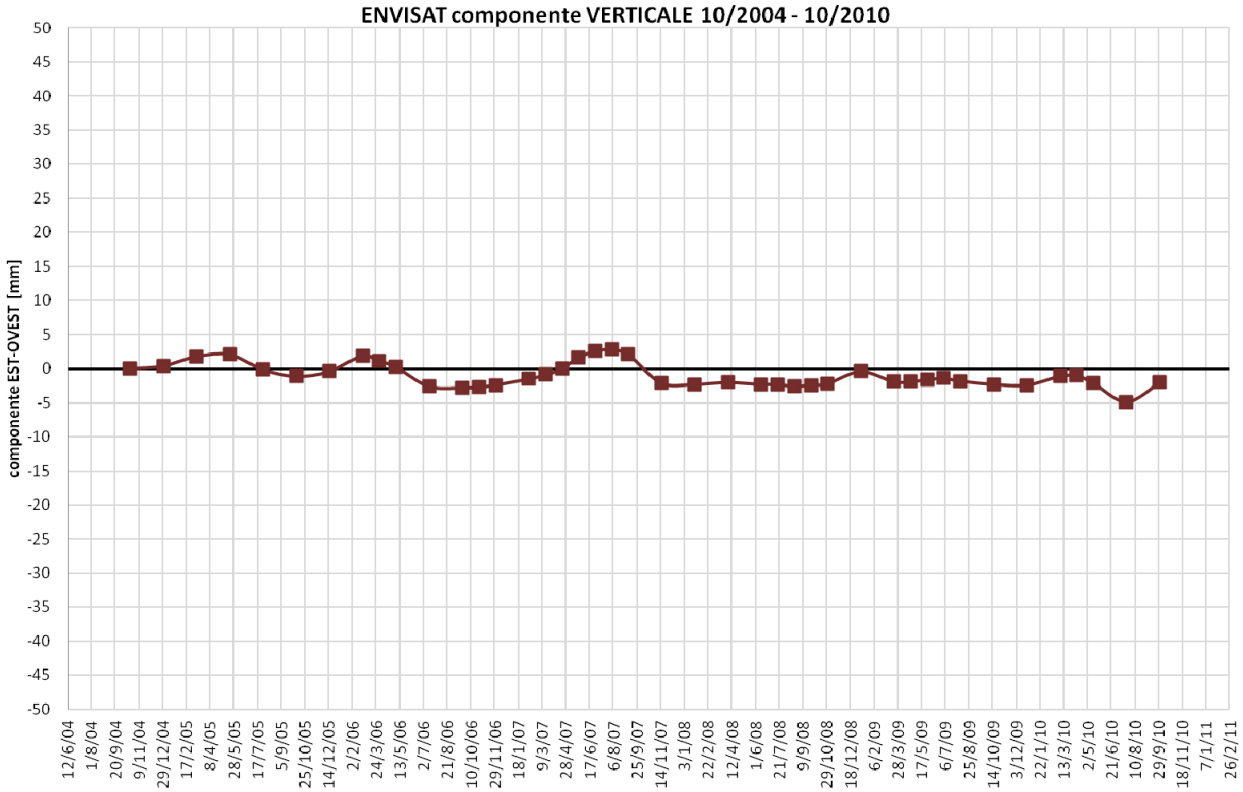


Figura 5-5 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano un abbassamento.

