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 LEI110

| 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 | 8 | 0 | – | 1 | – |

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

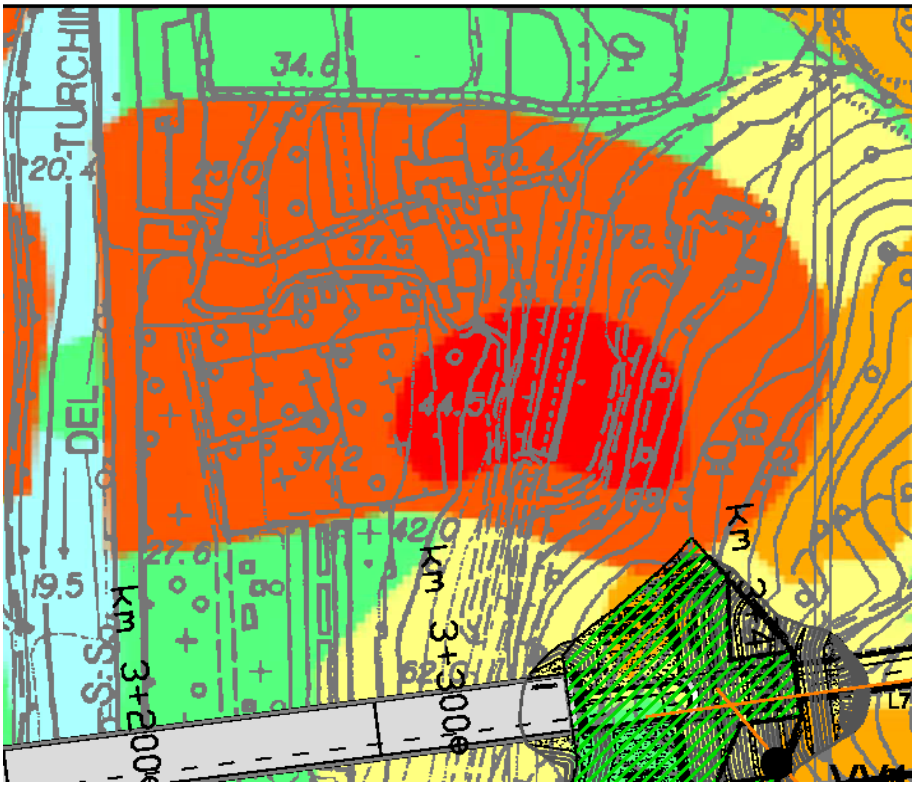
| | VISTO DEL COMMITTENTE | VISTO DEL CONCEDENTE |
|---|---|---|
| | autostrade per l'italia<br>IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO<br>Arch. Rossella Degni | Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti<br>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE<br>STRUTTURA DI VIGILANZA 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 LEI 110 (PG3A)*

## *OPERA INTERFERENTE: IMBOCCO GALLERIA*

## *AMANDOLA OVEST LATO SAVONA*



# INDICE

**1. PREMESSA ..... 4**

**2. METODOLOGIA DI LAVORO ..... 7**

**3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA ..... 10**

3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI ..... 10

3.2 CARTOGRAFIA ..... 10

3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO ..... 10

3.4 Aree Interferenti ..... 10

3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a e Pg4 ..... 11

3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino ..... 12

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

3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO ..... 14

3.9 INDAGINI ESEGUITE ..... 16

3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO ..... 20

3.11 CAUSE DEL DISSESTO ..... 31

3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA ..... 31

**4. ASPETTI GEOTECNICO – INGEGNERISTICI ..... 32**

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ..... 32

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO ..... 35

4.3 ANALISI DI STABILITÀ ..... 37

4.4 QUADRO DI SISTESI ..... 44

**5. IDRAULICA ..... 46**

5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE ..... 46

**6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI ..... 47**

**7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO 48**

7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI ..... 48

**8. CONCLUSIONI.....64**

**Allegati alla Scheda:**

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

**Annessi alla Scheda:**

- *Elaborato GEN0181: "Schede dissesti Pg4 e Pg3a – Frana LEI 110 (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*
- *GEO0002: Carta geologica – Tavola 1*
- *GEO0020: Carta geomorfologica – Tavola 1*
- *APE0001: Relazione geotecnica*
- *APE0004: Profilo Geotecnico - (ASSE 1 da Progr. 2+150 a Progr. 3+400)*
- *APE0241: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Pianta Scavi e Sezioni*
- *APE0242: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Berlinese "A" Sviluppata tav. 1/2*
- *APE0243: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Berlinese "A" Sviluppata tav. 2/2*
- *APE0244: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Berlinese "B" Sviluppata*
- *APE0245: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Berlinese "C" Sviluppata*
- *APE0246: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Berlinese "D" Sviluppata*
- *APE0247: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Particolari barre in VTR*
- *APE0248: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Relazione di Calcolo Opere di Imbocco*
- *APE0249: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Muro in terra armata - Planimetria e Particolari Costruttivi*
- *APE0250: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Muro in terra armata - Relazione di Calcolo*
- *AUA0136: Galleria Amandola Imbocco lato Savona - Sistemazione definitiva - planimetria, prospetto e sezioni*

In particolare, il presente documento riporta le valutazioni geologiche- geomorfologiche e geotecniche-ingegneristiche relative alla frana codificata LEI 110, che risulta parzialmente interferente con l'imbocco lato Savona della galleria Amandola Ovest.

# 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.

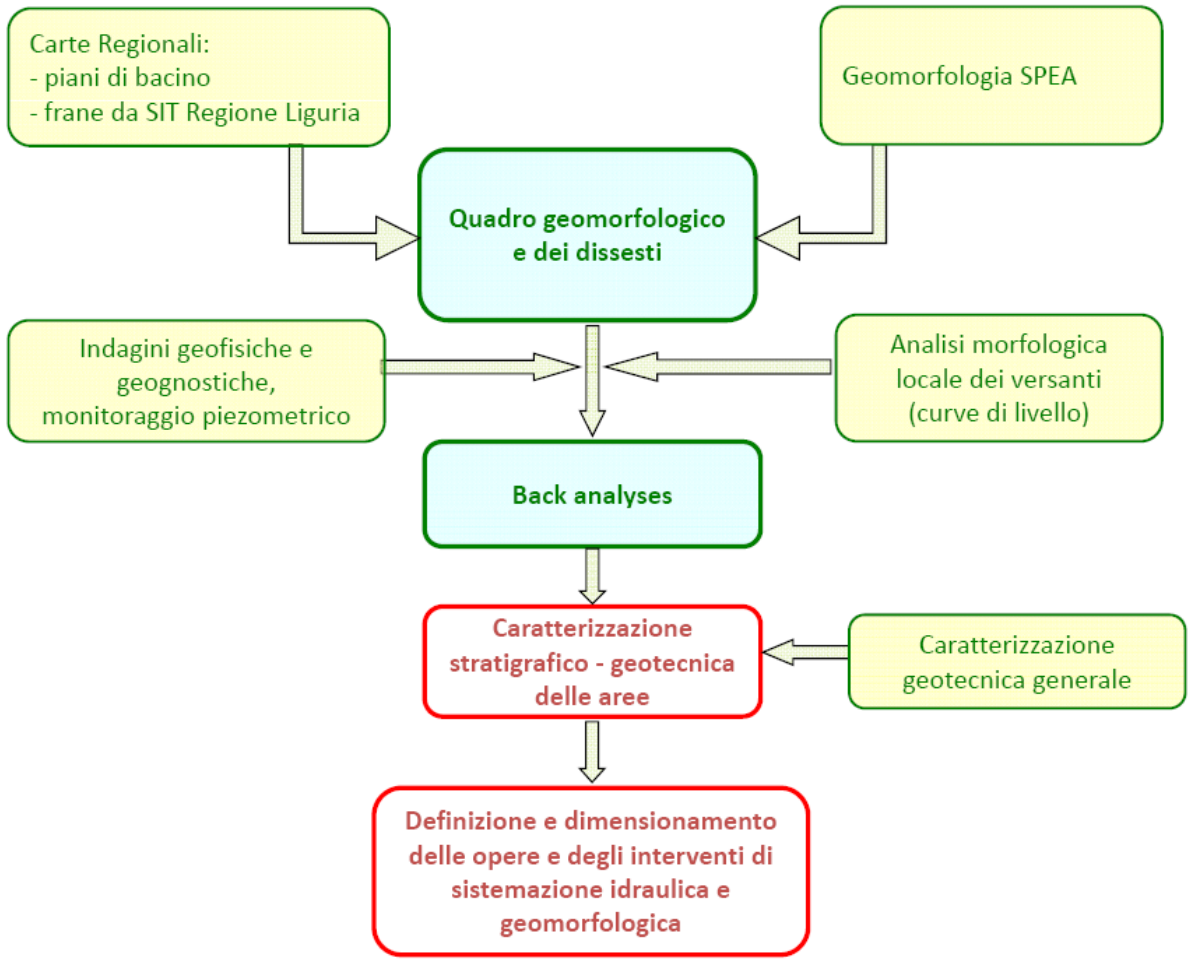



**Figura 2-1 – Schema generale metodologia**

# 3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

## 3.1 ELEMENTI IDENTIFICATIVI

LOCALITÀ: VOLTRI

COMUNE: GENOVA

PROVINCIA: GENOVA

BACINO: AMBITI 12 e 13

ID FRANA (da Carta della Franosità reale Piano di Bacino): LEI 110

## 3.2 CARTOGRAFIA

CTR 1:10.000: 213130 e 213140

## 3.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO DA PIANO DI BACINO

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

## 3.4 Aree Interferenti

L'oggetto della presente scheda è l'interferenza tra il dissesto **Pg3a** e l'imbocco lato Savona della galleria Amandola Ovest. All'interno dell'area interessata dal dissesto, codificato come LEI 110, è presente un altro dissesto di tipo complesso attivo, codificato LEI 111 nella cartografia del Piano di Bacino, classificato come Pg4. L'area è descritta nei documenti del Piano di Bacino come "*Frana del Cimitero di Voltri*" con le seguenti caratteristiche: "*L'area è localizzata in sponda sinistra del T. Leiro […] ed interessa, oltre ad alcuni terrazzi coltivati, il cimitero comunale di Voltri. La frana presenta caratteristiche di diffusa quiescenza (LEI110) ad eccezione del settore sud del corpo di accumulo, immediatamente a monte del cimitero, riattivatosi durante l'evento alluvionale del '93 con crollo di un muraglione (LEI111). In tale settore l'attività è a tutt'oggi testimoniata a deformazioni morfologiche ed alberi inclinati".*

### 3.5 Classificazione e caratteristiche dissesto Pg3a e Pg4

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

a) Tipologia di frana:

| Pg3a | Pg4 | |
|---|---|---|
| | | Superficiale (SS) |
| | | Colamento (DF) |
| | | Scorrimento o scivolamento (SC) |
| | | Scorrimento o scivolamento rotazionale (SCr) |
| | | Scorrimento o scivolamento planare (SCp) |
| | | Crollo o ribaltamento(CL) |
| **X** | **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:

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

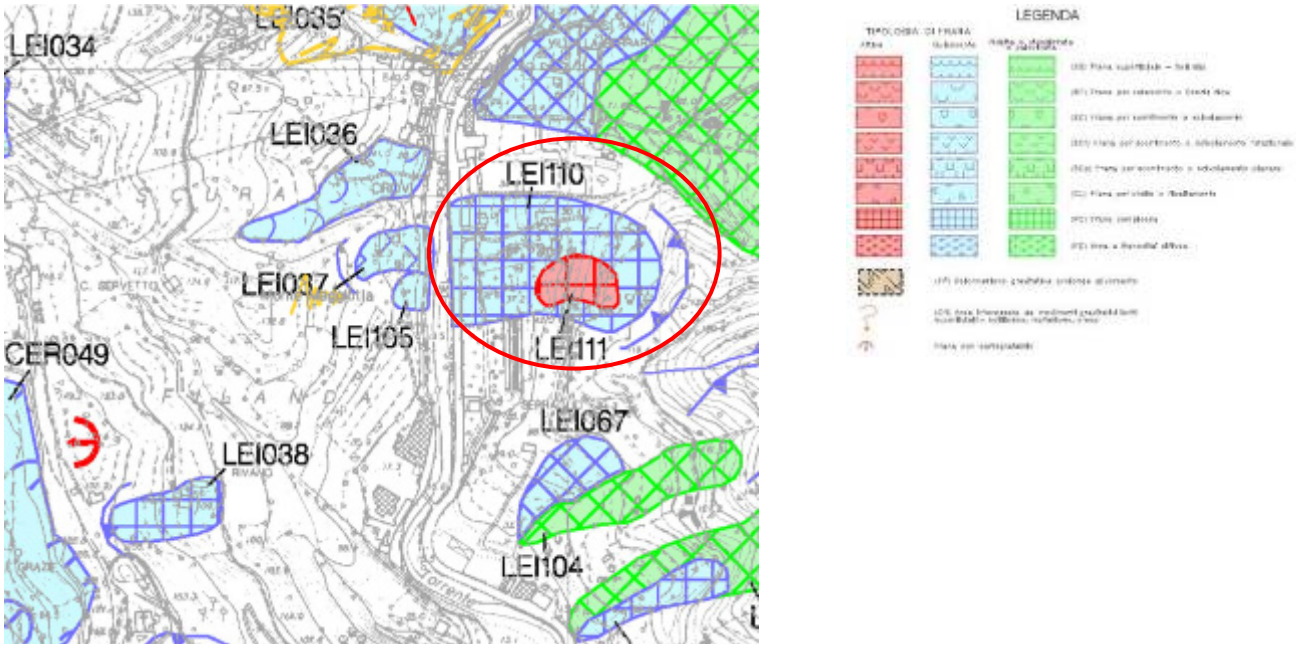



**Figura 3-1 - Stralcio Carta della franosità reale da Piano di Bacino**

## 3.6 Interventi previsti dal Piano di Bacino

Il Piano degli interventi di mitigazione del rischio del Piano di Bacino prevede in corrispondenza dell'area attiva del dissesto in esame, , un intervento codificato come A5-GM14 che comprende "*la ricostruzione del muraglione di contenimento (muro a secco) integrando l'opera con una adeguata regimazione delle acque superficiali e drenaggio delle acque di infiltrazione".*

In **Figura 3-2** è riportata l'area interessata dagli interventi previsti dal Piano di Bacino, necessari in corrispondenza del corpo di frana presente a monte del cimitero di Voltri.

