



Geol. Fabio Tedeschi - [REDACTED]

Geol. Luca Sivori - [REDACTED]

---

Spett.le

**Comune di Genova**

Via di Francia, civ.1

16149 Genova

**OGGETTO: indagini finalizzate alla proposta di ripermimetrazione di una porzione di versante classificata in frana quiescente nel Piano di Bacino Stralcio del T. Bisagno in località San Pantaleo nel Comune di Genova**

### **Relazione geologica**

L.R. n. 58/2009 – D.G.R. 1338/2007 – D.G.R. 265/2010

D.M. Infrastrutture 17.01.2018

Revisione: 0

Descrizione: Prima Emissione

Data: **marzo 2019**

## **SOMMARIO**

<b>1.0. PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI</b>	pag.3
<b>2.0. INQUADRAMENTO DELL'AREA NELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE</b>	pag.4
<b>3.0. INQUADRAMENTO GENERALE E ASPETTI METEOCLIMATICI</b>	pag.6
<b>4.0. PROFILO GEOLOGICO</b>	pag.7
<b>5.0. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</b>	pag.8
<b>6.0. CORPO DI FRANA</b>	pag.9
<b>7.0. INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	pag.10
<b>8.0. ASSETTO STRATIGRAFICO GENERALE</b>	pag.15
<b>9.0. CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI MATERIALI</b>	pag.17
<b>10.0. ANALISI DI STABILITA' DEL PENDIO</b>	pag.24
<b>11.0. PROCEDURA DI RIPERIMETRAZIONE</b>	pag.29
<b>12.0. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	pag.36

## **ELENCO ALLEGATI**

### **ALLEGATO 1 – FIGURE**

- Figura 1.1: Inquadramento cartografico
- Figura 1.2: Estratti cartografici Piano di Bacino
- Figura 1.3: Carta geologica Foglio CARG
- Figura 1.4: Carta geomorfologica
- Figura 1.5: Sezione geologica 1-1
- Figura 1.6: Sezione geologica 2-2
- Figura 1.7: Carta delle prospezioni
- Figura 1.8: Tabella classificazione RMR GSI
- Figura 1.9: Involuppo a rottura ammasso roccioso

### **ALLEGATO 2 – INDAGINI IN SITO**

- Figura 2.1: Sondaggi geognostici
- Figura 2.2: Stese sismiche

### **ALLEGATO 3 – ANALISI DI STABILITA'**

- Figura 3.1: Parametri caratteristici – Coltre aerata
- Figura 3.2: Parametri caratteristici – Coltre detritica
- Figura 3.3: Parametri caratteristici – Roccia
- Figura 3.4: Parametri sismici
- Figura 3.5: Sezione 1-1 – analisi versante
- Figura 3.6: Sezione 2-2 – analisi versante

### **ALLEGATO 4 – INDICATORI GEOMORFOLOGICI**

- Figura 4.1: Carta degli indicatori cinematico-geomorfologici
- Figura 4.2: Carta degli indicatori cinematico-geomorfologici
- Figura 4.3: Carta degli indicatori cinematico-geomorfologici
- Figura 4.4: Carta degli indicatori cinematico-geomorfologici
- Figura 4.5: Proposta di ripermetrazione

### **ALLEGATO 5 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

- Figura 5.1: Carta punti di ripresa fotografici
- Doc. fotografica: n. 30 fotografie

## 1.0. PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI

Il presente studio di carattere geologico-geomorfologico prende in considerazione il settore di versante in località San Pantaleo, nel tratto compreso tra il crinale spartiacque e la sottostante linea ferroviaria (Genova-Casella), in destra orografica del T. Bisagno (**Fig.1.1**), nel Comune di Genova, al fine di proporre una ripermimetrazione del corpo geomorfologico, identificato come frana quiescente (codice 42) nel Piano di Bacino – *T. Bisagno*.

Sulla base delle indicazioni e degli indirizzi contenuti nella D.G.R. 1338/2007 e nella successiva D.G.R. 265/2010 (*Integrazioni e specificazioni alla D.G.R. 1338/07 recante gli indirizzi per la ripermimetrazione e riclassificazione delle frane attive e quiescenti, che determinano aree a suscettività al dissesto elevata e molto elevata a seguito di studi di maggior dettaglio nella pianificazione di bacino di rilievo regionale*) per la redazione del presente elaborato sono state eseguite le seguenti attività :

- ricerca e raccolta dei dati geologico-tecnici disponibili negli archivi pubblici e in bibliografia, compresa la consultazione di cartografia storica e di indagini in sito già eseguite nel settore in oggetto;
- esame della cartografia tematica del Piano di Bacino Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del Torrente Bisagno;
- analisi fotointerpretativa multitemporale relativa ad un congruo periodo temporale;
- rilevamento di superficie al fine di accertare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del settore di versante in esame, con particolare riferimento alle forme, ai processi e ai depositi legati all'azione gravitativa;
- rilievo dettagliato di eventuali lesioni, fessurazioni e cavillature che interessano i manufatti esistenti, in elevazione e a sviluppo lineare;
- consultazione dei dati PS e delle aree anomale da essi derivate al fine di valutare la presenza di eventuali bersagli associati a movimento all'interno dell'area d'interesse e nell'immediato intorno;
- analisi critica delle condizioni di stabilità del comparto sviluppate mediante verifiche analitiche svolte lungo due sezioni longitudinali, elaborate in base alla ricostruzione stratigrafica e idrogeologica dell'area e adottando una parametrizzazione geotecnica e geomeccanica a favore di sicurezza;
- valutazione, sulla base di tutti gli elementi raccolti, di una diversa perimetrazione del deposito gravitativo, con una nuova classificazione del grado di suscettività al dissesto per una porzione dello stesso.

Le presenti indagini, per quanto attiene agli aspetti prettamente tecnici, sono redatte in conformità alle normative vigenti in materia ed in particolare al D.M. Infrastrutture 17.01.2018 (NTC 2018 *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*).

Il settore d'interesse e più in generale l'intero versante, rientra nelle zone sottoposte al vincolo idrogeologico, ai sensi del R.D. n. 3267 del 30.12.1923 e della L.R. n. 4 del 22.01.1999.

## **2.0. INQUADRAMENTO DELL'AREA NELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

Per quanto concerne il Piano di Bacino Stralcio per la Tutela del Rischio Idrogeologico (Torrente Bisagno) approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n. 62 del 04.12.2001 e s.m.i., considerando il settore di versante investigato ed un suo ampio intorno, si evidenzia che (**Fig.1.2 e 1.3**):

- nella carta della franosità reale il corpo geomorfologico in oggetto è classificato come una frana per scorrimento o scivolamento rotazionale in stato di quiescenza (cod. 42); sono, inoltre, riportate alcune frane di dimensioni minori talora non cartografabili che sul terreno sono riconducibili principalmente a modesti crolli di bancate calcareo-marnose affioranti o dissesti nei terrazzamenti. Sui corsi d'acqua che incidono l'area di studio sono segnalate diffuse forme di erosione concentrata di fondo;
- nella carta geomorfologica sono riportati il movimenti franosi sopra descritti con i relativi cigli di distacco, mentre i restanti settori sono caratterizzati, a monte e a NW da roccia affiorante o subaffiorante in buone condizioni di conservazione con coperture discontinue fino a 1.0 m mentre a SE da coperture detritiche e depositi eluvio colluviali di spessore compreso tra 1.0 m e 3.0 m;
- nella carta del reticolo idrografico sono riportati diversi corsi d'acqua a valenza regionale, con un ordine di gerarchizzazione massimo pari a 2;
- nella carta idrogeologica sono distinte tre categorie di terreni: i settori dove la roccia è affiorante e/o subaffiorante sono permeabili per fessurazione e/o fratturazione, mentre gli ambiti caratterizzati dai movimenti franosi sono considerati terreni permeabili per porosità. Le coltri sottili risultano permeabili per porosità su un substrato permeabile per fessurazione. Infine le porzioni inferiori del versante, urbanizzate, risultano sostanzialmente impermeabili;
- la carta della suscettività al dissesto inserisce l'area oggetto di proposta di ripermetrazione nella classe relativa alle frane quiescenti (Pg3a), mentre le aree all'intorno sono caratterizzate da una suscettività geomorfologica più contenuta, per lo più ricadente in classe Pg2 (suscettività media) con limitati settori

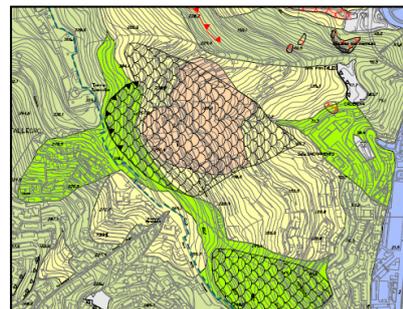
perimetrati in classe Pg3b (suscettività alta). Le porzioni in prossimità del crinale sono identificate a suscettività bassa Pg1 (suscettività bassa);

- nella carta del rischio geomorfologico l'area oggetto d'interesse è classificata a rischio moderato R1 mentre il suo intorno presenta rischio lieve o trascurabile R0. Solo le carrabili che tagliano le aree ad alta suscettività al dissesto sono correlate a un rischio elevato R3.

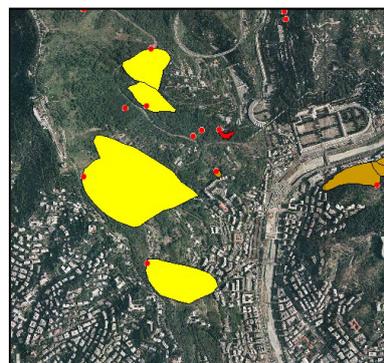
Infine, nella carta degli interventi, l'area è citata con la scheda n. 22 in cui si segnala: *Sistemazione dei dissesti in loc. Villa Quartara e a ovest di Caderiva, (frane quiescenti 41 e 42): raccolta e smaltimento delle acque superficiali.*

Gli elaborati cartografici a supporto degli studi geologici a corredo del P.U.C. di Genova riprendono la perimetrazione della frana quiescente riportata nel Piano di Bacino vigente e sono contraddistinti dai seguenti elementi principali:

- carta geologica: coltri eluvio-colluviali di importanza particolare; il substrato di riferimento è rappresentato dai Calcari del M. Antola;
- carta geomorfologica: corpo di frana quiescente su coperture di spessore differente ma in generale medio-potenti; a monte, in corrispondenza dell'area di crinale, il substrato roccioso è affiorante in condizioni di conservazione scadenti e associato a un ciglio di distacco quiescente (v figura a lato);
- carta idrogeologica: la zona in esame e le coperture detritiche presentano una permeabilità per porosità su substrato impermeabile o semipermeabile. Nelle aree a substrato affiorante e/o subaffiorante la circolazione sotterranea si manifesta principalmente per fessurazione o carsismo;
- carta di microzonazione sismica: il settore oggetto di studio ricade in Zona C3 Frana quiescente soggetta ad amplificazione stratigrafica e topografica, mentre le aree limitrofe risultano cartografate in Zona B1 e B2 (substrato lapideo affiorante e non affiorante);
- carta dei vincoli geomorfologici e idraulici: l'area oggetto di studio risulta classificata in frana quiescente e soggetta al regime del vincolo idrogeologico;
- carta di zonizzazione: il settore inserito in frana quiescente ricade in classe E (aree interdette) mentre le aree limitrofe sono riportate nelle classi B (suscettività d'uso parzialmente condizionata) e C (suscettività d'uso limitata).



Infine per quanto attiene alla Cartografia regionale, la Carta Geologica Regionale (CARG, 2005) e la Carta dell'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (I.S.P.R.A., 2009 – v. figura a lato) individuano il corpo di frana come perimetrato a livello di Piano di Bacino.



### **3.0. INQUADRAMENTO GENERALE E ASPETTI METEOCLIMATICI**

Il versante in oggetto è caratterizzato da un grado di antropizzazione e di presidio del territorio piuttosto differenziato: la porzione basale è contraddistinta da un'urbanizzazione compatta con numerosi edifici in elevazione, di recente costruzione collegati da una fitta rete infrastrutturale sia pubblica sia privata, mentre nella porzione mediana sono presenti manufatti residenziali sparsi ubicati per lo più lungo le due vie di comunicazione disposte trasversalmente al versante (Via San Pantaleo e Via Cima di San Pantaleo) e inseriti in aree coltivate o terrazzate. Il settore apicale del pendio è, invece, non insediato e boscato.

Per quanto riguarda gli aspetti meteorologici dell'area in esame, la posizione geografica del bacino determina una particolare circolazione delle masse d'aria, caratterizzate da venti umidi e tiepidi provenienti da mare che si incanalano direttamente nelle vallate aperte verso la costa e sono spesso causa di precipitazioni rilevanti lungo lo spartiacque appenninico.

Il profilo climatico è definito utilizzando i valori registrati dalle stazioni meteo presenti in Val Bisagno (Passo Scofera, Ponte Carega) e presso l'Università di Genova e pubblicati sugli annali Apat (oggi Ispra). Dall'analisi dei dati è emerso che il regime pluviometrico dell'area in esame è intermedio tra il sublitoraneo appenninico e quello marittimo, con un massimo assoluto in autunno (novembre) e un minimo assoluto in estate (luglio). La precipitazione media annua oscilla fra 1000 mm e 1500 mm, con punte che, in qualche caso, raggiungono 2000 mm (a Scoffera, per esempio, 2015 mm).

Per quanto attiene alle temperature, il settore in esame è compreso tra l'isoterma media annua di 10°C alle quote elevate e l'isoterma di 12°C lungo il fondovalle; la distribuzione delle temperature medie mensili mostra un massimo nei mesi estivi (luglio-agosto) con valori di 20°-21°C ed un minimo nei mesi invernali (dicembre e gennaio), compreso tra 4° e 5°C.

#### 4.0. PROFILO GEOLOGICO

Con riferimento al Foglio n°82 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, "Genova", e alla più recente cartografia regionale - Foglio CARG, tav. 213 – 230 l'area in oggetto è inserita all'interno dell'Unità del Monte Antola, e in particolare al Flysch del M.te Antola, costituito da calcari marnosi, marne calcaree, calcareniti ed argilliti, disposti in strati di potenza variabile anche nell'ordine del metro, di colore grigio scuro se freschi e grigio chiaro nelle normali condizioni di alterazione.

Tale successione costituisce un ammasso roccioso eterogeneo, poiché nella sequenza stratigrafica sono rappresentati materiali a comportamento geomeccanico (e di suscettività all'alterazione o degradazione) molto differente. In particolare, le argilliti, tenere e facilmente sfaldabili in scaglie e degradabili in terreno sciolto di natura argillosa, intercalate ai livelli di calcare marnoso, tenaci e compatti, costituiscono un orizzonte fragile anche se percentualmente poco significativo, nell'ambito dell'ammasso roccioso.

L'assetto strutturale di questo settore può essere inquadrato nei processi di evoluzione tettonica polifasica del Dominio Ligure nell'ambito della messa in posto delle falde appenniniche (orogenesi appenninica) e presenta motivi tettonici associati a uno stile plicativo caratterizzato da diverse fasi deformative.

La ripresa del sollevamento della catena ha determinato, inoltre, lo sviluppo di una tettonica recente espressa da lineamenti fra loro subortogonali (NNE-SSW e WNW-ESE) che ha comportato lo sviluppo di un modello strutturale configurato a blocchi soggetti a fenomeni di dislocazione indipendente. Nell'ambito di studio tali elementi hanno condizionato l'orientazione del reticolo idrografico minore e il quadro strutturale dell'ammasso roccioso.

Alla scala del versante la stratificazione è caratterizzata da giaciture assai variabili, con strutture plicative pluridecametriche aventi asse con direzione media NW-SE e vergenza sia verso SW sia verso NE; mentre alla mesoscala sulla base degli affioramenti presenti all'esterno dell'accumulo detritico (via Carso e Via San Pantaleo), l'assetto stratigrafico prevalente è contraddistinto da un'immersione verso NNW e inclinazione variabile tra 30° e 40° sul piano orizzontale (**Figg.1.3-1.4**).

Dal punto di vista geomorfologico, il versante esaminato è contraddistinto, lungo il crinale, dal substrato affiorante o subaffiorante in associazione a coperture sciolte sottili e discontinue di natura eluvio-colluviale generate dai processi di degradazione naturale del sottostante basamento lapideo.

Lungo la porzione mediana, la riduzione dell'acclività è associata alla presenza di un accumulo detritico di origine gravitativa di spessore plurimetrico costituito da terreni a prevalente frazione sabbioso-ghiaiosa, breccia in matrice limoso-argillosa o livelli

lapidei completamente destrutturati e argillificati e coinvolti nel meccanismo d'imposta.

Il settore inferiore è distinto nuovamente dalla comparsa di affioramenti del basamento roccioso, sebbene sporadici e discontinui, sempre molto alterati e degradati che fanno supporre una riduzione della rappresentatività verticale della copertura di versante.

In corrispondenza degli affioramenti individuati lungo il crinale spartiacque e le mura seicentesche il substrato roccioso è contraddistinto da condizioni di conservazione da discrete a buone, mentre lungo via Carso il basamento lapideo appare contraddistinto da un maggiore grado di fratturazione e alterazione che ne condizionano sensibilmente il comportamento geomeccanico; la distribuzione degli affioramenti cartografati consente di confermare una riduzione dello spessore delle coperture sciolte nelle porzioni di versante che delimitano lateralmente il corpo di frana (**Fig.1.4**).

## **5.0. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

Dal punto di vista idrografico, lo schema dei deflussi superficiali appare poco sviluppato in funzione della ridotta estensione del bacino di riferimento; il reticolo di drenaggio naturale è rappresentato da alcuni modesti colatori che traggono origine a partire dalla porzione mediana del versante e rappresentano le aste di riferimento per tutte le acque superficiali, regimate o meno.

In ragione delle caratteristiche morfologiche dell'area, gli apporti meteorici tendono in parte a infiltrarsi nel sottosuolo e in parte a defluire in superficie; tale aliquota scorre con una certa regolarità grazie alla copertura vegetale e ai terrazzamenti antropici, che attenuano l'acclività del comparto e l'azione erosiva delle acque.

Per quanto attiene alle caratteristiche idrogeologiche del comparto, queste risultano strettamente dipendenti dall'assetto stratigrafico e in particolare:

- le coltri sciolte superficiali possono essere considerate terreni permeabili per porosità con coefficienti medio-bassi in funzione della granulometria prevalente, si può stimare un valore di conducibilità idraulica  $k$  tra  $10^{-6}$  m/s e  $10^{-7}$  m/s (tra  $10^{-4}$  m/s e  $10^{-5}$  cm/s);
- il substrato roccioso, stante la natura calcareo-marnosa con intercalazioni di argilliti, si deve ritenere impermeabile in condizioni d'assoluta integrità, ma in considerazione del livello di fratturazione e alterazione acquisito, risulta invece permeabile per fratturazione/fessurazione secondaria, almeno nei livelli superficiali, dove le discontinuità possono rappresentare vie di deflusso

preferenziali: l'acqua può saturare le fratture in profondità e trovare vie di percolazione secondo i rapporti geometrici esistenti tra i giunti coniugati dell'ammasso roccioso. Un accettabile campo valori del coefficiente di permeabilità, lievemente superiore a quello assegnato per il materiale sciolto, è compreso tra  $10^{-5}$  m/s e  $10^{-6}$  m/s ( $10^{-3}$  m/s e  $10^{-4}$  cm/s).

Alcuni dati di carattere bibliografico (letture piezometriche) hanno evidenziato, nel settore medio-basale del corpo di frana oggetto di studio, la presenza di una superficie di falda attestata a circa 8.6 m dal p.c.

## **6.0. CORPO DI FRANA**

L'area cartografata come frana inattiva quiescente interessa il versante che dal crinale spartiacque degrada verso il sottostante quartiere di Caderiva, comprendendo il nucleo insediativo di San Pantaleo. L'analisi delle foto aeree e delle osservazioni di superficie permette d'individuare, lungo la porzione apicale del pendio fino al tracciato di via Carso, un settore morfologicamente conformato a impluvio, a medio-elevata acclività e interessato dal basamento lapideo affiorante e/o subaffiorante in scadenti condizioni di conservazione, interpretabile come l'antica "corona di distacco" avente orientazione circa NW – SE (**Fig.1.4**) e delimitata lateralmente da due dorsali secondarie.

Il settore di pendio sottostante è, invece, contraddistinto da una sensibile riduzione della pendenza (generalmente compresa tra il 20% ed il 35%) con ampi ripiani sub pianeggianti. Tale ambito, sulla base dei sondaggi geognostici consultati e delle indagini geofisiche eseguite, è caratterizzato da una copertura detritica che presenta spessori tra 5-15 m fino a 20 m nella porzione mediana, comprendente anche un orizzonte più o meno potente di basamento alterato e degradato, ridotto a breccia e coinvolto nel meccanismo d'imposta del corpo di frana (**Fig.1.4**).

La genesi dell'accumulo detritico è, con tutta probabilità, di natura tettono-gravitativa ed è da ascrivere al ringiovanimento morfologico quaternario dell'area associato alle ultime fasi deformative della catena appenninica. In tale dinamica rivestono naturalmente un ruolo importante le scadenti proprietà litotecniche dei materiali coinvolti e i meccanismi di circolazione idrica sottosuperficiali e profondi.

Il confronto tra la serie di foto aeree riprese nell'arco di circa 40 anni non ha evidenziato variazioni morfologiche apprezzabili escludendo quindi evoluzioni recenti del corpo gravitativo.

## **7.0. INDAGINI GEOGNOSTICHE**

L'assetto stratigrafico dell'accumulo gravitativo è stato ricostruito attraverso una prima fase di ricerca bibliografica inerente indagini in sito di tipo dirette e/o indirette condotte ad altro titolo nel comparto oggetto di studio.