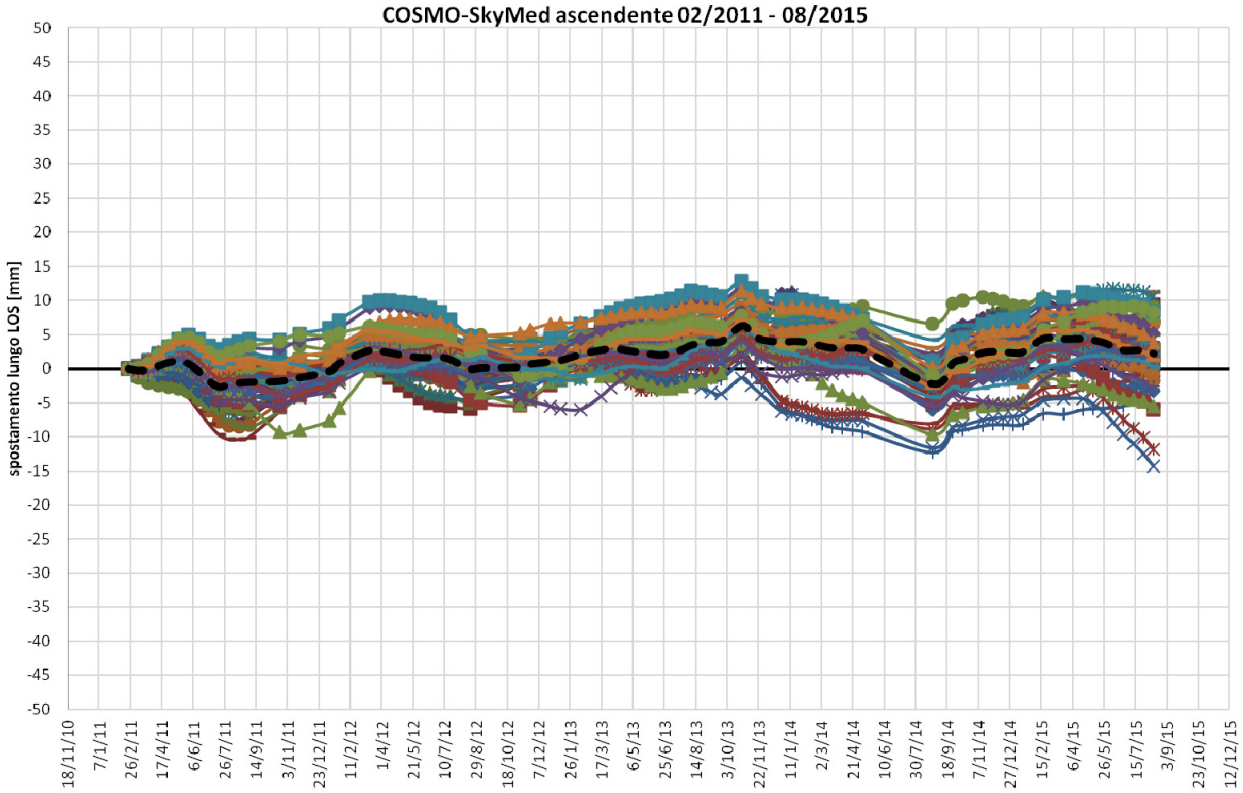


Figura 5-6 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

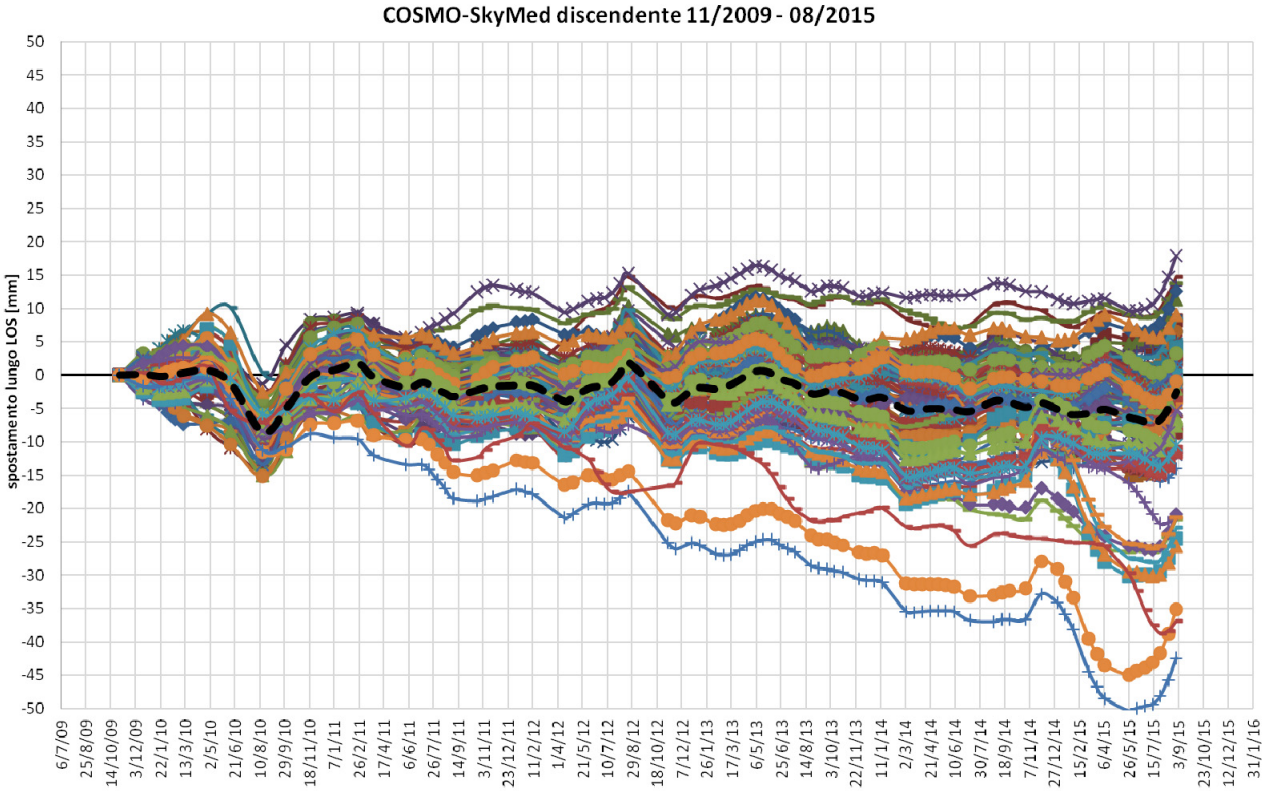