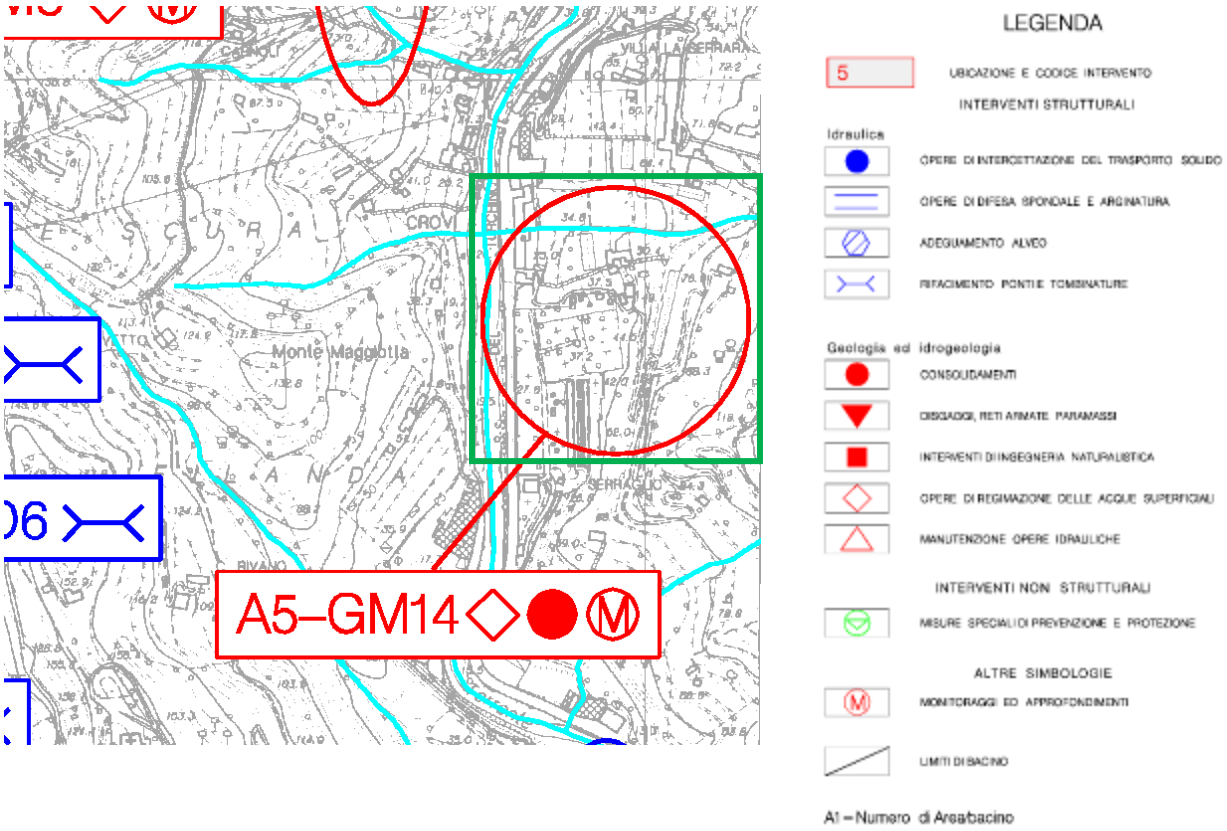



**Figura 3-2 – Stralcio della carta degli interventi da Piano di Bacino (in verde è evidenziata l'area di interesse)**

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

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

La cartografia IFFI (**Figura 3-3**) identifica sul versante un dissesto quiescente circa coincidente con LEI 110 (1 in **Figura 3-3**) e un dissesto attivo coincidente con LEI 111 (2 in **Figura 3-3**), aventi rispettivamente le seguenti caratteristiche:

- ID Frana: 0100216001
- Tipo di movimento: Complesso
- Attività: Quiescente
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

- ID Frana: 0100216002
- Tipo di movimento: Complesso
- Attività: Attivo/riattivato/sospeso
- Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività: Dato storico/archivio

Viene inoltre segnalata lungo il medesimo versante un'altra area a franosità superficiale diffusa quiescente (3 nella figura seguente).

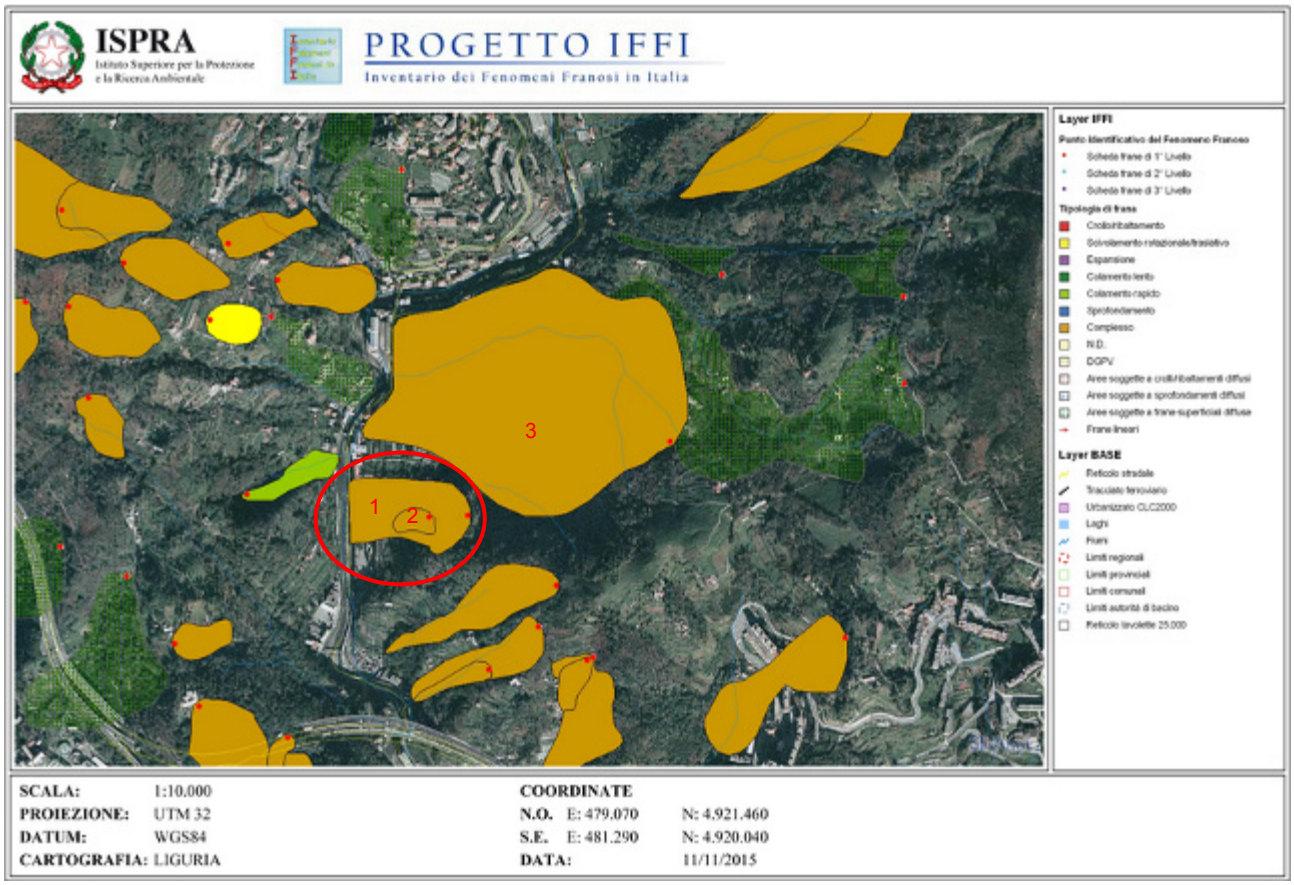



**Figura 3-3 – Frane da IFFI (http://www.isprambiente.gov.it)**

## 3.8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame in cui è inclusa la Pg3a si imposta nell'Unità Tettonometamorfica Palmaro Caffarella e Voltri, qui rappresentate prevalentemente da Micascisti con lenti di metagabbri, SAC e Serpentiniti (Allegato 2).

*Calcescisti s.l. (CS)*

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

Sono caratterizzati da una scistosità marcata, legata a diverse generazioni di deformazioni. La foliazione principale riportata in carta, definita da minerali in facies scisti

verdi, ha allineato, oltre alla superficie litologica originaria, anche altre superfici tettoniche che non risultano più differenziabili. La foliazione principale risulta piegata più o meno blandamente dalle successive fasi deformative; la giacitura della scistosità principale nell'area risulta immergente per lo più verso ESE con inclinazioni prossime alla verticale.

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

Gli scisti quarzoso micacei, invece, assumono delle 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.

*Serpentiniti (S)*

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

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

Lungo il sentiero a q. 75 m s.m. ubicato a sud dell'area di studio e nella zona più orientale dell'area classificata come dissesto sono stati rilevati alcuni affioramenti ascrivibili ai metagabbri e agli scisti a clorite SAC; in uno dei sondaggi eseguiti nell'area a supporto del progetto definitivo del 2011 inoltre (vedi §3.6), è stata trovata una lente di cloritoscisti..

*Metagabbri* (MG) e SAC

I metagabbri si presentano in affioramento come molto compatti, resistenti e formano lenti distribuite all'interno sia dei Calcescisti, sia delle Serpentiniti. Sono stati distinti in affioramento due categorie di metagabbri: un tipo preserva minerali di paragenesi eclogitica, mentre l'altro mostra una spiccata retrocessione metamorfica in facies scisti verdi. Quando non è stato possibile definire a quale di queste categorie appartenessero alcuni metagabbri, li si è indicati con il termine litologico generico.

Nell'ambito dello studio relativo alla presenza di amianto naturale è stata evidenziata la presenza di 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.

I *depositi superficiali* hanno spessore generalmente inferiore a 4-5 m e sono rappresentati essenzialmente da depositi di versante, depositi eluvio/colluviali e, alla base del versante, da depositi alluvionali lungo il corso del Torrente Leira.

Da un punto di vista geomorfologico, l'area di interesse si sviluppa lungo il versante idrografico sinistro del Torrente Leira. Il versante si presenta con media acclività, terrazzato e con vegetazione ad alto fusto ed arbustiva (Allegato 3).

## 3.9 INDAGINI ESEGUITE

Nell'ambito della campagna di indagini a supporto del Progetto Definitivo, nelle zone limitrofe all'area di studio sono stato eseguiti (**Figura 3-4**):

- n.1 sondaggio a carotaggio (VV10), in corrispondenza degli imbocchi lato Savona delle gallerie Amandola Ovest e Amandolo Est;
- n. 2 sondaggi a carotaggio (VV11 e VV12) lungo la VS6, limitrofa all'area dell'imbocco;
- n.3 stendimenti di sismica a rifrazione nell'area di imbocco lato Savona delle gallerie Amandola Est e Ovest, di cui due rispettivamente in corrispondenza degli assi della canna Ovest (stendimento L7) e della canna Est (stendimento L8) e uno (stendimento L6) sviluppato perpendicolarmente agli stendimenti L7 e L8.

Tali indagini non interessano direttamente l'area identificata come Pg3a ma sono comunque utili per definire gli spessori di coltre e substrato alterato caratteristici del versante in esame.

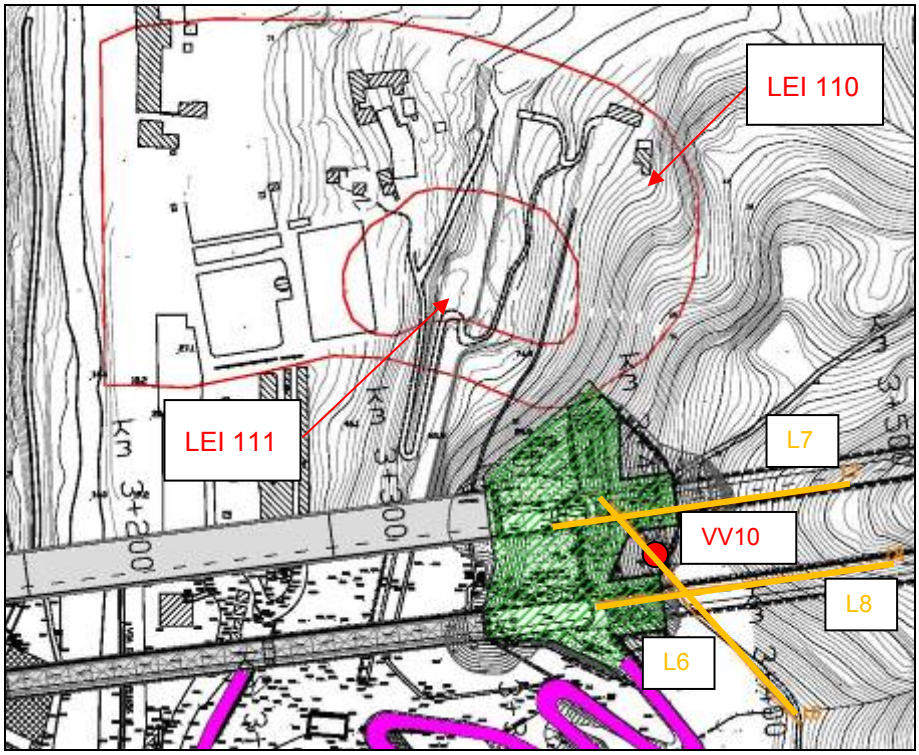



**Figura 3-4 - Stralcio planimetrico con l'ubicazione delle indagini**

Le stratigrafie dei tre sondaggi possono essere così schematizzate:

- sondaggio VV10: fino a circa 1.4 m è presente un deposito superficiale sciolto seguito, fino a circa 27 m da substrato molto alterato ma con struttura localmente riconoscibile (in questa zona rappresentato da micascisti). Il substrato roccioso sottostante è costituito da calcescisti da mediamente a molto fratturati. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 12/07/11 - risultava essere -35.750 m da p.c..
- sondaggio VV11:la coltre superficiale raggiunge circa i 3 m da p.c.; al di sotto è presente substrato alterato con struttura localmente riconoscibile fino a 14. (in questa zona rappresentato da micascisti). Il substrato roccioso sottostante è costituito da calcescisti con differenti gradi di fratturazione; all'interno dei calcescisti, a una profondità di circa -39.9 m da p.c., è stata rinvenuta una lente di spessore pari a 1 m circa di cloritoscisti. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 13/07/11 - risultava essere -14.04 m da p.c..
- sondaggio VV12: fino a 4 m circa è presente il deposito superficiale sciolto; da 4 fino a 14 m il substrato alterato con struttura localemente riconoscibile (in questa zona rappresentato da micascisti.Il substrato roccioso sottostante è costituito per tutta la lunghezza del foro da micascisti con differenti gradi di fratturazione. La soggiacenza dell'acqua - misurata il 12/07/11 - risultava essere -13.99 m da p.c.

I tre profili sismici, riportati da **Figura 3-5** a **Figura 3-7**, indicano la presenza di tre unità sismiche caratterizzate da differenti velocità medie di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S):

- US1: caratterizzata da velocità media delle onde P compresa fra 0.58 e 0.60 km/s e delle onde S compresa fra 0.26 e 0.29 km/s, con spessore massimo pari a circa 4 m, ascrivibile ai depositi sciolti superficiali;
- US2: caratterizzata da velocità media delle onde P compresa fra 1.41 e 1.62 km/s e delle onde S compresa fra 0.78 e 0.86 km/s, con spessore massimo pari a circa 24 m, ascrivibile alla porzione più alterata e fratturata dell'ammasso roccioso e ai primi metri di ammasso roccioso fratturato e poco alterato;
- US3: caratterizzata da velocità media delle onde P compresa fra 3.00 e 3.28 km/s e delle onde S compresa fra 1.45 e 1.64 km/s, ascrivibile all'ammasso roccioso poco fratturato e poco alterato;

