autostrade per l'italia

# NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

## Adeguamento del sistema A7 – A10 – A12

## PROGETTO DEFINITIVO

# DOCUMENTAZIONE GENERALE

## STUDIO SUSCETTIVITA' AL DISSESTO
## SCHEDE DISSESTI PG4–PG3

DA CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO
PIANO DI BACINO – AMBITI 12 E 13
FRANA ARZ016

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

| CODICE IDENTIFICATIVO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ordinatore: |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RIFERIMENTO PROGETTO | | | | | | | | | | RIFERIMENTO DIRETTORIO | | | | | | | | | | | | RIFERIMENTO ELABORATO | | | | | | | | | | |
| Codice Commessa | | | | | | Lotto, Sub–Prog, Cod. Appalto | | | | Fase | | Capitolo | | Paragrafo | | WBS tipologia | | WBS progressivo | | PARTE D'OPERA | | | | | | Tip. | Disciplina | | | Progressivo | | | | Rev. | | – – |
| 1 | 1 | 0 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | P | D | D | G | S | T | D | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | R | G | E | N | 0 | 1 | 9 | 5 | – | 1 | SCALA: – |

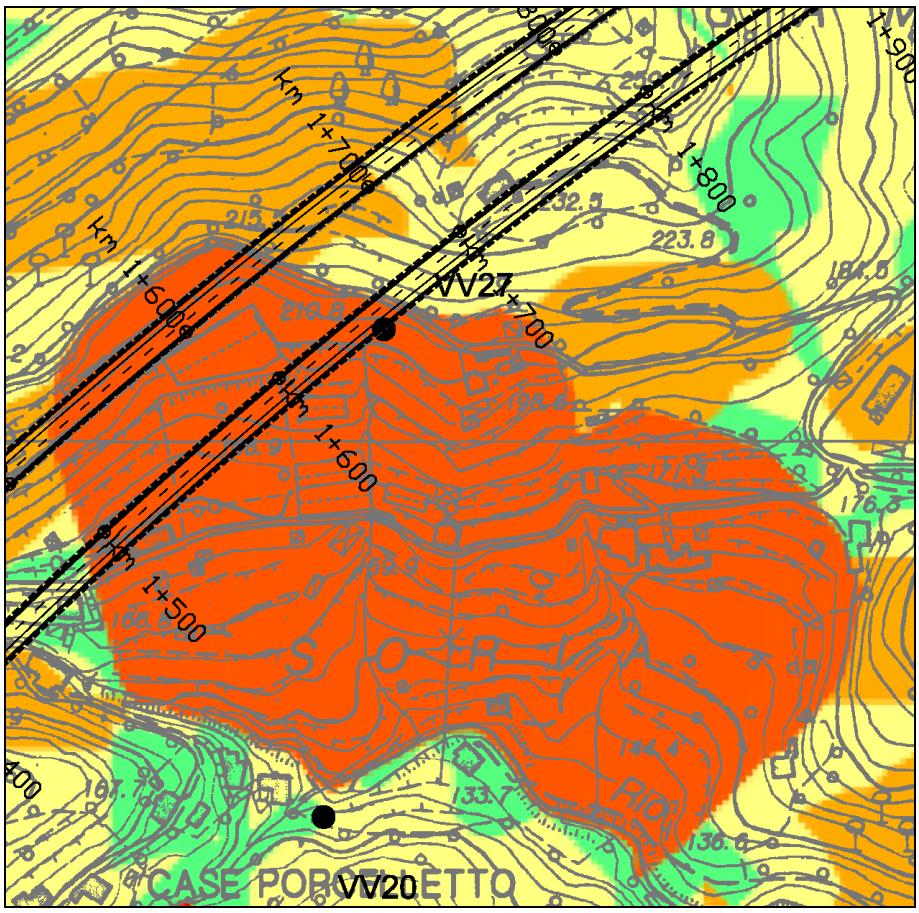
| | PROJECT MANAGER: | | SUPPORTO SPECIALISTICO: | | REVISIONE | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| spea ENGINEERING gruppo Atlantia | Ing. Sara Frisiani<br>Ord. Ingg. Genova N. 9810A | | | | n. | data |
| | | | | | 0 | Gennaio 2016 |
| | | | | | 1 | Ottobre 2016 |
| | | | | | 2 | |
| | REDATTO: | | VERIFICATO: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

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

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

# *SCHEDA FRANA ARZ 016 (PG3A)*

## *OPERA INTERFERENTE: GALLERIA BORGONUOVO*



# 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 ..... 12
3.5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO ..... 13
3.6 INDAGINI ESEGUITE ..... 15
3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO ..... 17
3.8 CAUSE DEL DISSESTO ..... 27
3.9 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA ..... 28
4. ASPETTI GEOTECNICO - INGEGNERISTICI ..... 29
4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ..... 29
4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO ..... 32
4.3 ANALISI DI STABILITÀ ..... 34
5. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 40
5.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI ..... 40
6. CONCLUSIONI ..... 56

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 dicembre 2015)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata dicembre 2015)
- *Allegato n.4* - Carta geomorfologica di dettaglio, indagini integrative e punti di ripresa fotografici
- *Allegato n.5* - Sezione geologica
- *Allegato n.6* - Scheda di sintesi
- *Allegato n.7* - Stratigrafia sondaggi
- *Allegato n.8* – Prove di laboratorio
- *Allegato n.9* - Analisi di stabilità

# 1. PREMESSA

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

I riferimenti normativi sono pertanto:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- *GEO0001: Relazione geologica e idrogeologica generale*

- *GEO0002: Carta geologica – Tavola 1*
- *GEO0020: Carta geomorfologica – Tavola 1*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *TUN0007-1: Gallerie naturali – Relazione di calcolo gallerie scavate con TBM*
- *STD0113: Profilo longitudinale "ASSE 1" - tavola 1/16 - 0+000 a Prog.. 0+550*
- *STD0114: Profilo longitudinale "ASSE 1" - tavola 2/16 - Da Prog. 0+550 a Prog. 1+400*
- *STD0115: Profilo longitudinale "ASSE 1" - tavola 3/16 – Da Prog. 1+400 a Prog. 2+250*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata ARZ 016, che risulta interferente con la galleria Borgonuovo fra le progrssive1+450 ÷1+700 circa.

# 2. METODOLOGIA DI LAVORO

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

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

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

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

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

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

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

Le attività propedeutiche effettuate sono:

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

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

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

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

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

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

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

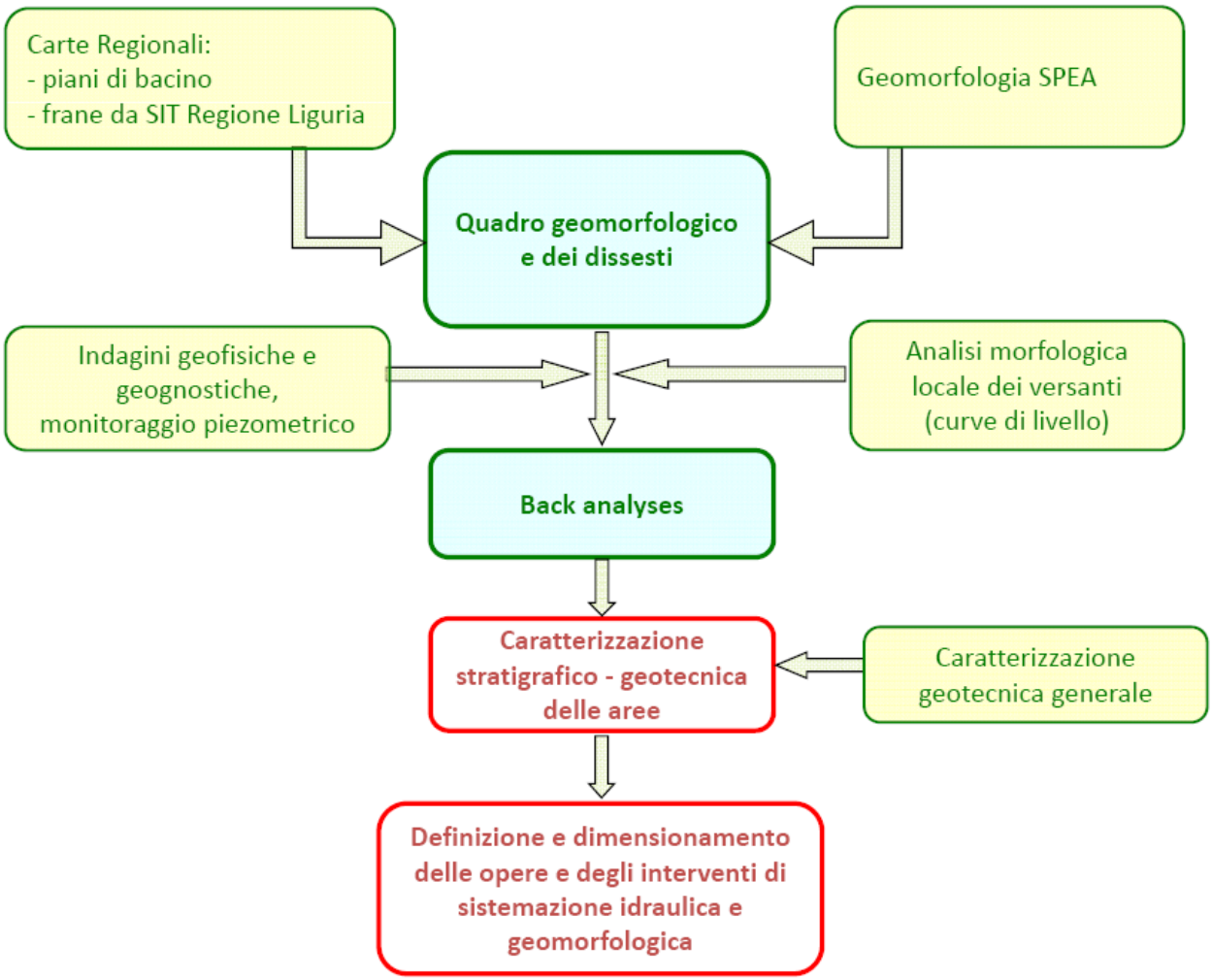



**Figura 2-1 – Schema generale metodologia**

# 3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

## 3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: VOLTRI - CASE PORCELLETTO

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: AMBITI 12 e 13

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): ARZ 016

## 3.2 CARTOGRAFIA

CTR 1:10.000: 213130

## 3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO

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

### 3.3.1 Aree Interferenti

L'oggetto della presente scheda è l'interferenza tra il dissesto **Pg3a** e la galleria Borgonuovo fra le progressive 1+450 e 1+700.

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

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

b) Stati di attività:

| | |
|---|---|
| | Attiva |
| X | Quiescente |
| | Stabilizzata |

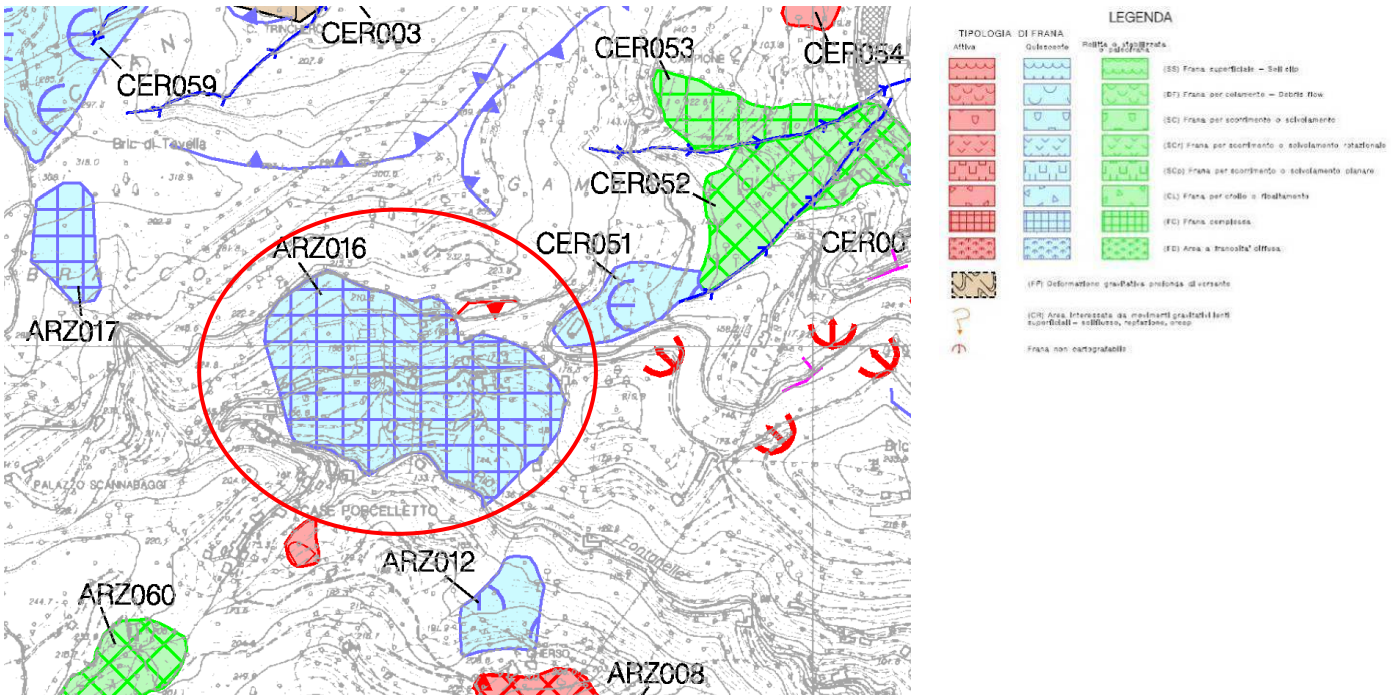



**Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino**

### 3.3.3 Interventi previsti dal Piano di Bacino

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

## 3.4 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 3-2**) identifica sul versante un dissesto quiescente coincidente con ARZ 016 avente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100218300
- Tipo di movimento: Complesso
- Attività: Quiescente
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Vengono inoltre segnalate altre due aree nell'intorno del dissesto di interesse caratterizzate dalla presenza di frane superficiali diffuse quiescenti, rispettivamente ubicate a NE e a S della zona di interesse (2 e 3 nella figura seguente).