Figura 5-7 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.

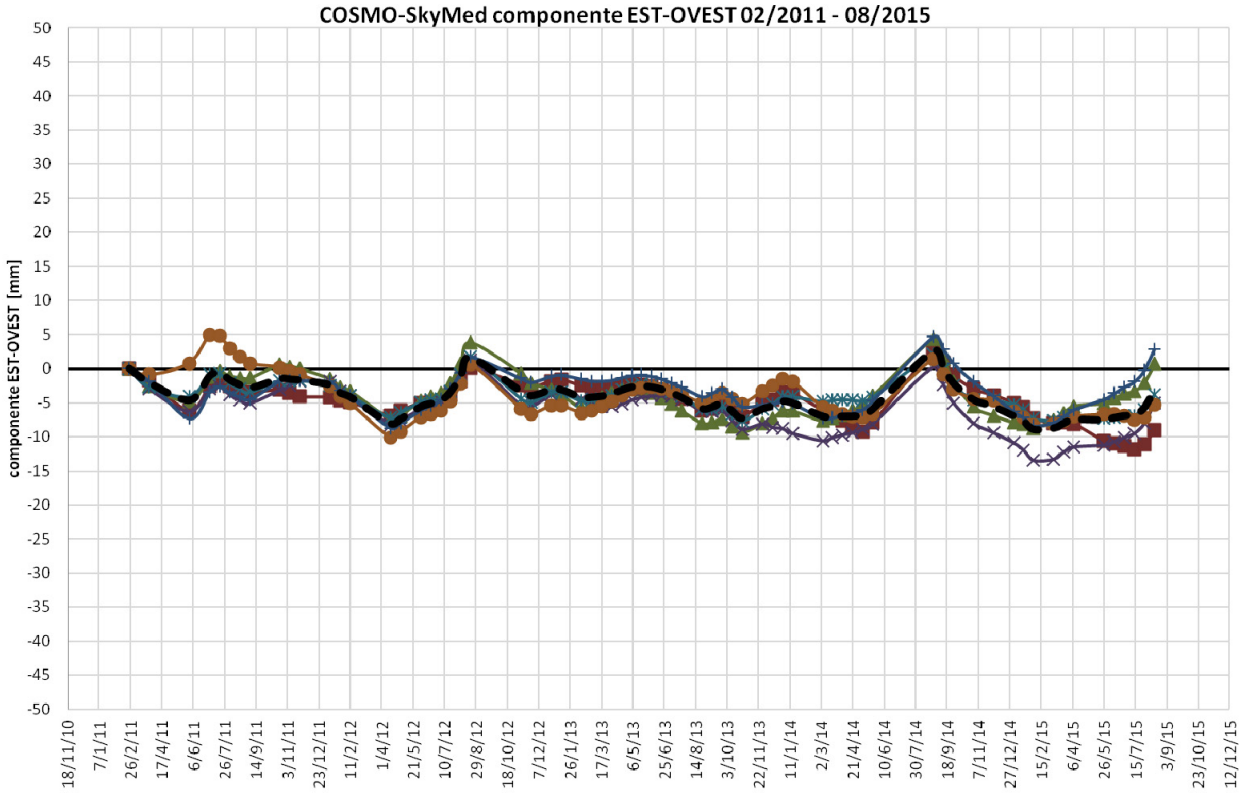


Figura 5-8 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.