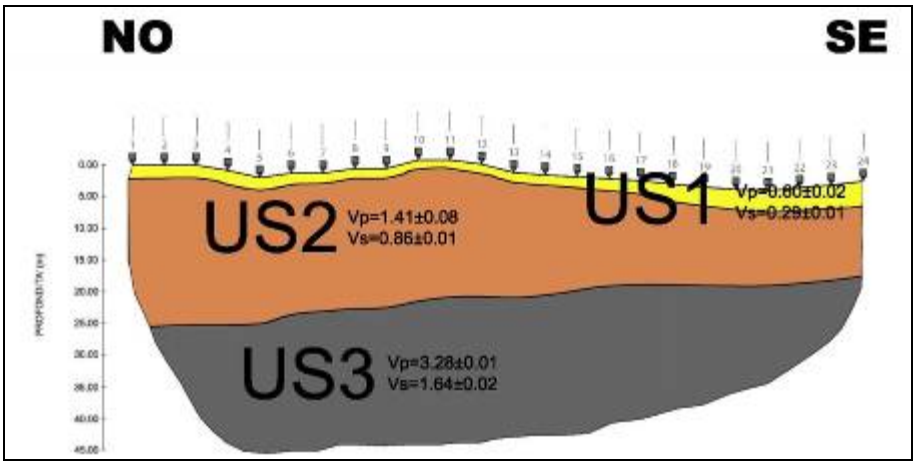



**Figura 3-5 – Profilo sismico L6**

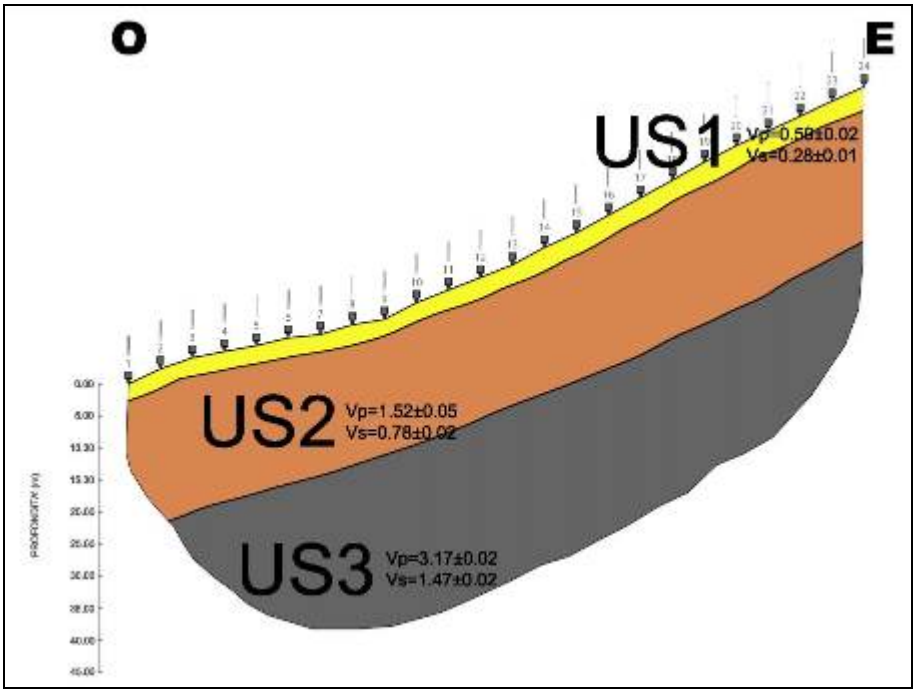



**Figura 3-6 – Profilo sismico L7**

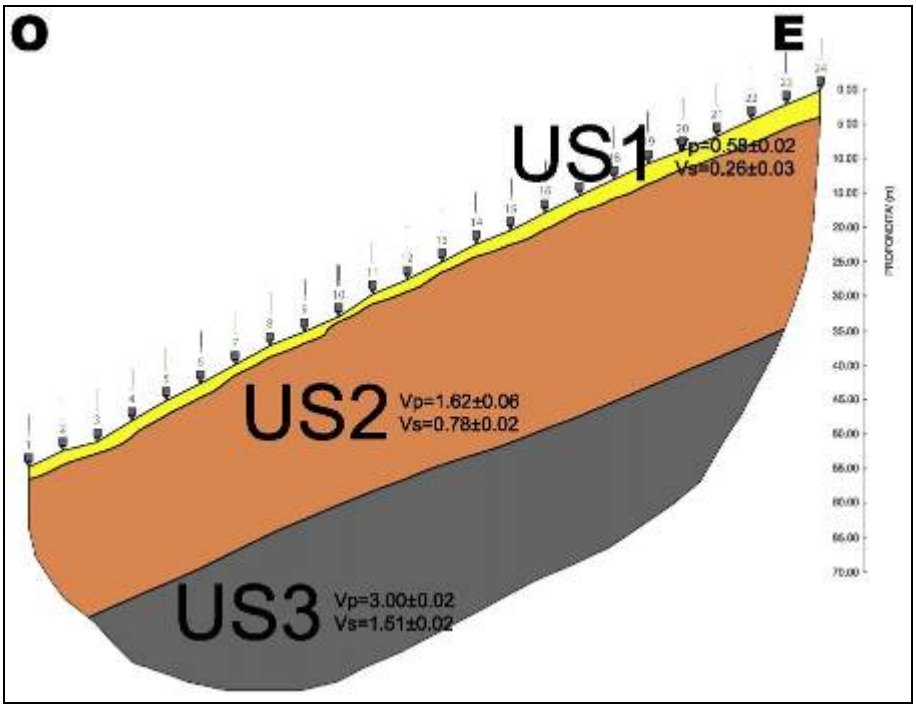



**Figura 3-7 – Profilo sismico L8**

Per i certificati delle indagini eseguite, sia di sito che di laboratorio, si rimanda agli allegati 7 e 8 del presente documento.

## 3.10 RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

In data 02/12/2015 è stato effettuato un sopralluogo lungo il versante dal Torrente Leira, procedendo dal fondovalle fino alla porzione sommitale dell'area classificata come Pg3a e nel suo intorno significativo esterno, 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.

Di seguito viene descritto quanto evidenziato durante il sopralluogo; 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 e da fitta vegetazione ad alto fusto nella sua porzione superiore. Osservando da lontano l'areale di studio (**Foto 1**), non è possibile individuare la Pg3a perimetrata sulla cartografia del Piano di Bacino, che non risulta evidenziata né da cambio di vegetazione né da variazioni di pendenza.




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

- La porzione inferiore del versante è caratterizzata dalla presenza di terrazzamenti ad uso agricolo, mentre la porzione superiore presenta diversi ordini di terrazzi perlopiù abbandonati localmente invasi da vegetazione di tipo arboreo e arbustivo (**Foto 2**).

- Risalendo lungo la strada che costeggia il Cimitero di Voltri si osservano piccoli dissesti non cartografabili alla scala del rilievo (di entità inferiore ai 25 $m^2$) localizzati sui fronti dei terrazzi che caratterizzano la porzione inferiore dell'area e sulla scarpata a valle della strada fra q.55 m s.m. e 60 m s.m. (**Foto 3** e **Foto 4**).



**Foto 2 – Porzione inferiore del versante terrazzata.**



**Foto 3 – Dissesto non cartografabile in corrispondenza del fronte di un terrazzo (q.32 m s.m.)**



**Foto 4 – Dissesto non cartografabile a valle della strada (q.51 m s.m.)**

- In prossimità del tornante, nell'intorno di q.59 m s.m., è stata rilevata la presenza di un dissesto localizzato in corrispondenza del muro di sottoscarpa (**Foto 5**), nonché lesioni ed un abbassamento di circa 20 cm del manto stradale.



**Foto 5 – Dissesto a valle della strada (q.59 m s.m.)**

- Nella porzione mediana del versante, a q.63 m s.m. circa, è stata rilevata la presenza di un dissesto che ha provocato il crollo di circa 50 m di un grosso muraglione presente a monte del cimitero (**Foto 6**). Il deposito di frana a valle dell'orlo di scarpata è stato stabilizzato mediante riduzione della pendenza e rimodellamento.

  Dalle osservazioni effettuate in sito, questo il dissesto (Pg4 secondo i Piani di Bacino) appare circoscritto alla zona in cui si è sviluppato, in quanto non sono state rilevate lesioni strutturali nelle opere presenti nell'intorno dell'area coinvolta (muro presente alle spalle dell'orlo di scarpata di frana, muro perimetrale del cimitero e abitazioni a valle del deposito) (**Foto 7**).



**Foto 6 – Dissesto in corrispondenza del muraglione (q.63 m s.m.)**



**Foto 7 – Muro a monte della scarpata di frana (q.65 m s.m.)**

- Nella fascia di versante compresa fra q. 68-69 m s.m. e q.84÷85 m s.m. sono stati rilevati diversi orli di scarpata di frana allineati fra loro e intervallati da zone in cui non si ha alcuna evidenza morfologica; in particolare:

  1 - Fra q.68 m s.m. e q.70 m s.m. sono stati osservati due dissesti che hanno coinvolto il muro del terrazzo a monte della sede stradale (**Foto 8**). I corpi detritici prodotti dai dissesti sono colonizzati da copertura arborea e non mostrano alcun segno di attività.

  2 - Sul terrazzo a q.84 m s.m. circa, sono presenti tre dissesti localizzati lungo il fronte che hanno coinvolto alcune parti del muro di sostegno presente a monte del sentiero di collegamento con località Serraglio (**Foto 9** e **Foto 10**).

Considerando l'allineamento delle nicchie di cui sopra è plausibile che esse facciano parte di un unico coronamento ascrivibile alla frana codificata come LEI 111 nella documentazione del Piano di Bacino, la cui evidenza è più marcata unicamente nelle zone con maggiori spessori di coltre superficiale.



**Foto 8 – Orli di scarpata di frana in corrispondenza del terrazzo a monte della strada (q.74 m s.m.)**



**Foto 9 – Dissesto in corrispondenza del terrazzo a q.80 m s.m.**



**Foto 10 – Alberi inclinati in corrispondenza del terrazzo a q.80 m s.m.**

- Nella zona ovest del versante, nell'intorno di q.110 m s.m., è stata rilevata la presenza di un orlo di scarpata di lunghezza pari a circa 40 m, che ha fatto affiorare il substrato roccioso nella porzione settentrionale della nicchia (**Foto 11** e **Foto 12**).

  A valle del fronte roccioso esposto sottostante alla nicchia di frana è presente un deposito di detriti di crollo caratterizzato da grossi blocchi; è inoltre presente un deposito vegetato allungato in direzione E-O che ha coinvolto il muretto di sostegno di monte della berma a q.84 m s.m. (**Foto 13**) e che ha interessato parte dei terrazzi abbandonati sul versante.



**Foto 11 – Nicchia di distacco a q.110 m s.m. osservata da monte**



**Foto 12 – Nicchia di distacco a q.110 m s.m. osservata da valle**



**Foto 13 – Piede del deposito di frana che interessa il muretto a secco sul terrazzo di q.84.**

- Nella zona nord ovest, nell'intorno di q.120 m s.m., a monte delle abitazioni, è presente un orlo di scarpata di lunghezza pari a circa 50 m, che sottende un affioramento di serpentiniti foliate (**Foto 14** e **Foto 15**). A valle della nicchia è stato riconosciuto un corpo detritico incanalato nella valle in direzione delle abitazioni che ha coinvolto i terrazzi antropici presenti sul versante (**Foto 16**).

  Il piede del deposito è con ogni probabilità stato rimosso ed è stato realizzato un muro di sostegno che stabilizza parzialmente il corpo detritico.



**Foto 14 – Nicchia di distacco a q.120 m s.m.**



**Foto 15 – Nicchia di distacco a q.120 m s.m. osservata da valle**



**Foto 16 – Corpo frana a valle dell'orlo di scarpata a q.120 m s.m.; si notano i terrazzamenti interrotti dal corpo detritico.**

- A valle della pista forestale diretta in località Serra di Sotto, intorno a q.131 m s.m., è presente un orlo di scarpata di frana e un corpo detritico vegetato ubicato a valle della scarpata di frana in una zona relativamente pianeggiante (**Foto 17**). Il deposito di frana ha coinvolto i terrazzamenti abbandonati.



**Foto 17 – Corpo frana a valle della pista forestale e porzione superiore del corpo frana (q.131 m s.m.)**

- Nell'area di studio sono stati osservati diversi affioramenti appartenenti all'unità Tettonometamorfica Palmaro Caffarella e Voltri, costituiti prevalentemente da serpentiniti e micascisti e localmente da metagabbri e cloritoscisti. Gli ammassi rocciosi rilevati sono caratterizzati dalla presenza di due famiglie di discontinuità (localmente sono state riconosciute tre famiglie), con caratteristiche di alterazione e fratturazione tali da poterli classificare come ammassi di qualità media (**Foto 18**). Localmente, alcuni ammassi rocciosi di cloritoscisti, presentano caratteristiche di qualità scadente, principalmente a causa della loro natura litologica e delle caratteristiche della foliazione (**Foto 19**).



**Foto 18 – Affioramento di serpentiniti, ammasso di qualità media (q.36 m s.m.)**



**Foto 19 – Affioramento di Cloritoscisti, ammasso di qualità scadente (q.133 m s.m.)**

## 3.11 CAUSE DEL DISSESTO

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

## 3.12 DESCRIZIONE SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

La sezione è stata realizzata lungo la traccia riportata in Allegato 4, codificata LEI 067-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 è fatto riferimento a:

- dati geologici-geomorfologici descritti nel Capitolo 3;
- Progetto Definitivo – Caratterizzazione geotecnica generale (cfr. elaborato APE001); in particolare è stato fatto riferimento alla caratterizzazione basata sulle indagini eseguite in fase di progettazione definitiva per la realizzazione Galleria Amandola imbocco lato Savona (cfr. elaborato APE004). Le formazioni di interesse sono quelle riguardanti le Calcescisti (CS), Serpentiniti (S) e le rispettive fasce di alterazione (CS-CAP e S-CAP);
- Relazione di calcolo opere di imbocco Galleria Amandola lato Savona APE0248.

Dai dati di caratterizzazione geologica e dalle osservazioni effettuate attraverso il rilievo geomorfologico effettuato nel Dicembre 2015, è stato possibile confermare la seguente stratigrafia:

- 0 ÷ 7.0 metri da p.c. si hanno le coltri di copertura dell'ammasso roccioso. Esso è costituito da sabbie con ghiaia miste a ciottoli di dimensioni eterogenee.
- 12.0 ÷ 18.0 metri da p.c. si ha il Cappellaccio dei Celcescisti e in parte delle Serpentiniti costituito di un livello di alterazione di entrambe le formazioni;
- Oltre 18.0 da p.c. si ha il substrato costituito da Calcescisti e da Serpentiniti.

E' stata considerata nelle analisi una superficie di falda posizionata alla base dello strato di copertura, rappresentativa di condizioni conseguenti a precipitazioni intense e prolungate.

Per determinare le caratteristiche di resistenza della coltre di copertura dell'ammasso roccioso, sono state eseguite una serie di analisi a ritroso (back analysis), condottemediante un apposito codice di calcolo (GeoStudio 2007). È stato ricercato il valore del parametro $\phi'_{res}$ (con c' = 0 kPa) in grado di determinare coefficienti di sicurezza pressoché unitari (Fs $\approx$ 1), ossia condizioni di equilibrio limite. Le analisi sono state condotte sul modello riportato in **Figura 4-1**.

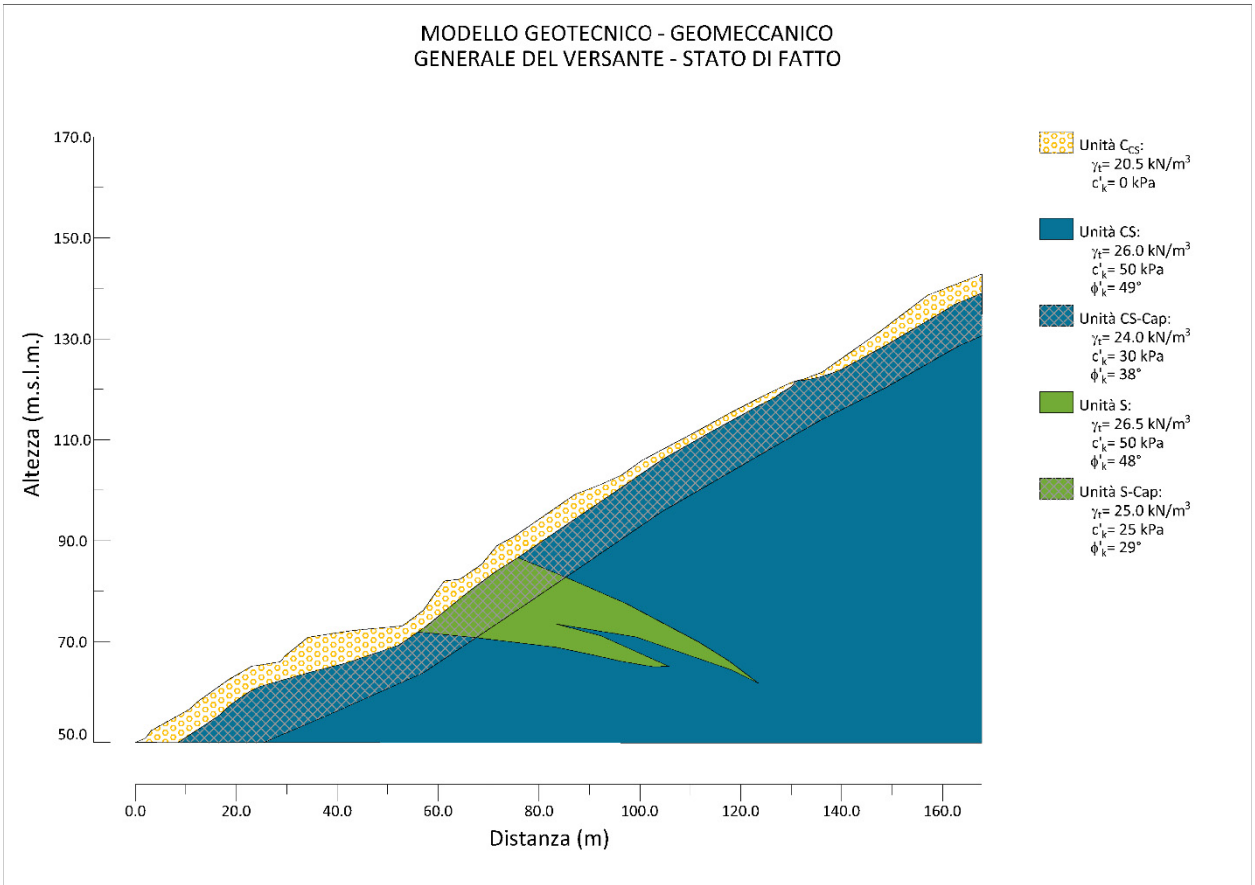



***Figura 4-1 – Modello stato attuale***

Il modello è stato costruito sulla base della cartografia esistente, delle evidenze morfologiche e geologiche rilevate in sito e dei risultati delle indagini geognostiche. La sezione di verifica geotecnica è stata determinata sulla planimetria di progetto riportata in **Figura 4-3** scelta nella parte di interferenza con le opere previste lungo la linea di massima pendenza.