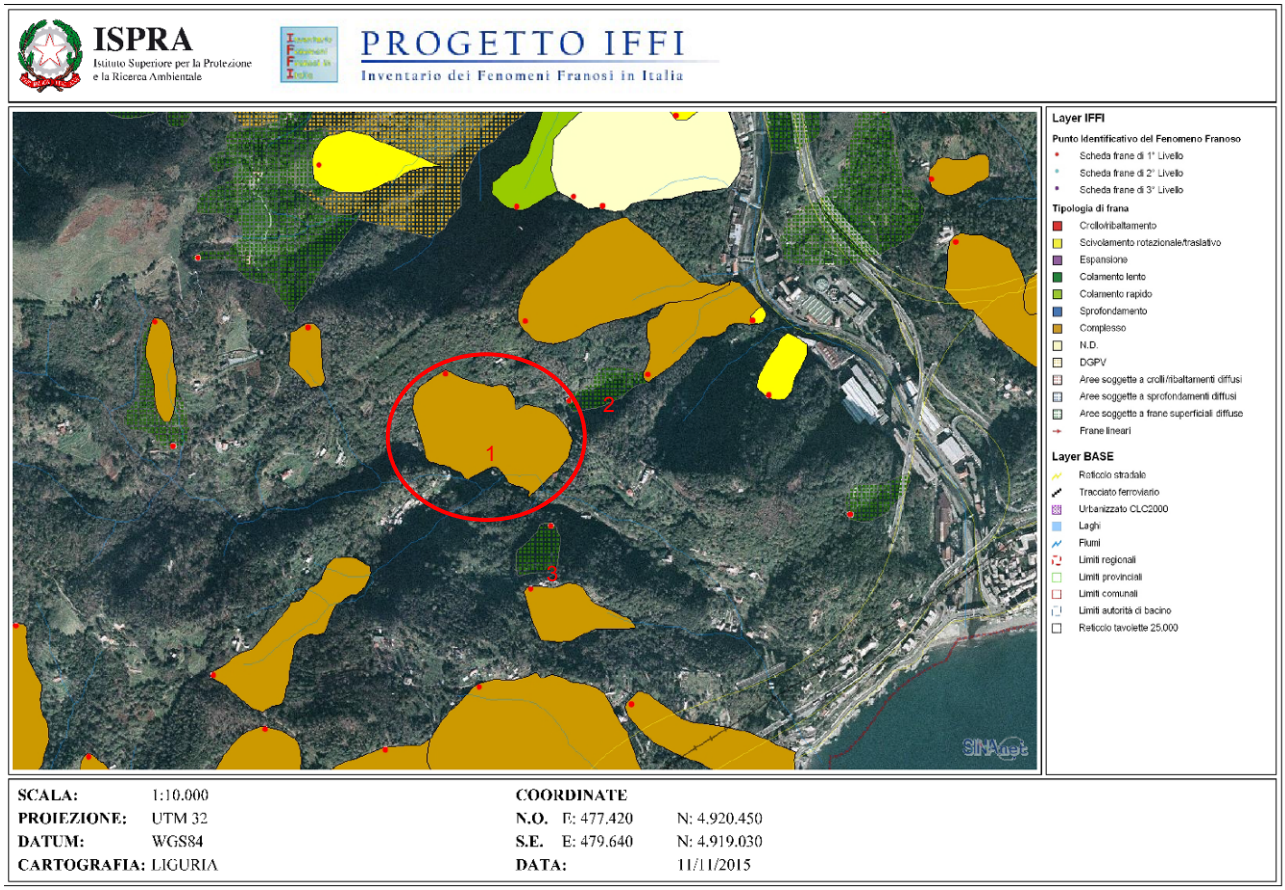



**Figura 3-2 –– Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)**

## 3.5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg3a si imposta nell'Unità Tettonometamorfica Palmaro Caffarella e Voltri, qui rappresentate prevalentemente da calcescisti e micascisti (Allegato 2).

*Calcescisti (CS)*

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

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

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

Gli scisti quarzoso micacei, invece, assumono tonalità più scure, con colorazioni solitamente da grigie chiare a grigie scure in frattura fresca; sono rocce che spesso si alterano, assumendo tonalità arancione - ocra e si disgregano fino a generare spesse coltri di disfacimento.

Nella zona SO dell'area è stato osservato un piccolo affioramento di cloritoscisti a contatto con i calcescisti, ascrivibili alla formazione degli scisti a clorite (SAC) mentre all'interno del sondaggio VV20 si è riscontrata anche la presenza di serpentiniti.

*Scisti a clorite* (SAC)

Scisti ad anfibolo della serie tremolite-actinolite e clorite, ± diopside, ± carbonato (abbreviazione: SAC), tipicamente collocati al contatto tra calcescisti e metabasiti, in livelli da centimetrici a decimetrici, che hanno subito eventi multipli di deformazione e ricristallizzazione in facies metamorfica degli scisti verdi. Si tratta di rocce marcatamente foliate, ricche in anfibolo (comunemente con habitus aghiforme) e clorite, probabilmente derivanti da protoliti a composizione basica, che hanno subito eventi multipli di deformazione e ricristallizzazione nella facies metamorfica degli scisti verdi.

*Serpentiniti (CS)*

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

In affioramento si presentano con caratteristiche tessiturali e strutturali estremamente variabili in risposta alla deformazione subita. La facies tessiturale più diffusa è quella foliata, caratterizzata dallo sviluppo di clivaggi e/o scistosità evidenti, riferibili a diverse generazioni di deformazione, subordinatamente si osservano tessiture massicce, con aspetto generalmente compatto con foliazioni subordinate. Queste due litofacies nella zona in esame formano lenti ettometriche trasposte, parallelizzate alla foliazione regionale.

I *depositi superficiali* hanno spessore da molto limitato (circa 1÷1.5 m) sino a circa 15 m e sono rappresentati essenzialmente da depositi di versante e da depositi eluvio/colluviali, nel piccolo alveo che passa nella zona settentrionale dell'area (Rio Fontanelle) sono stati osservati depositi fluviali attuali costituiti prevalentemente da ciottoli e ghiaia sabbiosi.

Da un punto di vista geomorfologico, l'area di interesse si sviluppa nell'area abitata di Case Porcelletto, ubicata a sud del Bric di Tavella. Il versante si presenta con acclività medio-bassa, terrazzato e coltivato. Le aree più esterne rispetto all'area antropizzata sono caratterizzate da vegetazione ad alto fusto ed arbustiva (Allegato 3).

## 3.6 INDAGINI ESEGUITE

Nell'ambito della campagna di indagini a supporto del Progetto Definitivo, all'interno dell'area di studio sono stato eseguiti due sondaggi a carotaggio (VV27 e VV20), rispettivamente nella parte sommitale della Pg3a, e alla base del versante, oltre il Torrente Fontanella (**Figura 3-3**).
Oltre ai sondaggi VV27 e VV20, nel luglio 2016 è stato eseguito un terzo foro nella zona centrale dell'area, chiamato SB2 (**Figura 3-3**).
Il foro VV27 interessa la porzione superiore dell'area classificata dai documenti del Piano di Bacino come Pg3a, il foro VV20 è ubicato al di là dell'impluvio, mentre il foro SB2 è posizionato nella porzione centrale dell'area; tutti i sondaggi eseguiti risultano utili per la definizione degli spessori di coltre superficiale e di substrato alterato caratteristici del versante in esame.

Dalla stratigrafia del sondaggio VV27 il substrato lapideo, costituito in quest'area da calcescisti), è stato rinvenuto a circa -22 m dal p.c., al di sotto dei depositi di versante ed alla regolite. Il substrato roccioso è rappresentato per tutta la lunghezza del foro da calcescisti con differenti gradi di fratturazione. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 29/05/12 nel piezometro installato - risultava essere -28.26 m da p.c..

Dalla stratigrafia del sondaggio VV20, il substrato lapideo è stato rinvenuto a circa -2.5 m dal p.c., al di sotto dei depositi di versante ed alla regolite. Il substrato roccioso è costituito da calcescisti con locali lenti serpentinitiche e SAC, di spessore metrico fino a circa 55 m da p.c., passante a serpentiniti mediamente fratturate fino a fondo foro. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 12/07/11 - risultava essere -quasi a boccaforo (-0.83 m da p.c.).

Dalla stratigrafia del sondaggio SB2, il substrato lapideo è stato rinvenuto a circa -18 m da p.c., al di sotto dei depositi di versante e alla regolite. Il substrato roccioso è costituito da calcescisti caratterizzati da differenti gradi di fratturazione, con una lente serpentinitica di spessore pari a 2 m individuata nell'intorno di -51 m da p.c..

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

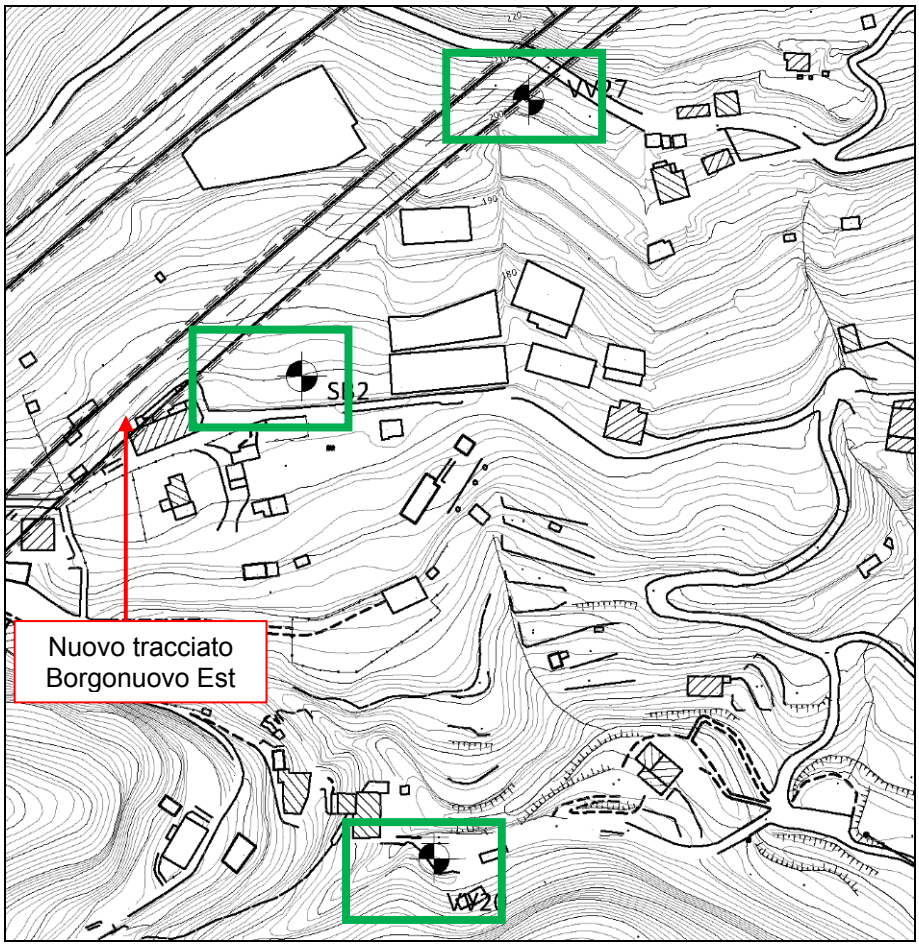



**Figura 3-3 - Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini**

## 3.7 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 18/11/2015 e 19/11/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante interessato dal dissesto, procedendo dalla porzione superiore della zona di interesse fino alla parte inferiore e nell'intorno significativo esterno all'area perimetrata nella cartografia del Piano di Bacino, con lo scopo di affinare e integrare le conoscenze rispetto agli elementi geologici e geomorfologici in 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 variabile da media a bassa, terrazzato e coltivato nella parte centrale mentre le aree più esterne alla Pg3a hanno una fitta vegetazione sia ad alto fusto sia arbustiva. Osservando l'areale di studio dal versante di fronte (Foto 1 e 2) non risultano evidenze né da cambi di vegetazione né di variazioni improvvise di pendenza