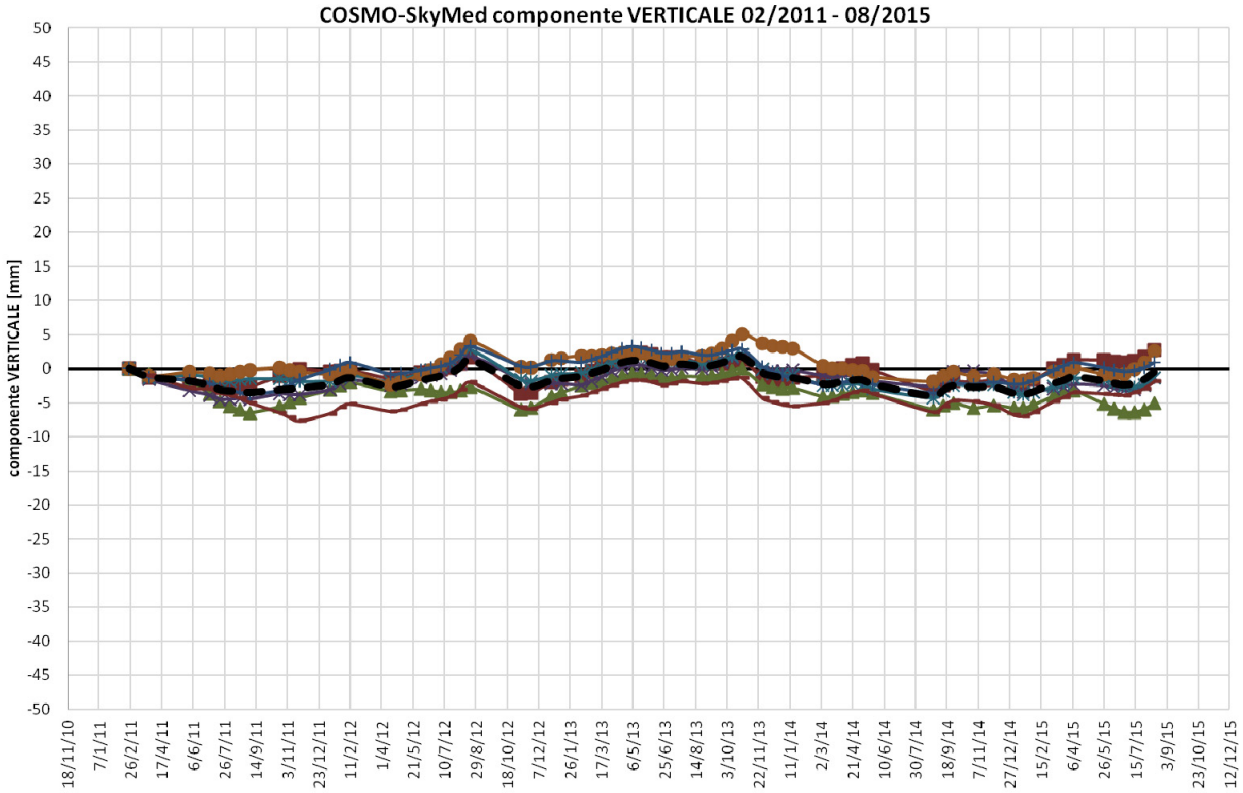


Figura 5-9 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano un abbassamento.

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. 6 riscontri) e in orbita discendente (n. 8 riscontri), mostrano un'assenza di movimenti nel periodo 2004 – 2010.

L'analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 53 riscontri) e discendenti (n. 97 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 30 – 50 mm nel periodo 2009 – 2015 con velocità di spostamento comprese tra 5 e 9 mm/anno. Invece, dall'osservazione 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 della progressiva chilometriche 14+700, 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 della galleria prevista nel progetto definitivo. Esse hanno evidenziato come la stabilità dell'area di frana non venga influenzata dallo scavo eseguito in profondità.

Si può concludere che la realizzazione della galleria non interferisce con le condizioni di stabilità dell'area di frana 727.

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