Un'analisi di stabilità preliminare ha messo in luce come, utilizzando i parametri di resistenza riportati nella relazione di caratterizzazione generale, allo stato attuale il pendio risulterebbe instabile (FoS<1). A valle di ulteriori analisi è emerso come per raggiungere un fattore di sicurezza unitario senza dover imporre alla coltre superficiale dell'angolo di attrito poco realistici, sia necessario incrementare leggermente anche il valore dell'angolo di attrito dell'unità S-cap, portandolo da 29° a 31°. La superficie di scivolamento critica individuata è localizzata nello strato superficiale delle coltri di copertura e nella zona di alterazione del substrato roccioso. I risultati in termini di caratteristiche di resistenza delle coltri superficiali e di fattore di sicurezza ottenuti dalla procedura di back-analysis appena descritta sono indicati in **Figura 4-2** e in **Tabella 4-1**.

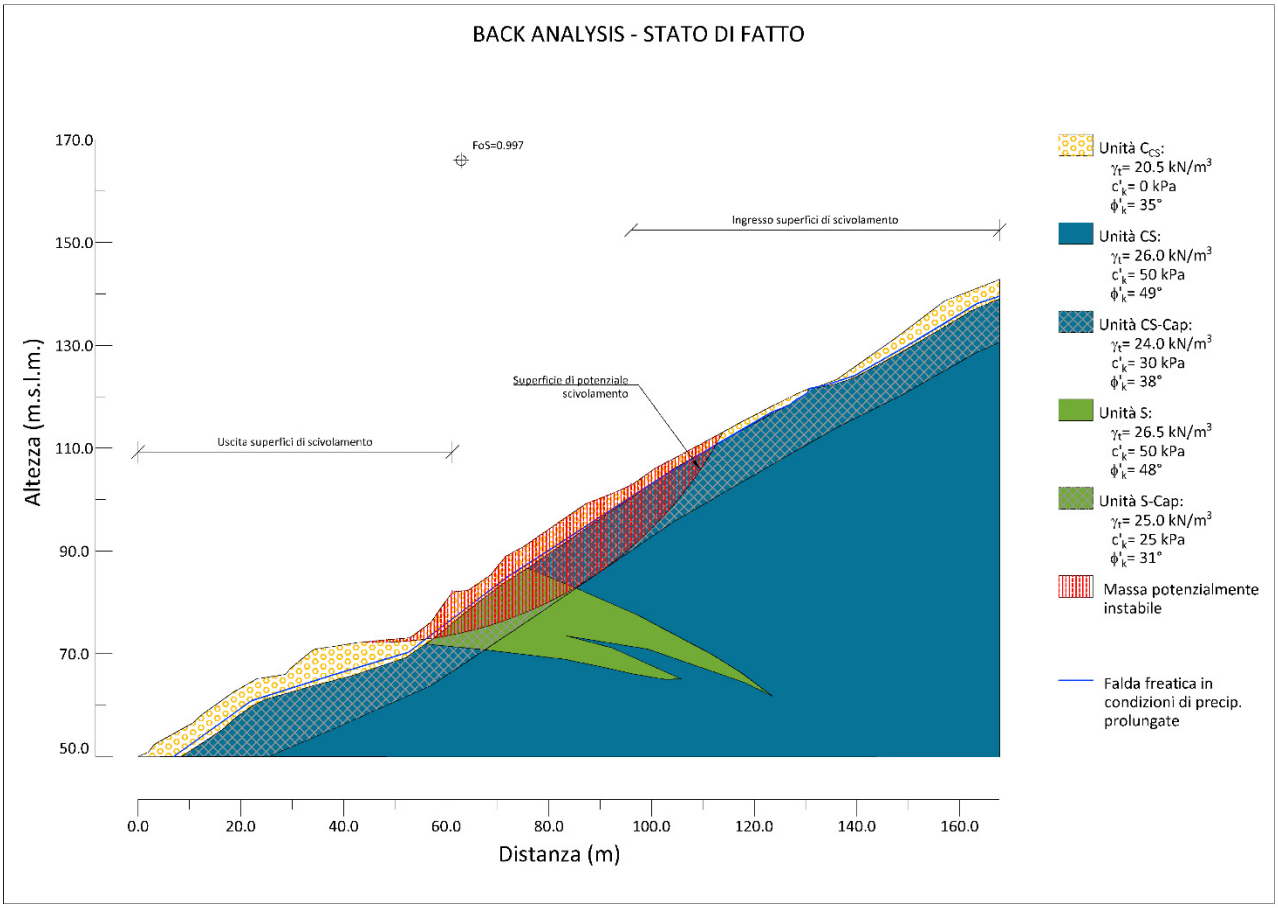



***Figura 4-2 – Back Analysis stato attuale***

| Parametri delle coperture ottenute tramite back analysis | |
|---|---|
| $\gamma_t$ (kN/m³) | 20.5 |
| c' (kPa) | 0.0 |
| φ' (°) | 35 |
| FoS | 0.997 |

***Tabella 4-1 – Risultati back analysis - Parametri di resistenza residui e fattore di sicurezza***

La back analysis effettuata sul pendio mostra che l'angolo di resistenza al taglio delle coltri superficiali è superiore al range indicato nella relazione geotecnica generale (cfr. Ape001).

$\phi_{residuo}$ = 35°

$\phi$ da caratterizzazione geotecnica = 26 ÷ 30°

I valori di resistenza al taglio ottenuti tramite back analysis rappresentano i valori minimi in condizioni di equilibrio limite. Ai fini della valutazione della pericolosità geologica/geotecnica dell'area di influenza considerata da questo documento si sono assunti come valori caratteristici della coltre quelli residui ottenuti dalla back analysis, cautelativi rispetto alla reale condizione in sito. I parametri caratteristici utilizzati invece per il cappellaccio e il substrato roccioso (vedi relazione e caratterizzazione geotecnica) sono quelli impiegati per il dimensionamento delle opere di imbocco della galleria Amandola lato Savona (**Tabella 4-2**), ottenuti da apposite prove in sito e in laboratorio eseguite sui campioni prelevati nei sondaggi.

| Unità | Peso di volume (kN/m³) | Angolo di resistenza al taglio (°) | Coesione efficace (kPa) |
|---|---|---|---|
| Coltre | 20.5 | 35 | 0 |
| CS-cap | 24 | 38 | 30 |
| CS | 26 | 49 | 50 |
| S-cap | 25 | 31 | 25 |
| S | 26.5 | 48 | 50 |

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

## 4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nell'area interessata dal dissesto (LEI110 cartografia del Piano di Bacino area metropolitana Genova) e nelle immediate vicinanze verranno realizzate le seguenti opere ai fini della realizzazione dell'imbocco della galleria Amandola lato Savona, indicate nella **Figura 4-3:**

- realizzazione di una serie di paratie in micropali multitirantate (cfr. APE0248);
- sbancamento in corrispondenza dell'imbocco della galleria partendo da quota 93 m s.m.;
- realizzazione di un piazzale alla quota 93 m s.m. in fase definitiva;
- realizzazione di un muro a mensola in CA nella parte interna del piazzale;

- la realizzazione della cabina elettrica e della sala pompe e vasca antincendio alle spalle del muro;
- una modellazione del pendio con scarpate artificiali sino alla quota massima 133 m s.m.;

Il dissesto si trova localizzato in corrispondenza dello spigolo sinistro dell'imbocco della galleria di Amandola lato Savona. Pertanto le fasi esecutive dell'opera nella zona di interferenza con l'area di frana LEI110 prevedono:

- Scavo della porzione di terreno da quota 93 m s.m.;
- La realizzazione di una berlinese "A" lungo tutto il perimetro che delimita il piazzale degli imbocchi delle gallerie e parte dell'area PG3a, con le seguenti caratteristiche:
  - Diametro esterno tubo acciaio = 177.8 mm con spessore = 16 mm
  - Diametro perforazione = 240 mm
  - Spaziatura = 0.4 m
  - Lunghezza massima = 20 m
  - Trave di coronamento in c.a. di dimensioni 0.70x0.70 m
- Multiratantaggio della berlinese in fase di avanzamento degli scavi, secondo quanto riportato nella relazione di calcolo APE0248;
- La realizzazione di un muro a mensola in CA costituito da una parte interrata e da un muro verticale di altezza 6 m;
- Riempimento con materiale sciolto della porzione alle spalle del muro in CA;

Al termine della realizzazione delle gallerie è prevista una rimodellazione della zona di imbocco con scarpate 2/3, la riprofilatura riguarderà una piccola porzione della zona interessata dal dissesto.

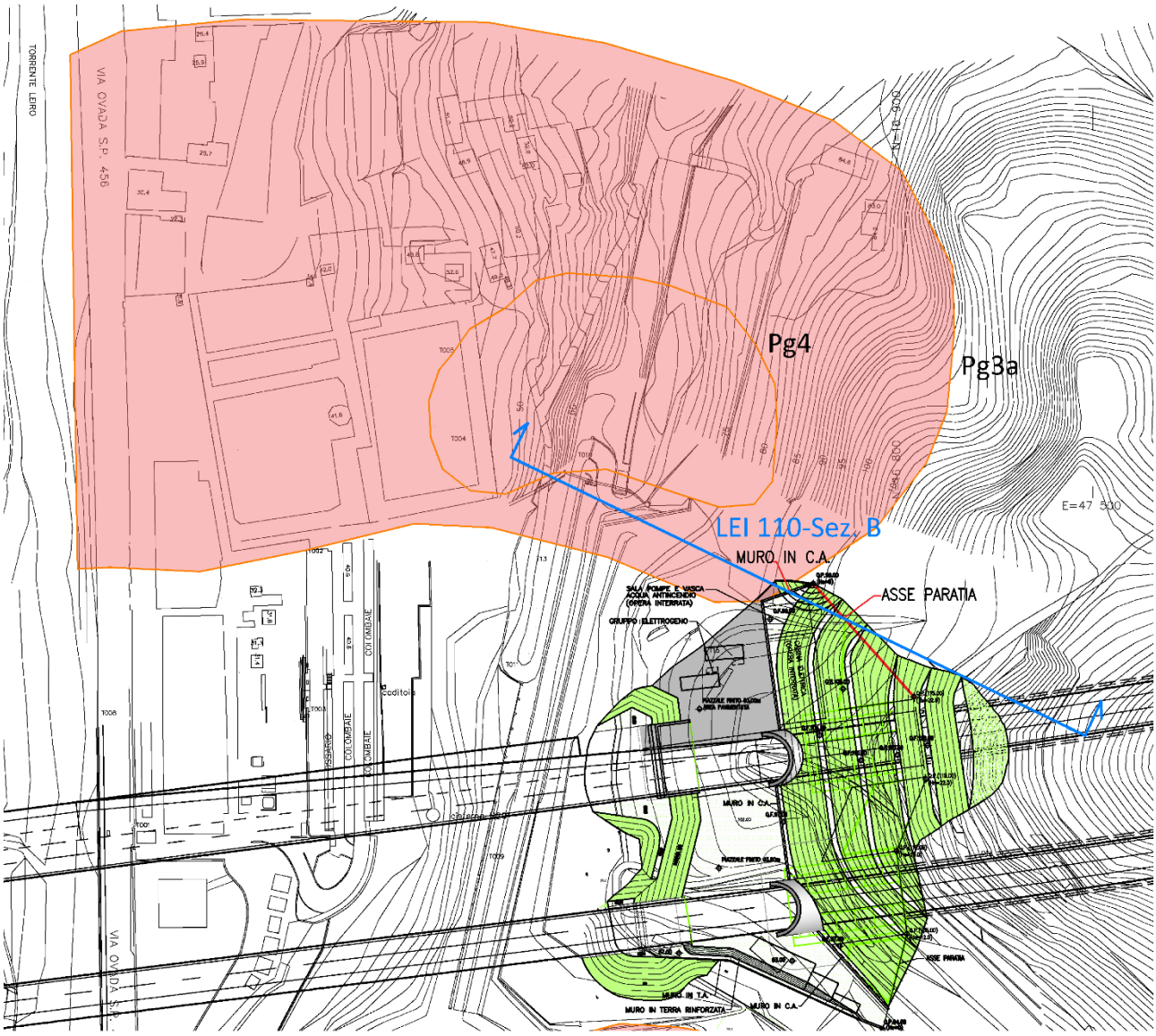



***Figura 4-3 – Stralcio planimetrico con l'indicazione della sezione analizzata - Pg4 e Pg3a***

## 4.3 ANALISI DI STABILITÀ

Per la verifica di stabilità globale delle opere previste (cfr. 4.2) è stata presa in considerazione la sezione utilizzata in back analysis, localizzata nella parte inferiore dell'area di frana Pg3a, la quale intercetta anche parte dell'area di frana Pg4. In essa è stata inserita la berlinese in micropali di progetto e il muro a mensola in CA (**Figura 4-4**). Solo a titolo rappresentativo e non di calcolo sono stati inseriti i tiranti con le dimensioni di progetto proiettate sul piano della sezione. Per il dimensionamento e le verifiche di stabilità locale delle opere si rimanda alla specifica relazione di calcolo.