**Foto 1 - Panoramica dell'area.**



**Foto 2 - Panoramica dell'area.**

- Tutta l'area della Pg3a è terrazzata e interessata da coltivazioni; la maggior parte delle scarpate antropiche e dei muretti a secco sono per lo più continue e non deformate (**Foto 3**, **Foto 4** e **Foto 5**).
- I terrazzamenti rilevati, si presentano in buono stato di conservazione, anche se localmente, all'interno delle aree boschive, non sono più soggetti a interventi di manutenzione (**Foto 6**); localmente sono stati rilevati piccoli dissesti superficiali non cartografabili alla scala del rilievo (superficie nell'ordine di 5 $m^2$), legati perlopiù a scarsa manutenzione o all'azione delle acque meteoriche non regimate in occasione di eventi intensi e prolungati (**Foto 7** e **Foto 8**).



**Foto 3 – Terrazzamenti nella porzione mediana del versante (q.170÷160 m s.m.)**



**Foto 4 – Terrazzamenti nella porzione orientale inferiore del versante (q.135 m s.m.)**



**Foto 5 – Muretto a secco nella porzione medio elevata del versante (q.200 m s.m.).**



**Foto 6 – Muretto a secco abbandonato nella porzione marginale dell'area (q.215 m s.m.)**



**Foto 7 – Piccoli dissesti in corrispondenza di alcuni terrazzamenti della porzione media del versante (q.175 m s.m.)**



**Foto 8 – Piccolo dissesto in corrispondenza di un muretto a secco nella porzione superiore del versante (q.207 m s.m.)**

- All'interno dell'area rilevata, sono stati osservati alcuni dissesti sia in roccia sia in detrito superficiale, perlopiù legati alle caratteristiche del substrato roccioso e all'abbandono del territorio antropizzato (**Foto 9**, **Foto 10**, **Foto 11** e **Foto 12**).



**Foto 9 – Dissesto in corrispondenza di una scarpata antropica nella porzione medio elevata del versante (q.185 m s.m.)**



**Foto 10 – Dissesto in roccia nella porzione elevata del versante (q.238 m s.m.)**



**Foto 11 – Dissesto nella porzione medio elevata del versante (q.210 m s.m.)**



**Foto 12 – Dissesto nella porzione SO dell'area di rilievo (q.144 m s.m.).**

- Nella porzione più elevata sono stati osservate alcune zone limitate, caratterizzate dalla presenza di alberi uncinati o con variazioni repentine della direzione di crescita, indicativi della presenza di movimenti lenti corticali (**Foto 13**)

- I piccoli alvei presenti sul versante che affluiscono all'interno del Rio Fontanelle sono canalizzati per la maggior parte del loro sviluppo, soprattutto nella parte bassa vicina alle abitazioni, e si presentano in buono stato di conservazione (**Foto 14**).



**Foto 13 – Alberi uncinati nella porzione superiore del versante (q.240 m s.m.)**



**Foto 14 – Alveo canalizzato nella porzione centrale della Pg3a (q.171 m s.m.)**

- Lungo via della Brigna sono stati rilevati affioramenti di micascisti da poco a mediamente alterati, interessati da 2/3 famiglie di discontinuità con caratteristiche geomeccanche medie; la porzione inferiore dell'area Pg3a è invece caratterizzata dalla presenza di affioramenti di calcescisti, di qualità da media a buona (**Foto 15**). Nella zona SO dell'area è presente un affioramento di scisti a clorite in contatto con i calcescisti (**Foto 16**)

  Tutti gli affioramenti rilevati sono caratterizzati da una scistosità immergente verso SE con inclinazione compresa fra 50° nella porzione orientale ad 80° nella porzione occidentale; le giaciture misurate sono in accordo con l'assetto stratigrafico strutturale generale della zona.



**Foto 15 – Affioramento di micascisti lungo un taglio stradale, porzione elevata del versante (q.227 m s.m.)**



**Foto 16 – Affioramento di cloritoscisti a contatto con i calcescisti, porzione inferiore del versante (q.163 m s.m.)**

- Gli edifici residenziali e le strade presenti nell'area, in particolar modo quelli ubicati in corrispondenza del limite superiore dell'area Pg3a, non mostrano lesioni strutturali significative. (**Foto 17**).



**Foto 17 – Muretto a secco lungo la strada principale, in corrispondenza del limite dell'area Pg3a (q.203 m s.m.)**

Dai risultati del rilievo geomorfologico si nota la presenza di un'area concava all'interno della quale sono stati osservati numerosi piccoli dissesti connessi alla tipologia di materiale ed allo stato di abbandono che caratterizza alcune parti dell'area. Gli elementi antropici presenti (muretti a secco, strade) non presentano deformazioni significative; ciò fa supporre la presenza di una frana relitta della quale tuttavia non si percepiscono con chiarezza i né limiti del deposito né un orlo di scarpata netto, a causa della forte antropizzazione a scopo agricolo del versante.

## 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 natura litologica e la fratturazione / alterazione del substrato roccioso, nonché 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

Le sezioni geologiche, realizzate lungo le tracce codificate come ARZ016-Sez. A e ARZ016-Sez. B riportate in Allegato 4, sono stata interpretate sulla base delle risultanze dei tre sondaggi descritti (VV20, VV27 e SB2) e delle osservazioni effettuate in sito durante il sopralluogo.

Le sezioni geologico interpretative, una delle quali coincidente con la sezione di verifica (ARZ016-Sez. B), sono riportate 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 i calcescisti (CS) e la relativa coltre di copertura.

La stratigrafia utilizzata per le verifiche, definita sulla base dei dati di caratterizzazione geologica e dei risultati del rilievo geomorfologico, è la seguente:

- Da p.c. a 14 ÷ 16.0 metri; coltri di copertura dell'ammasso roccioso: depositi costituiti da sabbie con ghiaia miste a ciottoli di dimensioni eterogenee e regolite.
- Oltre 16.0 da p.c. si ha il substrato costituito da Calcescisti.

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 $\gamma$ | Coesione caratteristica $c'_k$ | Angolo di resistenza al taglio $\phi'_k$ | Modulo di deformabilità $E'_k$ | Modulo di Poisson |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | [m] | [kN/m³] | [kPa] | [°] | [MPa] | [-] |
| Calcescisti | 20 | 26 | 210 | 55 | 3100 | 0.25 |
| | 260 | 26 | 980 | 40 | 5560 | 0.25 |

**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 B. Essa attraversa la parte destra dell'area Pg3a interessata dal passaggio delle gallerie "Borgonuovo". In questo punto, inoltre, le gallerie si trovano alla minima profondità dalla superficie. 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 e sono individuate le diverse unità geotecniche.

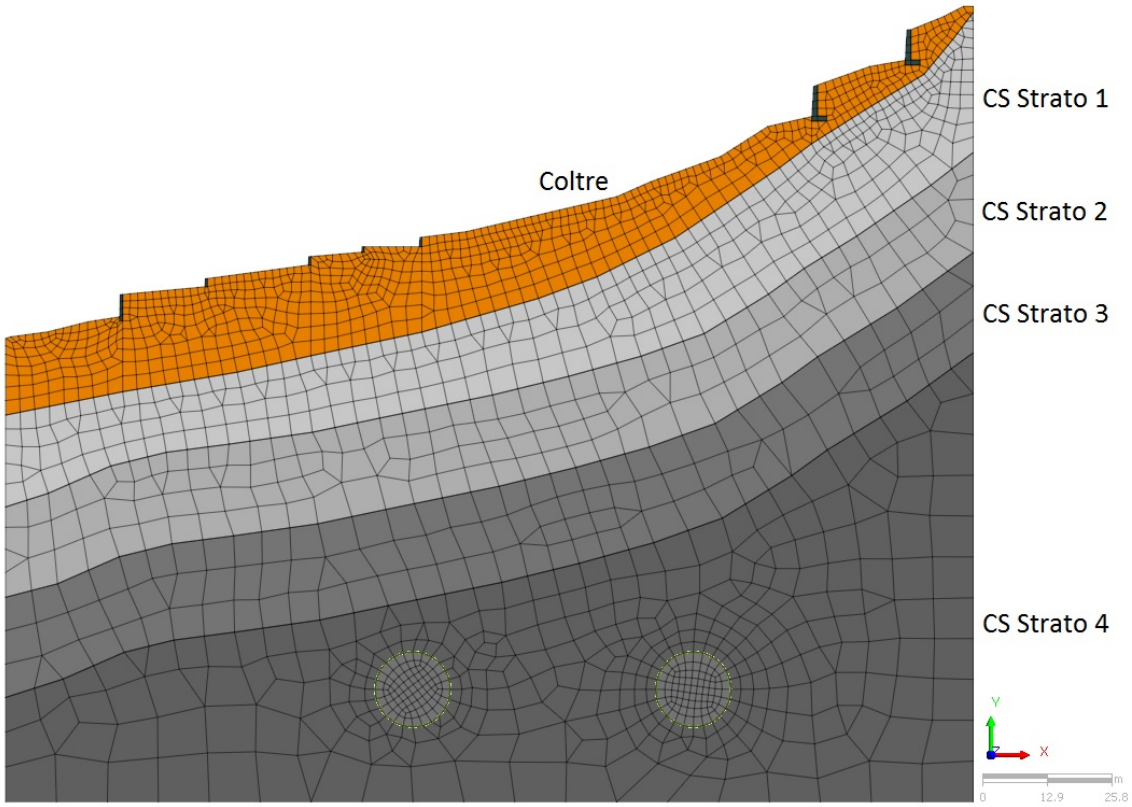



**Figura 4-1 – Modello geotecnico ad elementi finiti – Stratigrafia**

I valori di caratterizzazione geotecnica utilizzati sono riportati in **Tabella 4-2**. Dal momento che, in base ai dati disponibili, il limite fra depositi sciolti superficiali e regolite non è facilmente distinguibile, nel modello utilizzato per le verifiche, procedendo a favore di sicurezza, i parametri meccanici delle coltri superiori sono stati attribuiti anche alla porzione superiore intensamente fratturata dell'ammasso roccioso (regolite). Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento ai dati provenienti dalla progettazione della galleria e riportati in **Tabella 4-1**. I valori intermedi sono stati individuati attraverso interpolazione lineare.

| Strato | Peso di volume (kN/m³) | Angolo di resistenza al taglio (°) | Coesione efficace (kPa) | Modulo di deformabilità (kPa) |
|---|---|---|---|---|
| Coltre e regolite | 20.5 | 30 | 0.5 | 22000 |
| CS Strato 1 | 26 | 55 | 210 | 3100000 |
| CS Strato 2 | 26 | 54 | 255 | 3243000 |
| CS Strato 3 | 26 | 53 | 328 | 3570000 |
| CS Strato 4 | 26 | 52 | 418 | 4094000 |

**Tabella 4-2 – Parametri geotecnici caratteristici impiegati**

## 4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nell'area interessata dal dissesto (ARZ016 riportata nella cartografia del Piano di Bacino) è previsto il passaggio delle gallerie Borgonuovo, con un ricoprimento in calotta di circa 81 m per la galleria Est e 95 m per la galleria Ovest in corrispondenza della sezione B 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.