L'attività di ricerca si è avvalsa del supporto dell'Ufficio Geologico del Comune di Genova, dei dati reperibili sul portale cartografico della Regione Liguria e d'indagini geologiche pregresse condotte dalla Committenza nell'ambito dei terreni di proprietà, permettendo di acquisire i risultati di alcuni sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove SPT, analisi di laboratorio, log penetrometrici e indagini geofisiche variamente distribuite all'interno del perimetro di frana (**Fig. 1.7**).

In considerazione della distribuzione dei dati a disposizione, delle finalità del presente studio e della disponibilità economica tali informazioni sono state implementate dall'esecuzione di una specifica campagna geofisica costituita da quattro tomografie in onde P disposte trasversalmente al pendio lungo le principali direttrici carrabili al fine di raccordare e implementare i dati di riferimento bibliografico di cui sopra.

Sono di seguito descritte tutte le risultanze conseguenti.

### **7.1. sondaggi a carotaggio continuo**

Sono stati acquisiti i risultati di alcuni sondaggi geognostici a carotaggio continuo ad asse verticale condotti nell'ambito d'interventi edilizi eseguiti all'interno del corpo di frana:

- n.2 sondaggi eseguiti da E.L.C.I. S.p.a. nel 1991 a supporto dell'ampliamento dell'edificio industriale di via Carso, 111 (Bellini A., 1993; Gattoronchieri L., 2004);
- n.2 sondaggi eseguiti da GeA S.a.s. nel 2005 a supporto della costruzione di una casa bifamiliare in via Cima di San Pantaleo (Romanelli S., 2005);
- n.2 sondaggi eseguiti da M3b s.r.l. nel 2010 a supporto dell'istanza di concessione in sanatoria e sistemazione delle aree di pertinenza in via Cima di San Pantaleo, 2 (Dassereto C., 2010).

Relativamente ai sondaggi eseguiti nel 1991, spinti fino a profondità comprese tra 20.2 m (S1) e 22.2 m (S2), non è stato possibile visionare documentazione fotografica inerente le cassette catalogatrici ma sono state acquisite specifiche

informazioni sulla stratigrafia dedotta lungo le due verticali e riportata nel seguito per pronto riferimento (Gattoronchieri L., 2004):

- da 0.0 m a 8.5 m (S1) e 9.7 m (S2): riporto e copertura detritica a matrice argillosa con clasti lapidei eterometrici;
- da 8.5 m (S1) e 9.7 m (S2) a 17.5 m (S1) -15.5 m (S2): calcari marnosi molto alterati e fratturati;
- da 17.5 m (S1) -15.5 m (S2); substrato sano o poco alterato.

Non è stato possibile acquisire informazioni specifiche in merito all'esecuzione di eventuali indagini in sito o al condizionamento dei fori di sonda con strumentazione piezometrica e/o inclinometrica.

Le perforazioni del 2005 sono state eseguite a valle di via Cima di San Pantaleo in corrispondenza del settore centro-meridionale del corpo di frana e sono state spinte a una profondità compresa tra 15 m (S1) e 10 m (S2); anche di tali prospezioni non è stato possibile visionare la documentazione fotografica inerente il materiale carotato ma sono state acquisite le relative colonne stratigrafiche che hanno consentito di ricostruire il seguente assetto del sottosuolo (Romanelli S., 2005):

- da 0.0 m a 1.2 m (S1) e 0.8 m (S2): coltivo vegetale e terreno agricolo a prevalente matrice limoso-sabbiosa;
- da 1.2 m (S1) e 0.8 m (S2) a 15 m (S1) e 10 m (S2): breccia in matrice limoso-sabbiosa, ghiaia in matrice limoso-argillosa e trovanti lapidei.

Durante le perforazioni sono state effettuate anche delle prove in sito tipo SPT e prelevati dei campioni di materiale su cui sono state eseguite delle specifiche analisi di laboratorio, i cui esiti sono riportati nelle tabelle seguenti:

<b>Sond.</b>	<b>Profondità</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>Nspt</b>
S1	1.50 m – 1.95 m	12	10	25	35
S1	3.50 m – 3.80 m	15	20	R	-
S1	4.50 m	R			
S2	1.50 m – 1.95 m	10	7	18	25
S2	3.00 m -3.45 m	12	9	22	31
S2	4.50 m	R			

Sond/sigla	Profondità	% ghiaia	% sabbia	%P <sub>200</sub>	Class USCS
S1-C2	4.2 m – 4.5 m	34.91	28.07	37.02	GC – ghiaia argillosa con sabbia
S1-C1	9.0 m – 9.2 m	38.67	23.04	38.29	GC – ghiaia argillosa con sabbia
S2-C1	4.1 m -4.3 m	43.53	20.51	35.96	GC – ghiaia argillosa con sabbia
S2-C2	9.5 m -9.7 m	24.11	31.15	44.74	SC – sabbia argillosa con ghiaia

Sui campioni prelevati sono stati determinati anche i limiti di Atterberg, ricavando un limite liquido (LL) compreso tra 33 (S1-C2) e 44 (S2-C1), un limite plastico (LP) tra 16 (S1-C2) e 26 (S2-C1) e un indice di plasticità tra 16 (S1-C1) e 19 (S2-C2).

I sondaggi sono stati attrezzati con tubo inclinometrico (S1) e piezometrico (S2). Dalla documentazione consultata non è stato possibile reperire alcuna informazione in merito a eventuali letture di esercizio della strumentazione di monitoraggio inclinometrico, mentre per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea nel tubo piezometrico è stata individuata una superficie di falda a carattere permanente attestata a una profondità di circa 8.6 m da p.c.

Le perforazioni eseguite nel 2010 sono state condotte a monte di via Cima di San Pantaleo, in prossimità del margine sud-occidentale dell'accumulo gravitativo e sono state spinte a una profondità di 10 m da p.c. Relativamente a tali indagini dirette è stato possibile acquisire la documentazione fotografica relativa alle cassette catalogatrici e ricostruire il seguente assetto del sottosuolo:

#### Sondaggio S1

- da 0.0 m a 1.8 m: riporto;
- da 1.8 m a 10 m: copertura detritica a prevalente frazione grossolana in matrice limoso-argillosa più o meno abbondante, con blocchi e trovanti lapidei;

#### Sondaggio S2

- da 0.0 m a 3.0 m: copertura sciolta a prevalente frazione sabbioso-ghiaiosa in matrice limoso-argillosa;

- da 3.0 m a 5.0 m: trovante lapideo di natura calcareo-marnosa;
- da 5.0 m a 9.0 m: breccia in scarsa matrice fine e livelli lapidei completamente destrutturati;
- da 9.0 m a 10 m: livello lapideo variamente alterato e fratturato.

Dalla documentazione acquisita è emerso che uno dei due fori di sonda è stato attrezzato con tubo piezometrico e le successive letture freatiche non hanno ravvisato la presenza di una superficie di falda a carattere permanente.

## **7.2. prove penetrometriche medio-leggere**

L'attività di ricerca bibliografica ha permesso di acquisire complessivamente gli esiti di dieci prove penetrometriche condotte con strumentazione medio-leggera variamente distribuite all'interno del perimetro di frana e impiegate per la successiva caratterizzazione geotecnica dell'accumulo detritico (**Fig. 1.7**):

- penetrometrie eseguite nel 1999 (Rosatto L., 1999); si tratta di due prove condotte nella porzione medio-basale dell'accumulo gravitativo interrotte a una profondità di 1.3 m e 1.5 m a seguito del rifiuto strumentale; il materiale attraversato è contraddistinto da una prevalente frazione sabbioso-limosa con valore medio di  $N_{10}$  di 7 (PP1) e 8 (PP2);
- penetrometrie eseguite nel 2001 (Spalluto L., 2001); si tratta di due prove condotte in prossimità del civ. 4 di via Cima di San Pantaleo spinte fino al rifiuto strumentale, ottenuto a una profondità compresa tra 1.9 m e 2.1 m da p.c.; le prospezioni indirette hanno permesso d'indagare un orizzonte sciolto a prevalente frazione limoso-sabbioso con scarsa frazione grossolana con valore medio di  $N_{10}$  di 10 (PP1) e 8 (PP2);
- penetrometria eseguita nel 2002 (Nosengo P., 2002) all'interno dei terreni a valle del civ. 21 di via Cima di San Pantaleo; la prova è stata interrotta a una profondità di 3.1 m a seguito del rifiuto strumentale e ha attraversato un primo orizzonte aerato a prevalente frazione sabbioso-limoso ( $N_{10\text{medio}} = 15$ ) e un sottostante livello ascrivibile a sabbia ghiaiosa con scaglie, frammenti lapidei e trovanti ( $N_{10\text{medio}} = 25$ );
- penetrometria eseguita nel 2004 (Gattoronchieri L., 2004) in adiacenza al settore indagato dai sondaggi geognostici eseguiti nel 1991; la verticale di prova è stata interrotta a 3.1 m da p.c. a seguito del rifiuto strumentale e ha permesso d'indagare un orizzonte sciolto a prevalente matrice limoso-argillosa con scarsa frazione grossolana ( $N_{10\text{medio}} = 7$ );

- penetrometrie eseguite nel 2005 (Romanelli S., 2005); si tratta di quattro prove localizzate a valle della carrabile denominata Cima di San Pantaleo nel medesimo comparto interessato dall'esecuzione dei sondaggi geognostici effettuati nel 2005; le prospezioni sono state interrotte a una profondità variabile tra 2.6 m e 4.0 m a seguito del raggiungimento del rifiuto strumentale e hanno permesso di attraversare un primo orizzonte aerato a prevalente frazione sabbioso-limoso di spessore di circa 1.5 m- 2.0 m ( $N_{10\text{medio}}$  PP1 = 13;  $N_{10\text{medio}}$  PP2 = 7;  $N_{10\text{medio}}$  PP3 = 9;  $N_{10\text{medio}}$  PP4 = 9) e un sottostante livello ascrivibile a un mezzo a prevalente frazione sabbioso-ghiaiosa con breccia, scaglie, frammenti lapidei e trovanti ( $N_{10\text{medio}}$  PP1 = 31;  $N_{10\text{medio}}$  PP2 = 31;  $N_{10\text{medio}}$  PP3 = 24;  $N_{10\text{medio}}$  PP4 = 19).

Durante l'esecuzione delle prove non è stata individuata una circolazione sotterranea a carattere permanente.

### **7.3. indagini geofisiche**

L'attività di ricerca bibliografica ha permesso di acquisire anche gli esiti di due misure di microtremore ambientale (H/V) condotte all'interno dei terrazzamenti a monte di via Cima di San Pantaleo, in direzione nord rispetto allo stabilimento industriale distinto dal civ. 111 di via Carso. Le misure effettuate hanno permesso di definire il seguente assetto del sottosuolo:

- da 0 m a 2 m: copertura aerata ( $V_s \sim 170$  m/s);
- da 2 m a 10 m: accumulo detritico e substrato lapideo destrutturato e decompresso ( $V_s \sim 401$  m/s);
- da 10 m da p.c.: substrato roccioso variamente alterato e fratturato ( $V_s \sim 720$  m/s).

A integrazione dei dati di riferimento bibliografico acquisiti si è provveduto a commissionare una specifica campagna d'indagini geofisiche costituita da quattro tomografie sismiche in onde P effettuate secondo un allineamento trasversale al versante lungo via Carso (SS1), via Cima di San Pantaleo (SS2-SS3) e via San Pantaleo (SS4), al fine d'indagare l'intero sviluppo longitudinale del corpo di frana e correlare i dati delle prospezioni dirette e indirette eseguite ad altro titolo.

Gli stendimenti sismici sono stati condotti secondo una lunghezza variabile tra 72 m (SS4) e 100 m (SS1) utilizzando geofoni verticali SunFul con frequenza centrale di

40 Hz posti a una interdistanza di 4.0 m e unità di acquisizione Seismic Source “DaqLink III”.

I risultati ottenuti dagli stendimenti sismici hanno permesso d’individuare un potente accumulo detritico eterogeneo con blocchi, trovanti e livelli lapidei completamente destrutturati e grado di addensamento crescente con la profondità, sovrapposto al substrato roccioso strutturato. La sequenza stratigrafica descritta è riportata nel prospetto sottostante:

Materiale*	SS1		SS2-SS3		SS4	
	Vs (in m/s)	Potenza (in m)	Vs (in m/s)	Potenza (in m)	Vs (in m/s)	Potenza (in m)
A1	580-1500	da 2 a 7	600-1500	da 8 a 12	530-1500	da 6 a 8
A2	1500-2200	da 6 a 10	1500-2200	da 10 a 12	1500-2200	da 8 a 10
R	2200-2600	da 12-17	2200-2400	da 19-22	2200-2400	da 16 -18

\*A1: Accumulo detritico aerato e scarsamente addensato

A2: Accumulo detritico mediamente addensato con blocchi e trovanti

R: Substrato roccioso strutturato

L’indagine sismica ha permesso, inoltre, di acquisire alcune informazioni utili per definire il contenuto d’acqua nei materiali attraversati: dalle velocità rilevate è presumibile che la porzione medio-basale dell’accumulo detritico ( $V_p > 1500$  m/s) sia contraddistinta da condizioni di elevata umidità o di saturazione.

I dettagli delle prospezioni sismiche, unitamente al commento dei risultati e ai grafici relativi ai tempi di arrivo letti, quote topografia e rifrattori, velocità e sezioni interpretate sono riportati nell’**AII.2**.

## 8.0. ASSETTO STRATIGRAFICO GENERALE

La metodologia integrata adottata e composta da un approfondito rilevamento di superficie, dall’acquisizione di dati geognostici e geotecnici di riferimento bibliografico e dall’esecuzione di una specifica campagna geofisica, ha permesso di ricostruire con un buon grado di dettaglio l’assetto stratigrafico dell’accumulo gravitativo in oggetto e dei settori limitrofi.

In particolare, il rilevamento di superficie ha consentito d’identificare e cartografare diversi affioramenti lapidei in corrispondenza del crinale spartiacque e della porzione apicale del versante oggetto di studio che suggeriscono, concordemente ai lineamenti geomorfologici generali, la presenza di un sottile orizzonte sciolto di natura eluviale ed eluvio-colluviale.

Procedendo verso valle il contesto generale è rappresentato da una vasta area boscata, contraddistinta da valori di acclività medio-elevati (soprattutto tra le isoipse dei 280 m e 300 m s.l.m.) e una morfologia a impluvio interpretabile come un'antica corona di svuotamento, priva di evidenze di attività.

In tale ambito è stata rilevata la presenza di una copertura sciolta di natura colluviale associata alla presenza di blocchi lapidei disarticolati e massi erratici e localizzati affioramenti del substrato roccioso strutturato (scarpata di monte di via Carso, crinale secondario in direzione nord), contraddistinti da un evidente grado di disarticolazione e fratturazione e da un quadro strutturale complesso, con piegamenti e dislocazioni fragili percepibili anche alla scala dell'affioramento.

L'assetto morfologico subisce una sensibile variazione a partire dalle isoipse dei 240-260 m s.l.m., in cui si assiste a una decisa e repentina riduzione dei valori di acclività che ha favorito lo sviluppo d'insediamenti a chiara vocazione rurale e agricola a cui si sono aggiunti in tempi recenti anche presidi prettamente residenziali.

Le osservazioni di superficie e i dati geognostici e geofisici consentono di associare tale morfologia alla presenza di un potente accumulo detritico di origine gravitativa che si sviluppa secondo una direttrice ovest-est fino a lambire il sottostante quartiere di Caderiva, in corrispondenza dell'isoipsa dei 100 m s.l.m.

Gli esiti delle prospezioni condotte all'interno dell'accumulo detritico hanno permesso di accertare potenze variabili nell'ordine di 5-10 m nel settore prossimo alla corona di svuotamento (indagini geofisiche) fino a 15-20 m nel settore mediano (stese sismiche e sondaggi geognostici). L'accumulo detritico è composto da una successione di materiali sciolti ben assortiti, eterogenei ed eterometrici in cui prevalgono termini a prevalente frazione sabbioso-ghiaiosa con scaglie e frammenti lapidei. Nell'ambito dell'accumulo detritico è stato possibile discretizzare un primo orizzonte, aerato e scarsamente addensato, rappresentativo dei primi metri (0-5 m) e una sottostante successione contraddistinta da un maggiore grado di addensamento e dalla presenza di blocchi, trovanti e livelli lapidei completamente destrutturati e ridotti in breccia eterometrica.

Le evidenze di superficie, unitamente ad alcuni dati diretti (piezometri) e indiretti (velocità delle onde sismiche) suggeriscono che, almeno nella porzione medio-basale dell'accumulo sia presente una superficie di falda freatica a carattere permanente, libera di oscillare all'interno della successione detritica in funzione del regime termopluviometrico dell'area. In particolare, le evidenze di superficie accertate lungo la porzione settentrionale dell'accumulo detritico (vegetazione idrofila, zone di saturazione e ristagno) fanno supporre che in tale ambito la quota stazionaria della superficie di falda sia compresa entro i primi metri da p.c., mentre

nel settore meridionale, concordemente alle misure piezometriche disponibili (Romanelli S., 2005; Dassereto C., 2010) è ipotizzabile che la quota media sia localizzata a profondità superiori e sia limitata solamente alla porzione medio-basale dell'accumulo.

Tutti gli elementi descritti sono riportati in due sezioni stratigrafiche interpretative (**Fig. 1.5-1.6**):, elaborate sulla base della cartografia regionale in scala 1:5000 e utilizzate quale base di riferimento per l'esecuzione delle verifiche di stabilità del pendio.

## **9.0. CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI MATERIALI**

Una volta ricostruito l'assetto del sottosuolo relativo all'accumulo detritico oggetto di studio e alle aree limitrofe si è provveduto alla definizione del dataset dei parametri geotecnici e geomeccanici dei materiali individuati (coltre aerata scarsamente addensata, accumulo detritico mediamente addensato con blocchi, trovanti e livelli lapidei destrutturati, substrato roccioso in facies litoide) al fine di determinare i relativi valori caratteristici per l'esecuzione delle verifiche di stabilità del pendio conformi al D.M. 17.01.2018.

### **9.1. copertura aerata scarsamente addensata**

Tale orizzonte costituisce il livello più superficiale dell'accumulo gravitativo, aerato e scarsamente addensato, presente entro i primi metri da p.c. In considerazione della finalità del presente studio, al fine d'implementare i dati indiretti provenienti dalle prove penetrometriche medio-leggere, si è provveduto all'esecuzione di diversi campionamenti e setacciature lungo spaccati naturali e artificiali variamente distribuiti all'interno dell'accumulo gravitativo e della porzione di versante circostante al fine di ricostruirne il fuso granulometrico caratteristico.

Tali approfondimenti hanno permesso di accertare una sostanziale omogeneità composizionale del materiale, del tutto coerente con la natura del substrato roccioso di riferimento, con il meccanismo genetico e con gli esiti delle prove penetrometriche; le setacciature speditive hanno permesso di ricostruire la seguente composizione tipo: ghiaia: 5%-15%, sabbia: 40%-50%, limo/argilla: 25%-35% e scaglie lapidee: 5%-15%.

Tale fuso granulometrico consente di associare a tale materiale un comportamento geotecnico tipico di un mezzo granulare.

La definizione dell'angolo di resistenza al taglio è stata ricavata dagli esiti delle prove in sito, correlando il valore medio di  $N_{10}$  lungo la singola verticale a quello

delle prove S.P.T. (Standard Penetration Test) attraverso la seguente formulazione (Vannelli e Benassi, 1983):

1) se  $N_{10} < 15 \rightarrow N_{10} = N_{SPT}$  2) se  $N_{10} > 15 \rightarrow N_{10} = 1.2 N_{SPT}$ .

Una volta ricavato il corrispondente valore di  $N_{spt}$  si è provveduto ad applicare le seguenti correlazioni valide per sabbie in genere e per basse tensioni litostatiche:

Sowers:  $\varphi = 28 + 0.28 * N_{spt}$

Meyerhof:  $\varphi = 23.7 + 0.57 * N_{spt} - 0.006 * N_{spt}^2$  (% limo > 5%)

I risultati ottenuti sono riportati nel prospetto sottostante:

Prova	N <sub>10</sub>	N <sub>spt</sub>	Correlazione	
			Φ (°) – S	Φ (°) - Mey
PP1- 1999	7	7	30.0	27.4
PP2 -1999	8	8	30.2	27.9
PP1 - 2001	10	10	30.8	28.8
PP2 - 2001	8	8	30.2	27.9
PP- 2002	15	15	32.2	30.9
PP - 2004	7	7	30.0	27.4
PP1-2005	13	13	31.6	30.1
PP2-2005	7	7	30.0	27.4
PP3-2005	9	9	30.5	28.3
PP4-2005	9	9	30.5	28.3

La coesione drenata dev'essere considerata da nulla a trascurabile (< 5 kPa) in ragione del fuso granulometrico caratteristico e della scarsa rappresentatività percentuale della matrice fine.

Per quanto riguarda il peso di volume naturale è fatto riferimento a dati bibliografici di comprovata affidabilità (Bowles J., 1990; Lancellotta R., 1997), basati essenzialmente sul fuso granulometrico che consentono di attribuire un range di valori tra 17 kN/m<sup>3</sup> e 18 kN/m<sup>3</sup>.

Tale caratterizzazione fisico-meccanica si ritiene rappresentativa anche della copertura sciolta di natura eluvio-colluviale localizzata lungo la porzione apicale del versante, a margine dell'accumulo gravitativo in oggetto. I campionamenti e le setacciature effettuate su tale materiale, infatti, confermano il fuso granulometrico

caratteristico dell'orizzonte più superficiale dell'accumulo gravitativo sebbene sia contraddistinto da un differente meccanismo genetico.