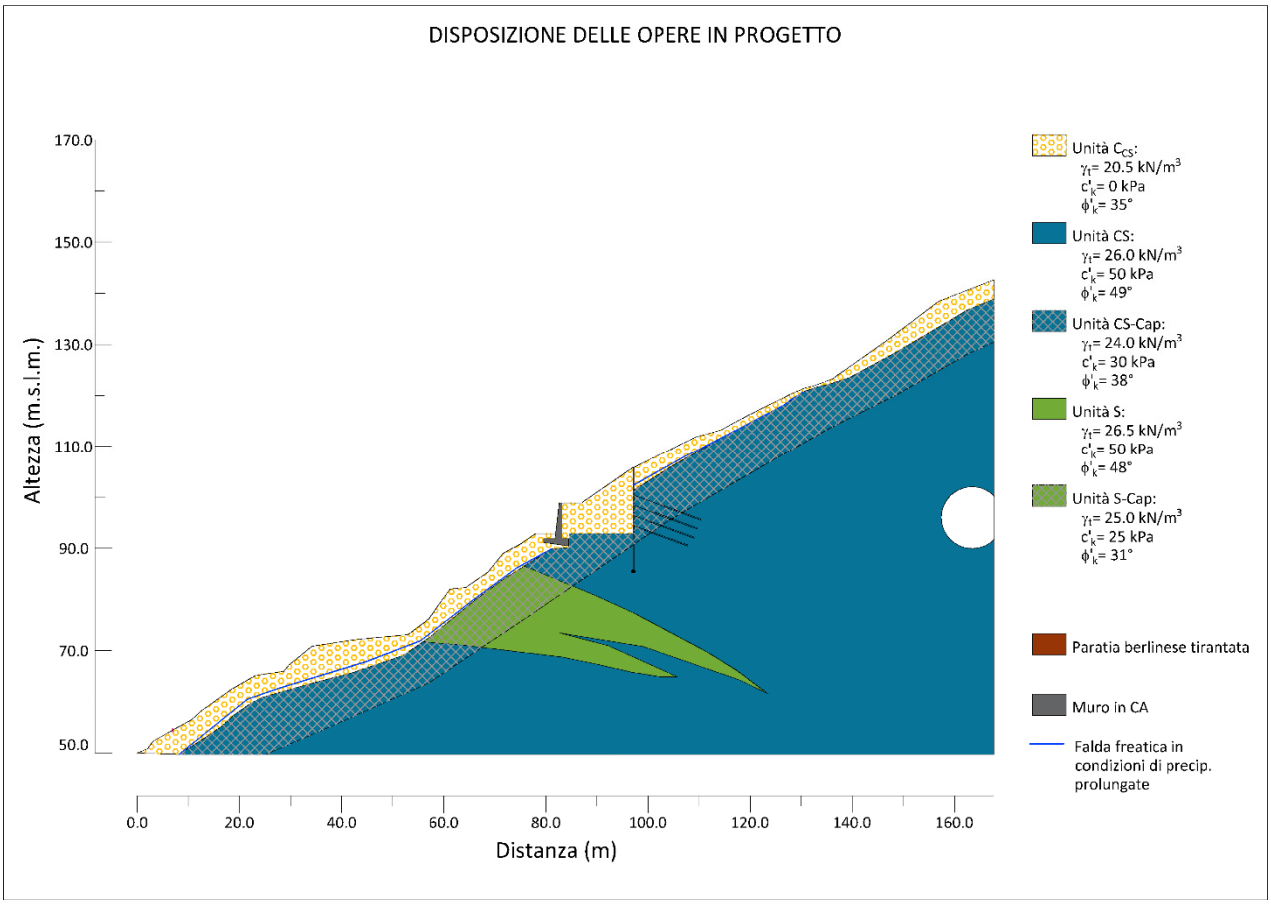



***Figura 4-4 – Modello con berlinese, muro a mensola, riempimento e rimodellazione***

Per le analisi di stabilità globale è stato adottato il noto approccio all'equilibrio limite, secondo il metodo di Morgenstern e Price (1965), basato su una procedura di risoluzione iterativa che consente di soddisfare sia l'equilibrio alla rotazione che quello alla traslazione orizzontale, tenendo conto sia delle forze normali che delle forze di taglio trasmesse tra i conci in cui il pendio viene discretizzato.

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

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

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

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

$$E_d \leq R_d$$

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

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

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

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

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

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

L'analisi di stabilità globale all'equilibrio limite viene eseguita calcolando il coefficiente riduttivo della resistenza del sistema geotecnico ($\gamma_{R_CALC} = R/E_d$) e valutando che quest'ultimo sia maggiore o uguale al il coefficiente parziale minimo imposto dalla normativa ($\gamma_R$), funzione della tipologia di sistema geotecnico studiato (nel caso specifico $\gamma_{R2} = 1.1$).

Le analisi sono state eseguite sia in condizioni statiche (SLU) sia in condizioni sismiche (SLV).

L'analisi di stabilità è stata svolta con i parametri di progetto del cappellaccio (CS-cap) e delle unità del substrato roccioso (CS ed S) ridotti del coefficiente parziale per i parametri geotecnici M2, riportati in **Tabella 4-3**. Per la coltre superficiale e per la porzione di cappellaccio costituita dalle serpentiniti sono invece stati impiegati i parametri di resistenza residui ricavati dalla back analysis, ai quali viene dunque applicato un coefficiente unitario come indicato nel documento "Designers' guide to EN1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – General rules" dell'Eurocodice 7.

| Unità | Peso di volume (kN/m³) | Angolo di resistenza al taglio (°) | Coesione efficace (kPa) |
|---|---|---|---|
| Coltre | 20.5 | 35 | 0 |
| CS-cap | 24 | 32 | 24 |
| CS | 26 | 42.6 | 40 |
| S-cap | 25 | 31 | 25 |
| S | 26.5 | 41.6 | 40 |

***Tabella 4-3 – Parametri geotecnici di progetto***

La ricerca delle potenziali superfici di scorrimento viene effettuata imponendo un'elevata resistenza delle opere inserite nel modello (berlinese e muro in CA), quindi escludendo le superfici che interessano le stesse, le cui condizioni di stabilità vengono trattate nella relazione di calcolo per le opere di imbocco.

L'analisi condotta in campo statico ha individuato una superficie di potenziale scivolamento in grado di attraversare anche gli strati più profondi di roccia passando al di sotto della paratia e terminando al piede del versante con la pendenza più elevata (**Figura 4-5**).

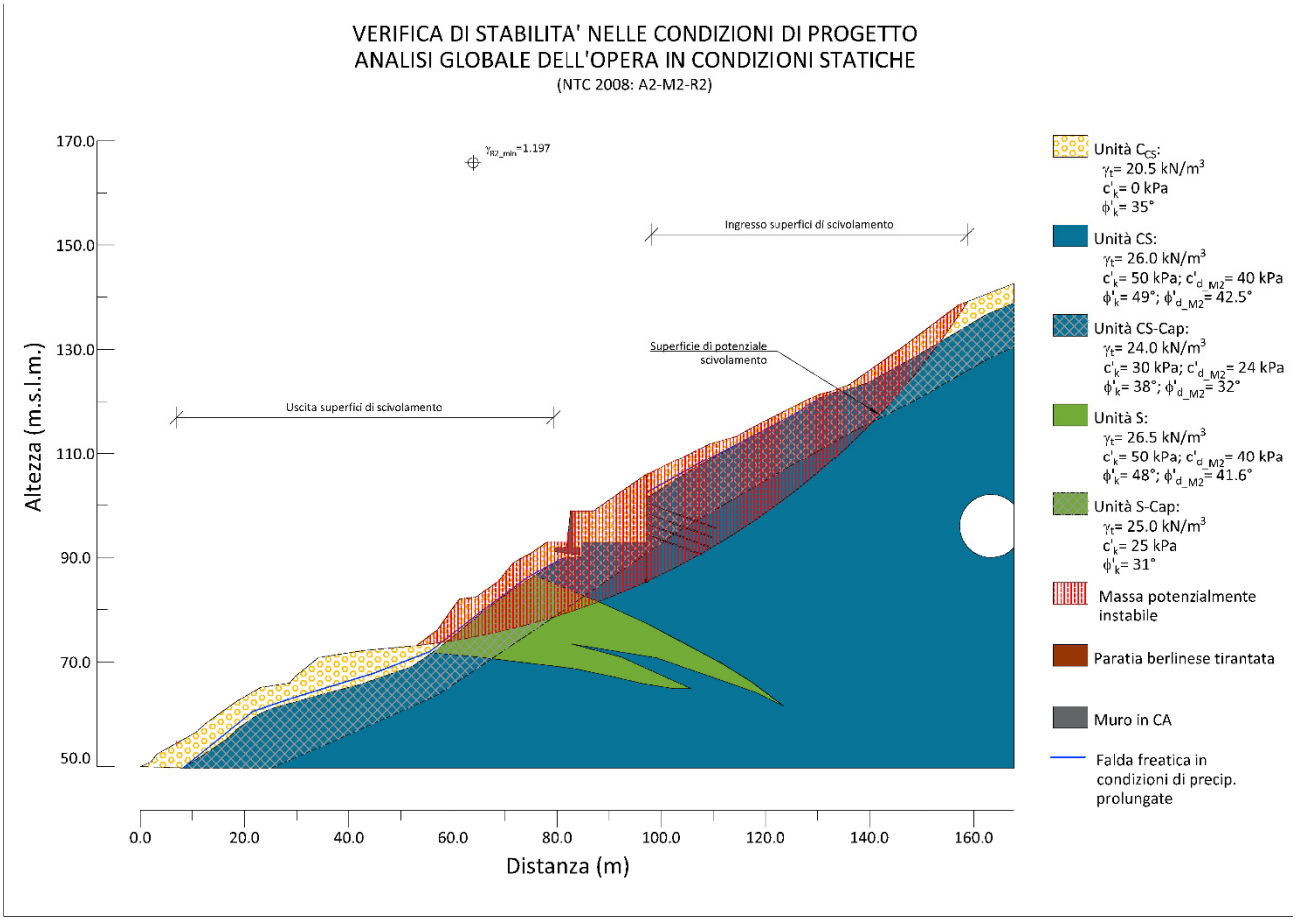



***Figura 4-5 – Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni statiche***

La stabilità globale dell'opera è verificata, essendo il fattore di sicurezza maggiore del coefficiente parziale minimo $\gamma_{R2}$:

**$R_d / E_d =$ 1.197 > 1.1 Condizioni statiche**

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

- $k_H =$ 0.0313 g
- $k_V =$ ±0.0157 g

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

$$k_H = \beta_s \cdot a_{max}$$

$$k_V = \pm k_h / 2$$

essendo:

$\beta_s$ = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0.20 (**Tabella 4-4**)

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

***Tabella 4-4 – Coefficiente βs***

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

Per il sito in oggetto risulta:

$a_g$ = 0.087 g

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad = 1.5 \cdot 1.2 \cdot 0.087 = 0.1566$ g

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

Le verifiche sono state condotte applicando la componente di spinta pseudostica coerente con la direzione di scivolamento, mentre la componente verticale è stata assunta in entrambi i versi, come mostrato in **Figura 4-6** e **Figura 4-7**:

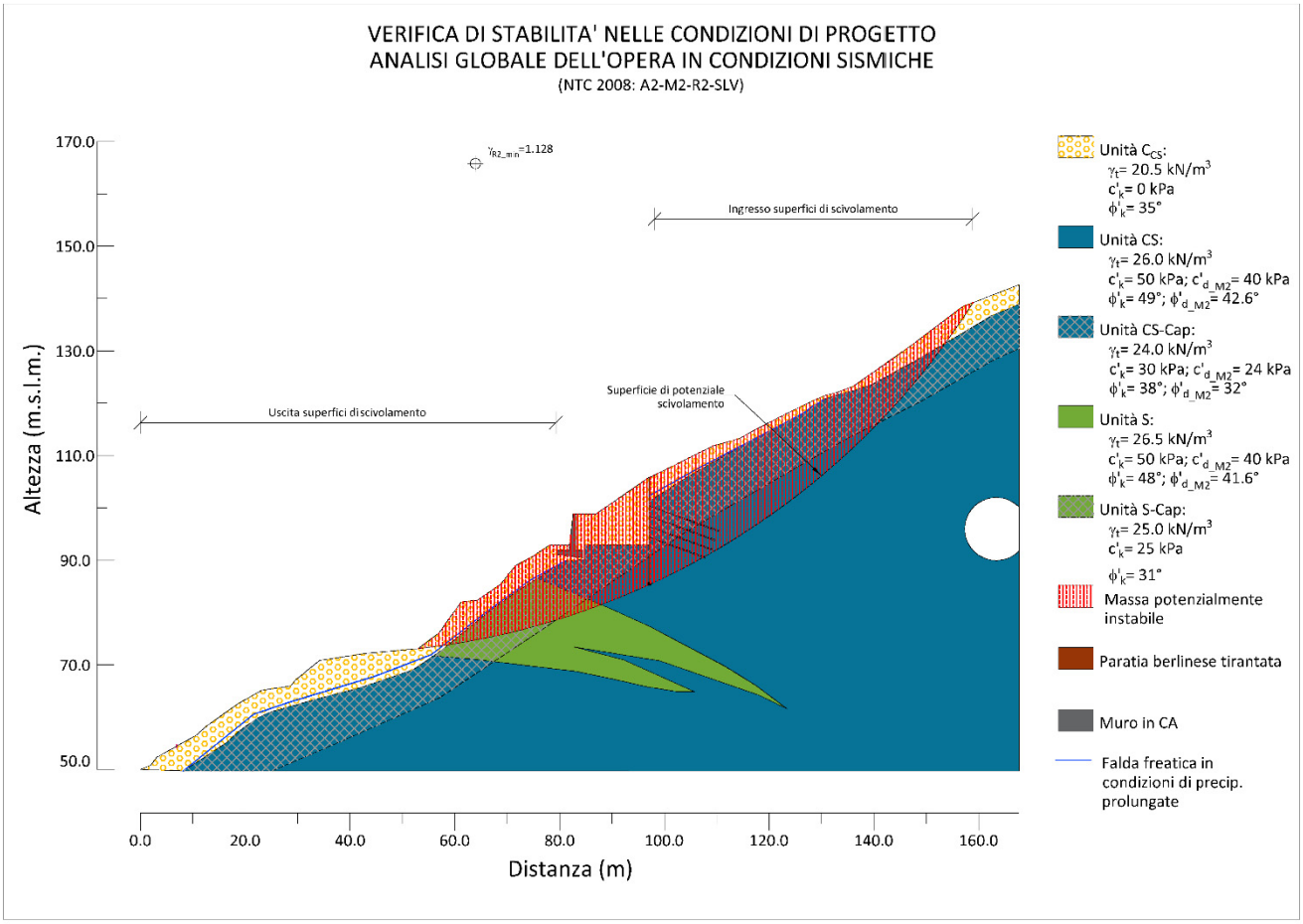



***Figura 4-6 – Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni sismiche (kV con segno positivo)***

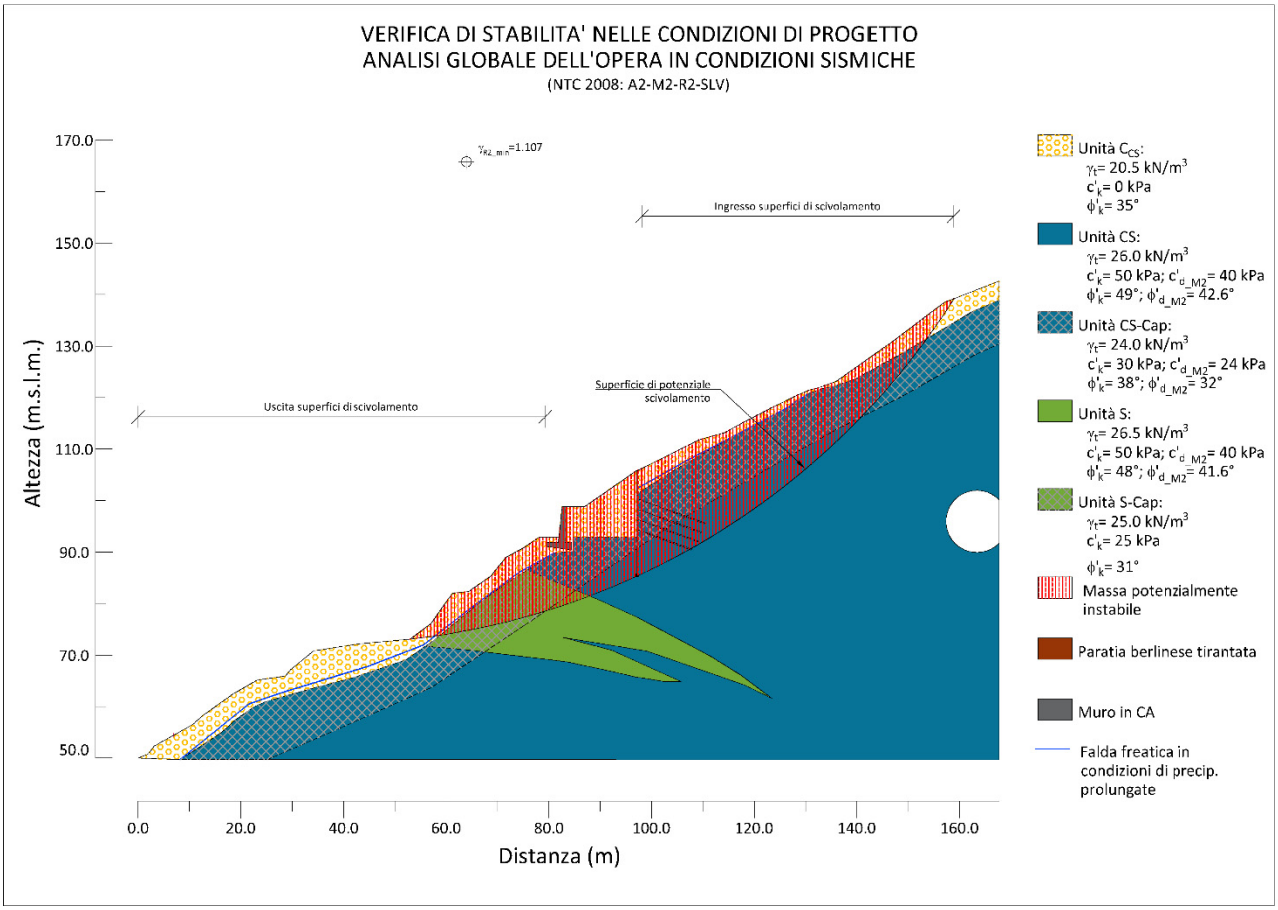



***Figura 4-7 – Analisi globale dell'interazione terreno/opera in condizioni sismiche (kV con segno negativo)***

Anche in questo caso le verifiche di stabilità globale dell'opera sono soddisfatte per entrambe le condizioni di carico:

**$R_d$ / $E_d$ = 1.128 > 1.1 Condizioni sismiche, $k_V$ positivo**

**$R_d$ / $E_d$ = 1.107> 1.1 Condizioni sismiche, $k_V$ negativo**

## 4.4 QUADRO DI SISTESI

Nel seguito vengono riassunti i risultati delle analisi eseguite.