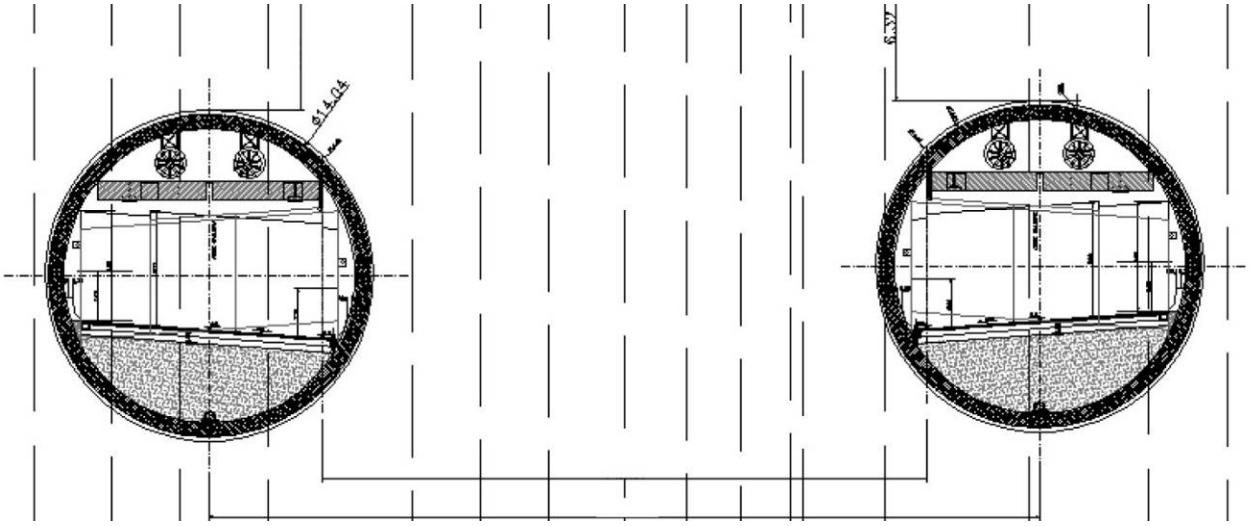


**Figura 4-2 – Sezioni tipo Gallerie Borgonuovo**

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 del progetto definitivo hanno considerato coperture orizzontali da 20 m a 260 m, prevedendo convergenze radiali massime comprese tra 1 mm e 15 mm.

In **Figura 4-3** è riportata una vista planimetrica dell'area in oggetto sulla quale è riportata sia la sezione B di verifica ARZ016 che il tracciato previsto delle Gallerie Borgonuovo.




**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 al rivestimento finale.

Il modello numerico considera le seguenti fasi:

1. Equilibrio geostatico iniziale;
2. Fattore di sicurezza allo stato attuale;
3. Realizzazione dello scavo della galleria;
4. Realizzazione del rivestimento definitivo della galleria;
5. Fattore di sicurezza alla fine della realizzazione delle opere previste.

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.

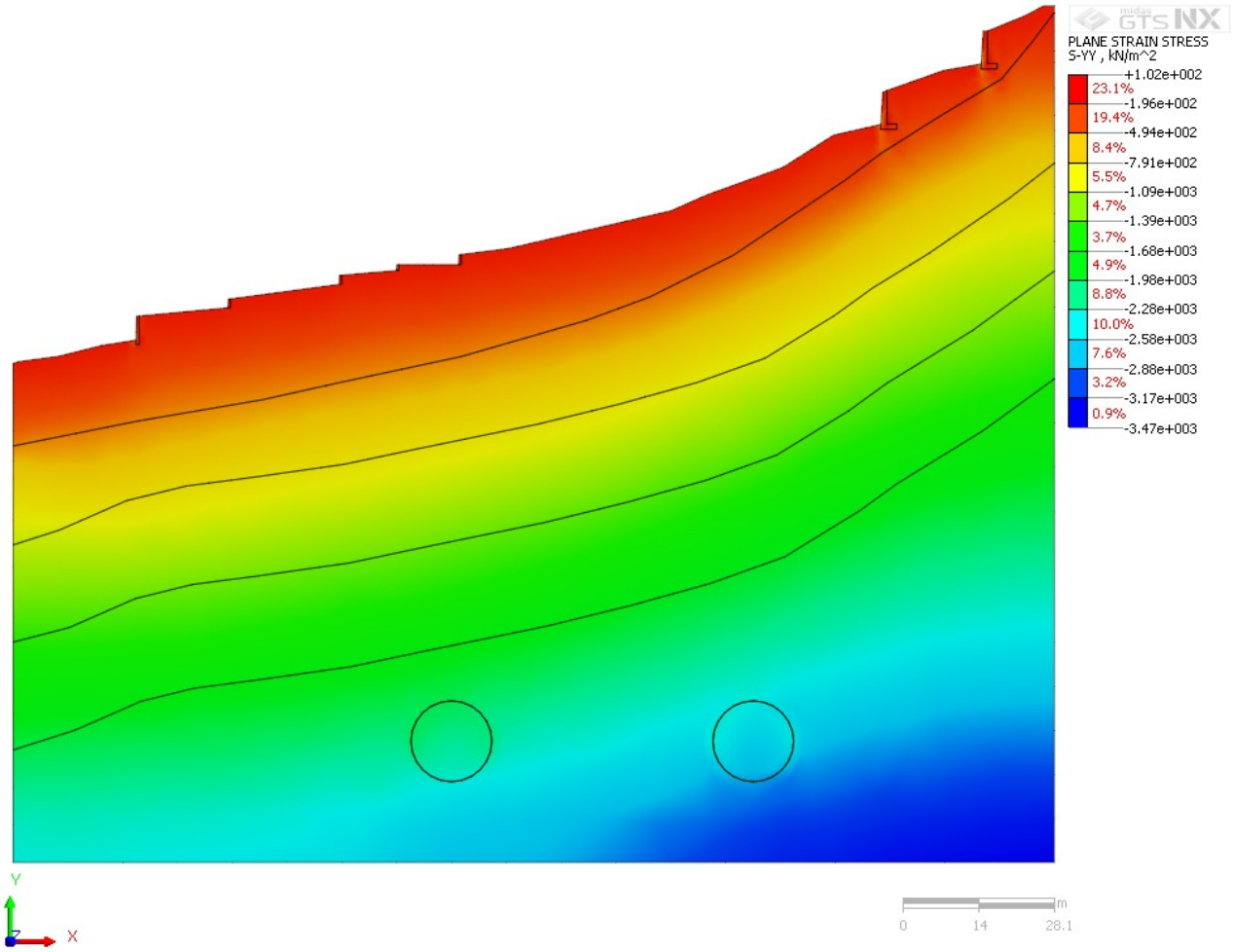



**Figura 4-4 – Modello FEM per l'analisi delle condizioni attuali del versante**

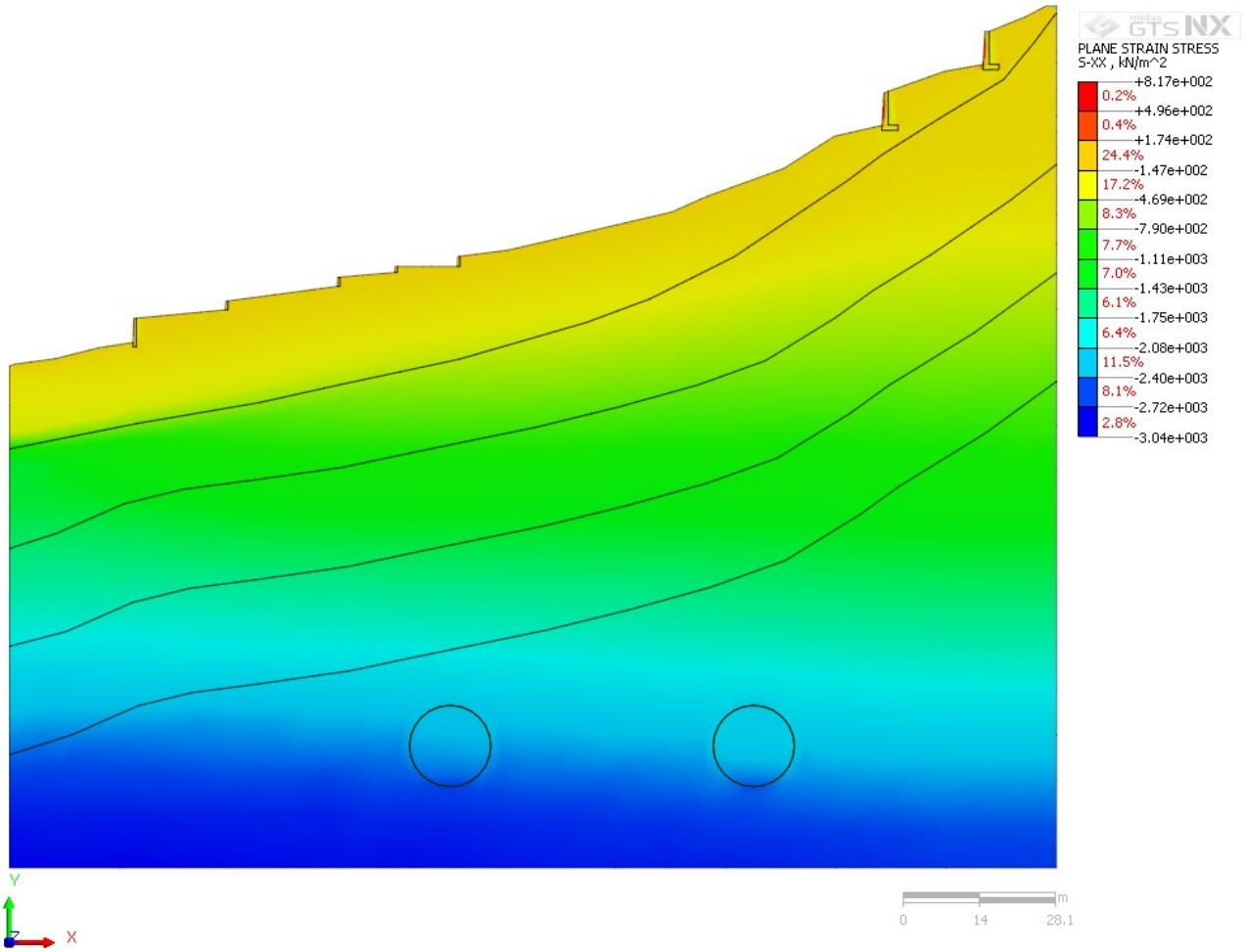



**Figura 4-5 – Modello FEM per l'analisi delle condizioni attuali del versante**

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 ($\sigma_{yy}$) e orizzontali ($\sigma_{xx}$).

Le analisi di stabilità globale per le condizioni attuali sono state condotte utilizzando i parametri caratteristici riportati in **Tabella 4-2**.