## 9.2. coltre detritica mediamente addensata con trovanti

Si tratta di una successione sciolta estremamente eterogenea ed eterometrica di spessore nell'ordine di qualche metro lungo la porzione apicale dell'accumulo con trend crescente da monte verso valle, fino a raggiungere spessori nell'ordine di 15-20 m nel settore centrale del corpo geomorfologico. Dal punto di vista geotecnico tale successione è ascrivibile a sabbia argillosa con ghiaia, ghiaia argillosa con sabbia (v. analisi di laboratorio - Paragrafo 7.1.), breccia fine in scarsa matrice limoso-argillosa, blocchi e trovanti disarticolati o livelli lapidei completamente argillificati e destrutturati di transizione con il sottostante basamento lapideo in facies litoide.

La natura eterogenea della coltre detritica non permette di ricondurla con precisione a una tipologia geotecnica ben definita; nel caso di specie in termini di resistenza al taglio si ritiene plausibile associarvi un comportamento essenzialmente attritivo indotto dal mutuo incastro tra i singoli elementi costitutivi.

Dal punto di vista fisico-meccanico l'angolo di resistenza al taglio è stato ricavato adottando la medesima procedura impiegata per il sovrastante orizzonte sciolto aerato, utilizzando i risultati delle prove penetrometriche medio-leggere che ne hanno attraversato il livello più superficiale, unitamente agli esiti delle prove SPT eseguite a corredo dei sondaggi geognostici del 2005.

I risultati ottenuti sono riportati nel prospetto seguente:

Prova	N <sub>10</sub>	N <sub>spt</sub>	Correlazione	
			Φ (°) – S	Φ (°) - Mey
PP- 2002	25	21	33.8	33.0
PP1-2005	31	26	35.2	34.4
PP2-2005	31	26	35.2	34.4
PP3-2005	24	20	33.6	32.7
PP4-2005	19	16	32.4	31.2
S1-1	-	35	37.8	36.3
S2-1	-	25	35.0	34.2
S2-2	-	31	36.7	35.6

In considerazione della natura del materiale indagato la coesione drenata dev'essere considerata nulla o, al più trascurabile (5-10 kPa) in corrispondenza degli interlivelli argillificati o contraddistinti da una maggiore percentuale di matrice limoso-argillosa.

Per quanto riguarda il peso di volume naturale è fatto riferimento a dati bibliografici di comprovata affidabilità (Bowles J., 1990; Lancellotta R., 1997), basati essenzialmente sul fuso granulometrico che consentono di attribuire un range di valori tra 19 kN/m<sup>3</sup> e 20 kN/m<sup>3</sup>; relativamente alla porzione di accumulo detritico sottofalda è possibile considerare un peso di volume saturo tra 21 kN/m<sup>3</sup> e 22 kN/m<sup>3</sup> e un peso di volume immerso compreso tra 11 kN/m<sup>3</sup> e 12 kN/m<sup>3</sup>.

### **9.3. substrato roccioso**

Il substrato roccioso che costituisce l'ossatura del versante in esame è formato da sequenza di torbiditi calcareo marnose, calcarenitiche e marnose, con intercalazioni di argilliti grigio scure. Lungo il versante in oggetto il substrato roccioso è obliterato dal potente accumulo gravitativo oggetto di studio e affiora con una certa ricorrenza esclusivamente nella porzione apicale del pendio e lungo il crinale spartiacque.

Al fine di ottenere l'indice di qualità, l'ammasso roccioso è stato classificato attraverso i sistemi empirici di uso corrente: nel caso in esame sono stati adottati il Rock Mass Rating (R.M.R.) di Bieniawski (1989) e il Geological Strength Index (G.S.I.) nella formulazione proposta da Marinos & Hoek (2000).

Gli elementi necessari ad applicare questi sistemi (**Fig.1.8**) sono stati ricavati attraverso un approfondito rilevamento geomeccanico-strutturale lungo i principali affioramenti lapidei che ha consentito la determinazione della persistenza dei giunti e la taratura delle principali caratteristiche delle discontinuità, unitamente a correlazioni indirette con le velocità delle onde P ricavate dalle indagini geofisiche eseguite all'interno del corpo di frana.

#### **9.3.1 classificazione RMR**

Tale classificazione è stata sviluppata dagli anni 1972-1973 per gallerie e rocce competenti fratturate e ha rapidamente preso credito in generale per la classificazione dei substrati sia in ambito geologico sia ingegneristico; il valore RMR è dato dalla relazione:

$$B_{RMR}('89) = (R1+R2+R3+R4+R5) + R6$$

Sono di seguito forniti i valori dei suddetti parametri e i relativi coefficienti numerici assegnati dall'ultima versione del sistema (1989), tenendo presente che, per alcuni di questi si rilevano condizioni disperse: in questi casi si attribuisce un doppio punteggio in modo tale da pervenire ad un intervallo di valori relativi alla qualità dell'ammasso.

**R1 - Resistenza alla compressione monoassiale:** è stata ricavata indirettamente attraverso alcuni test con lo sclerometro tipo 'L' sugli affioramenti più rappresentativi all'intorno rispetto al corpo di frana, scegliendo superfici caratterizzate da roccia fresca o al più scarsamente alterata e seguendo le disposizioni dell'ISRM. I risultati, corretti in funzione dell'angolo formato dallo strumento con l'orizzontale durante la prova ( $\alpha=0$ ) hanno permesso di ottenere un range di valori compreso tra 30 MPa e 40 MPa, a cui viene attribuito un punteggio rispettivamente di **4 e 5**.

**R2 - R.Q.D.:** è stato derivato in affioramento mediante considerazioni qualitative sullo stato di fratturazione dell'ammasso; in ragione di quanto osservato si può ritenere valido un range compreso tra 20% e 30%, a cui corrisponde un punteggio pari a **5 e 6**.

**R3 - Spaziatura discontinuità:** il maggior numero di osservazioni indica una spaziatura compresa tra 6 cm e 20 cm, cui corrisponde un punteggio rispettivamente di **6 e 8**. Il restante numero di determinazioni indica una distanza tra i giunti anche inferiore a 6 cm, cui corrisponde un punteggio di **5**.

**R4 - Condizioni dei giunti:** l'indicazione delle condizioni medie delle discontinuità individuate comprende valutazioni articolate, il cui punteggio complessivo è fornito dalla somma delle seguenti caratteristiche:

Persistenza: da media a elevata, punti **2 e 1**

Apertura delle discontinuità: Dal rilevamento condotto emerge una certa dispersione del parametro e, pertanto, si è proceduto all'attribuzione di un doppio intervallo, rispettivamente tra 1 mm e 5 mm e superiore a 5 mm a cui sono associati rispettivamente punteggi pari a **1 e 0**.

Rugosità: giunti leggermente rugosi (JRC: 6-8) punti **3** e lisci (JCR: 2-4) punti **1**;

Riempimento = si rilevano più frequentemente patine di ossidazione e riempimenti di calcite oppure di natura limo-argillosa. Punteggio **2 e 4**.

Alterazione = giunti da mediamente a fortemente alterati, punti **3 e 1**

**R5 - Condizioni idrauliche:** stando a quanto rilevato in affioramento, si assegnano condizioni di marcata umidità lungo i giunti, cui corrisponde un punteggio di 7.

Per ciò che riguarda l'indice  $RMR_{base}$ , ossia senza assegnare il punteggio corrispondente all'orientazione dei giunti rispetto al pendio, si procede con la seguente relazione:

$$RMR_{base} = (R1+R2+R3+R4+R5) = 26 \div 39$$

Il valore dell'indice RMR, necessario per l'assegnazione della classe di qualità della roccia, deve essere condotto valutando l'orientazione delle discontinuità in rapporto alla disposizione del pendio: con riferimento all'orientazione del giunto di strato generalmente trasversale rispetto al pendio, si ritiene corretto indicare la classe intermedia, tralasciano il rating inferiore che penalizzerebbe eccessivamente il valore finale, si può indicare quindi un punteggio di -5

$$RMR_{corr} = RMR_{base} + R6 = RMR_{base} - 5$$

con la quale si ottiene un indice tra 21 e 34, che consente di classificare l'ammasso roccioso, in termini di qualità, in classe IV (scadente – **Fig. 1.8**).

Tale risultato è stato successivamente confrontato con gli esiti delle indagini geofisiche svolte all'interno del corpo di frana. L'indice di qualità dell'ammasso roccioso è stato ricavato utilizzando la relazione che correla il Q-index alla velocità delle onde di compressione  $V_p$  rilevate (Barton et al., 1992) secondo la relazione:

$$Q = 10^{(V_p - 3500)/1000}$$

Inserendo un range di  $V_p$  compreso tra 2200 m/s e 2400 m/s si ottiene un indice Q tra 0.05 e 0.08 e adottando la correlazione che lega l'indice Q con il RMR di Bieniawski (Coppola et al., 1994; 1992; Cortemiglia et al., 1996):

$$RMR = 9 \log Q + 44$$

si ricava un valore di RMR compreso tra 32 e 34 (classe IV – scadente), del tutto coerente con gli esiti del rilevamento di superficie.

### 9.3.2. classificazione GSI

Un approccio più moderno per la determinazione della qualità della roccia è quello che prevede l'uso del G.S.I. secondo il concetto sviluppato da Hoek di combinare l'assetto strutturale dell'ammasso con le caratteristiche delle discontinuità che lo separano. In questo modo si determina un valore indice che permette una valutazione accurata della resistenza e della deformabilità di un ammasso roccioso, correlato al valore del RMR di Bieniawski (1989) introducendo un predeterminato punteggio relativo alle condizioni idrauliche ( $R_5=15$ ) ed all'orientazione dei giunti ( $R_6=0$ ) secondo la relazione:

$$GSI = RMR('89) - 5 = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + 15) - 5$$

con la quale si ottiene un indice tra 29 e 42. Tale range appare sostanzialmente in accordo con quanto riportato dagli Autori per le formazioni flyschoidi di tipo B "*strati fragili e sottili strati duttili*" e C "*strato fragili e strati duttili in ugual misura*" (**Fig. 1.8**), del tutto confrontabili con le successioni osservate in affioramento. Il peso di volume è stimato tra 25.5 kN/m<sup>3</sup> e 26.5 kN/m<sup>3</sup>.

In riferimento alla finalità del presente studio, alla scala di analisi e al grado di fratturazione dell'ammasso è possibile assegnare al mezzo un comportamento isotropo e adottare il modello *continuo-equivalente*. I parametri di resistenza al taglio sono stati desunti con il programma di calcolo RocLab 1.031 (**Fig. 1.9**), attraverso l'involuppo a rottura stabilito con il criterio empirico di Hoek-Brown (Hoek et al., 2002), adottando un fattore di disturbo ( $D$ )= 0, una costante  $m_i = 7 \pm 2$  (*chalk*), un modulus ratio ( $MR$ ) = 1000 (Hoek & Diederichs, 2005) e un peso di volume di 26 kN/m<sup>3</sup>. Variando nell'apposito programma di calcolo gli estremi e il valore medio di G.S.I. (29, 35, 42) con il limite inferiore e superiore di resistenza alla compressione monoassiale (30 MPa e 40 MPa) riportati in precedenza entro il campo di tensione litostatica entro cui si ritrova il livello al di sotto dell'accumulo detritico (130-520 kPa) sono stati ricavati i seguenti valori:

Tens. Lito (kPa)	G.S.I.	Res. Compr. (MPa)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito (°)	Modulo elastico (MPa)
130	29	30	83	52	2290
	29	40	101	54	3054
	35	30	112	54	3402

	35	40	140	56	4536
	42	30	162	55	5489
	42	40	207	57	7318
520	29	30	150	43	2290
	29	40	173	45	3054
	35	30	183	46	3402
	35	40	215	47	4536
	42	30	234	48	5489
	42	40	282	49	7318

## 10.0. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO

Nell'ambito degli approfondimenti di carattere geologico previsti dalla normativa vigente per la proposta di ripermetrazione del corpo di frana quiescente, sono state eseguite specifiche verifiche di stabilità del versante sulla base della modellazione geologica del sito ricostruita in precedenza, definendo i parametri geotecnici caratteristici degli orizzonti stratigrafici individuati e i parametri di pericolosità sismica sito specifici. La procedura adottata è illustrata nei paragrafi successivi.

### 10.1. parametri geotecnici caratteristici

Il concetto di valore caratteristico di un parametro consiste nella definizione dell'intera distribuzione statistica dei dati d'interesse mediante una stima puntuale a carattere cautelativo (modello semiprobabilistico). Tale stima è generalmente individuata da un basso percentile, calcolato sulla distribuzione del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite.

Definire il valore caratteristico significa, pertanto, scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite e adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza.

Secondo quanto contenuto nelle NTC 2018 per grandi volumi di terreno (come nel caso di specie) il valore caratteristico di un parametro può essere considerato prossimo al valore medio del dataset a disposizione al netto della deviazione standard; rispetto a tale procedura si è scelto l'impiego di un metodo più conservativo secondo il quale la derivazione del valore caratteristico è definita sulla probabilità calcolata del 5% che ci sia un valore peggiore (più sfavorevole) che governa l'insorgere dello stato limite.

La definizione dei parametri caratteristici è stata ottenuta ricorrendo alla statistica classica con ipotesi di varianza nota, applicando la formulazione seguente, valida nel caso di stime in presenza di pochi dati di ingresso:

$$V_k = V_m \pm X \cdot V_n$$

dove:  $V_n$  rappresenta il coefficiente di variazione (COV) del parametro  $n$ , definito come il rapporto tra lo scarto quadratico medio (deviazione standard) e la media dei valori di  $n$ ;  $X$  è un parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata, nel caso di frattile 5% è pari a -1.645.

I valori caratteristici dei parametri dei materiali, ricavati utilizzando i rispettivi dataset riportati ai Paragrafi 9.1-9.2-9.3, sono riassunti nelle **Figg. 3.1-3.2-3.3** e riportati nella tabella seguente per pronto riferimento:

<b>Materiali</b>	<b>Angolo attrito (<math>\varphi'_k</math>)</b>	<b>Coesione drenata (<math>c'_k</math>)</b>	<b>Peso di volume (<math>\gamma_k</math>)</b>
<b>Copertura aerata</b>	28.4°	0 kPa	17.7 kN/m <sup>3</sup>
<b>Coltre detritica</b>	33.1°	0 kPa	21.8 kN/m <sup>3</sup>
<b>Substrato roccioso</b>	48.1°	137.8 kPa	26.3 kN/m <sup>3</sup>

## 10.2. parametri sismici

Per quanto riguarda l'esecuzione delle verifiche di stabilità in condizioni dinamiche occorre derivare le azioni sismiche di progetto e i parametri sismici sito specifici che secondo quanto contenuto nelle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base espressa a sua volta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$ , nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$  con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . Gli spettri sismici dipendono in particolare dalle coordinate geografiche del sito, pertanto, al fine di ricavare i valori dei parametri a partire dai nodi del reticolo di riferimento per un assegnato periodo di ritorno, sono riportate le coordinate geografiche medie dell'area di studio: latitudine: 44,42707 N, longitudine: 8.938397 e (sistema ED50).

Lo spettro in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido ( $V_s > 800$  m/s) con superficie topografica orizzontale deve, poi, essere modificato considerando le condizioni stratigrafiche e topografiche specifiche dell'area d'intervento.

Nel caso in esame per quanto riguarda l'amplificazione stratigrafica la conoscenza dell'area d'intervento e della natura dei materiali consente l'applicazione dell'approccio semplificato che si basa sull'attribuzione di una delle categorie di sottosuolo definite nella tabella 3.2.II. delle NTC 2018 in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  secondo l'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:  $h_i$  = spessore dell' $i$ -esimo strato;  $V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;  $N$  = numero di strati;  $H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Nel caso di specie, le  $V_s$  di ciascun orizzonte sismico sono state ricavate a partire dai dati sulla velocità media delle onde di volume ottenute dalle indagini geofisiche eseguite in questa sede all'interno del corpo di frana (cfr. Paragrafo 7.3), mediando il coefficiente di Poisson di ciascun mezzo secondo il seguente schema (Norinelli, 1996):

<b>Materiale</b>	<b>Coefficiente di Poisson</b>	<b>Vp/Vs</b>	<b>Vp/Vs medio</b>
Rocce	0.2	1.63	1.75
	0.3	1.87	
Sabbie	0.35	2.08	2.70
	0.45	3.32	

Nel caso in esame tenuto conto degli esiti delle prospezioni dirette e indirette e dello sviluppo del corpo di frana oggetto di studio sono di seguito proposte due differenti configurazioni del sottosuolo, rappresentative rispettivamente della porzione apicale e del settore medio-basale dell'accumulo detritico.

## CASO 1: settore apicale

Potenza	Descrizione	V <sub>p</sub> media (m/s)	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	V <sub>s</sub> (m/s)
5 m	Copertura aerata	1000	2.70	370
da 5 m	Substrato roccioso	2300	1.75	1314
V <sub>s,eq</sub>				370

## CASO 2: settore medio-basale.

Potenza	Descrizione	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	V <sub>s</sub> (m/s)
5 m	Copertura aerata	1000	2.70	370
5-15 m	Copertura detritica mediamente addensata	1850	2.70	685
da 20 m	Substrato roccioso strutturato	2300	1.75	1314
V <sub>s,eq</sub>				481-565

Pertanto seguendo quanto contenuto nelle NTC 2018 per l'ambito esaminato si può ritenere valida una categoria di tipo B *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*.

Per quanto riguarda gli effetti topografici, ovvero la modifica dell'azione sismica indotta dalla geometria superficiale del terreno, la morfologia del sito d'intervento è associabile alla categoria T2 (pendii con inclinazione media > 15°) della Tabella 3.2.III delle Nuove Norme Tecniche.

I parametri di pericolosità sismica necessari per le verifiche agli stati limite in condizioni dinamiche sono stati derivati con apposito programma di calcolo (Geostru-PS, 2009) e riassunti nella **Fig. 3.4** imponendo, in considerazione del contesto antropico della zona, una vita nominale di 50 anni (opere ordinarie) e una classe d'uso II (costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali).

### 10.3. verifiche analitiche

Lungo le sezioni stratigrafiche 1-1 e 2-2 (**Figg. 1.5-1.6**) sono state condotte delle specifiche analisi di stabilità con il codice Slide v.5.003, sulla base della

modellazione geologica ricostruita e utilizzando i parametri geotecnici caratteristici, in conformità a quanto richiesto per le verifiche di sicurezza dei pendii naturali al punto 6.3.4. delle N.T.C. 2018; la maglia di indagine è stata sufficientemente estesa per verificare tutti i possibili cerchi di scorrimento nel versante simulando superfici di rottura di tipo circolare in rapporto all'assenza d'informazioni specifiche in merito alla presenza di un piano di scivolamento precostituito e inattivo.

Nelle valutazioni analitiche è stata, inoltre, introdotta una superficie di falda ricavata sulla base di specifiche informazioni idrogeologiche (sezione 2-2) e delle evidenze di superficie (sezione 1-1). Le verifiche sono state eseguite utilizzando i metodi di Janbu corrected e di Morgenstern-Price, validi per qualunque superficie di tipo circolare e in grado di soddisfare sia l'equilibrio delle forze in direzione verticale e orizzontale sia l'equilibrio dei momenti.

Le analisi sono state condotte in condizioni dinamiche (S.L.V.) ricavando le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica dalle seguenti relazioni:

$$F_H = k_h * W; \quad F_V = k_v * W$$

dove:  $K_h = 0.020$      $K_v = 0.010$

I risultati ottenuti sono riassunti nel prospetto seguente, mentre le analisi di stabilità in forma grafica sono riportate nelle **Fig. 3.5** e **3.6**:

<b>Figura</b>	<b>Condizioni di Verifica</b>	<b>Janbu corrected</b>	<b>Morgenstern-Price</b>
3.5a	Sezione 1-1 statica	1.15	1.16
3.5b	Sezione 1-1 dinamica	1.09	1.09
3.6a	Sezione 2-2 statica	1.38	1.37
3.6b	Sezione 2-2 dinamica	1.31	1.31

Relativamente alla sezione 2-2- le verifiche analitiche hanno consentito il raggiungimento di condizioni di stabilità più che soddisfacenti, con un fattore di sicurezza superiore a 1.3 sia in condizioni statiche sia introducendo una sollecitazione sismica. I cerchi di scorrimento minimi sono in prevalenza superficiali e concentrati nella porzione medio-basale dell'accumulo detritico contraddistinta dai maggiori spessori e risentono, almeno in parte, della geometria del pendio, mentre i cerchi di scorrimento profondi e/o ubicati nel settore medio-apicale dell'accumulo sono contraddistinti da margini di sicurezza superiori, in coerenza con la minore

rappresentatività verticale dell'accumulo e con un approfondimento della soggiacenza della superficie di falda.

Tenuto conto del buon livello di conoscenza del sottosuolo acquisito in tale comparto, ottenuto sia da dati diretti (sondaggi a carotaggio continuo) sia indiretti (prove penetrometriche medio-leggere e indagini geofisiche) variamente distribuiti lungo il profilo di verifica, dell'affidabilità dei dati disponibili sia di tipo geotecnico sia idrogeologico e del modello di calcolo adottato, si ritiene che i risultati ottenuti consentano di raggiungere un adeguato margine di sicurezza nei confronti della condizione di equilibrio limite del versante (stato di quiescenza) tale da ritenere la porzione meridionale dell'accumulo gravitativo inattiva e stabilizzata.

Relativamente alla sezione 1-1 le verifiche analitiche effettuate hanno consentito di ottenere coefficienti di sicurezza nell'ordine 1.1-1.15 sia in condizioni statiche sia introducendo una sollecitazione dinamica. I cerchi di scorrimento minimi, in particolare, sono localizzati nella porzione mediana del corpo di frana e appaiono condizionati sia dalla geometria del pendio, contraddistinto da un incremento in termini di pendenza rispetto alle porzioni adiacenti sia soprattutto dalla maggiore soggiacenza della falda freatica, ipotizzata sulla base delle evidenze di superficie e di considerazioni di natura geomorfologica.