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

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

| **ANALISI ESEGUITE** | **FS min** | |
|---|---|---|
| | **statico** | **sismico** |
| Analisi **ante-operam** | 0.997 | -- |
| Analisi **post-operam** | 1.197 | 1.107 |

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

# 5. IDRAULICA

## 5.1 DESCRIZIONE DELLE SISTEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE

Il sistema idraulico è finalizzato alla raccolta, allontanamento e recapito nel reticolo idrografico naturale dei contributi idrici intercettati, in generale, all'interno delle aree interessate dalle opere in progetto, in particolare, all'interno delle zone di dissesto. Come noto, infatti, la presenza di acqua è una delle cause dei fenomeni di dissesto.

La sistemazione idraulica è costituita da una rete principale di canalizzazioni, posta lungo le estremità perimetrali delle aree d'intervento, e da una rete secondaria interna che scarica nelle canalizzazioni principali.

La rete principale, caratterizzata normalmente da fossi a sezione trapezoidale, ha la funzione sia di raccogliere e allontanare i contributi provenienti dagli elementi di raccolta secondari, che di intercettare le eventuali acque di ruscellamento esterne.

A causa dell'elevata acclività dei versanti naturali, per limitare l'insorgere di fenomeni erosivi, è stato previsto l'utilizzo di fossi rivestiti in C.A.V. e, nei punti a maggiore pendenza, di opportuni pozzetti di dissipazione al fine di ridurre le velocità delle correnti; infine i punti di recapito nei corpi idrici ricettori esistenti sono stati protetti mediante l'impiego di massi sciolti.

La rete secondaria ha la funzione di raccogliere e allontanare verso i fossi esterni le altezze di pioggia cadute all'interno delle aree d'imbocco. A seconda della specifica sistemazione di versante prevista, sono stati adottati differenti elementi di raccolta delle acque: mezzi tubi in C.A.V., al piede di scarpate in terreno naturale; canalette rettangolari, a tergo dei muri di sostegno e canalette grigliate, in corrispondenza di piazzali carrabili.

In corrispondenza del movimento franoso in oggetto le acque di ruscellamento di monte vengono intercettate dal fosso rivestito perimetrale e recapitate direttamente all'impluvio esistente.

# 6. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE DURANTE I LAVORI

Durante le lavorazioni previste, al fine di prevenire fenomeni di erosione e/o di arretramento/espansione delle aree di dissesto, valgono le seguenti raccomandazioni:

- durante i lavori devono essere presi tutti gli accorgimenti aventi lo scopo di raccogliere e regolare la circolazione delle acque superficiali evitando ristagni e situazioni che possano comportare l'evoluzione di fenomeni erosivi; a tergo delle opere provvisorie di sostegno/contenimento delle terre devono essere sempre previsti drenaggi e/o canalette di raccolta al fine di assicurare la raccolta e smaltimento delle acque superficiali;

- i movimenti terra devono essere limitati allo stretto necessario, adottando tutti gli accorgimenti utili al fine di evitare, durante e dopo l'esecuzione, situazioni che possano comportare fenomeni di degrado delle caratteristiche meccaniche di resistenza delle coltri potenzialmente instabili (eventuali interventi di soil nailing); qualora, durante le operazioni di scavo/movimento terra, si evidenziano particolari condizioni di instabilità a breve termine, gli sbancamenti devono essere eseguiti per settori contenuti ed essere seguiti dall'immediata realizzazione delle opere di contenimento/consolidamento;

- eventuali depositi temporanei dei materiali di scavo devono essere eseguiti con pendenze delle scarpate congrue alle caratteristiche di resistenza dei materiali in modo da evitare fenomeni erosivi lungo le scarpate e/o di ristagno delle acque; la posizione di tali depositi deve essere tale da non compromettere la stabilità delle aree interessate; il depositi

- i riporti di terreno, anche provvisori, devono essere eseguiti per strati, previa predisposizione dei piani di posa (scotico, regolarizzazione e/o eventuale gradonatura) assicurando il compattamento dei terreni; devono essere comunque sempre previste opere di regimazione ed allontanamento delle acque e protezione dei fenomeni erosivi delle scarpate.

# 7. INDAGINI INTEGRATIVE PROPEDEUTICHE AL MONITORAGGIO GEOTECNICO

## 7.1 STUDIO DEGLI SPOSTAMENTI SUPERFICIALI CON DATI RADAR SATELLITARI

A scala dell'intero progetto è stato attivato uno studio dei movimenti mediante analisi interferometrica da satellite.

L'interferometria costituisce oggi un valido strumento operativo per il monitoraggio da remoto di vaste aree della superficie terrestre, quali quelle interessate dal progetto della Gronda, senza la necessità di installare strumentazione a terra.

Sono stati acquisiti i dati di archivi storici di immagini satellitari relativi all'intera area di intervento.

L'utilizzo dei dati satellitari ENVISAT e COSMO-SkyMed, entrambe in doppia geometria, ha permesso di studiare le deformazioni dell'area analizzata (Figura 5-1) relative ad un periodo temporale che va da Luglio 2004 ad Agosto 2015.

In particolare:

- l'elaborazione con dati **ENVISAT ascendenti** è relativa al periodo **07/2004 – 10/2010** ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 170.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (43 immagini ENVISAT acquisite in geometria ascendente con angolo d'incidenza di 22,84° e risoluzione a terra di 25 m x 5 m).
- l'elaborazione con dati **ENVISAT discendenti** è relativa al periodo **10/2004 – 10/2010** ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 165.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (50 immagini ENVISAT acquisite in geometria discendente con angolo d'incidenza di 22,83° e risoluzione a terra di 25 m x 5 m).
- l'elaborazione con dati **COSMO-SkyMed ascendenti** è relativa al periodo **02/2011 – 08/2015** ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 2.540.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (76 immagini COSMO-SkyMed acquisite in geometria ascendente con angolo d'incidenza di 33,97° e risoluzione a terra di 3 m x 3 m).
- l'elaborazione con dati **COSMO-SkyMed discendenti** è relativa al periodo **11/2009 – 08/2015** ed ha permesso di misurare le deformazioni superficiali di circa 2.735.000 punti distribuiti sull'intera area d'interesse (84 immagini COSMO-SkyMed acquisite in

geometria discendente con angolo d'incidenza di 26,65° e risoluzione a terra di 3 m x 3 m).




**Figura 7-1 – Area d'interesse. Immagine ottica ottenuta da Google con sovrapposizione dell'area analizzata (poligono arancione) e del tracciato dell'infrastruttura prevista (linea grigia)**

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

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

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

- **Evoluzioni temporali dello spostamento dei PS**: si tratta dello spostamento dei PS, espresso in millimetri, e riferito alla prima data dello stack, fornito in corrispondenza di ciascuna data d'acquisizione nel periodo analizzato. Le evoluzioni temporali sono stimate lungo la LOS (linea di vista) e si riferiscono ad un punto di riferimento considerato "stabile".

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

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

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

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

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

Vengono fornite la:

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

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

Per l'area in esame, oggetto della presente scheda, di seguito si riportano le evoluzioni temporali dei PS, per 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