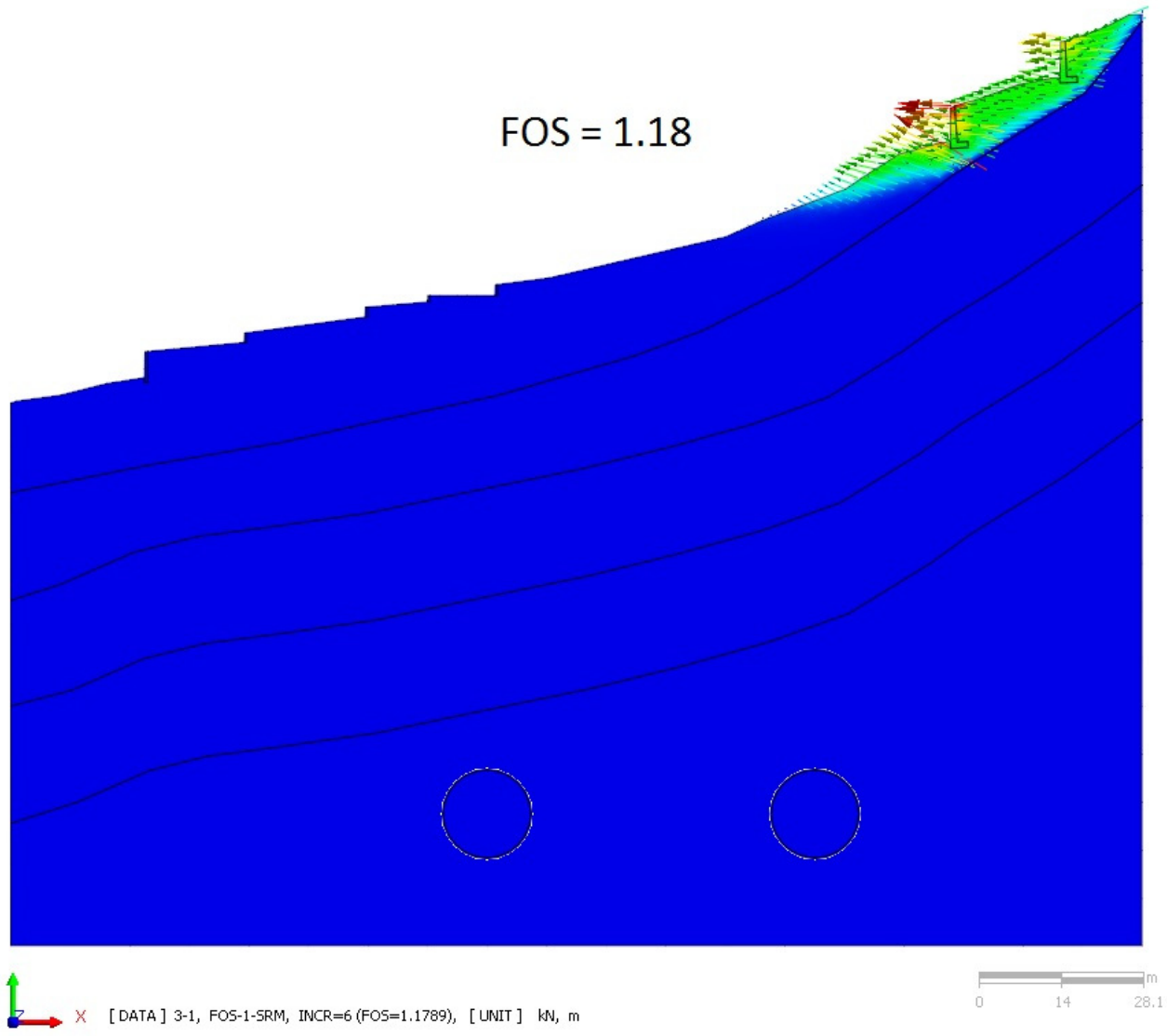



**Figura 4-6 – Analisi stabilità globale allo stato attuale**

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 1.18.

La parte più instabile del pendio è quella interessata dalle pendenze maggiori nella parte alta del pendio, dove la coltre di copertura è sostenuta dalle opere murarie presenti. Il cinematismo coinvolge solamente lo strato superficiale della coltre è non interessa le fasce di calcescisti sottostanti.

Il secondo step prevede lo scavo delle due gallerie. Si è quindi verificato che la convergenza del modello fosse confrontabile con quella prevista dalla progettazione delle gallerie.

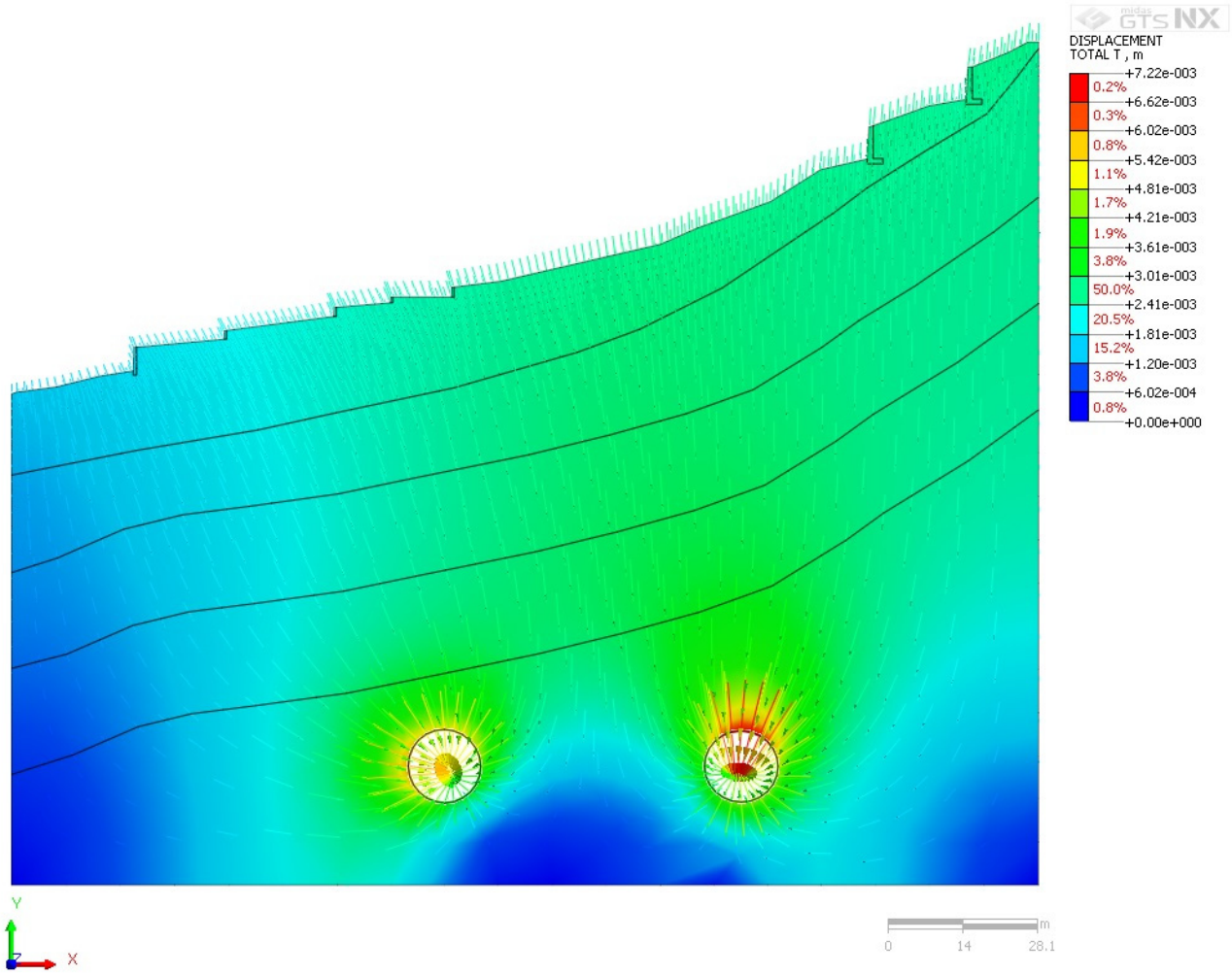



**Figura 4-7 – Modello FEM – Mappatura spostamenti alla fine delle operazioni di scavo**

I valori di spostamento massimi sono stati ottenuti in corrispondenza della parte superiore dello scavo della galleria Borgonuovo Ovest con una deformazione massima di 8 mm. Essa rientra nel range dello spostamento massimo (0.1-1.5 cm) indicato per i calcescisti lontano dal fronte di scavo, come nel presente caso.

La mappatura degli spostamenti mostra come i cedimenti in superficie in corrispondenza del versante siano compresi tra circa 2 mm e 3 mm, distribuiti omogeneamente su lungo tutto il versante. Questo è conseguente all'elevata profondità alla quale si trovano le gallerie.
I risultati dell'analisi sono congruenti con le previsioni del progetto definitivo per il comportamento del cavo delle gallerie, per cui sulla base del nuovo stato tensio-deformativo ottenuto dal modello numerico, si è proceduto ad eseguire una nuova analisi di stabilità globale.
In **Figura 4-8** è riportato il risultato dell'analisi di stabilità globale in termini di minimo fattore di sicurezza ottenuto e relativo cinematismo.

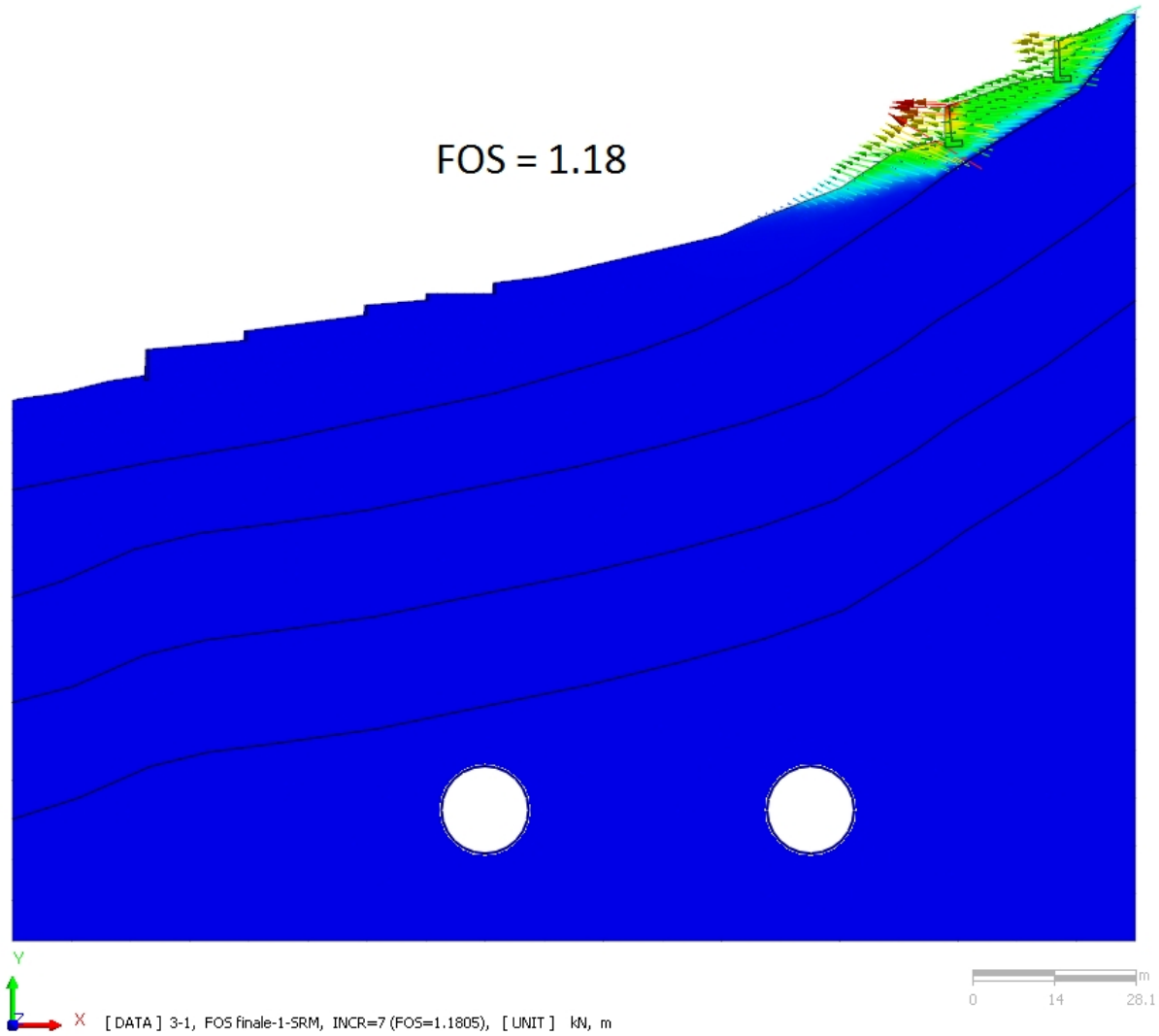



**Figura 4-8 – Analisi stabilità globale alla fine delle operazioni di scavo e rivestimento delle gallerie**

Il minimo fattore di sicurezza ottenuto per la stabilità globale del pendio è pari a 1.18, valore analogo a quello ottenuto per le condizioni attuali (**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.

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

# 5. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO

A completamento delle attività effettuate, sono state eseguite nel 2015-2016 le indagini di seguito descritte in corrispondenza delle opere di consolidamento più rilevanti:

- un sondaggio a carotaggio all'interno dell'area segnalata in dissesto Pg3a, con installazione di un piezometro (ubicazione in allegato 4).

## 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 entrambe i satelliti, 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.