Occorre, inoltre, evidenziare che in tale settore non è stato possibile reperire dati stratigrafici e idrogeologici diretti e il dettaglio con cui è stato ricostruito l'assetto del sottosuolo appare affetto da un maggiore grado d'incertezza rispetto al profilo di verifica 2-2.

Sulla base di tali considerazioni si ritiene che le restituzioni analitiche ottenute non consentano il raggiungimento di un adeguato margine di sicurezza in ordine alla condizione di equilibrio limite tale da consentire di svincolare la porzione settentrionale dell'accumulo dallo stato di quiescenza in cui è classificata.

## **11.0. PROCEDURA DI RIPERIMETRAZIONE**

Sulla base degli indirizzi formulati dalla D.G.R. 265/2010, sono di seguito illustrate le diverse fasi adottate nell'ambito del processo di approfondimento conoscitivo dell'area, in modo da poter definire l'*indice di cinematicità territoriale "g"* relativamente all'intera porzione di versante interessata. La procedura di riperimetrazione ha seguito un processo di approfondimento che si sviluppa in tre fasi consequenziali, riassunte come segue:

- fase 1: riconoscimento di indicatori geomorfologici in grado di definire unità territoriali omogenee (u.t.o.) che presentano un indice cinematico pari a zero ( $g = 0$ ) e che possono essere soggette a riclassificazione;
- fase 2: analisi fotointerpretativa multitemporale riferita a un congruo periodo precedente al momento di applicazione della procedura;
- fase 3: ricerca storica di eventuali dinamiche avvenute nel settore oggetto di studio.

Qualora l'analisi fotointerpretativa e la ricerca storica non forniscano riscontri di situazioni d'instabilità pregressi riguardanti l'area d'interesse, è possibile procedere alla ripermimetrazione dell'area ad elevata suscettività al dissesto (Frana quiescente), escludendo dal perimetro della zona Pg3b l'areale avente l'indice  $g=0$  (assenza di indicatori geomorfologici negativi). Le aree che risultano suscettibili di ripermimetrazione devono rispettare la condizione di non interferenza con le dinamiche evolutive del corpo geomorfologico residuo.

### **11.1 indicatori geomorfologici**

Sulla base del rilevamento diretto sul terreno unitamente alla foto interpretazione e a tutte le informazioni disponibili nella cartografia esistente, sono riportati graficamente su base CTR a scala 1:5000 gli indicatori geomorfologici significativi per l'individuazione di movimenti gravitativi potenziali.

#### ***I<sub>1</sub> - evidenza di scarpate crepacci con bordi netti (Fig. 4.1)***

In accordo con l'accertata condizione d'inattività del corpo di frana esaminato gli studi effettuati non hanno evidenziato la presenza di scarpate di neoformazione e/o crepacci nel terreno. Lungo la porzione medio-apicale del pendio, contraddistinta da valori di acclività medio-elevati e da una copertura vegetale compatta, non sono state individuate aree denudate o soggette a erosione accelerata da parte della gravità e delle acque correnti e le condizioni del versante appaiono omogenee rispetto alle zone limitrofe, senza evidenze di criticità in atto.

La porzione di versante sottostante interessato dall'accumulo detritico è, invece, contraddistinta da forme del rilievo meno accentuate, associate a un significativo presidio del territorio che, unitamente alla vocazione agricola del comparto, ha favorito la riprofilatura del pendio mediante più ordini di terrazzamenti e la regolarizzazione generale del profilo originario.

***I<sub>2</sub> - nette variazioni di curvatura lungo il profilo del versante (Fig. 4.1)***

Procedendo dal crinale verso il fondovalle, il versante esaminato mostra, fino all'isoipsa dei 280 m s.l.m., pendenze comprese tra 25° e 35° e un profilo longitudinale piuttosto regolare, con una conformazione generale a impluvio.

A partire da tale isoipsa fino ai 240 m s.l.m. è, invece, presente una fascia contraddistinta da una significativa variazione di acclività con una sensibile riduzione delle pendenze ascrivibile al passaggio tra l'antica scarpata di arretramento a monte e l'accumulo detritico a valle.

Quest'ultimo è caratterizzato da pendenze comprese tra 10° e 20° che delineano un comparto morfologico generale piuttosto omogeneo, in cui si rilevano alla scala locale settori secondari subpianeggianti e/o in debole contropendenza, soprattutto in corrispondenza della fascia dei 200-210 m s.l.m. e nel settore settentrionale dell'accumulo detritico, in quest'ultimo caso associate a zone a impregnazione diffusa e con vegetazione idrofila.

Relativamente al settore meridionale del corpo di frana si osserva, inoltre, come le caratteristiche di acclività siano facilmente confrontabili e conformi alle pendenze rilevate nel tratto di versante adiacente ed esterno al perimetro del corpo di frana quiescente.

***I<sub>3</sub> - sconvolgimento del sistema di drenaggio ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dall'alveo fluviale (Fig. 4.2)***

La vicinanza della linea di crinale principale limita i deflussi superficiali nel settore in esame e il sistema di drenaggio naturale è poco definito, mal gerarchizzato, evidenziando una forte componente di assorbimento della zona, con un contributo profondo legato all'infiltrazione efficace proveniente dalla porzione medio-apicale del pendio, controllata dall'orientazione e dalle caratteristiche delle diverse famiglie di discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso e un'aliquota dovuta all'infiltrazione diretta all'interno dell'accumulo detritico, favorita dai ridotti valori di acclività e dall'uso del suolo.

Tale aspetto genera un certo disordine idraulico nel settore nord-orientale dell'accumulo detritico, dove si rileva la presenza di alcune zone in contropendenza e di ristagno prolungato dell'acqua, con un reticolo di drenaggio superficiale fittizio e incompleto. Sulla base delle evidenze di superficie (vegetazione idrofila), è

presumibile che in tale comparto in concomitanza di periodi di intense precipitazioni la superficie di falda risalga fino a lambire il p.c. generando estese zone di saturazione e impregnazione.

***I<sub>4</sub> - assenza di sviluppo di suolo, affioramenti di substrato (Fig. 4.2)***

Lungo la porzione medio-basale del versante interessato dall'accumulo gravitativo è presente con continuità un orizzonte sciolto che raggiunge spessori anche nell'ordine di 15-20 m. In tale ambito i bassi valori di acclività hanno favorito il presidio del territorio e l'utilizzo agricolo dei terreni; la condizione di superficie è, pertanto, rappresentata da settori a fondo prativo e/o con essenze a medio-alto fusto di varia natura (frutteti e/o uliveti).

Nel tratto apicale del pendio la potenza della copertura sciolta tende a ridursi progressivamente verso il crinale spartiacque, associata a un sensibile incremento dei valori di acclività e alla presenza di diversi affioramenti del substrato roccioso, quest'ultimi contraddistinti da un grado di fratturazione piuttosto pervasivo anche alla scala dell'affioramento.

Sebbene non siano state individuate aree denudate e/o scarpate di neoformazione, la presenza in diversi settori del substrato roccioso in condizioni di subaffioramento limita sensibilmente la formazione di suolo, con lo sviluppo di un sottile orizzonte di cotico vegetale facilmente asportabile dall'azione erosiva delle acque ruscellanti, contraddistinte da una significativa indisciplina in rapporto alla configurazione boscata.

***I<sub>5</sub> - differenze nette di vegetazione all'interno del perimetro della frana (Fig. 4.3)***

Con riferimento al punto precedente nel comparto esaminato è possibile distinguere due ambiti differenti, strettamente connessi alla morfologia e alle condizioni del corpo gravitativo.

All'interno dell'accumulo detritico il presidio del territorio, consolidato da tempo, ha favorito lo sviluppo e il mantenimento di terreni utilizzati a fini agricoli o adibiti a uliveto e frutteto, disposti su più ordini di terrazzamenti in pietra a secco. Le condizioni di manutenzione dei terreni sono in prevalenza buone e solo in corrispondenza del settore basale del pendio sono individuabili alcune porzioni incolte e/o interessate da vegetazione infestante.

Lungo il tratto apicale del versante, interessato dall'antica nicchia di arretramento, gli elevati valori di acclività hanno condizionato e limitato sensibilmente il presidio del territorio favorendo il mantenimento di ampi settori boscati disposti lungo il

profilo originario del pendio, contraddistinti da una buona efficienza idrogeologica e da un significativo degrado delle essenze vegetali indotto dalle condizioni di incuria e abbandono in cui versano.

#### ***I<sub>6</sub> - alberi inclinati (Fig. 4.3)***

Le osservazioni condotte lungo il settore boscato presente in corrispondenza dell'antica nicchia di arretramento hanno evidenziato uno stato di salute delle essenze ad alto fusto non sempre ottimale a causa dello stato di generale abbandono del comparto. In tale contesto sono stati osservati diversi alberi con inclinazione verso valle; tale aspetto si ritiene riconducibile a criticità locali indotte da smottamenti e dissesti puntuali della copertura sciolta che testimoniano condizioni di stabilità prossime all'equilibrio limite (stato di quiescenza), mentre non sono stati rilevati settori con essenze contraddistinte da curvature anomale nella crescita rappresentative di movimenti superficiali della copertura sciolta a carattere areale.

Nella zona di accumulo insediata le osservazioni sulle essenze presenti lungo le vie carrabili pubbliche e private non hanno indicato indizi di movimento e hanno permesso di constatare buone condizioni di salute e fusto dritto.

#### ***I<sub>7</sub> - lesioni negli edifici o in altre opere antropiche (Fig. 4.4)***

Le osservazioni condotte sulle preesistenze edilizie presenti all'interno dell'accumulo gravitativo non hanno evidenziato lesioni pervasive sia a carico dei fabbricati sia delle opere di presidio dei terreni e delle infrastrutture riconducibili a movimenti gravitativi di versante.

I locali spanciamenti individuati in corrispondenza di alcuni muri di contenimento in pietra a secco di antico impianto sono riconducibili a fattori di natura essenzialmente locale connessi all'epoca di realizzazione e all'assenza di manutenzione periodica. Tali condizioni sono rilevabili e ricorrenti anche nelle aree limitrofe, all'esterno del perimetro di frana.

Per meglio illustrare le differenze che sussistono all'interno del perimetro di frana oggetto di riclassificazione, sono riportati nella tabella seguente gli indicatori geomorfologici suddivisi per ambito, assegnando il valore 1 in caso di presenza e valore 0 in caso di assenza.

Indicatore geomorfologico	Ambito superiore	Ambito mediano ed inferiore	
		Settore SUD	Settore NORD
I <sub>1</sub> evidenza di scarpate crepacci con bordi netti	0	0	0
I <sub>2</sub> nette variazioni di curvatura lungo il profilo del versante	1	0	0
I <sub>3</sub> sconvolgimento del sistema di drenaggio ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dall'alveo fluviale	0	0	1
I <sub>4</sub> assenza di sviluppo di suolo e/o affioramenti di substrato	1	0	0
I <sub>5</sub> differenze nette di vegetazione all'interno del perimetro della frana	1	0	0
I <sub>6</sub> alberi inclinati	1	0	0
I <sub>7</sub> lesioni negli edifici o in altre opere antropiche	0	0	0
<b>Indice di cinematicità territoriale "g"</b>	<b>g&gt;0</b>	<b>g=0</b>	<b>g&gt; 0</b>

I tre settori individuati sono evidenziati con colorazioni diverse in ragione della presenza o dell'assenza dei singoli indicatori. Successivamente è valutato l'indice di cinematicità territoriale "g" complessivo.

### **11.2. analisi fotointerpretativa multitemporale**

L'analisi fotointerpretativa multitemporale è stata condotta esaminando alcune serie di foto aeree e riprese satellitari:

*Regione Liguria – riprese satellitari:*

- satellite Ikonos con risoluzione a terra di cm 100 dell'aprile 2001;
- satellite Quick Bird con risoluzione a terra di cm 70 del maggio 2003;
- satellite Quick Bird con risoluzione a terra di cm 70 dell'agosto 2004.

*Regione Liguria – foto aeree:*

1973-1974 - Volo 1 Alto copertura Regionale  
1980 - Volo 3 Alto Genova  
1988-1990 – Volo 5 Alto copertura Regionale  
1991 Volo 6 – Alto costiero  
1992 Volo 18 e 19 - Alluvione 1992  
1992 Volo 7 – Alto Savona Genova Spezia  
1993 Volo 20 – Alto alluvione 1993e Basso Costiero  
1994 Volo 17 e 24 -Alto copertura regionale e Alluvione  
1995 Volo 12 – Alto Imperia Genova e Spezia  
1999 Volo 49 – Alto Genova  
2003 Volo 63 e 64 - Alto e basso Genova  
2006 Volo 72 – Genova

L'assetto geomorfologico del versante appare pienamente coincidente con quello attuale. In particolare nel settore oggetto di proposta di ripermetrazione non emergono indizi geomorfologici rappresentativi di evoluzioni recenti del corpo gravitativo.

**11.3 ricerca storica di eventuali segnalazioni d'instabilità**

La ricerca storica di eventuali segnalazioni di fenomeni d'instabilità geomorfologica della porzione di versante oggetto di ripermetrazione, effettuata presso gli archivi cartacei e informatici a livello comunale, provinciale e regionale, non ha fornito alcuna documentazione in merito.

Tale corpo gravitativo non è riportato nel catalogo dei principali movimenti franosi del Piano di Bacino del T. Bisagno e, pertanto, non è stato possibile reperire alcuna informazione aggiuntiva in merito.

Dall'interrogazione del portale cartografico IFFI è emerso che la valutazione del movimento e dell'attività del corpo di frana quiescente (ID: 0100245800) è stata effettuata sulla base di dati storici e di archivio e all'interno del suddetto corpo geomorfologico non sono stati segnalati danni ai beni e alle persone e conseguentemente non sono indicati interventi di bonifica.

Ulteriori informazioni storiche sulle condizioni di stabilità dell'area si possono ottenere valutando i dati satellitari PSInSAR<sup>TM</sup> e la cartografia relativa alle aree anomale disponibili nell'intorno dell'area in oggetto e riportate nel portale cartografico della Regione Liguria.

Tale tecnica si basa sull'osservazione di bersagli radar noti come diffusori permanenti (*Permanent Scatterers* o PS), ovvero oggetti presenti sul terreno che sono identificati dal satellite grazie a loro particolari caratteristiche elettromagnetiche (parti di edifici, strutture metalliche, rocce esposte) e che forniscono informazioni sul moto del punto osservato.

L'area in esame è coperta dai satelliti ERS (periodo 1992-2001) ed ENVISAT (periodo 2002-2008) che identificano diversi permanent scatteres (PS) all'interno del corpo gravitativo quiescente. L'analisi dei singoli dati PS ha evidenziato spostamenti verticali dei punti visibili prossimi alla condizione di stazionarietà e, conseguentemente, non è stata identificata alcuna area anomala.

## **12.0. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Nel presente documento sono illustrate le caratteristiche geologico-geomorfologiche, idrografiche, idrogeologiche e stratigrafiche del settore di versante in località San Pantaleo nel Comune di Genova, con l'obiettivo di proporre una ripermimetrazione della frana quiescente identificata nella carta della franosità reale del Piano di Bacino del T. Bisagno con il codice 42.

Sulla base di tutte le indagini condotte e della procedura indicata nella D.G.R. 265/10, la porzione di versante è stata suddivisa in tre ambiti geomorfologici distinti, rappresentativi di unità territoriali omogenee. Il primo, definito **ambito superiore**, comprende un settore a medio-elevata acclività, boscato, localizzato tra il crinale spartiacque e Via Carso, interessato da roccia affiorante e/o subaffiorante con coperture sciolte sottili e identificato, sulla base degli indicatori cinematici rilevati, come l'antica scarpata di distacco, inattiva-quiescente.

Gli altri due ambiti (**nord-occidentale e sud-orientale**) comprendono, di fatto, l'accumulo di frana e sono contraddistinti da modeste pendenze e da una copertura detritica di spessore plurimetrico spesso riprofilata a terrazzamenti, sede di falda permanente almeno nel settore medio-basale.

Nell'ambito **nord-occidentale** sono state osservate alcune zone in contropendenza e di ristagno prolungato dell'acqua, associate alla presenza di vegetazione idrofila che suggeriscono una risalita della superficie di falda soprattutto in concomitanza di apporti pluviometrici eccezionali e/o prolungati con condizionamenti sulla stabilità globale dell'area (v. verifiche analitiche sezione 1-1).

Nell'ambito **sud-orientale**, invece, è stata rilevata l'assenza di indicatori geomorfologici (indice  $g = 0$ ) e, concordemente alle informazioni di carattere bibliografico e agli esiti della metodologia operativa integrata adottata (rilevamento geologico, indagini in sito, verifiche di stabilità, analisi fotointerpretativa multitemporale e ricerca storica) si ritiene sussistano le condizioni per procedere all'esclusione di tale areale dal perimetro della zona Pg3a, con conseguente classificazione della porzione indicata negli elaborati grafici (**All.4-Fig. 4.5**) in zona con grado di suscettività al dissesto più basso (Pg3b).

Questa modifica non comporta interferenze di alcun genere sulle dinamiche evolutive della porzione di area residua.

Genova, marzo 2019

Dott. Geol. Luca Sivori



A circular professional stamp for Luca Sivori, a geologist in Liguria. The stamp contains the text: "ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA", "A.P. n. 495", "LUCA SIVORI", "GEOLOGO", and "data iscr. 10-01-2004".

Dott. Geol. Fabio Tedeschi



A circular professional stamp for Fabio Tedeschi, a geologist in Liguria. The stamp contains the text: "ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA", "A.P. n. 550", "FABIO TEDESCHI", "GEOLOGO", and "data iscr. 10-01-2007".

## **ALLEGATO 1 – FIGURE**

Figura 1.1: Inquadramento cartografico

Figura 1.2: Estratti cartografici P. di B.

Figura 1.3: Carta geologica Foglio CARG

Figura 1.4: Carta geomorfologica

Figura 1.5: Sezione geologica 1-1

Figura 1.6: Sezione geologica 2-2

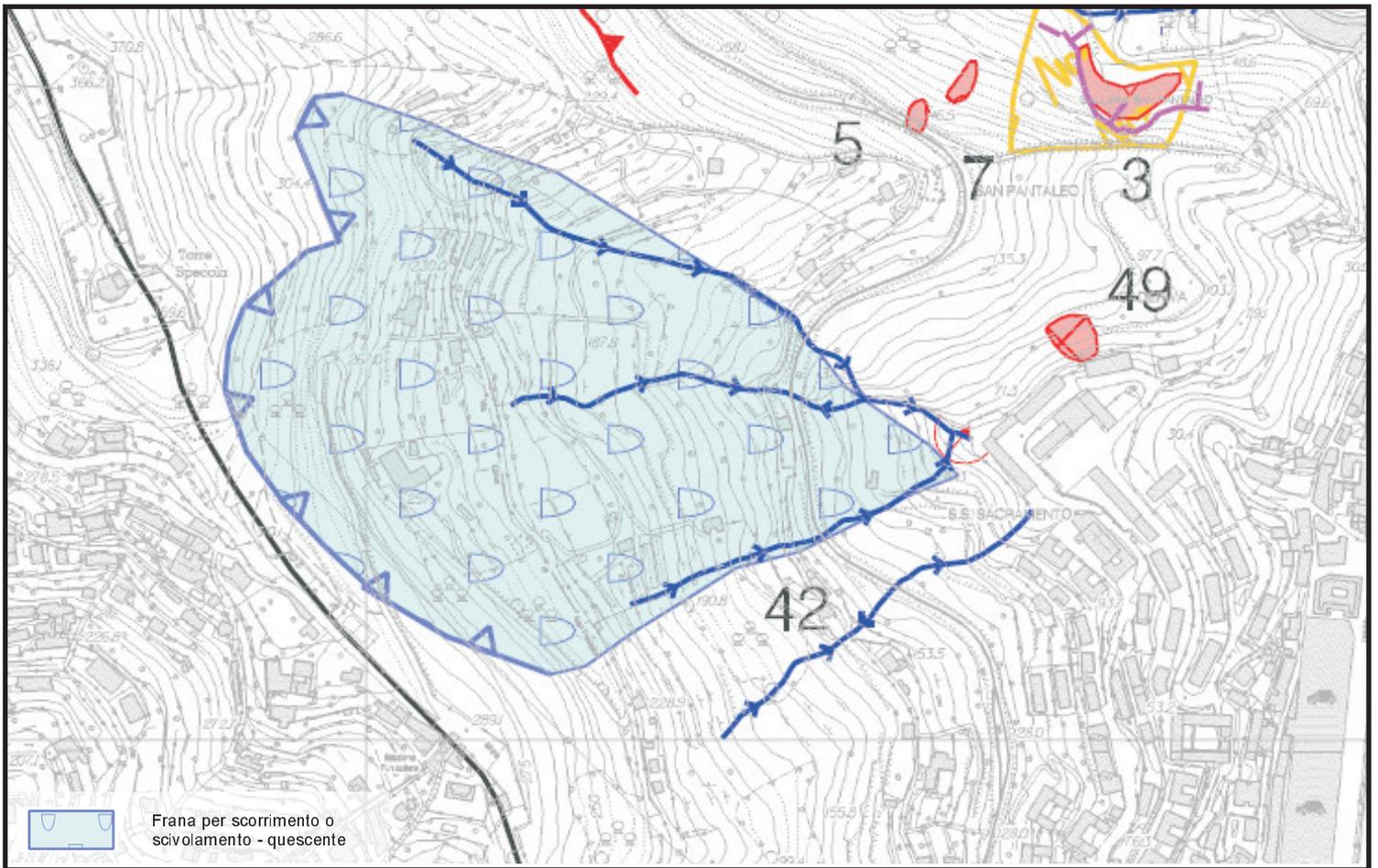
Figura 1.7: Carta delle prospezioni e rete di monitoraggio