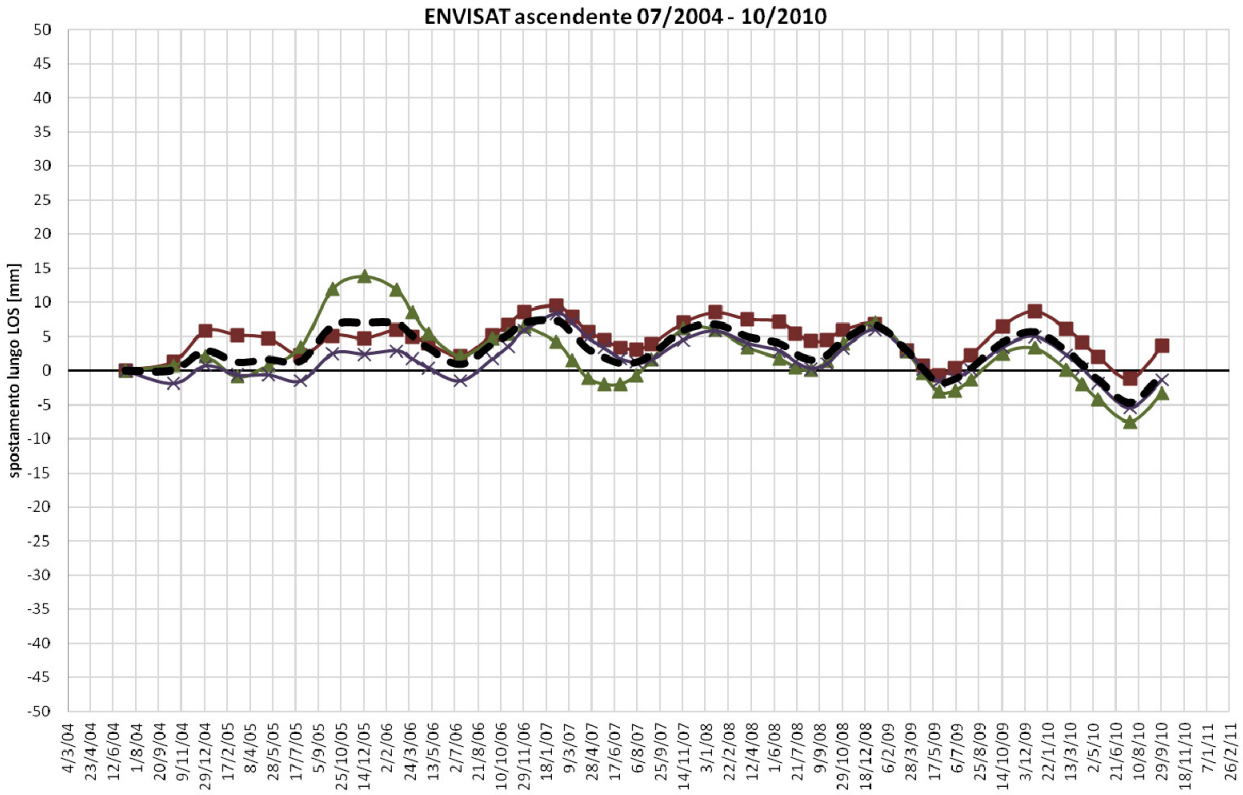



**Figura 7-2 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

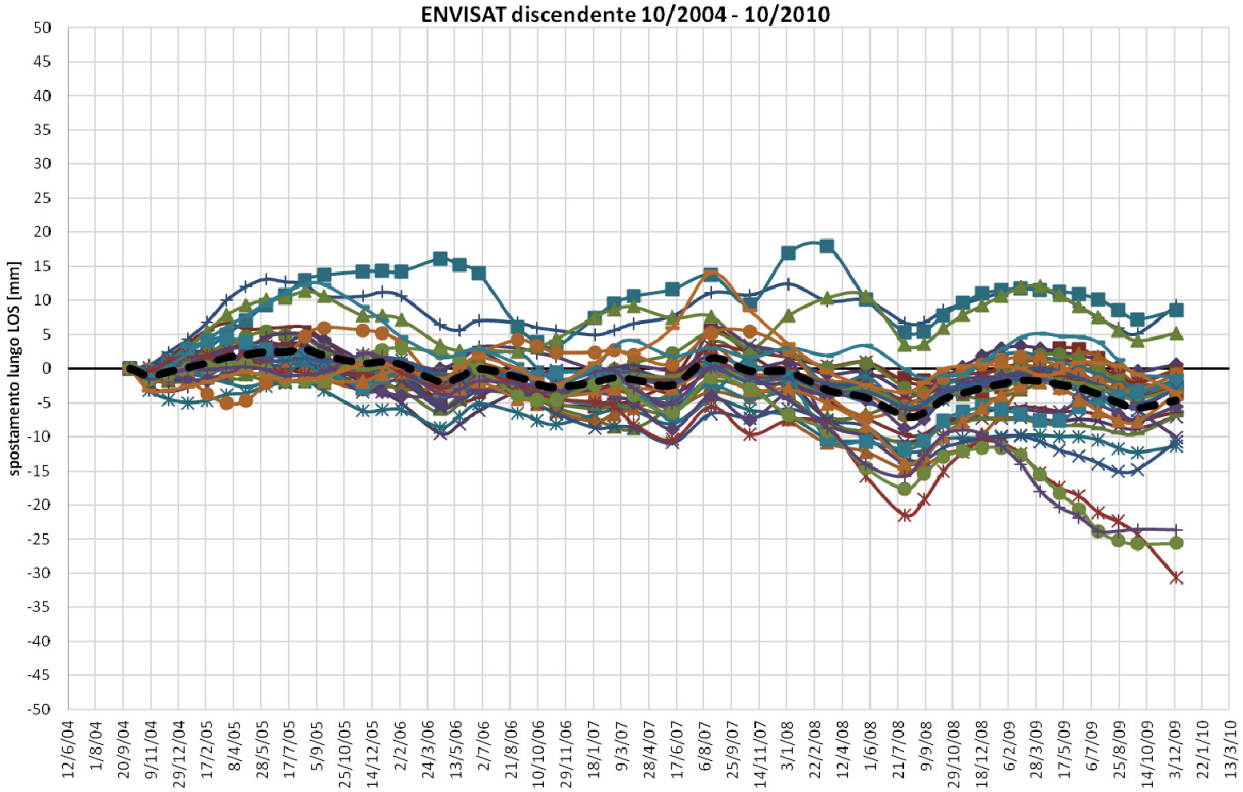



**Figura 7-3 – Evoluzione temporale dei PS (ENVISAT geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

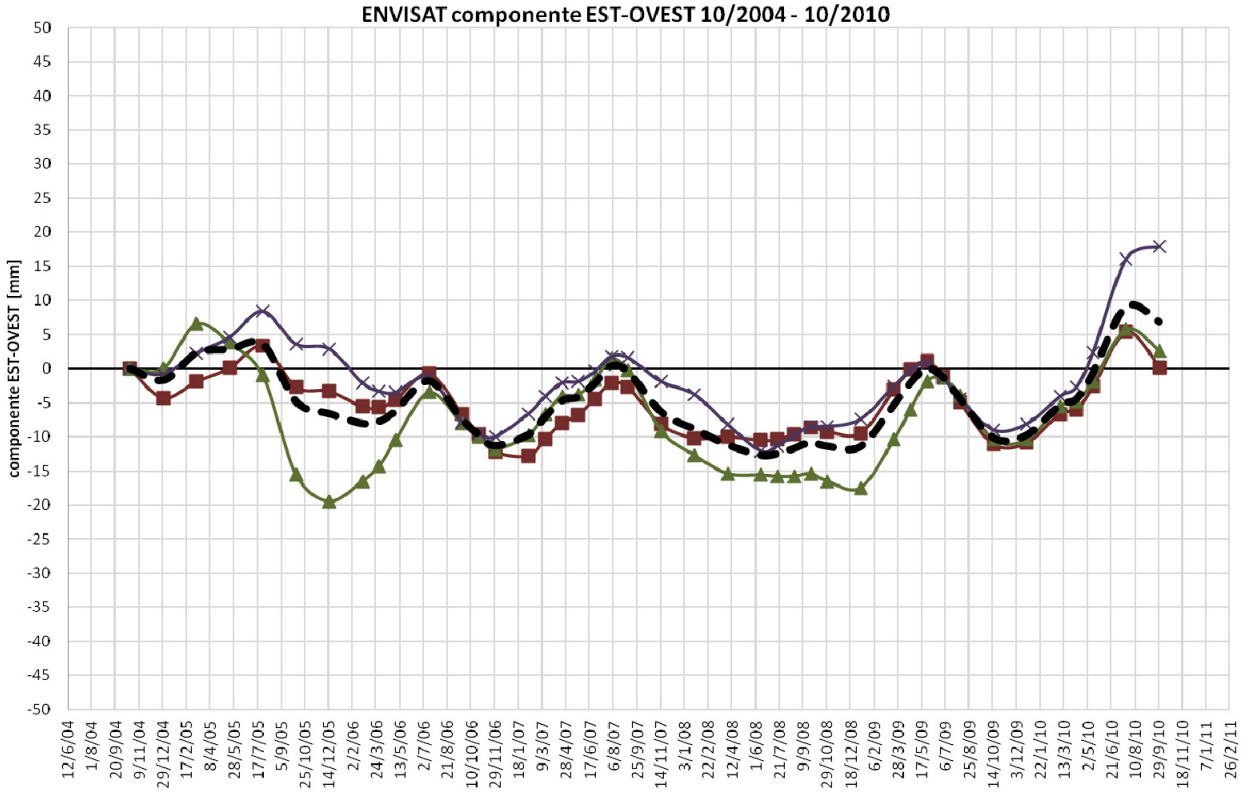



**Figura 7-4 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.**

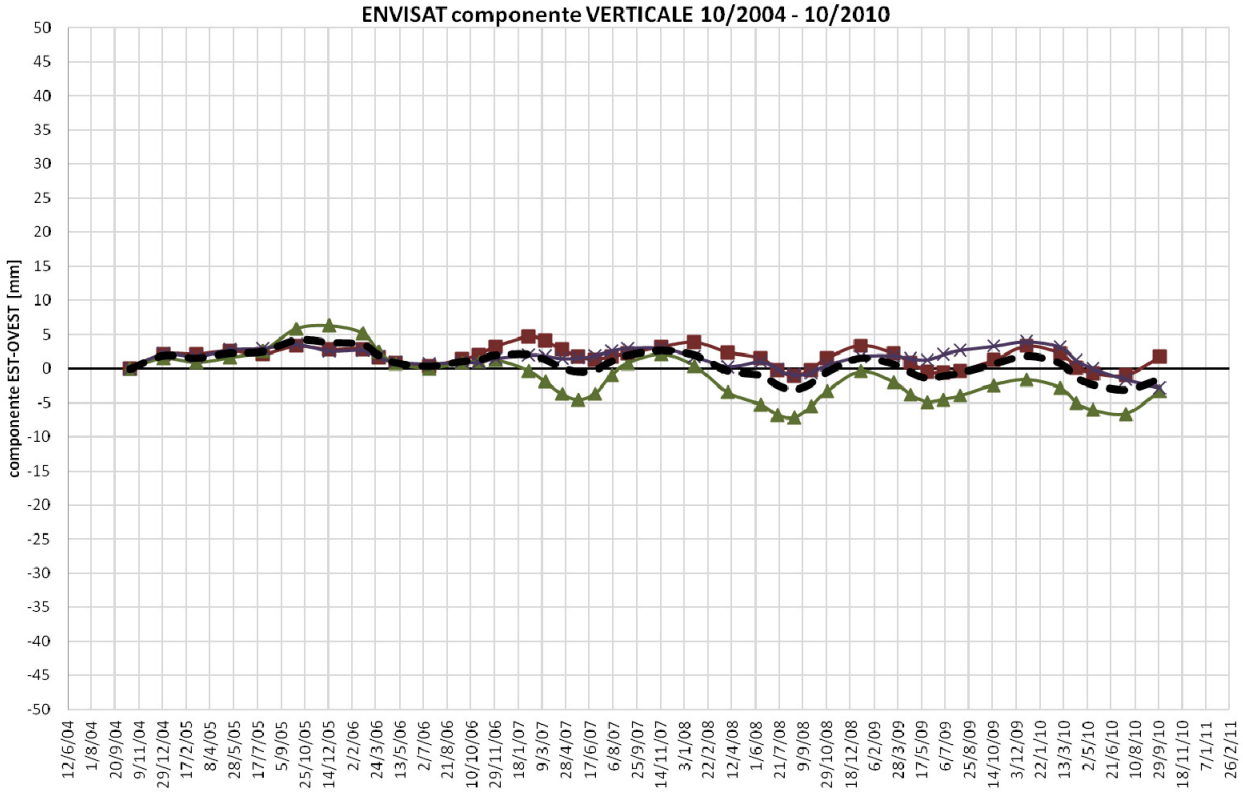



**Figura 7-5 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (ENVISAT). Valori negativi indicano un abbassamento.**

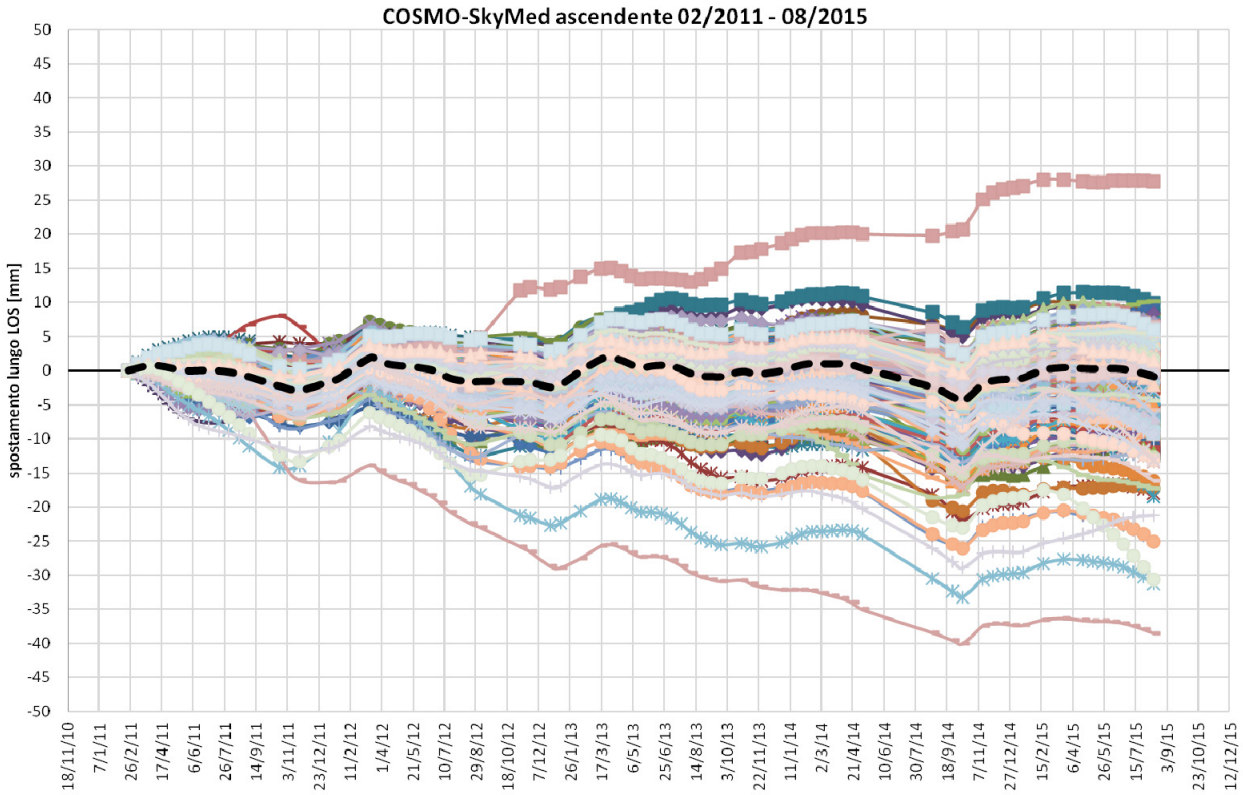



**Figura 7-6 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 1/3**

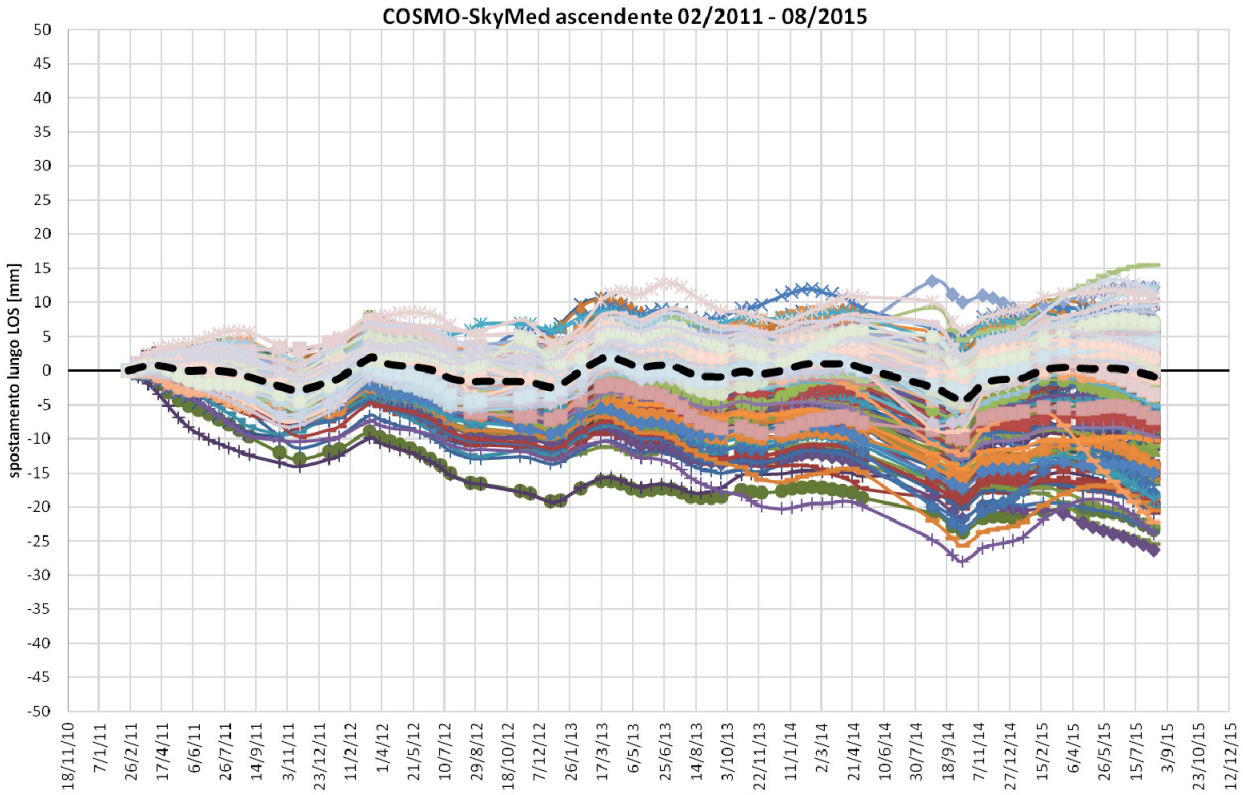



**Figura 7-7 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico2/3**

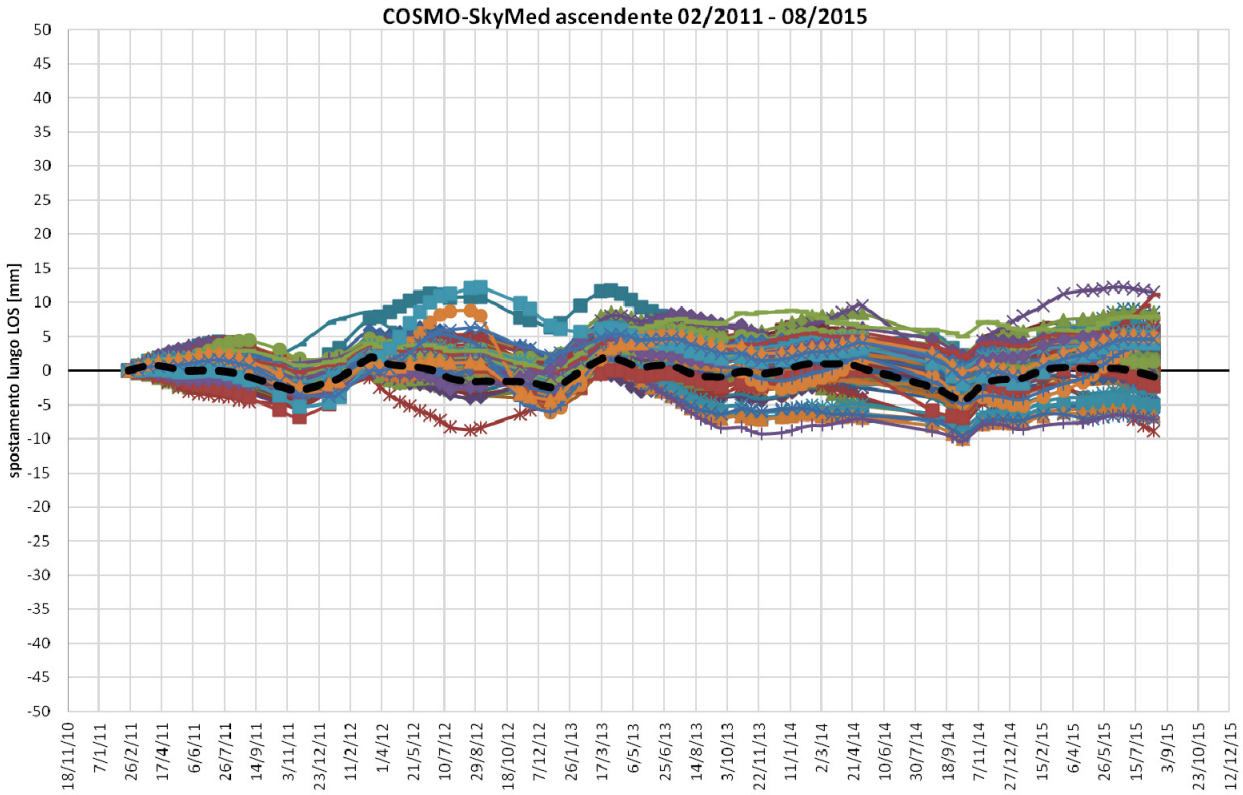



**Figura 7-8 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria ascendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 3/3**