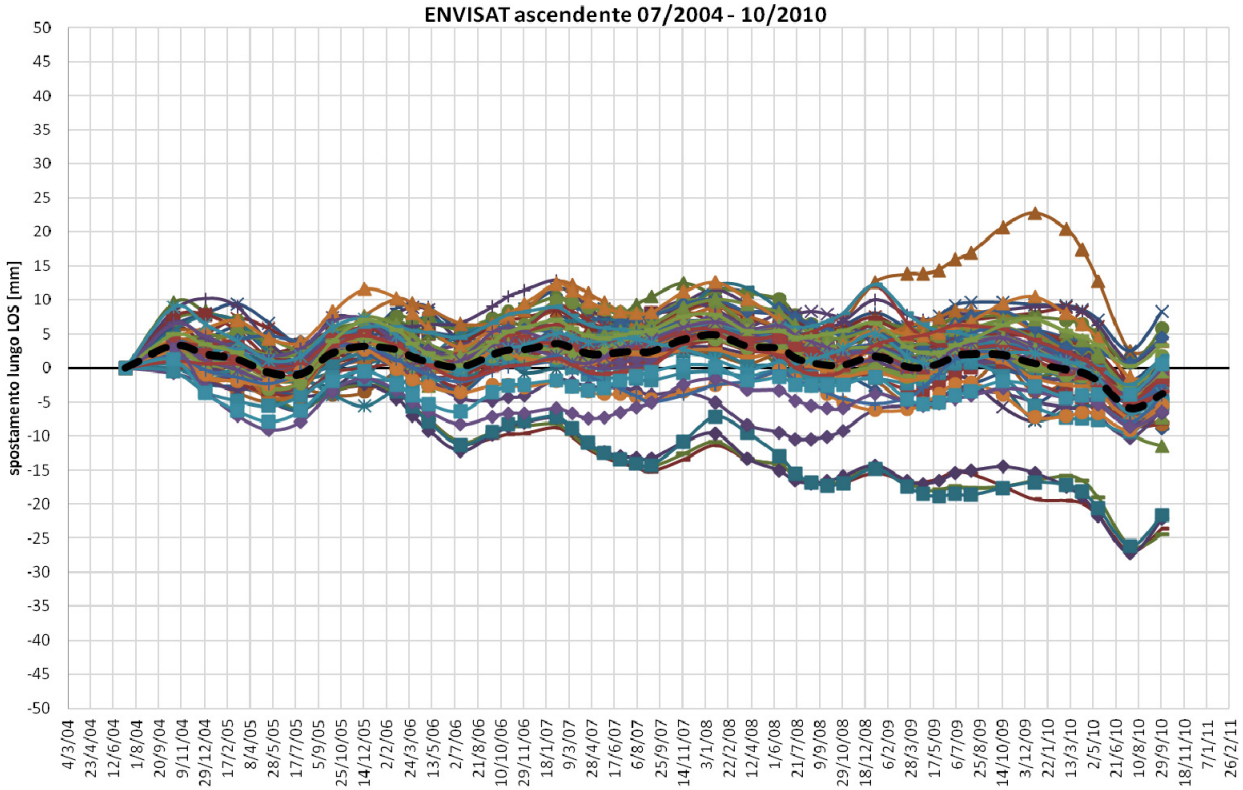



**Figura 5-2 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

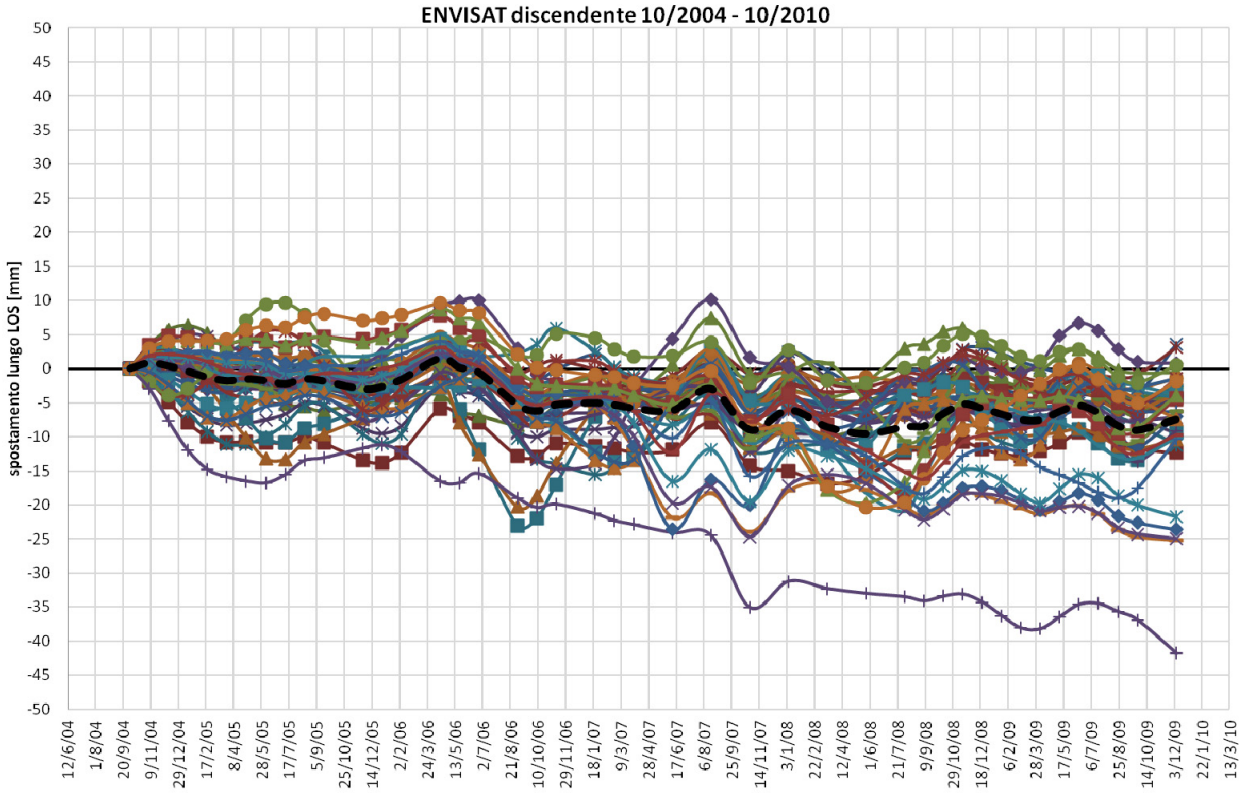



**Figura 5-3 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

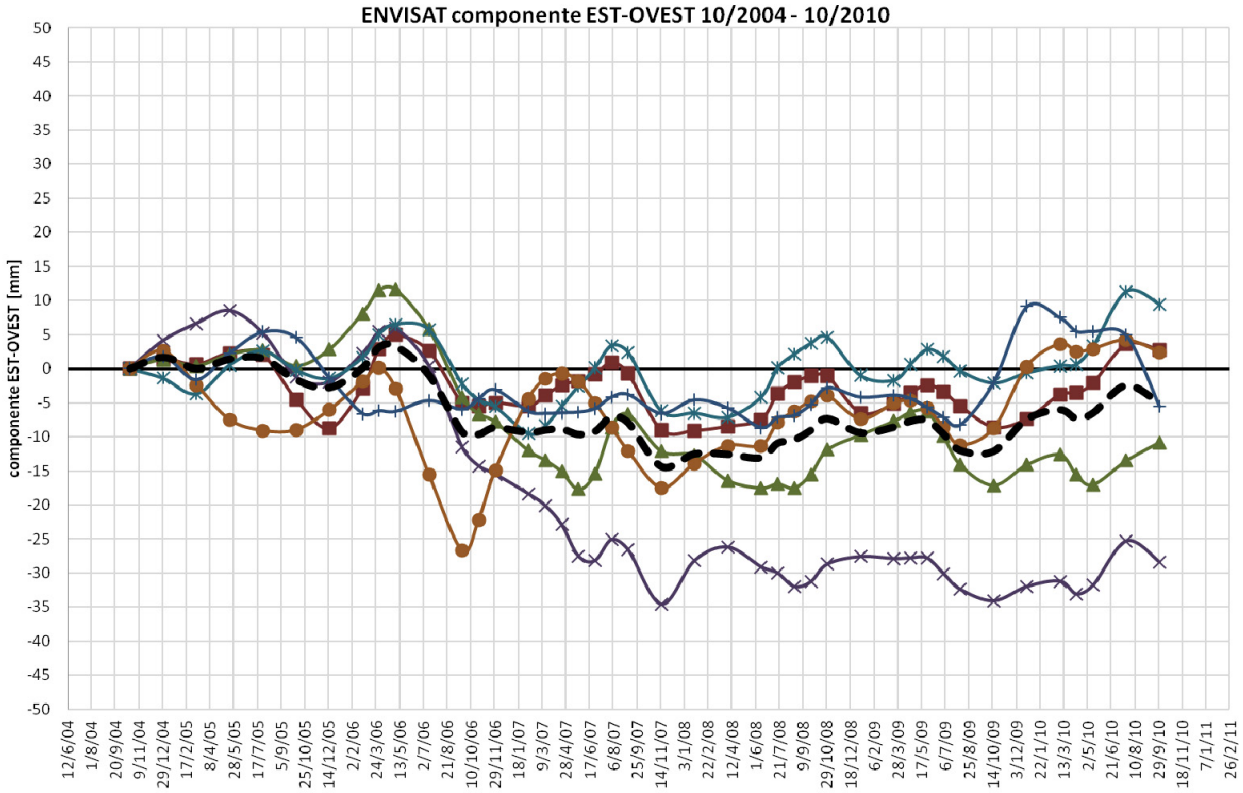



**Figura 5-4 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.**

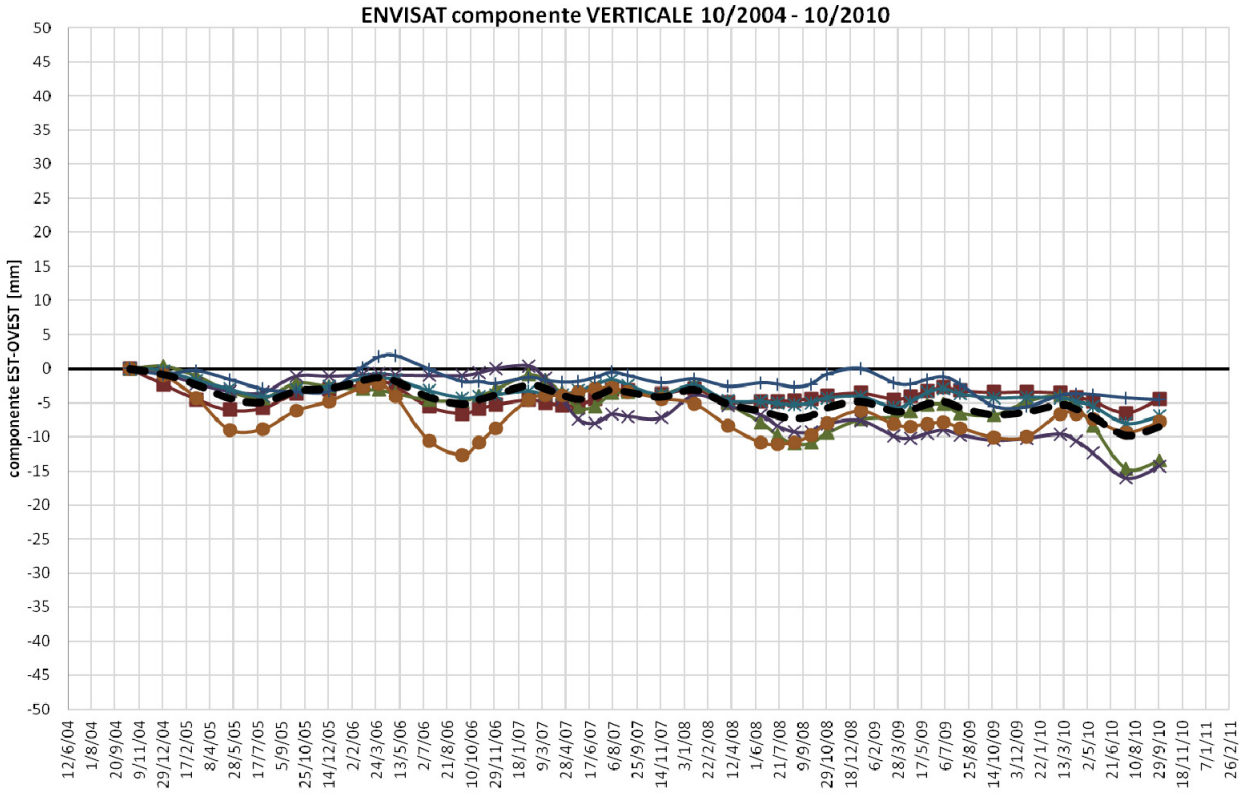



**Figura 5-5 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano un abbassamento.**

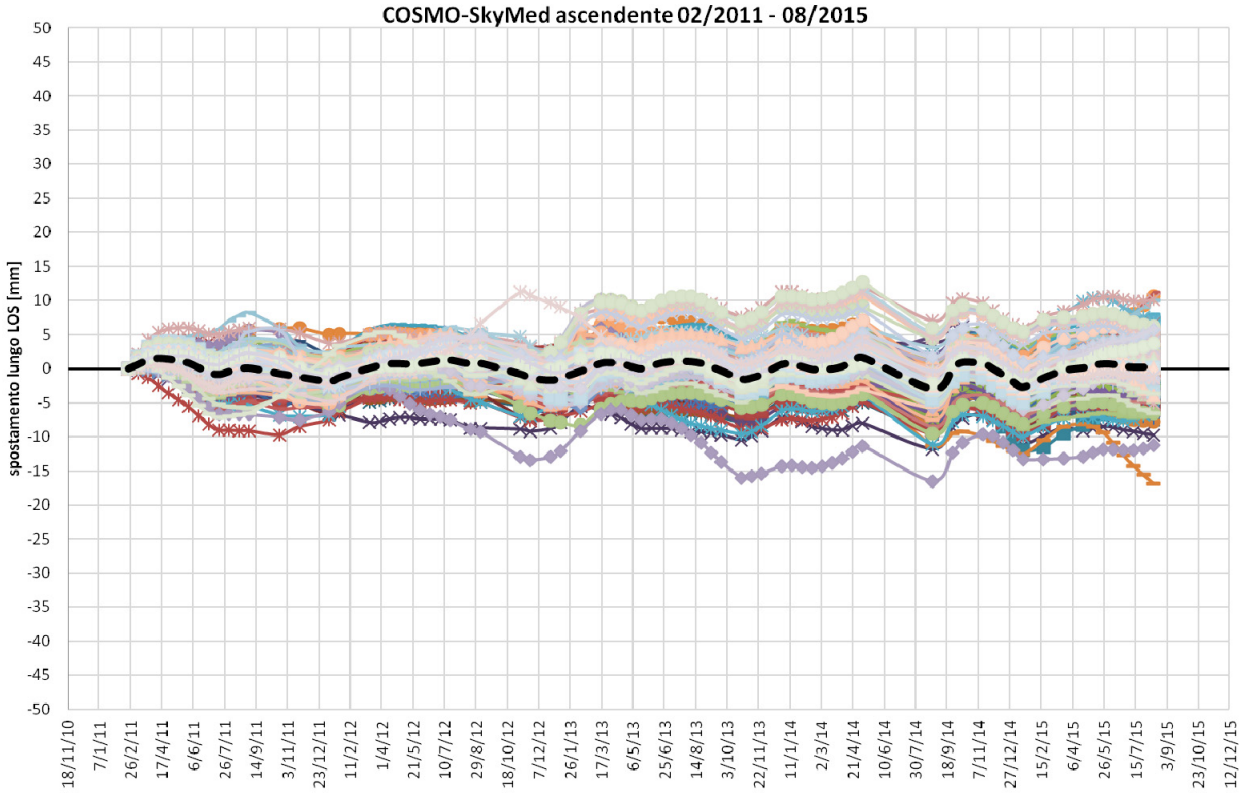



**Figura 5-6 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 1/2**

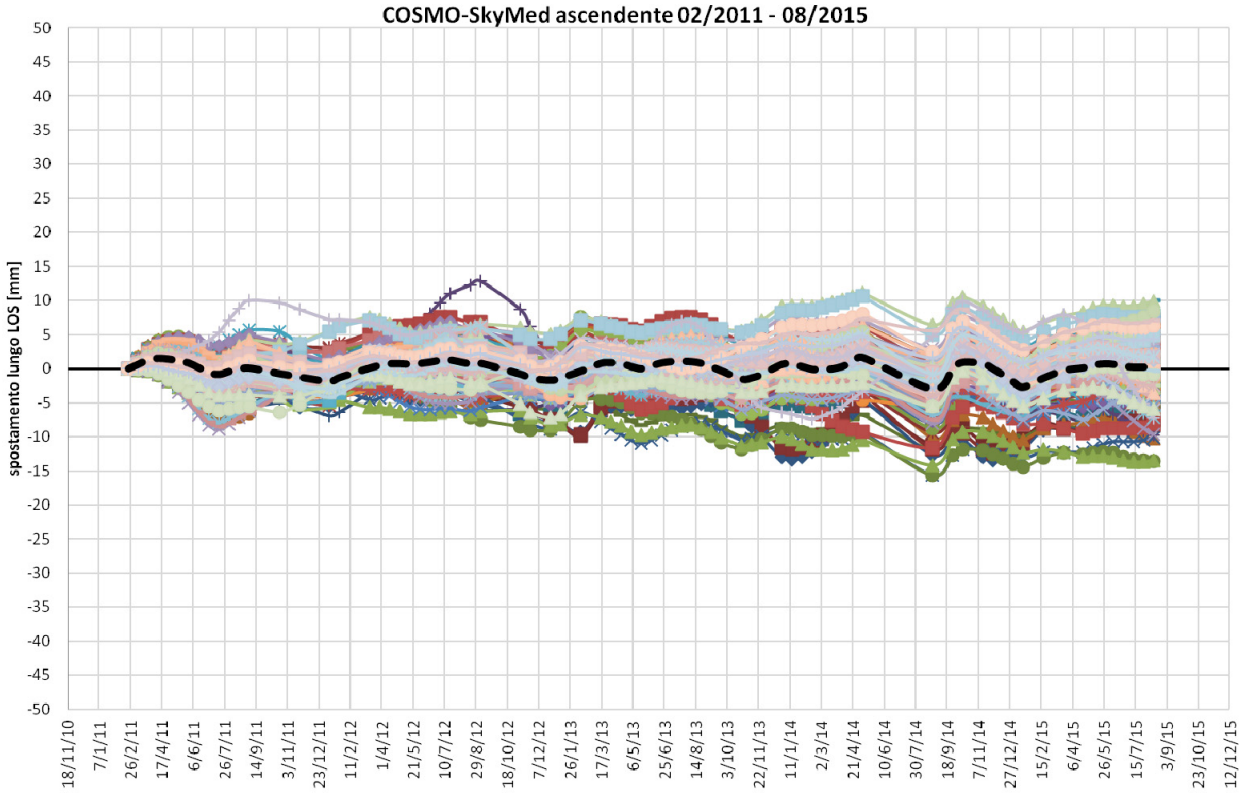



**Figura 5-7 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 2/2**

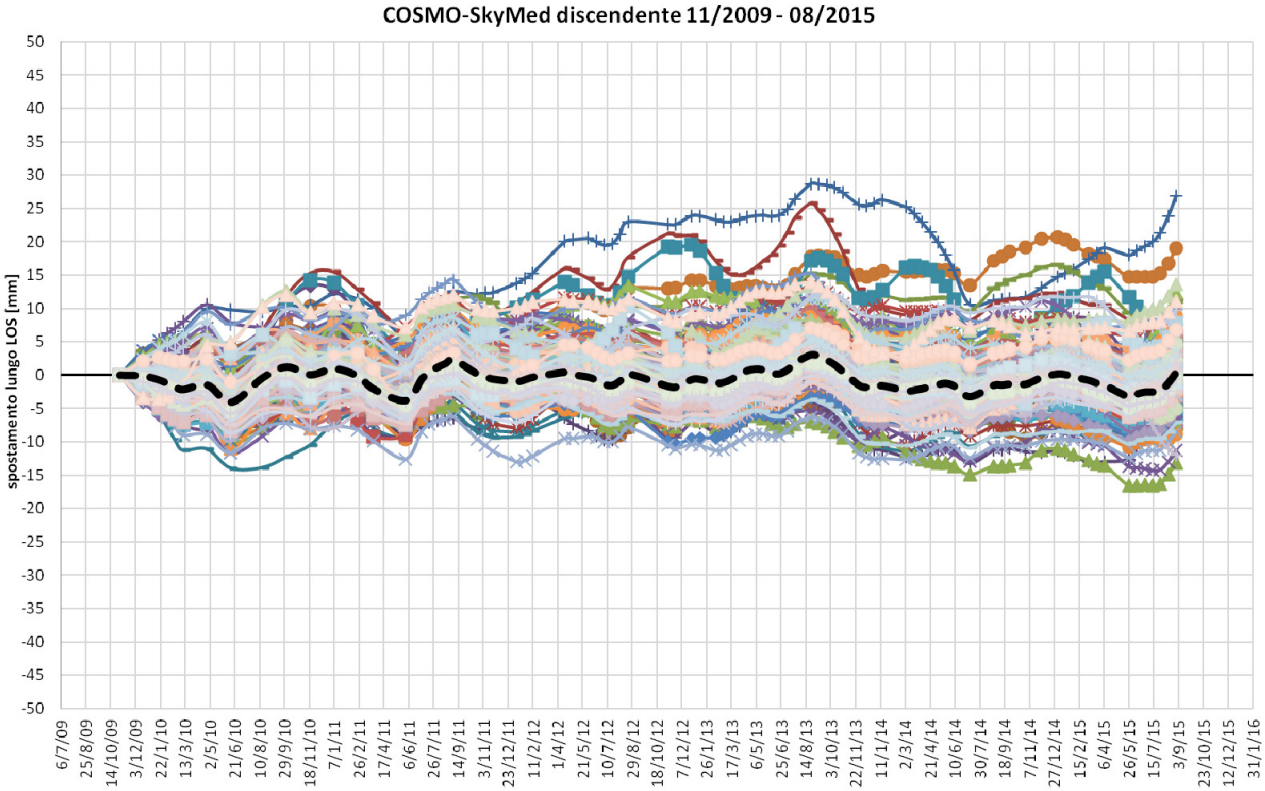



**Figura 5-8 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 1/3**

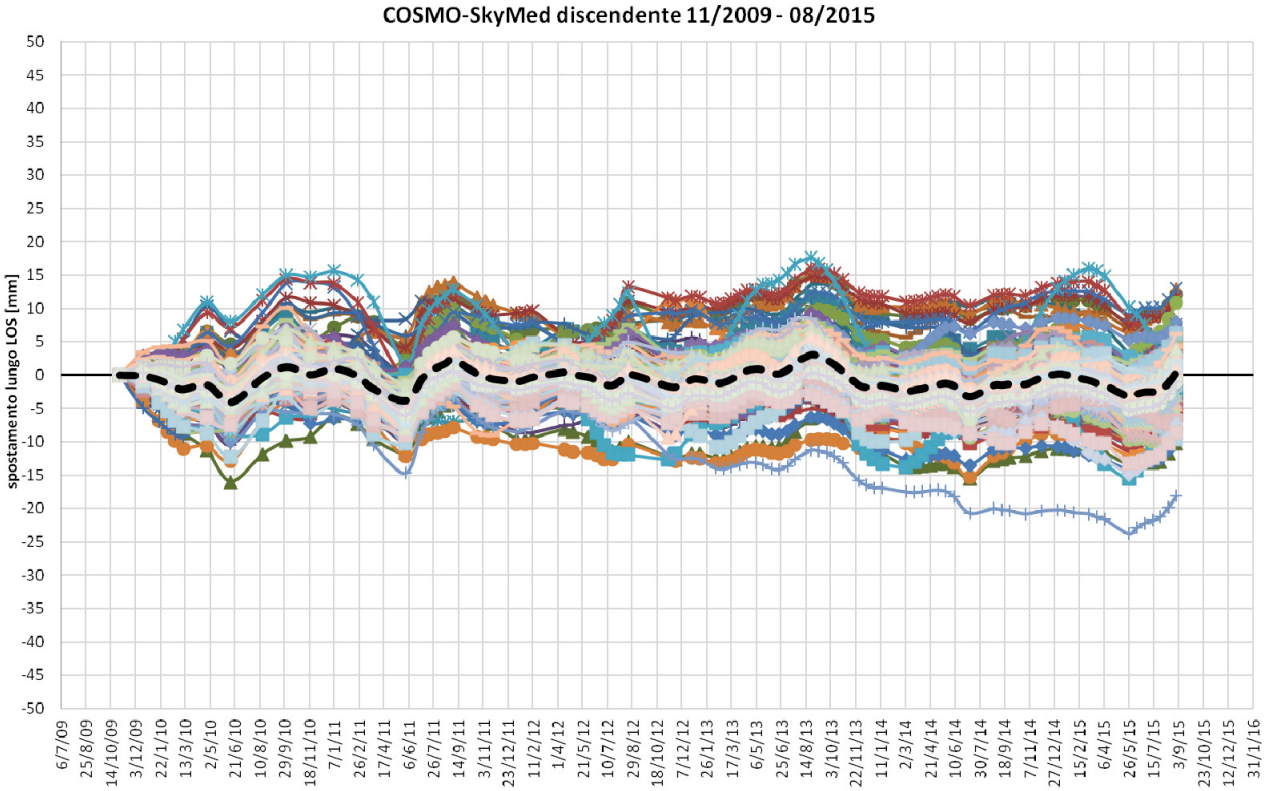



**Figura 5-9 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 2/3**

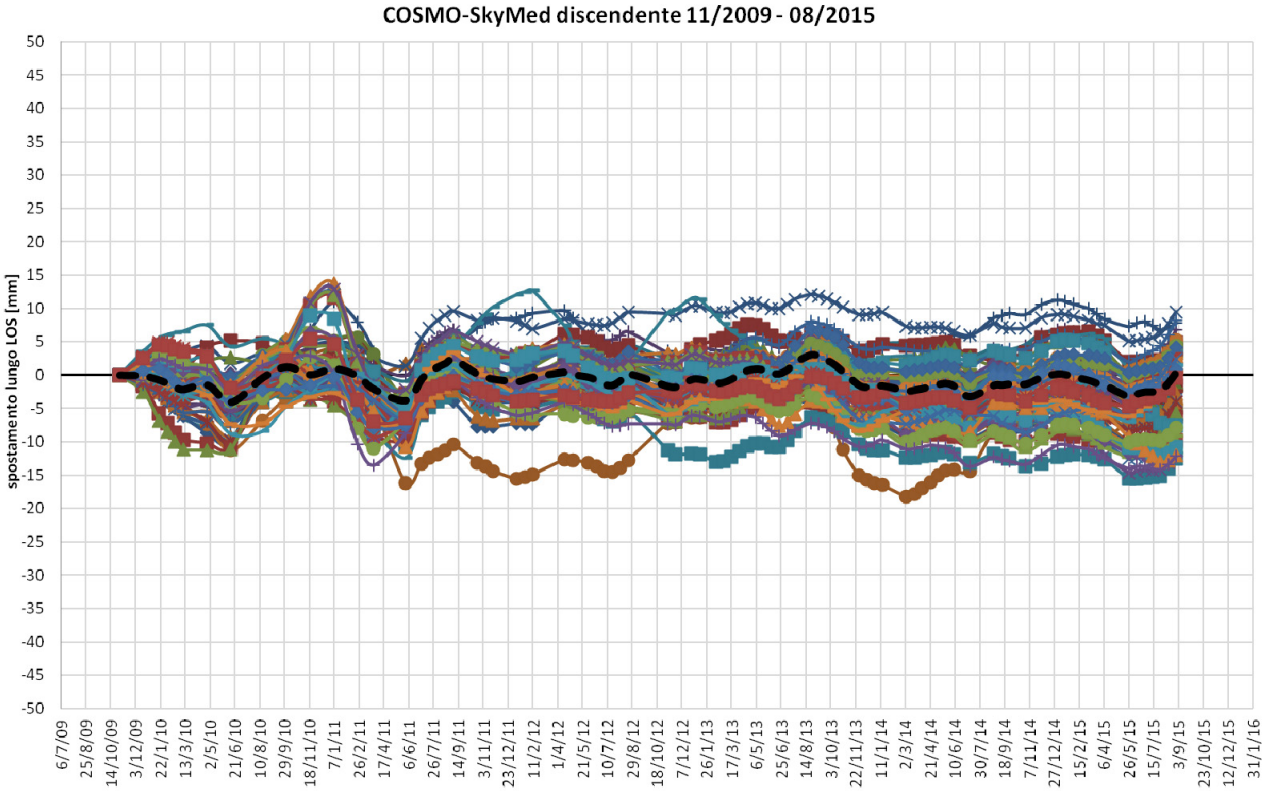



**Figura 5-10 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 3/3**

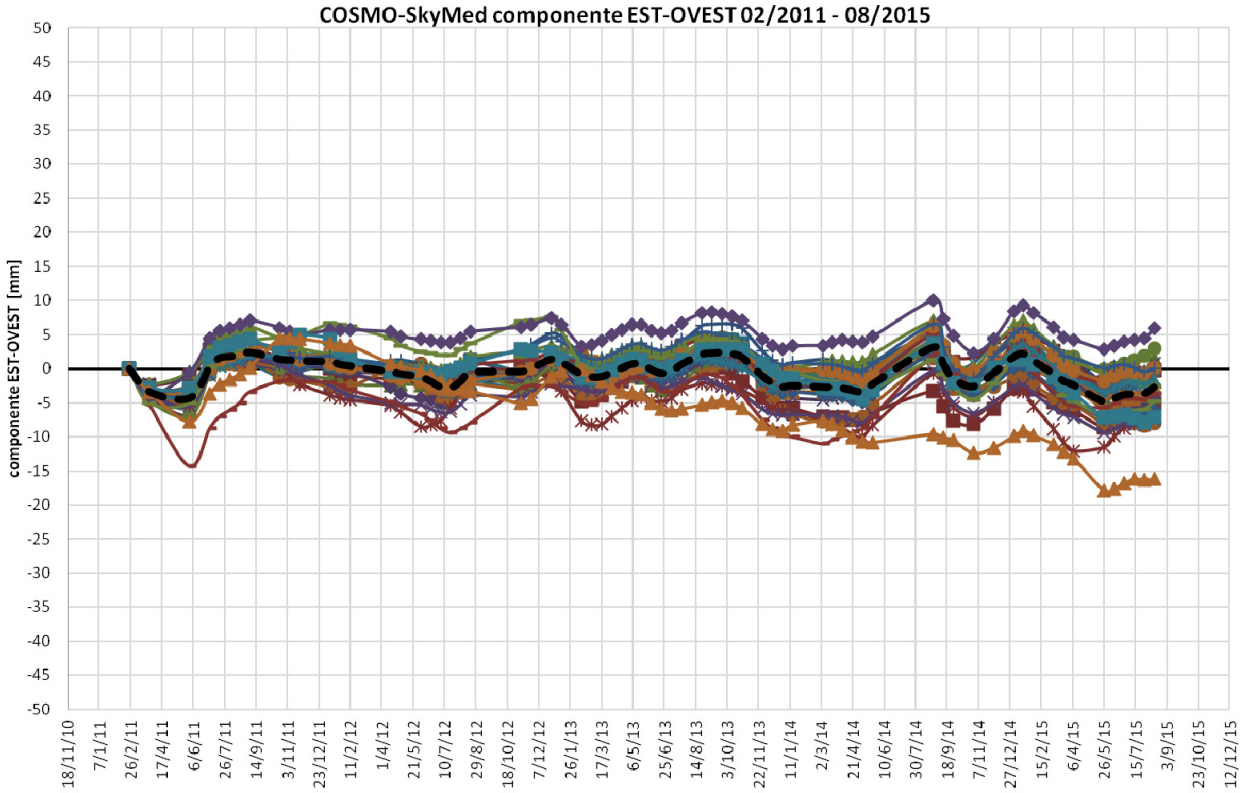