Figura 1.8: Tabella classificazione RMR GSI

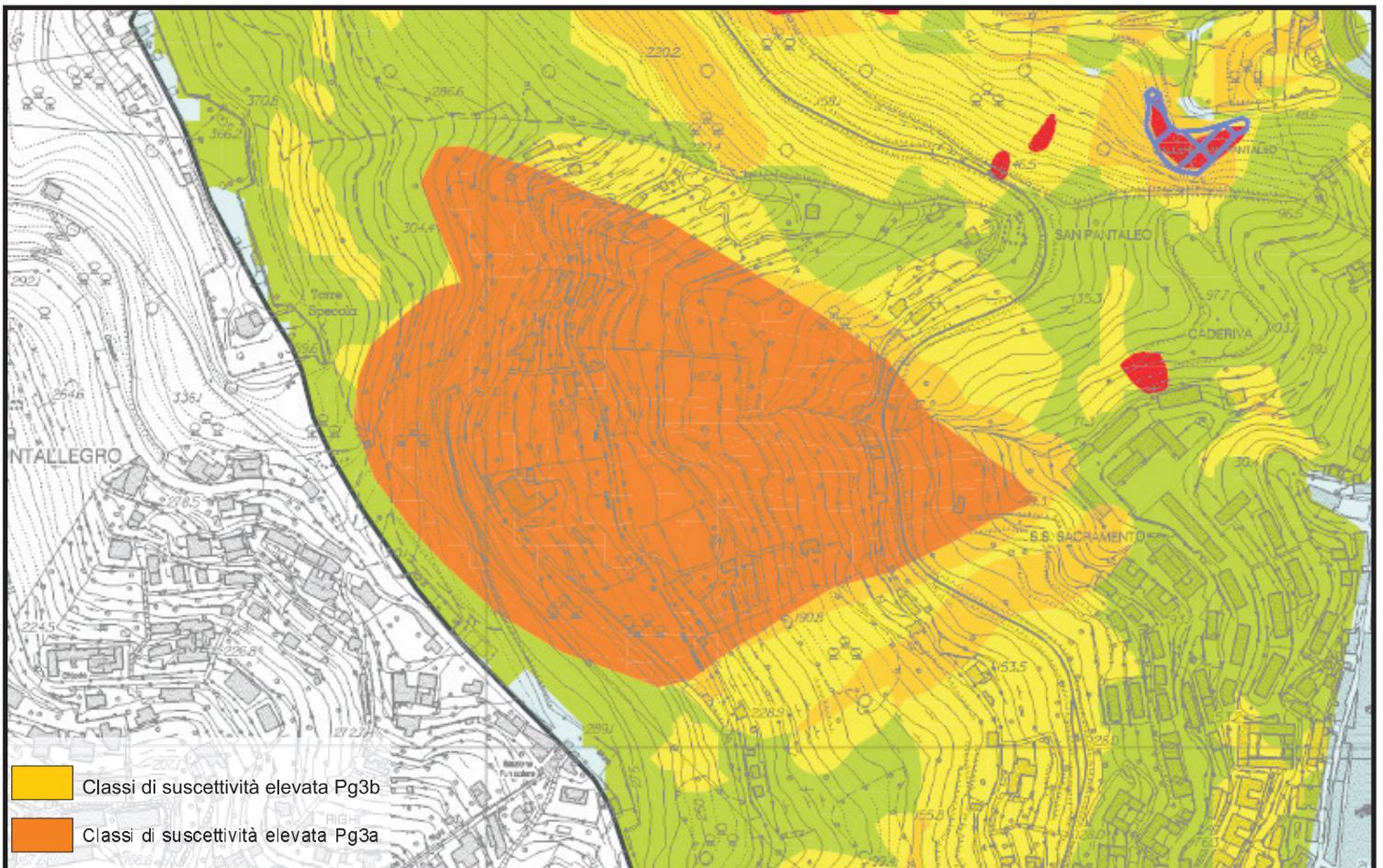
Figura 1.9: Involuppi a rottura a.r.



**FIGURA 1.1**  
**COROGRAFIA DELL'AREA**  
in scala 1:25000

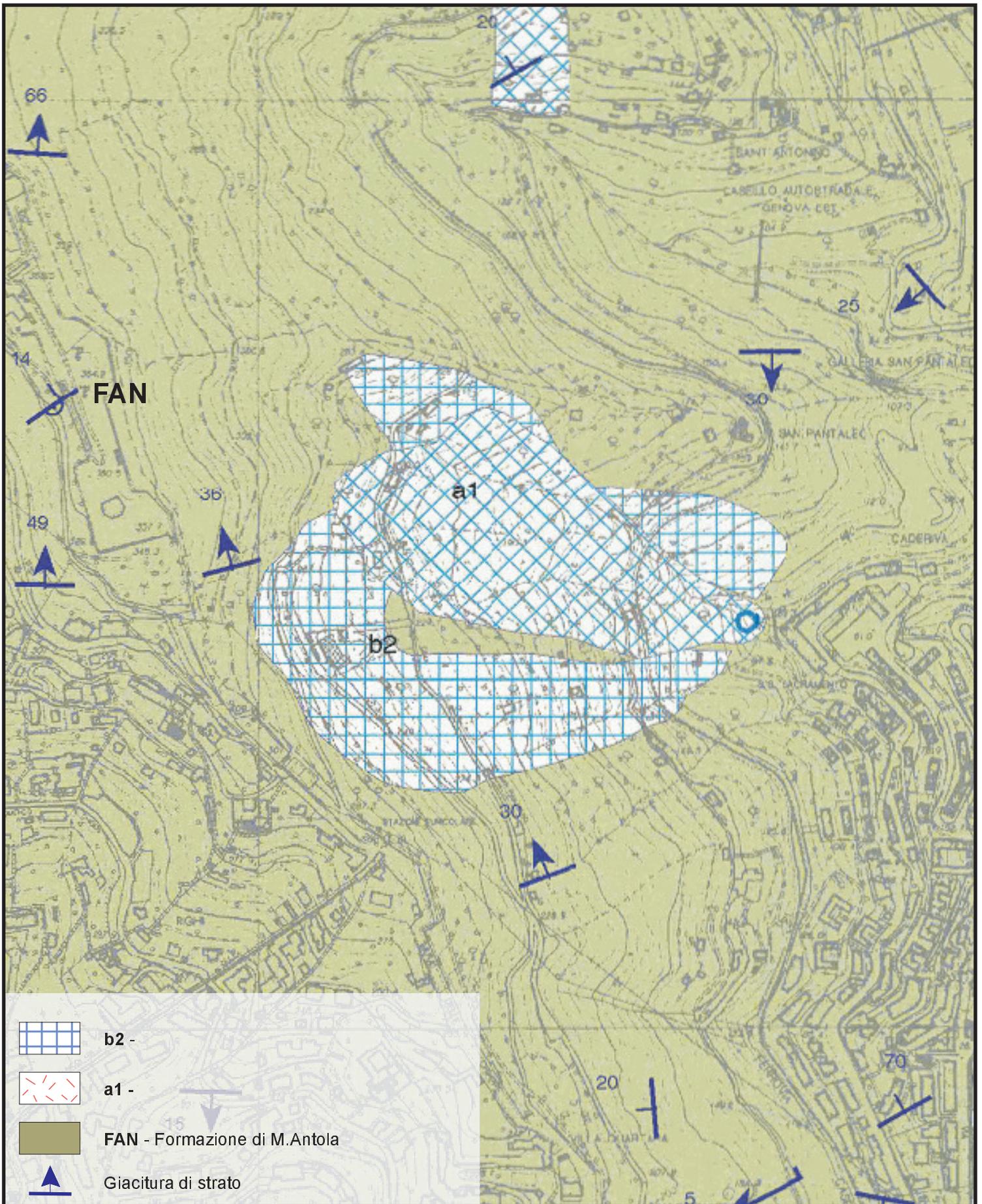


Estratto PdB - Carta della Franosità reale

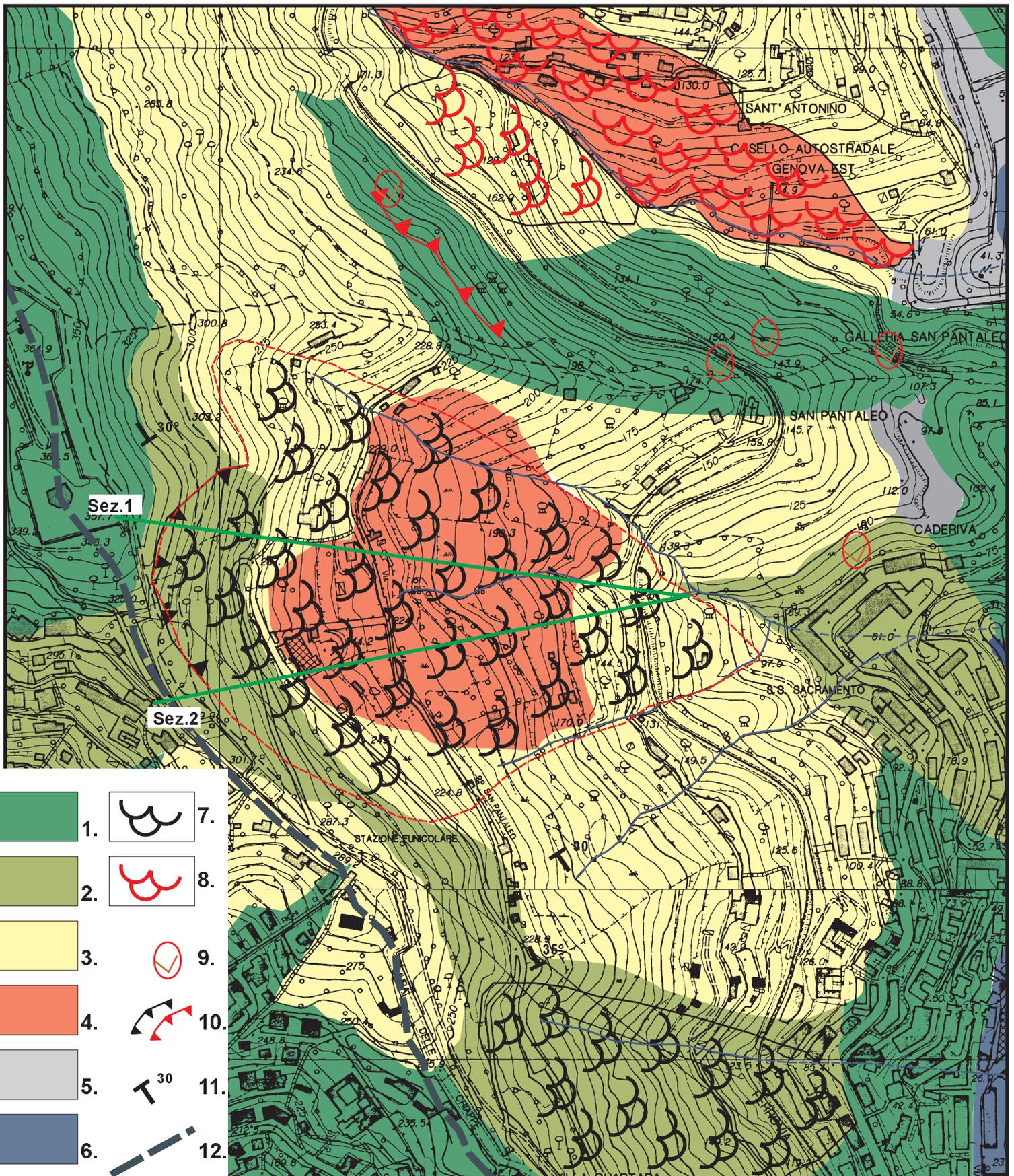


Estratto PdB - Carta della Suscettività al dissesto

**FIGURA1.2**  
**ESTRATTI PdB**  
**Ambito 14 - T. Bisagno**

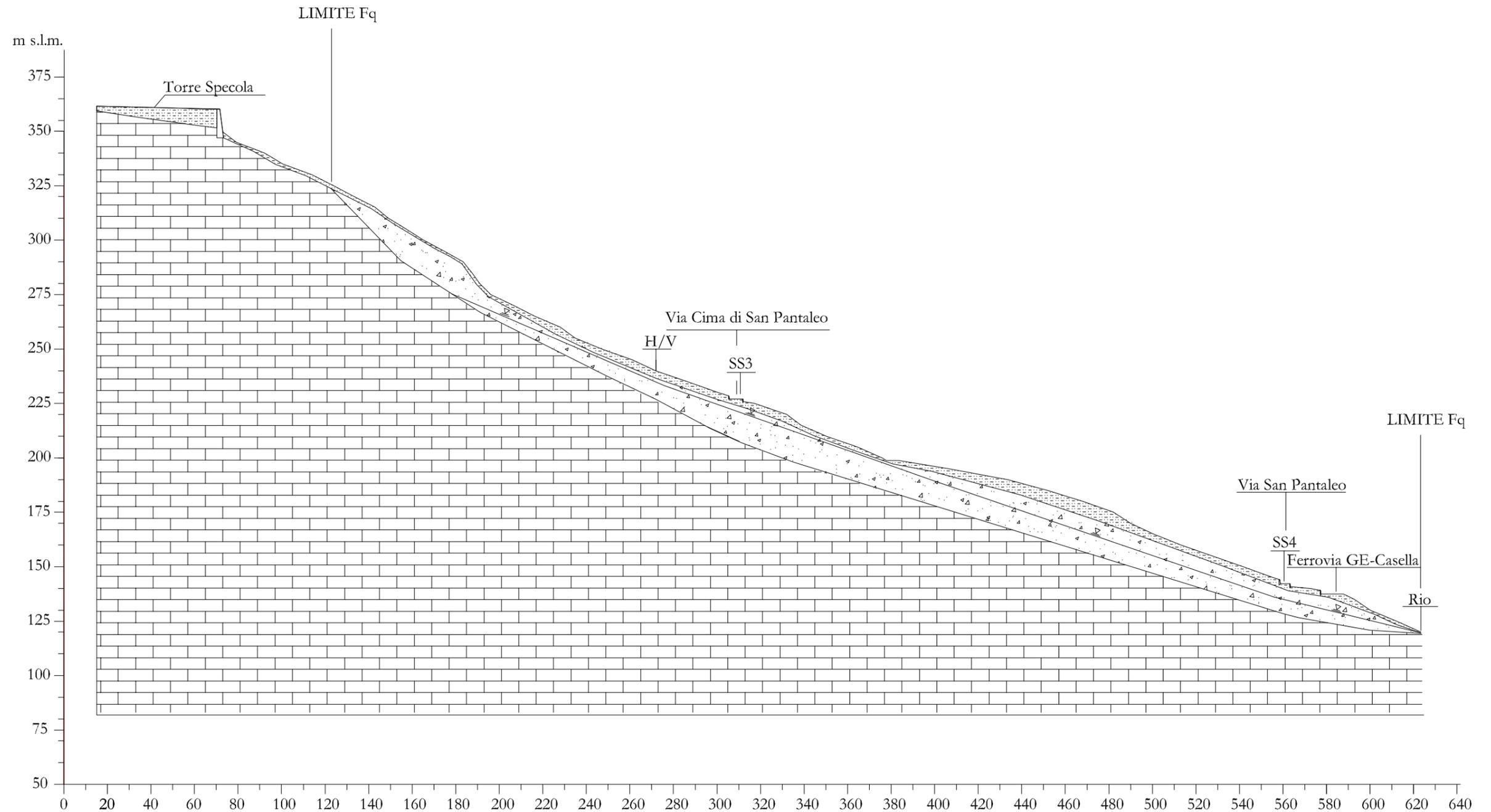


**FIGURA 1.3**  
**CARTA GEOLOGICA**  
 estratto Foglio CARG - in scala 1:25000



1. Roccia affiorante o subaffiorante (Flysch M. Antola) in buone condizioni di conservazione - 2. Roccia affiorante o subaffiorante (Flysch M. Antola) molto fratturata ed in condizioni di conservazione scadenti - 3. Coperture eluvio colluviali di spessore tra 2.0 e 5.0 m, talora rimaneggiate - 4. Coperture di natura detritica potenti di spessore significativo, superiore a 5.0 m - 5. Riporti, terreni rimaneggiati - 6. Depositi alluvionali terrazzati - 7. Corpi geomorfologici inattivi/quiescenti - 8. Corpi geomorfologici in stato di attivita' - 9. Dissesti puntuali - 10. Cigli di distacco: a) inattivo/quiescenti; b) attivi - 11. Giaciture di strato - 12. Crinali principali e secondari.

**FIGURA 1.4**  
**CARTA GEOMORFOLOGICA**  
 in scala 1:5000



LEGENDA



Copertura sciolta aerata e rimaneggiata



Accumulo detritico ascrivibile a breccia eterometrica con blocchi e trovanti lapidei in scarsa matrice limoso-argillosa

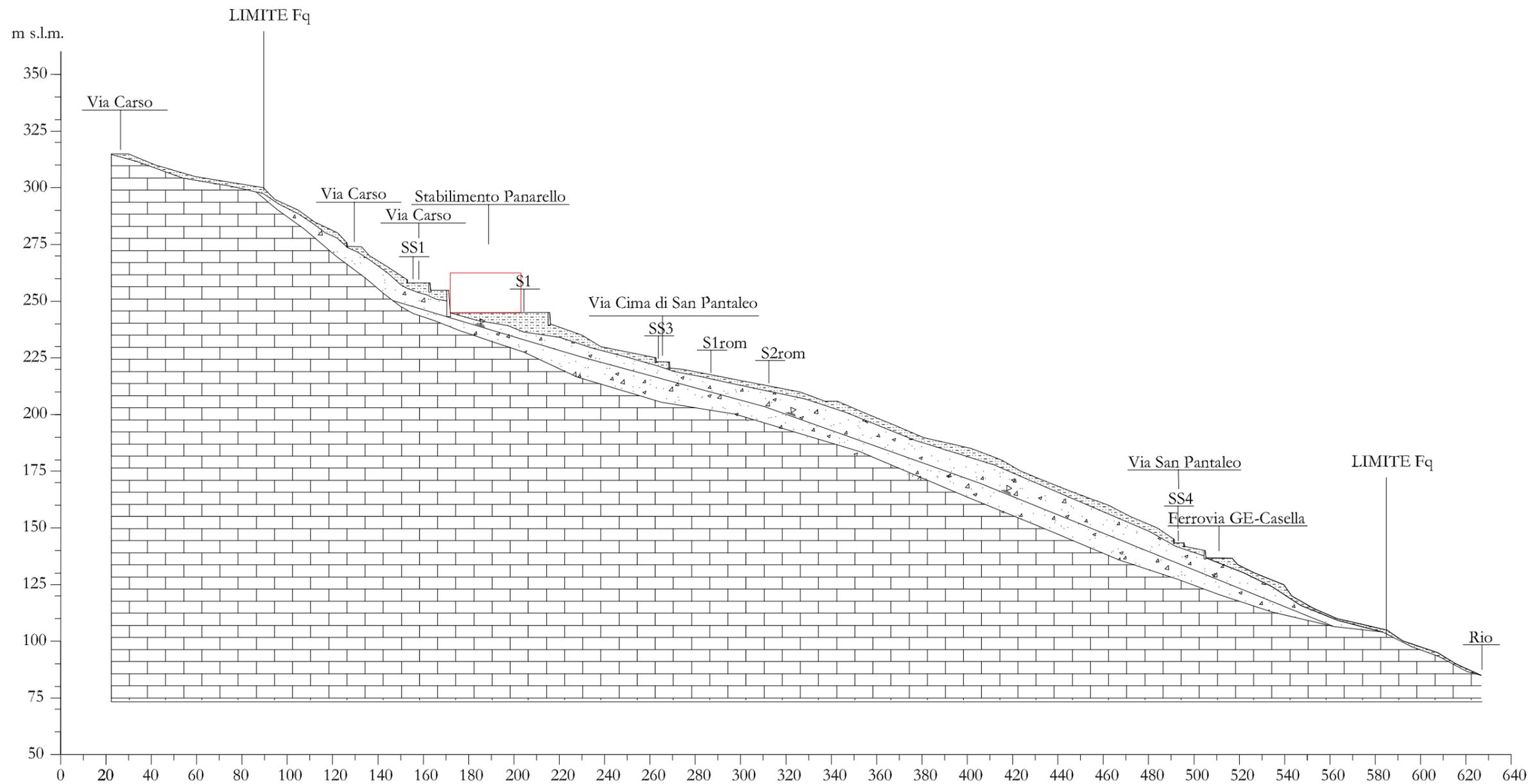


Substrato roccioso strutturato (Flysch di M. Antola)



Superficie di falda indicativa

FIGURA 1.5  
SEZIONE GEOLOGICA 1-1  
in scala 1:2000



LEGENDA



Copertura sciolta aerata e rimaneggiata



Accumulo detritico ascrivibile a breccia eterometrica con blocchi e trovanti lapidei in scarsa matrice limoso-argillosa