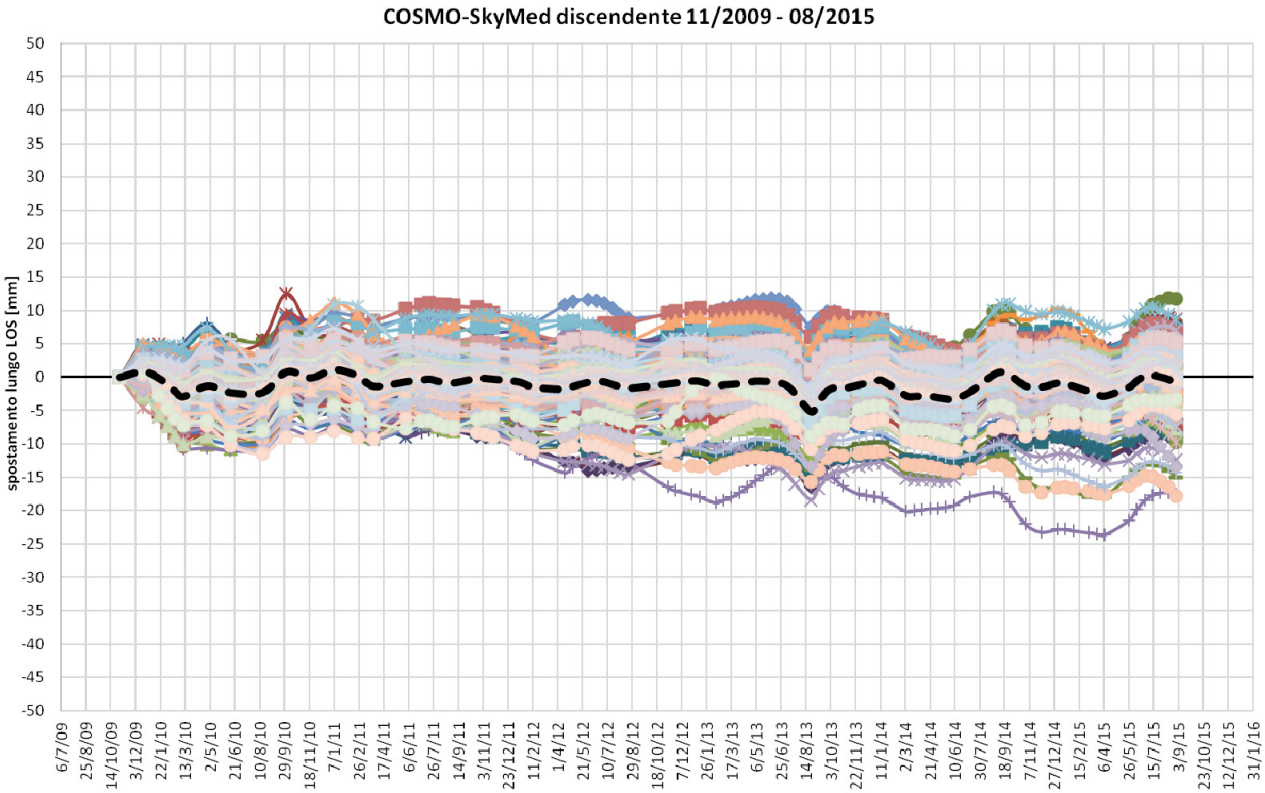



**Figura 7-9 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 1/2**

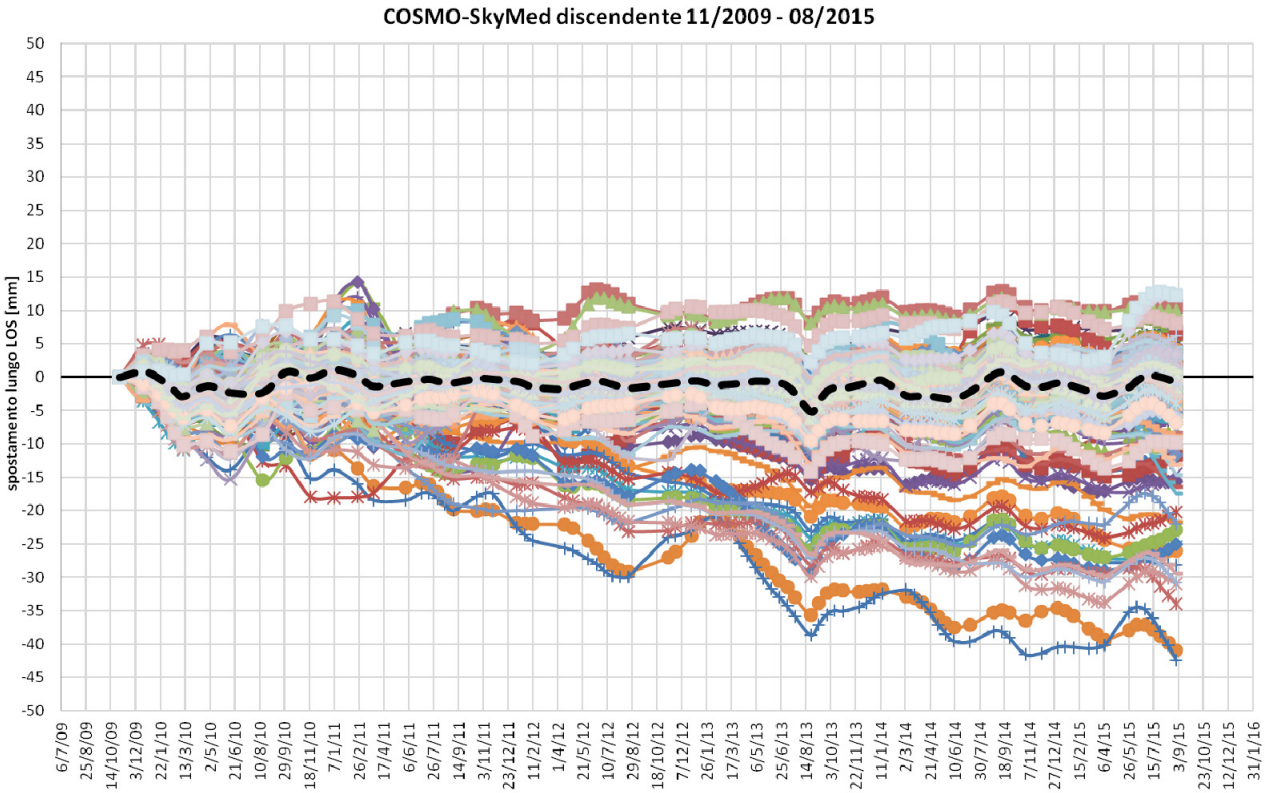



**Figura 7-10 – Evoluzione temporale dei PS (COSMO-SkyMed geometria discendente). Valori negativi indicano un allontanamento del sensore dal satellite lungo la LOS.**

**Grafico 2/2**

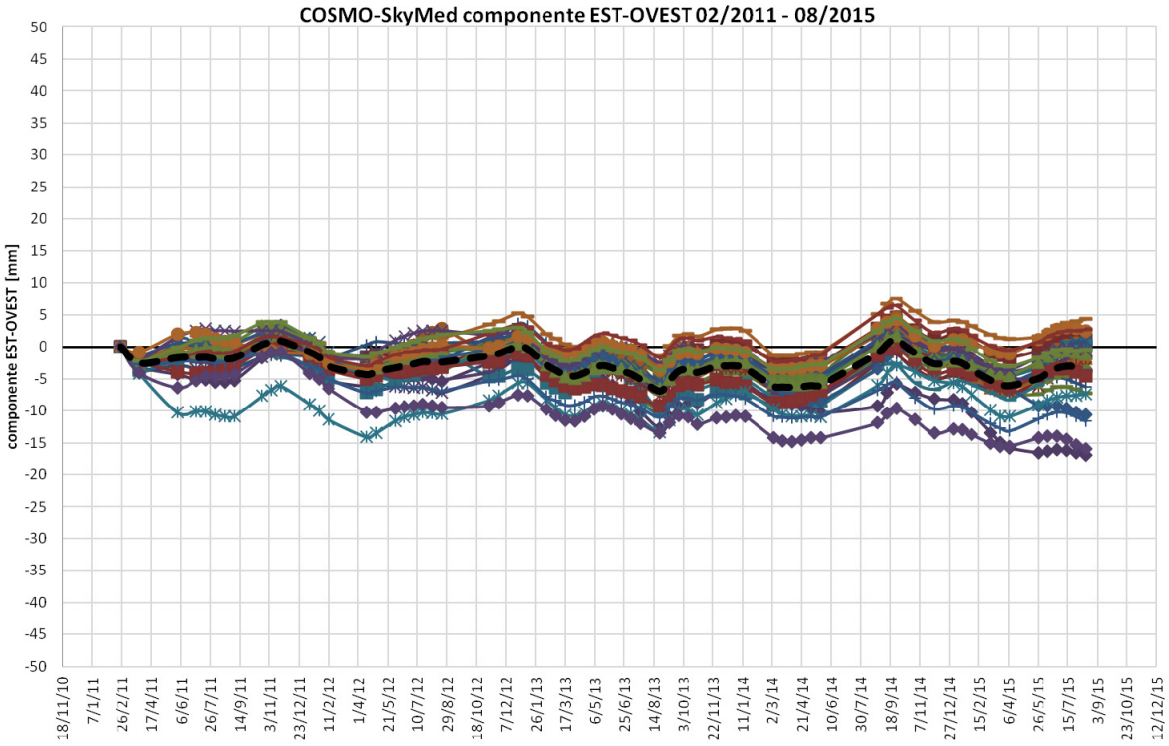

COSMO-SkyMed componente EST-OVEST 02/2011 - 08/2015
componente EST-OVEST [mm]
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
18/11/10
7/1/11
26/2/11
17/4/11
6/6/11
26/7/11
14/9/11
3/11/11
23/12/11
11/2/12
1/4/12
21/5/12
10/7/12
29/8/12
18/10/12
7/12/12
26/1/13
17/3/13
6/5/13
25/6/13
14/8/13
3/10/13
22/11/13
11/1/14
2/3/14
21/4/14
10/6/14
30/7/14
18/9/14
7/11/14
27/12/14
15/2/15
6/4/15
26/5/15
15/7/15
3/9/15
23/10/15
12/12/15

**Figura 7-11 – Componente est-ovest delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano uno spostamento verso OVEST.**

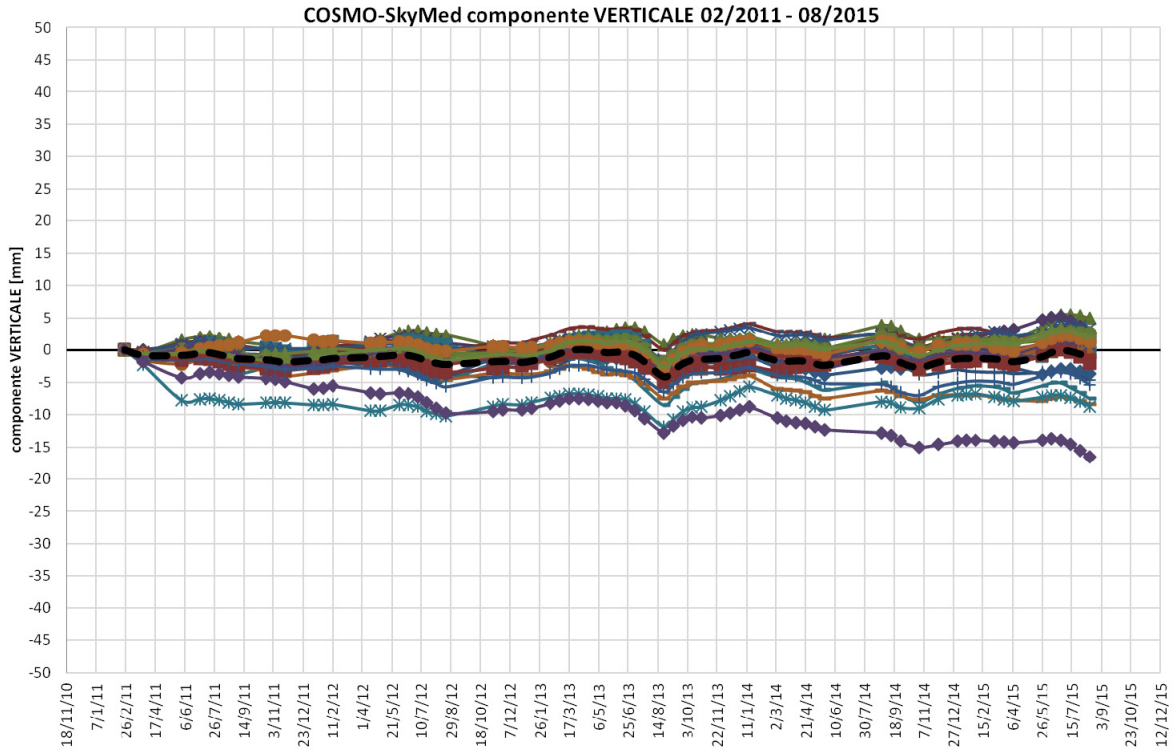



***Figura 7-12 – Componente verticale delle evoluzioni temporali dello spostamento dei PS (COSMO-SkyMed). Valori negativi indicano un abbassamento.***

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 pochi riscontri radar visibili dal satellite ENVISAT in orbita ascendente (n. 3 riscontri) e in orbita discendente (n. 35 riscontri), mostrano un'assenza di movimenti nel periodo 2004 – 2010.

L'analisi dei dataset acquisiti dal satellite COSMO-SkyMed ascendenti (n. 585 riscontri) e discendenti (n. 494 riscontri) nel periodo 2009 - 2015 non individuano spostamenti significativi.

Dai grafici emerge una certa dispersione degli spostamenti, non è possibile individuare un movimento netto. La componente est-ovest, determinata dalla composizione dei dataset

ascendenti e discendenti, mostra, per alcuni punti, un lieve spostamento verso ovest (coerenti con il versante) il cui valore cumulato è di circa 15 mm dal 2011 al 2015.

Per una maggiore comprensione di eventuali fenomeni di spostamento superficiale e al fine di confermarne l'assenza o valutarne l'evoluzione e consentire un'eventuale integrazione con altre tecniche di monitoraggio, è, inoltre, previsto che il monitoraggio interferometrico continui anche durante la fase di costruzione dell'infrastruttura autostradale.

# 8. CONCLUSIONI

In corrispondenza dell'imbocco della galleria di Amandola lato Savona, prevista all'interno del piano di realizzazione del nodo stradale e autostradale di Genova A7-A10-A12, è presente un'area di frana catalogata come PG3a "frana quiescente", interessata in modo marginale dalle le opere in progetto. All'interno di quest'area è presente un'area di dimensioni inferiori catalogata come PG4 "frana attiva", avvenuta in concomitanza dell'alluvione del 1993. Dai risultati del rilievo geomorfologico risulta evidente la presenza di diversi dissesti che hanno interessato sia la coltre detritica superficiale che, localmente, la porzione più alterata e fratturata dell'ammasso roccioso. Eventuali intense precipitazioni potrebbero causare la rimobilizzazione del materiale detritico già coinvolto nei movimenti.

La presenza di un'area di suscettività al dissesto in corrispondenza delle opere di progetto ha portato alla necessità di prevedere opere di stabilizzazione atte ad impedire il movimento della coltre superficiale anche in caso di eventi meteorici eccezionalmente intensi e prolungati, tipici in questa regione geografica nel periodo autunnale.

Nella configurazione finale del progetto, la frana LEI110 potrà essere considerata stabilizzata sulla base delle seguenti motivazioni:

- gli accorgimenti costruttivi adottati (paratie berlinesi) e le fasi realizzative sono tali da garantire, nei confronti della stabilità dei versanti, il rispetto dei fattori di sicurezza sia durante le attività di cantiere che nell'assetto definitivo;
- per l'area di imbocco adiacente, la realizzazione di paratie di micropali multitirantate permette di prevenire i fenomeni di arretramento e/o espansione delle aree di dissesto contenendo le deformazioni indotte, al fine di evitare il degrado delle caratteristiche meccaniche di resistenza delle coltri potenzialmente instabili;
- il dimensionamento delle opere è stato condotto considerando un modello geotecnico cautelativo con riferimento ai parametri di resistenza al taglio residui per le coltri superficiali potenzialmente instabili, agli spessori della coltre, al livello di falda, ecc.;
- le condizioni di stabilità del versante a lavori ultimati risulteranno migliorative rispetto alle condizioni attuali;

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