**Figura 5-11 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.**

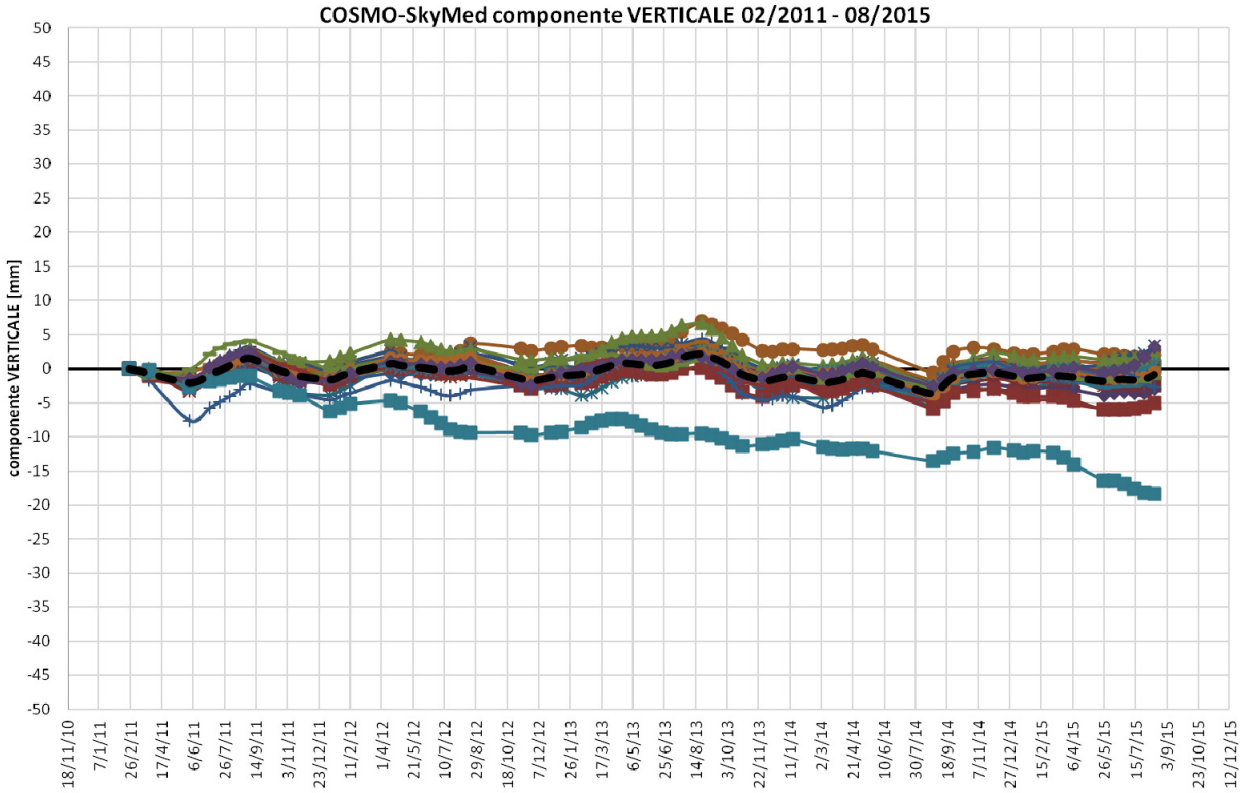



**Figura 5-12 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano un abbassamento.**

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 riscontri radar visibili dal satellite ENVISAT in orbita ascendente (n. 64 riscontri) e in orbita discendente (n. 43 riscontri), mostra un'assenza di movimenti nell'intero periodo 2004 – 2010.

Solo n.1 riscontro mostra, in orbita discendente, uno spostamento cumulato di circa 4 cm con velocità media pari a 8 mm/anno).

L'analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 76 riscontri) e discendenti (n. 574 riscontri) nel periodo 2009 - 2015 non individuano spostamenti significativi.

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 Borgonuovo Est e Ovest, in corrispondenza delle progressive chilometriche 1+450 e 1+700, è presente un'area di frana catalogata come Pg3a "frana quiescente" dalla cartografia del Piano di Bacino. Dai risultati del rilievo geomorfologico si nota la presenza di un'area concava all'interno della quale sono stati osservati numerosi piccoli dissesti connessi alla tipologia di materiale ed allo stato di abbandono che caratterizza alcune parti dell'area. Gli elementi antropici presenti (muretti a secco, strade) non presentano deformazioni significative; ciò fa supporre la presenza di una frana relitta della quale tuttavia non si percepiscono con chiarezza i né limiti del deposito né un orlo di scarpata netto, a causa della forte antropizzazione a scopo agricolo del versante.

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 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 ARZ016.

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 in alcun modo 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 e 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 dicembre 2015)
- *Allegato n.3* - Stralcio carta geomorfologica (aggiornata dicembre 2015)
- *Allegato n.4* - Carta geomorfologica di dettaglio, indagini integrative e punti di ripresa fotografici
- Allegato n.5 - Sezione geologica
- *Allegato n.6* - Scheda di sintesi
- *Allegato n.7* - Stratigrafia sondaggi
- *Allegato n*.8 – Prove di laboratorio