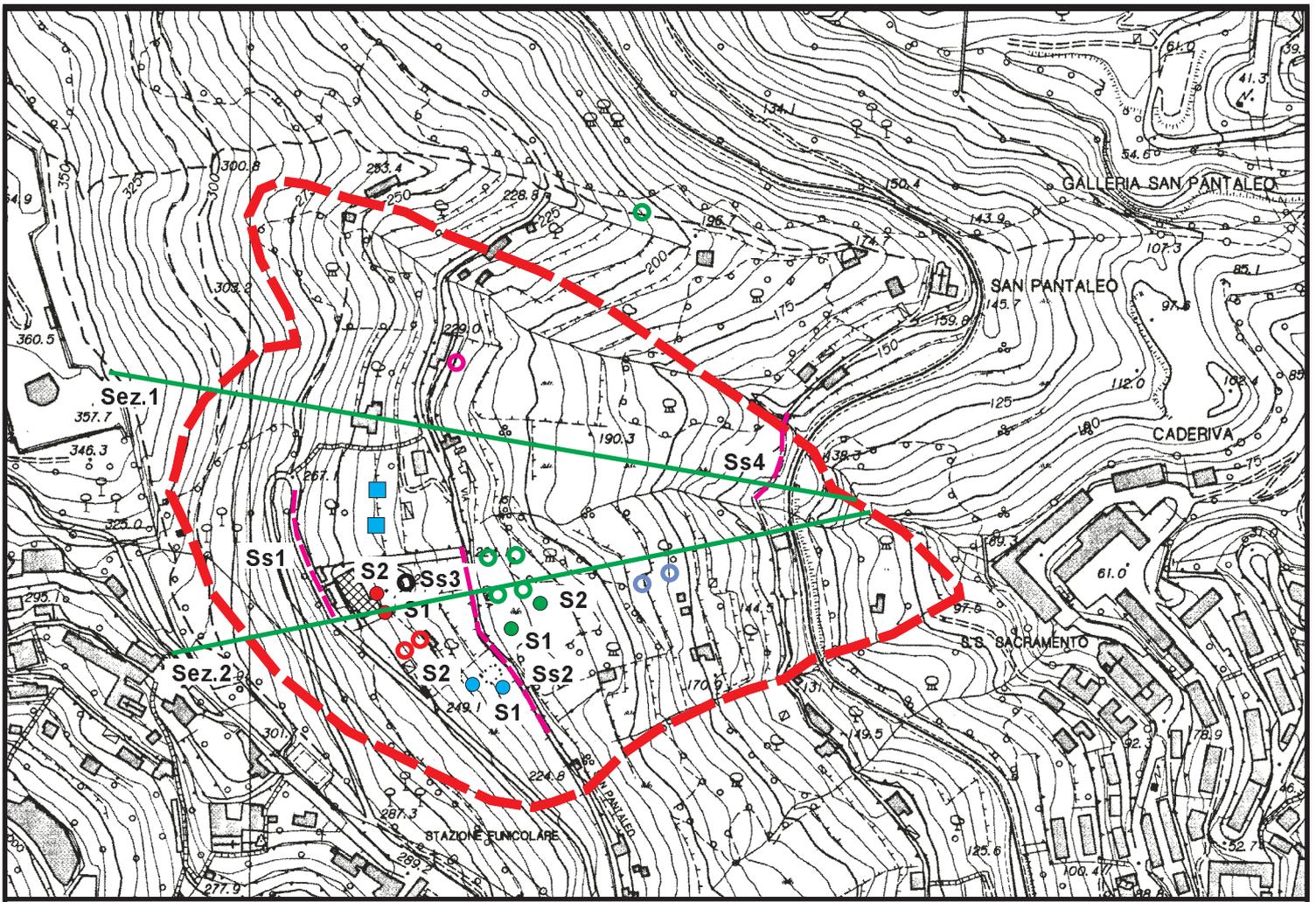


Substrato roccioso strutturato (Flysch di M. Antola)



Superficie di falda indicativa

FIGURA 1.6  
SEZIONE GEOLOGICA 2-2  
in scala 1:2000



**SONDAGGI GEOGNOSTICI**

- S1 ● Sondaggi geognostici eseguiti nel 1993
- S1 ● Sondaggi geognostici eseguiti nel 2005
- S1 ● Sondaggi geognostici eseguiti nel 2010

**PROVE PENETROMETRICHE**

- Prove penetrometriche eseguite nel 2001
- Prove penetrometriche eseguite nel 2005
- Prove penetrometriche eseguite nel 2000
- Prove penetrometriche eseguite nel 2001
- Prove penetrometriche eseguite nel 2004

**INDAGINI SISMICHE**

- Misure di microtremore
- Stendimento sismico eseguito nel 2019
- Traccia di sezione stratigrafica
- Limite frana quiescente

**FIGURA 1.7**  
**CARTA DELLE PROSPERZIONI**  
 in scala 1:5000

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI									
PARAMETRI									
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Per tale intervallo è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniaxiale	>250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	<1 Mpa
	INDICE	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	INDICE	20	17	13	8	3			
3	SPAZIATURA GIUNTI	>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm			
	INDICE	20	15	10	8	5			
4	CONDIZIONE DEI GIUNTI (vedi F.)	Superfici molto scabre non continue pareti roccia dura	Superfici scabre apertura <1 mm pareti roccia dura	Superfici scabre apertura <1 mm	Superfici lisce o laminate riempimento <5mm apertura 1-5 mm giunti continui	Riempimento tenero spessore >5 mm giunti aperti >5 mm giunti continui			
	INDICE	30	25	20	10	0			
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel (l/m)	assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti/soll. Nat. in sito	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
	CONDIZIONI generali	completamente asciutto	umido	molto umido	stillicidio	severi problemi idraulici			
INDICE	15	10	7	4	0				
B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI									
6	Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole		
	INDICE	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12		
		Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25		
		Pendii	0	-5	-25	-50			
C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI									
Indice RMR		100-81	80-61	60-41	40-21	<21			
Classe		I	II	III	IV	V			
Descrizione		Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente			
D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO									
Classe		I	II	III	IV	V			
Tempo di autosostegno (L=lunghezza libera dello scavo)		20 anni per L=15m	1 anno per L=10 m	1 settim. Per L=5 m	10 ore per L=2.5 m	30 min per L=1 m			
Coesione dell'ammasso roccioso [kPa]		>400	300-400	200-300	100-200	<100			
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso [°]		>45	35-45	25-35	15-25	<15			
E: LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITA'									
Lunghezza delle discontinuità (persistenza)		<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m			
Indice		6	4	2	1	0			
Separazione (apertura)		nessuno	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5 mm			
Indice		6	5	4	1	0			
Scabrezza		Molto scabro	Scabro	Leggerm. Scabro	Lisce	Lisce o laminate			
Indice		6	5	3	1	0			
Riempimento		nessuno	duro <5 mm	duro >5 mm	tenero <5 mm	tenero >5 mm			
Indice		6	4	2	2	0			
Alterazione		Non alterato	Leggerm. alterato	Moderatm. alterato	Altam. alterato	Decomposto			
Indice		6	5	3	1	0			
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITA' SULLA STABILITA' DI UNA GALLERIA									
Perpendicolare all'asse della galleria					Parallelo all'asse della galleria				
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45°-90°			Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20°-45°		Inclinazione 45°-90°		Inclinazione 20°-45°		
Molto favorevole			Favorevole		Molto favorevole		Discreta		
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45°-90°			Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20°-45°		Inclinazione 0°-20° a prescindere dallo strike				
Discreto			Sfavorevole		Discreta				

Sistema di classificazione degli ammassi rocciosi di Bieniawski, versione 1989

Table 12. GSI estimates for heterogeneous rock masses such as flysch.

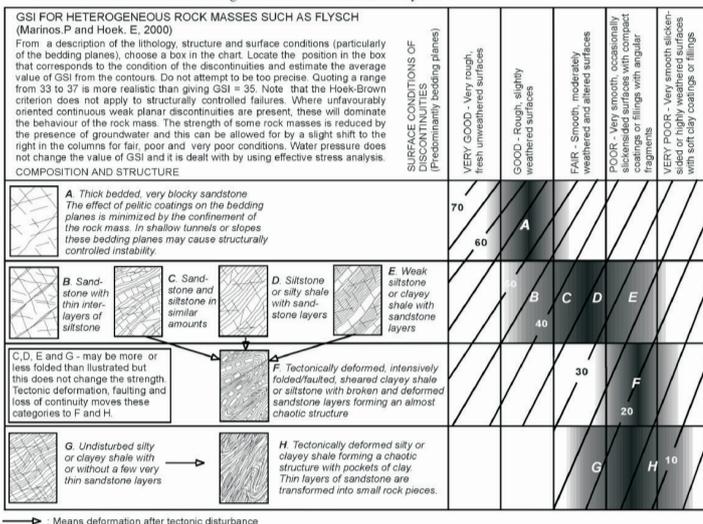


FIGURA 1.8  
CLASSIFICAZIONE RMR GSI

### Analysis of Rock Strength using RocLab

#### Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 30 MPa  
GSI = 29  $m_i$  = 7 Disturbance factor (D) = 0  
intact modulus ( $E_i$ ) = 11250 MPa  
modulus ratio (MR) = 375

#### Hoek-Brown Criterion

$m_b$  = 0.554  $s$  = 0.0004  $a$  = 0.524

#### Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.083 MPa friction angle = 52.43 deg

#### Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.020 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.481 MPa  
global strength = 2.665 MPa  
deformation modulus = 858.93 MPa

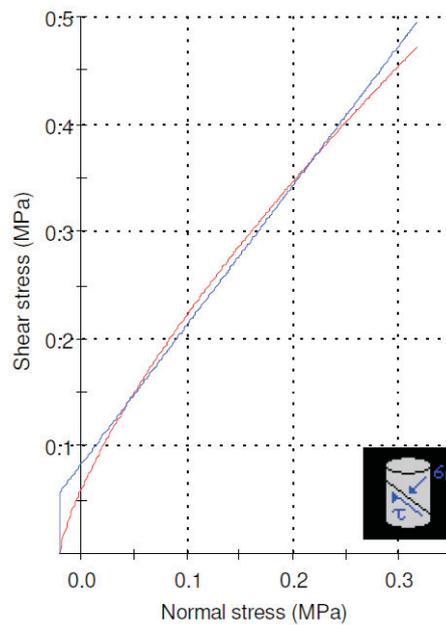
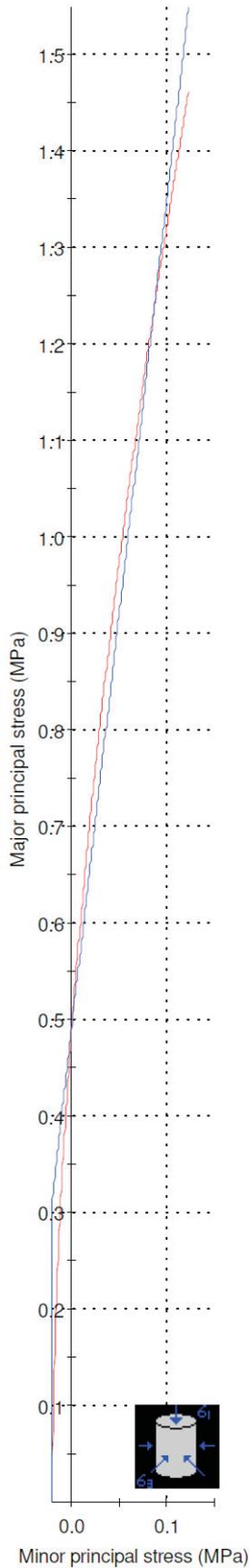


FIGURA 1.9  
INVILUPI A ROTTURA A.R.

## **ALLEGATO 2 – INADAGINI IN SITO**

Figura 2.1: Sondaggi geognostici

Figura 2.2: Stese sismiche

### ***A) Sondaggi meccanici a rotazione***

Furono eseguiti nel giugno 1991 dalla E.L.C.I. S.p.A. per l'ampliamento dell'edificio industriale sovrastante.

La stratigrafia dei terreni è la seguente:

- da p.c. a m. 8,50 (S1) e 5,70 (S2): materiali di riporto giacenti sulle coltri naturali (detrito di falda). Terreni a matrice argillosa di colore marroncino con clasti lapidei eterometrici;
- da m. 8,50 (S1) e 9,70 (S2) a m. 17,50 – 15,50: calcari marnosi molto fratturati e alterati (cappellaccio);
- da m. 17,80 (S1) e 15,50 (S2): substrato sano o poco alterato.

Riferimento: Romanelli Stefano - Geologo	Sondaggio: S1
Località: San Pantaleo - Genova	Quota: 200m s.l.m.,
Impresa esecutrice: GeA S.a.s.	Data: luglio 2005
Coordinate:	Redattore: dott. Geol. Stefano Romanelli
Perforazione: rotazione a carotaggio continuo	

e mm	R v	A r s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 - 100	S.P.T.		RQD % 0 - 100	prof. m	DESCRIZIONE
										S.P.T.	N			
120														Terreno agricolo, a scheletro calcareo medio-minuto e matrice limoso-sabbiosa, con frustoli di vegetali.
				1									1,1	
													1,3	Piccolo trovante calcareo mamoso
				2		SPT 1 < 1,90 1,95				12-10-25	35			Breccia detritica color marroncino a scheletro medio-grossolano in matrice sabbioso-limosa
				3										
				4		SPT 2 < 3,50 3,80				15-20-50/5cm	Rif		3,5	Trovanti fortemente fratturati con sacche detritiche sabbioso-limose
				5		1) Dis < 4,20 4,50								Orizzonte di colore bruno, a scheletro medio-grossolano, in matrice limoso-argillosa
				6		SPT 3 < 4,50 4,55				50/5cm	Rif		4,6	Trovante c.m. fratturato
				7										Breccia detritica più compatta, a scheletro grossolano eterometrico in matrice sabbioso-limosa
				8										Trovanti fratturati
				9		2) Dis < 9,00 9,20								Breccia detritica più compatta, a scheletro grossolano eterometrico in matrice sabbioso-limosa
				10										Orizzonte di colore bruno, a scheletro medio-minuto, in matrice limoso-argillosa, localmente sabbio-limosa
				11										Piccolo trovante calcareo mamoso
				12										Orizzonte di colore bruno, a scheletro medio-grossolano, in matrice limoso-argillosa
				13										Breccia detritica più compatta, a scheletro grossolano eterometrico in matrice sabbioso-limosa
				14										Trovanti fratturati o detrito molto grossolano, a matrice limoso-sabbiosa
				15										Breccia detritica compatta color marroncino/grigetto a scheletro medio grossolano eterometrico in matrice sabbioso-limosa
														Trovanti fratturati con vene detritiche o detrito a scheletro grossolano, assimilabile ad un cappellaccio di alterazione, a matrice sabbioso-limosa

installato tubo inclinometrico nel sondaggio S1

**FIGURA 2.1.2**  
**SONDAGGI GEOGNOSTICI**  
Sondaggi geognostici 2005

Riferimento: Romanelli Stefano - Geologo	Sondaggio: S2
Località: San Pantaleo- Genova	Quota: 200m s.l.m,
Impresa esecutrice: GeA S.a.s.	Data: luglio 2005
Coordinate:	Redattore: dott. Geol. Stefano Romanelli
Perforazione: rotazione a carotaggio continuo	

e mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	S.P.T.		RQD % 0 - 100	prof. m	DESCRIZIONE
									Prel. % 0 - 100	S.P.T. S.P.T.			
120													Terreno agricolo e/o di riporto colore marroncino a scheletro medio-minuto in matrice limoso-sabbiosa, con frustoli di vegetali
												0,8	Piccolo trovante calcareo mamoso
												1,3	Breccia detritica color marroncino a scheletro medio grossolano (Ø=3-5cm)
						SPT 1 < 1,50 1,96			10-7-18	25			
												3,5	Piccolo trovante calcareo mamoso
												3,8	Breccia detritica marroncina a scheletro medio-grossolano in matrice sabbioso-limosa
						SPT 2 < 3,00 3,45			12-9-22	31			
												4,1	Orizzonte color bruno a scheletro medio-minuto (ghiaioso-sabbioso) e matrice fine limoso-argillosa
						1) Dis < 4,10 4,30						4,3	Trovanti c.m. fortemente fratturati con incluse sacche detritiche a matrice sabbioso-limosa
						SPT 3 < 4,50 4,55			50/5cm	Rif		4,8	Breccia detritica colore marroncino debolmente compatta, a scheletro medio-grossolano in matrice sabbioso-limosa
												5,0	Trovanti fratturati o detrito molto grossolano, a matrice sabbioso-limosa
												6,0	Breccia detritica colore runo/grigio, a scheletro da medio a molto grossolano (Ø=5/10cm) in matrice sabbioso-limosa
												6,8	Grosso trovante calcareo-mamoso compatto, con vene di calcite
												7,5	Breccia detritica grigia, parzialmente satura, a scheletro da medio a molto grossolano (Ø=5-10cm), subangoloso ed irregolare, in matrice limosa, subordinatamente argillosa
												9,0	Trovante calcareo mamoso parzialmente fratturato, con vene calcitiche
												9,5	Orizzonte colore bruno scuro plastico, parzialmente saturo, a scheletro subordinato minuto, talvolta medio, in abbondante matrice sabbioso-limosa, subordinatamente argilloso-limosa
						2) Dis < 9,50 9,70						9,7	

6 6 9 0 0 6 DIC. 05

installata strumentazione piezometrica nel sondaggio S2

**FIGURA 2.1.3**  
**SONDAGGI GEOGNOSTICI**  
Sondaggi geognostici 2005

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1: sondaggio S1



Foto 2: sondaggio S2



Foto 3: sondaggio S1 (da 0 a 5 metri)



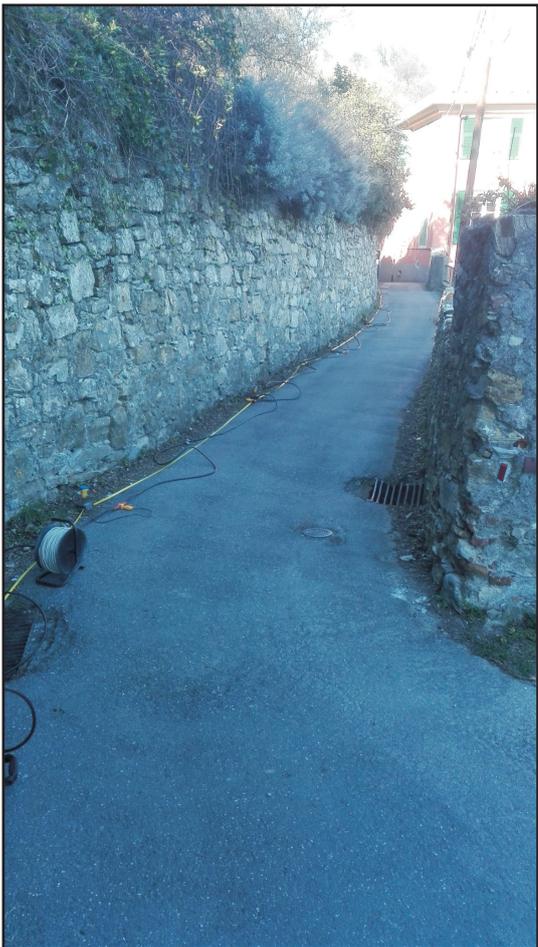
Foto 4: sondaggio S1 (da 5 a 10 metri)



Foto 5: sondaggio S2 (da 0 a 5 metri)



Foto 6: sondaggio S2 (da 5 a 10 metri)



**FIGURA 2.2**  
**STESE SISMICHE**  
Stese SS1-SS2-SS3 e SS4

# AREA METROPOLITANA DI GENOVA

**Committente:**  
**Francesco Panarello Biscotti & Panettoni S.p.A.**

## **CAMPAGNA DI INDAGINI SISMICHE TOMOGRAFICHE PRESSO VERSANTE IN FRAZIONE SAN PANTALEO**



## **REPORT TECNICO DI COMMENTO**

Geologo dott. Giorgio Lombardi  
Indagini geofisiche - Consulenze geologiche  
Via Mongrifone 3/16 – 17100 SAVONA  
tel: 338 5086317 e-mail: [giorgiolombardi@ymail.com](mailto:giorgiolombardi@ymail.com)  
PEC: [giorgiolombardi@pec.it](mailto:giorgiolombardi@pec.it)  
[partita IVA: 01584990095](http://partitaIVA:01584990095)

# INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. PROSPEZIONI SISMICHE MEDIANTE STENDIMENTI TOMOGRAFICI: CENNI TEORICI.....</b>	<b>3</b>
2.1. METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA DA SUPERFICIE.....	3
2.2. CENNI SULLA TECNICA DI MODELLIZZAZIONE TOMOGRAFICA DEI DATI SISMICI.....	4
2.3. MODALITÀ OPERATIVE PER LA REGISTRAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO.....	5
2.4. RISULTATI OTTENUTI.....	7

## ALLEGATI AL TESTO

- TAV. 1:** Stendimento sismico SS1: dromocrone e ray coverage, scala 1:500
- TAV. 2:** Stendimento sismico SS1: elaborazione tomografica, scala 1:500
- TAV. 3:** Stendimenti sismici SS2\_SS3: dromocrone e ray coverage, scala 1:500
- TAV. 4:** Stendimenti sismici SS2\_SS3: elaborazione tomografica, scala 1:500
- TAV. 5:** Stendimento sismico SS4: dromocrone e ray coverage, scala 1:500
- TAV. 6:** Stendimento sismico SS4: elaborazione tomografica, scala 1:500

## **1. PREMESSA**

La COmmittenza, a mezzo del proprio Consulente Geologo dott. Luca Sivori, ha richiesto allo scrivente l'esecuzione di n° 4 stendimenti sismici tomografici in località "San Pantaleo - Righi" al fine di giungere ad una caratterizzazione stratigrafica e fisico - meccanica dei terreni.

La campagna geofisica è stata realizzata nelle date 25.01.2019 e 06.02.2019.

Nel seguito una rapida descrizione della metodologia di indagine utilizzata e dei risultati ottenuti.

## **2. PROSPEZIONI SISMICHE MEDIANTE STENDIMENTI TOMOGRAFICI: CENNI TEORICI**

### **2.1. METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA DA SUPERFICIE**

Nel metodo in questione viene considerata la rifrazione, in corrispondenza di interfacce sepolte che separano mezzi in differenti condizioni di densità, di onde elastiche generate artificialmente in superficie.

Sempre presso la superficie vengono disposti - a distanza reciproca nota e normalmente costante - particolari sensori (geofoni) in grado di avvertire la perturbazione propagatasi nel volume solido sottostante a seguito della generazione di un'onda elastica ad un istante noto; i geofoni traducono la sollecitazione in un segnale elettrico ed attraverso un cavo multipolare trasferiscono quest'ultimo ad uno strumento di registrazione (sismografo multicanale). Il sismografo digitalizza i segnali ricevuti dai geofoni e registra i "sismogrammi" sotto forma di files.

I sismogrammi sono visualizzabili in un grafico binario nel quale vengono rappresentati per ogni canale (ognuno corrispondente ad un geofono) il dominio dei tempi sull'asse orizzontale (nell'ambito della "finestra di campionamento" scelta) e l'ampiezza del segnale elettrico ( $\pm$  mV) sull'asse verticale.

La prima perturbazione elastica ricevuta da ogni geofono a seguito della generazione dell'impulso può avere seguito un percorso "diretto" (ossia il tragitto più breve tra sorgente e ricevitore) oppure avere subito una o più "total-rifrazioni" presso superfici di discontinuità tra materiali caratterizzati da differenti stati di addensamento (nel presente metodo le riflessioni, sebbene spesso ben riconoscibili, non vengono considerate).

Oltre una certa distanza definita "critica" i raggi rifratti raggiungeranno i geofoni in superficie prima dei raggi diretti, nonostante il tragitto percorso sia più lungo, in virtù del tratto percorso a velocità più elevata presso l'interfaccia.

La trattazione teorica che sta alla base del metodo si basa sui principi e sulle leggi dell'ottica.

La configurazione ottimale dei parametri di acquisizione (distanza intergeofonica, numero di energizzazioni, geometria dello stendimento, lunghezza temporale della registrazione, ecc.) è necessariamente definita in sito in funzione delle condizioni logistiche, della presenza o meno di fonti di disturbo nei pressi e delle finalità dell'indagine.

Le velocità sismiche sono proporzionali al grado di addensamento dei materiali entro i quali la perturbazione elastica si propaga e, nel caso di ammassi rocciosi, possono essere indicative delle condizioni geomeccaniche degli stessi.

## **2.2. CENNI SULLA TECNICA DI MODELLIZZAZIONE TOMOGRAFICA DEI DATI SISMICI**

Il metodo sismico tomografico costituisce una tecnica geofisica particolarmente utile per la ricostruzione della distribuzione dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche nei terreni e negli ammassi rocciosi. L'elevato potere risolutivo del metodo ne consente l'applicazione in svariati campi, quali:

- ricostruzione di strutture geologiche complesse in cui sia necessario individuare geometrie ed assetti con elevata precisione
- individuazione di anomalie di velocità (cavità, fratture, porzioni ammalorate all'interno di ammassi rocciosi)
- indagini archeologiche
- valutazione delle condizioni strutturali di manufatti

L'apporto significativo di informazioni ottenibili attraverso la metodologia di prospezione sismica tomografica non trova riscontro nelle tecniche di elaborazione tradizionali dell'indagine sismica, il cui utilizzo resta comunque di importanza cruciale per una corretta definizione dei parametri di input, e costituisce un elemento integrativo di grande importanza per la ricostruzione di dettaglio di strutture complesse.

Il metodo consiste in una particolare e complessa modalità di acquisizione, trattamento e rappresentazione grafica di dati di carattere sismico, il cui risultato finale fornisce una mappatura dettagliata della variazione dei valori di velocità sismica in una sezione piana contenente sia le sorgenti energizzanti che i sensori (geofoni).

Poiché le caratteristiche meccaniche di un materiale influenzano in modo determinante la velocità con cui un'onda elastica si propaga al suo interno, ne consegue che tanto più è dettagliata e precisa la conoscenza della distribuzione dei valori di velocità, tanto più definita è la caratterizzazione fisico-meccanica del materiale indagato.

Le velocità di propagazione delle onde elastiche vengono valutate attraverso la misura dei tempi di percorrenza necessari alle onde stesse per propagarsi dalle sorgenti (posizionate in superficie e/o in foro) ai sensori (geofoni da foro e/o da superficie).

Il piano verticale che interseca la superficie topografica lungo lo stendimento sismico viene suddiviso dal software di elaborazione, fino alla massima profondità di investigazione e limitatamente al campo coperto dai "ray – paths" (si rimanda, nello specifico, alle tavole allegate relative alla distribuzione di raggi sismici), in celle elementari le cui dimensioni sono condizionate dalla spaziatura tra i sensori e dalla quantità di sorgenti di energizzazione disponibili.

Il processo prevede normalmente l'assunzione di un "modello sintetico" di partenza (*pseudosezione*) che viene confrontato in termini di velocità delle singole celle con i dati acquisiti.

**Rayfract**, ovvero il software di tomografia sismica utilizzato nello specifico, impiega le soluzioni "Eikonali" per il calcolo dei tempi di percorso e per la modellazione della diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche.

Il modello sintetico iniziale o "modello di primo tentativo" ("*1D gradient initial model*": gradiente monodimensionale di velocità) è generato su richiesta dal software partendo dalle dromocrone: queste, nota la geometria di acquisizione, vengono ricostruite punto per punto manualmente (evitando

le funzioni di “*picking automatico*”) individuando il primo arrivo del fronte d’onda di pressione ad ogni geofono generato attraverso ogni energizzazione. Il modello di primo tentativo viene utilizzato come modello sintetico di partenza sul quale si procede con le inversioni tomografiche attraverso l’algoritmo di calcolo “*Wavepath Eikonal Traveltime tomography*”, (Schuster 1993; Watanabe 1999).

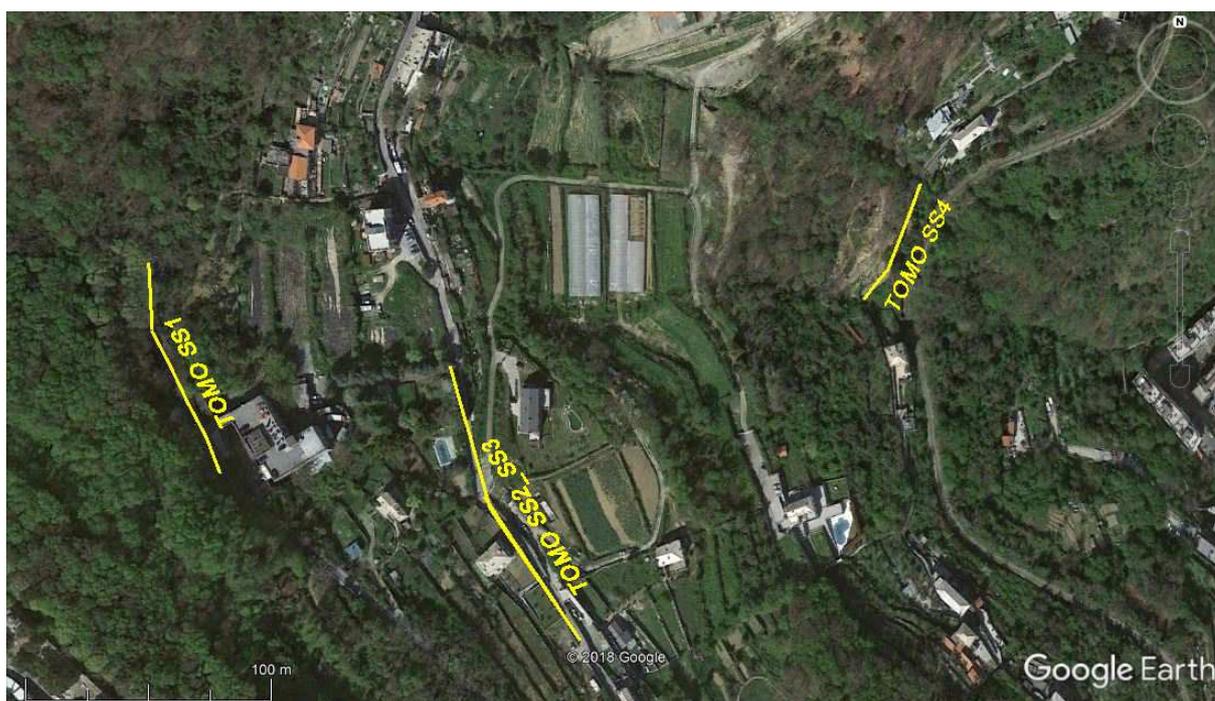
Le inversioni numeriche, attraverso vincoli impostati dall’utente, procedono fino a raggiungere la miglior convergenza possibile tra i primi arrivi di campagna e quelli sintetici.

Il grado di convergenza (sovrapposibilità tra il modello sintetico raffinato ed il dato misurato) è quantitativamente apprezzabile attraverso il valore “*RMS Error %*” associato ad ogni modello tomografico, consultabile negli allegati sotto forma di stringa di testo individuabile a fondo pagina insieme al numero di iterazioni di calcolo eseguite (“*# WET iterations*”) ed alla tipologia di modello di partenza utilizzato (“*1D-Gradient smooth initial model*”): sul piano teorico, minore è il valore “*RMS Error %*” maggiore è la “bontà” del modello finale fornito e di conseguenza il grado di affidabilità dello stesso. La tecnica tomografica “*Wavepath Eikonal Traveltime tomography*” modella i percorsi multipli della propagazione del segnale che contribuiscono ad un primo arrivo. Il procedimento “*Eikonal*”, utilizzato per il calcolo dei tempi di percorso, è in grado di modellare sia la diffrazione che la rifrazione e la trasmissione diretta delle onde sismiche. Di conseguenza la capacità di *Rayfract* di fornire l’immagine di un’anomalia di velocità è normalmente superiore rispetto a quella degli altri codici di calcolo tomografici presenti sul mercato, che trattano il percorso di un raggio sismico in modalità convenzionale.

### **2.3. MODALITÀ OPERATIVE PER LA REGISTRAZIONE DEGLI STENDIMENTI SISMICI**

Gli stendimenti sismici sono stati registrati utilizzando geofoni verticali SunFul con frequenza centrale di 40 Hz.

Lo sviluppo e l’ubicazione degli stendimenti sismici tomografici sono riportati nello stralcio di immagine satellitare seguente.



Per la generazione delle onde di pressione (onde "p") è stata utilizzata una massa battente (mazza con testa da 8.0 kg) accelerata a mano. Lo strumento di contrasto è costituito da una piastra circolare in ghisa poggiata al suolo. Il tempo zero è comunicato via cortocircuito tra testa della mazza e piastra al suolo.



*Esempio di procedura di energizzazione per generazione onde "p"*

Presso ogni stazione di energizzazione sono state effettuate operazioni di *stacking* (sommatoria incrementale del segnale proveniente da più energizzazioni) al fine di ottimizzare il rapporto tra il segnale utile ed il disturbo .

Le caratteristiche specifiche degli stendimenti sono riportate nella tabella seguente.

Stendimento	Copertura geofoni (m)	Offset (m)	Lunghezza totale (m)	n° shot points	g spacing (m)	n° geofoni
SS1	92.0	4.0 - 4.0	100.0	9	4.0	24
SS2*	76.0	4.0 - 4.0	84.0	7	4.0	20
SS3*	76.0	4.0 - 4.0	84.0	8	4.0	20
SS4	64.0	4.0 - 4.0	72.0	7	4.0	17

\* SS2 e SS3 in overlap con tre geofoni mutuati

La registrazione dei dati è stata effettuata mediante un'unità Seismic Source "DaqLink III" dotata di convertitore A/D a 24 bit e corredata di pc portatile, cavo multipolare a 24 take-out e geofoni verticali SunFul 40 Hz.



*Sistema di acquisizione Seismic Source Daq Link III*

La copertura del semipiano investigato attraverso la propagazione dei raggi sismici presso lo stendimento tomografico è visibile in allegato ("Ray coverage", Tavv. 1, 3, 5). Negli stessi allegati sono stati riportati i diagrammi dromocronici.

Il rapporto segnale - disturbo ambientale è risultato soddisfacente.

I valori "RMS ERROR" indicano una buona convergenza tra i modelli sintetici ideali ed i dati reali acquisiti in loco.

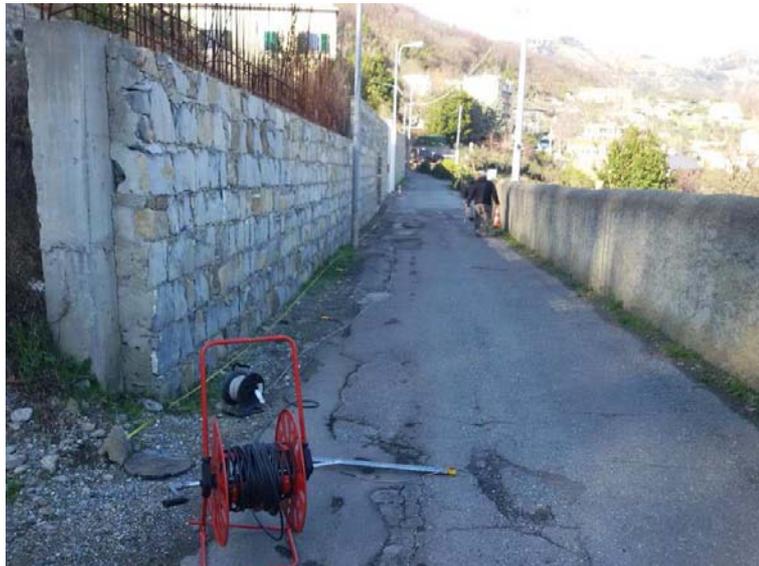
#### **2.4. RISULTATI OTTENUTI**



*Stendimento sismico tomografico SS1, estremo iniziale  
(mazza e piastra in offset lato geofono G1)*



*Stendimento sismico tomografico SS1, estremo finale  
(piastra in offset lato geofono G24)*



*Stendimento sismico tomografico SS2, estremo iniziale  
(mazza e piastra in offset lato geofono G1)*



*Stendimento sismico tomografico SS2, estremo finale  
(piastra in offset lato geofono G20)*



*Stendimento sismico tomografico SS3, estremo iniziale  
(mazza e piastra in offset lato geofono G1)*



*Stendimento sismico tomografico SS3, estremo finale  
(piastra in offset lato geofono G20)*



*Stendimento sismico tomografico SS4, estremo iniziale  
(mazza e piastra in offset lato geofono G1)*



*Stendimento sismico tomografico SS4, estremo finale  
(piastra in offset lato geofono G17)*

I risultati dell'elaborazione tomografica sono visibili nel dettaglio nelle sezioni allegare in Tavv. 2, 4, 6, alle quali si rimanda per una disanima dettagliata.

In calce all'elaborato tomografico è riportata una ipotesi interpretativa formulata dallo scrivente.

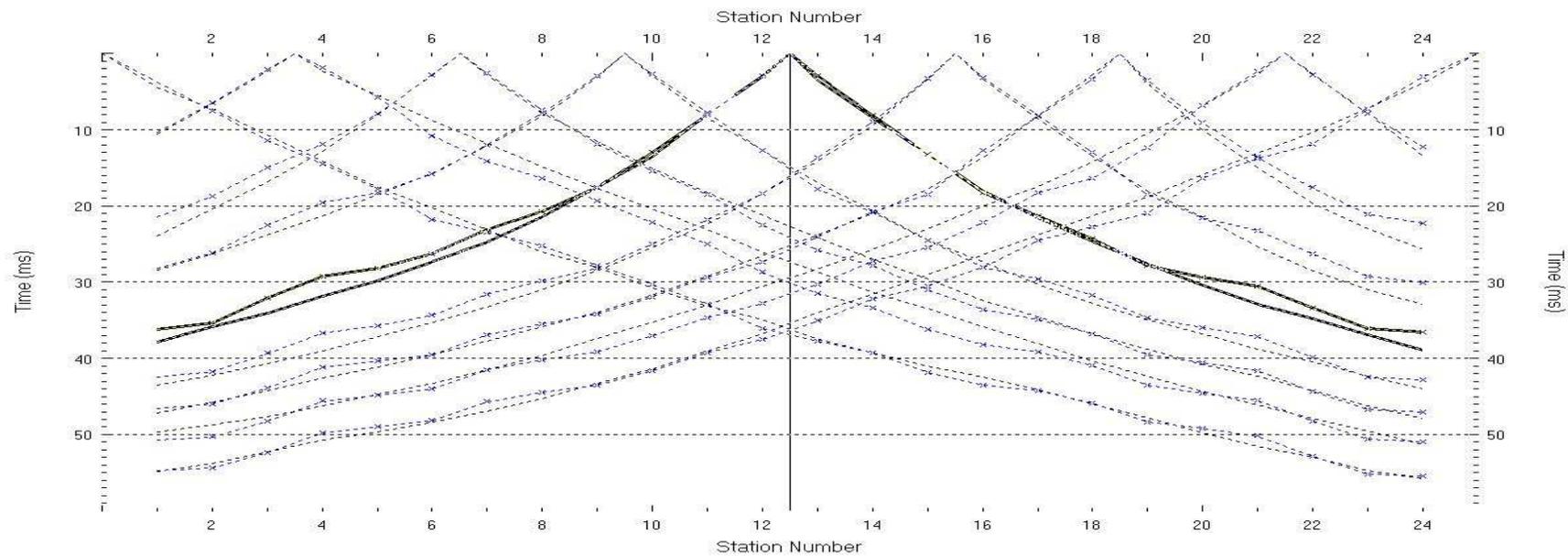
L'elaborazione tomografica ha restituito i risultati evidenziando volutamente solo alcune isolinee di velocità sismica delle onde di pressione ritenute significative.

Savona, 21.02.2019

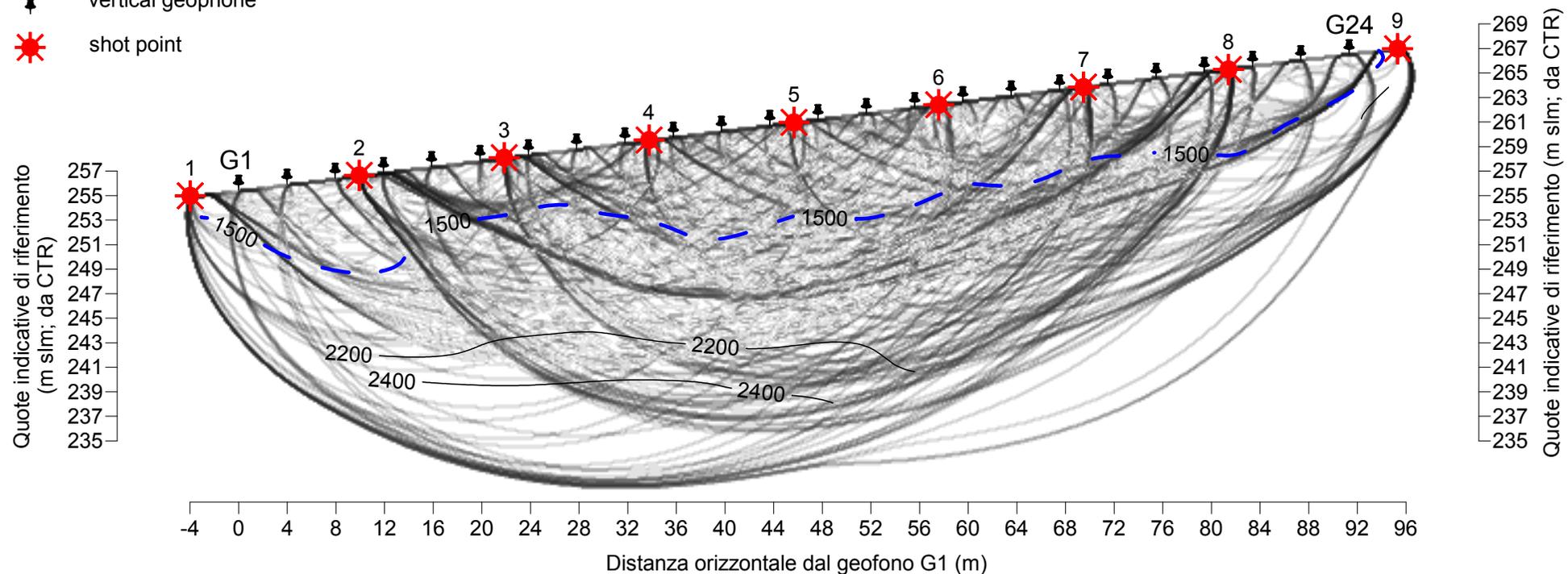
Geologo dott. Giorgio Lombardi



# STENDIMENTO SISMICO SS1: DROMOCRONE E RAY COVERAGE, SCALA 1:500

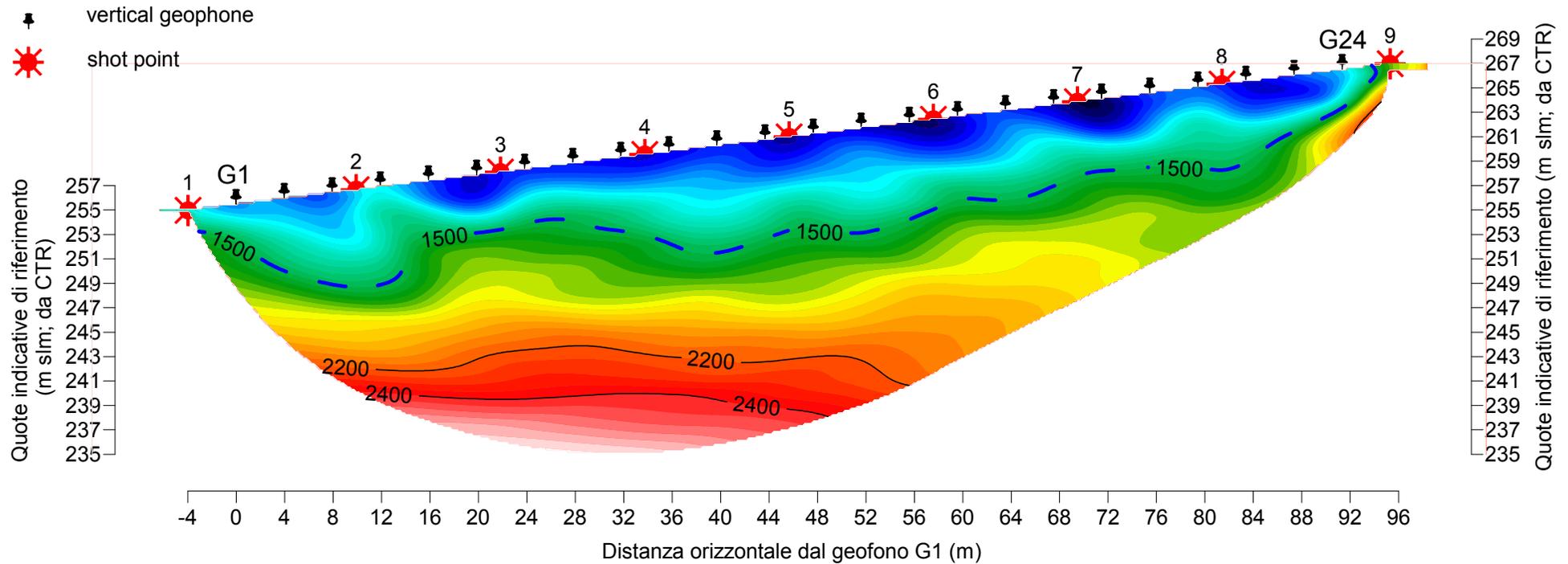


- ⬇ vertical geophone
- ☀ shot point



SS1, 30 WET iterations, RMS error 2.0 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.20

# STENDIMENTO SISMICO SS1: ELABORAZIONE TOMOGRAFICA, SCALA 1:500



## IPOTESI INTERPRETATIVA

Vp = 580 (min vel riscontrata) - 1500 m/s: materiali estremamente eterogenei per composizione e densità, gradienti di velocità estremamente variabili. Tali caratteristiche possono essere associate a terreni costituenti un corpo colluviale. Umidità progressivamente passante da molto bassa ad elevata

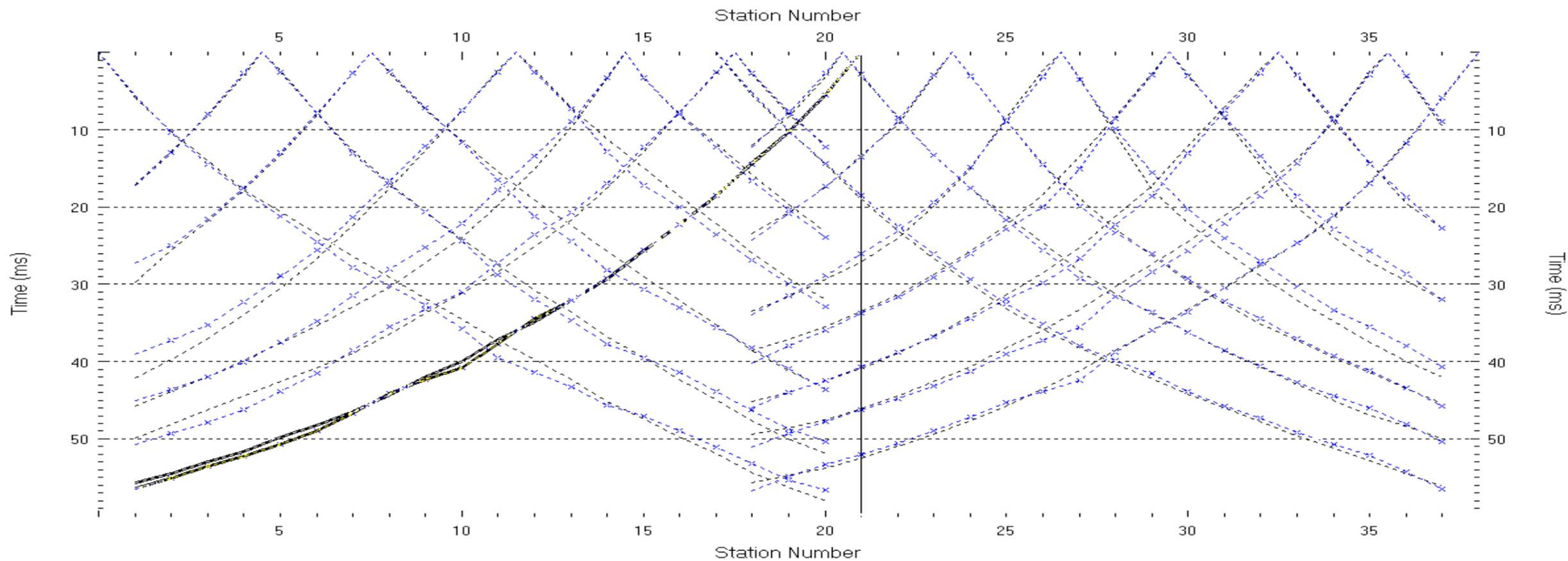
Vp = 1500 -2200 m/s: caratteristiche sostanzialmente analoghe a quelle dei materiali soprastanti, ma con densità medie più elevate e probabili condizioni di elevata umidità o saturazione. Verosimilmente l'orizzonte in questione comprende blocchi, massi, erratici di dimensioni anche plurimetriche.

I gradienti di velocità tendono a regolarizzarsi e ad aumentare a partire dall'isolinea Vp = 2200 m/s

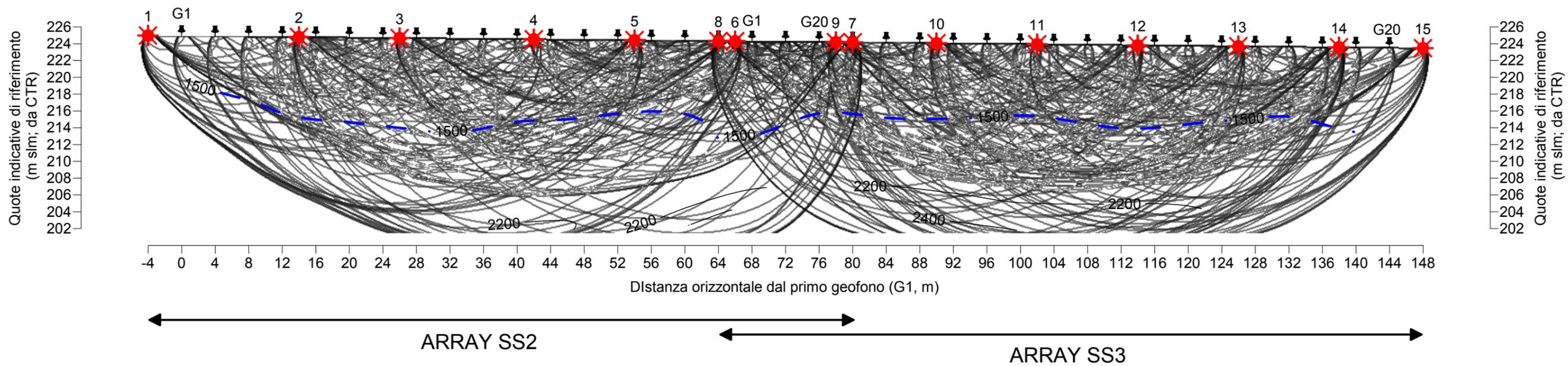
Vp = 2200 - 2400 m/s: probabile bedrock rigido in condizioni geomeccaniche medie discrete - buone (III-II classe Bieniawski).

Vp > 2400 m/s: probabile bedrock rigido in condizioni geomeccaniche medie buone - ottime (II-I classe Bieniawski).

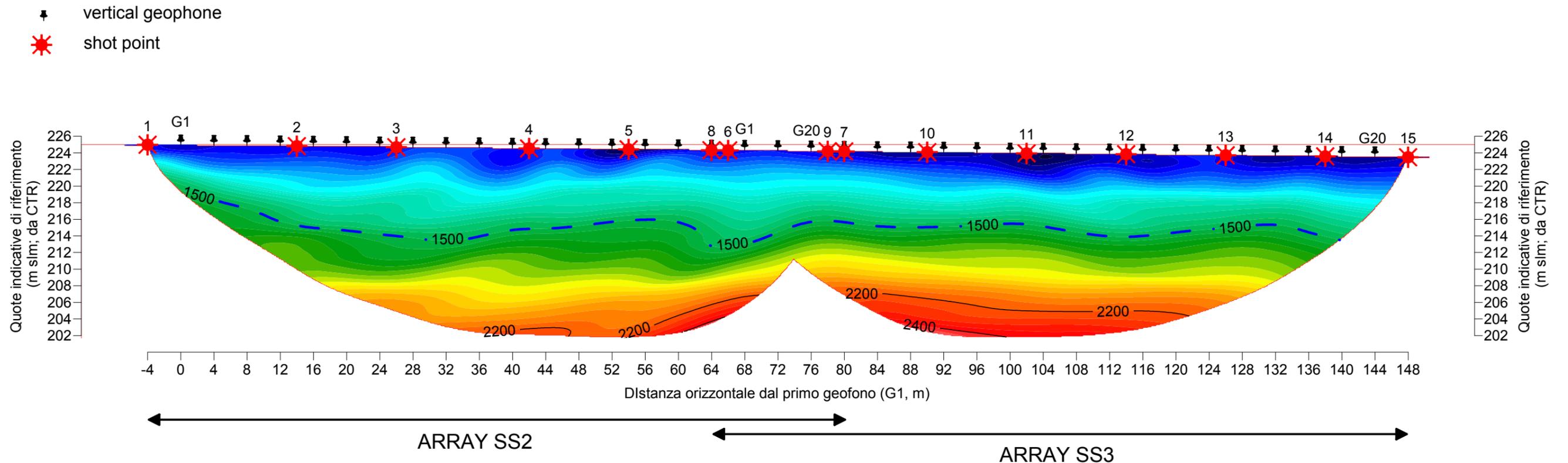
# STENDIMENTI SISMICI SS2 E SS3: DROMOCRONE E RAY COVERAGE, SCALA 1:500



- ♣ vertical geophone
- ★ shot point



# STENDIMENTI SISMICI SS2 E SS3: ELABORAZIONE TOMOGRAFICA, SCALA 1:500



SS2\_SS3, 30 WET iterations, RMS error 1.6 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.20



## IPOSTESI INTERPRETATIVA

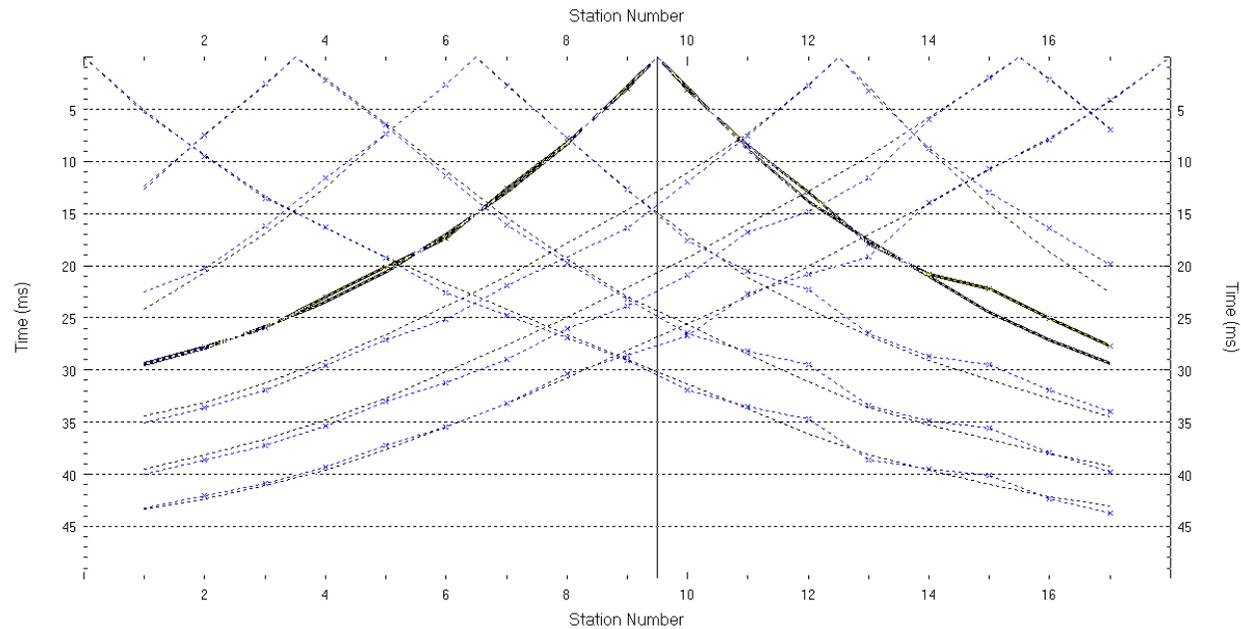
$V_p = 600$  (min vel riscontrata) - 1500 m/s: materiali estremamente eterogenei per composizione e densità, gradienti di velocità estremamente variabili. Tali caratteristiche possono essere associate a terreni costituenti un corpo colluviale. Umidità progressivamente passante da molto bassa ad elevata  
 $V_p = 1500 - 2200$  m/s: caratteristiche sostanzialmente analoghe a quelle dei materiali soprastanti, ma con densità medie più elevate e probabili condizioni di elevata umidità o saturazione. Verosimilmente l'orizzonte in questione comprende blocchi, massi, erratici di dimensioni anche plurimetriche.

I gradienti di velocità tendono a regolarizzarsi e ad aumentare a partire dall'isolinea  $V_p = 2200$  m/s

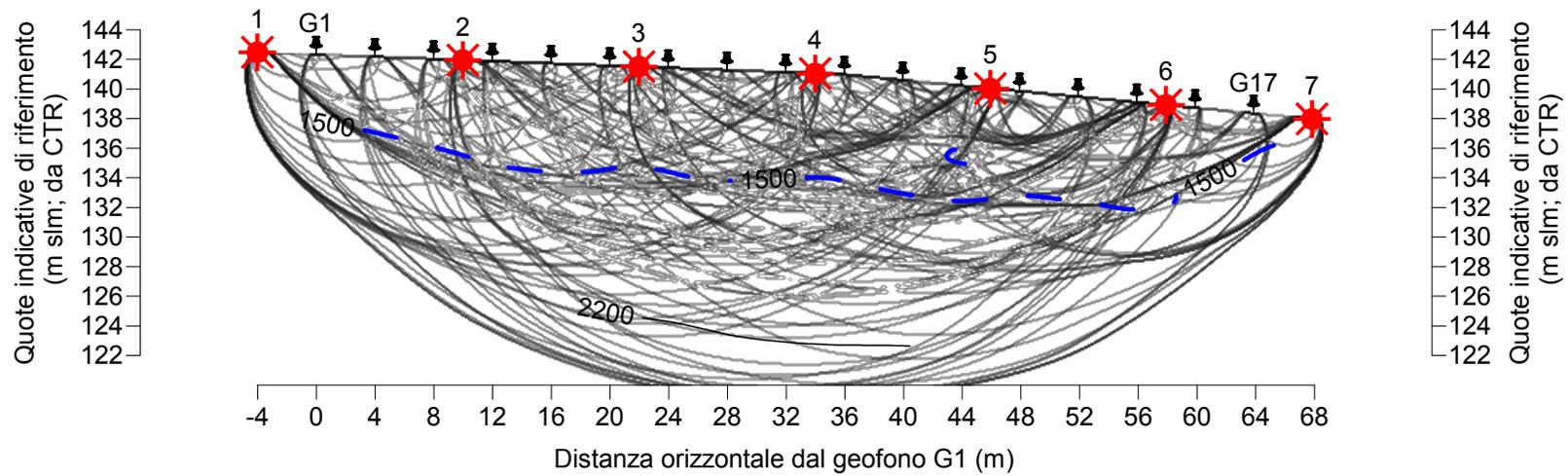
$V_p = 2200 - 2400$  m/s: probabile bedrock rigido in condizioni geomeccaniche medie discrete - buone (III-II classe Bieniawski).

$V_p > 2400$  m/s: probabile bedrock rigido in condizioni geomeccaniche medie buone - ottime (II-I classe Bieniawski).

# STENDIMENTO SISMICO SS4: DROMOCRONE E RAY COVERAGE, SCALA 1:500

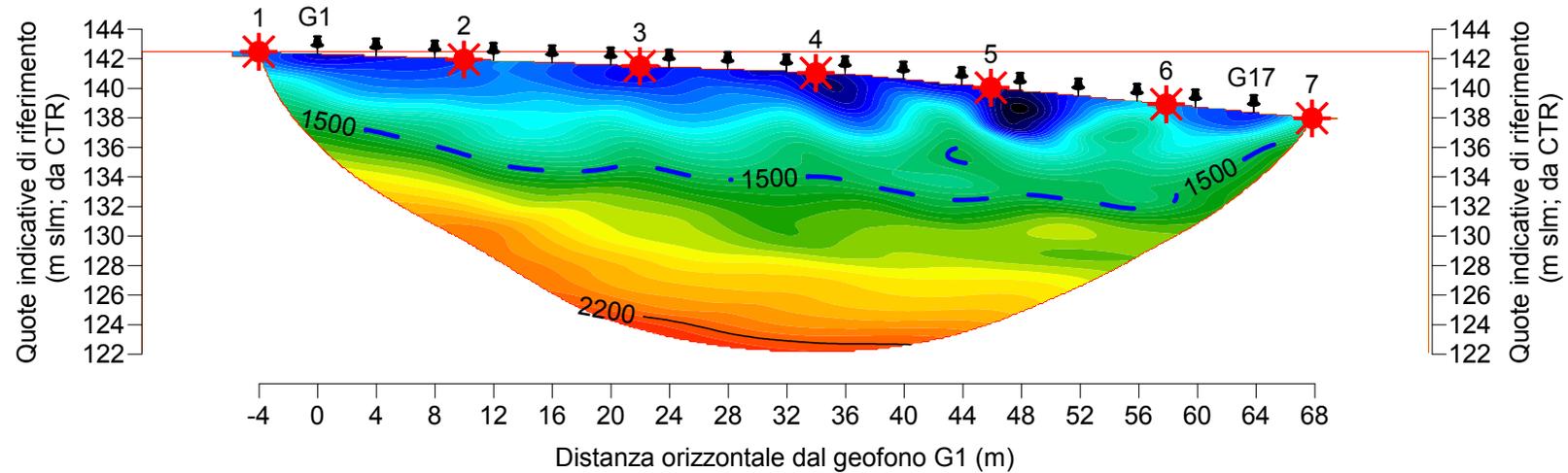


- ▼ vertical geophone
- ★ shot point

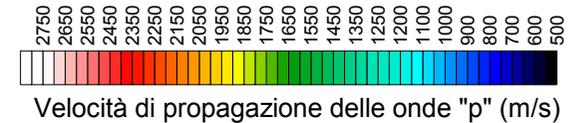


# STENDIMENTO SISMICO SS4: ELABORAZIONE TOMOGRAFICA, SCALA 1:500

- ⬇ vertical geophone
- ☀ shot point



SS4, 30 WET iterations, RMS error 2.0 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.20



## IPOTESI INTERPRETATIVA

$V_p = 530$  (min vel riscontrata) - 1500 m/s: materiali estremamente eterogenei per composizione e densità, gradienti di velocità estremamente variabili. Tali caratteristiche possono essere associate a terreni costituenti un corpo colluviale. Umidità progressivamente passante da molto bassa ad elevata

$V_p = 1500$  -2200 m/s: caratteristiche sostanzialmente analoghe a quelle dei materiali soprastanti, ma con densità medie più elevate e probabili condizioni di elevata umidità o saturazione. Verosimilmente l'orizzonte in questione comprende blocchi, massi, erratici di dimensioni anche plurimetriche.

I gradienti di velocità tendono a regolarizzarsi e ad aumentare a partire dall'isolinea  $V_p = 2200$  m/s

$V_p > 2200$  m/s: probabile bedrock rigido in condizioni geomeccaniche medie discrete - buone (III-II classe Bieniawski).

## **ALLEGATO 3 – ANALISI DI STABILITA'**

Figura 3.1: Parametri caratteristici – Coltre aerata

Figura 3.2: Parametri caratteristici – Coltre detritica

Figura 3.3: Parametri caratteristici – Roccia

Figura 3.4: Parametri sismici

Figura 3.5: Sezione 1-1 – analisi versante

Figura 3.6: Sezione 2-2 – analisi versante

## ANALISI STATISTICA A VARIANZA NOTA

$$X_k = X_m(1 \pm 1.645 \cdot COV / \sqrt{n})$$

X<sub>k</sub>=valore caratteristico del parametro

X<sub>m</sub>=valore medio del parametro

COV= coefficiente di variazione =dev.st. della popolazione/media della popolazione

n= numerosità del campione

### 1) DEFINIZIONE DEI VALORI MEDI

Parametri	Dati di ingresso					Media	n
<b>Φ (°)</b>	30	27,4	30,2	27,9	30,8	<b>29,5</b>	<b>20</b>
	28,8	30,2	27,9	32,2	30,9		
	30	27,4	31,6	30,1	30		
	27,4	30,5	28,3	30,5	28,3		
<b>c (kPa)</b>							<b>1</b>
<b>cu (kPa)</b>							<b>1</b>
<b>γ<sub>n</sub> (MPa)</b>	17	18				<b>17,5</b>	<b>2</b>

### 2) DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI

Parametro	Val. medio	COV (%)	√n	Val caratt
<b>Φ</b>	29,5	10	4,5	<b>28,4</b>
<b>c</b>	0,0	40	1,0	<b>0,0</b>
<b>cu</b>	0,0	40	1,0	
<b>γ<sub>n</sub><sub>upper</sub></b>	17,5	1	1,4	<b>17,7</b>
<b>γ<sub>n</sub><sub>lower</sub></b>	17,5	1	1,4	<b>17,3</b>

**FIGURA 3.1**  
**PARAMETRI CARATTERISTICI**  
**COLTRE AERATA**

## ANALISI STATISTICA A VARIANZA NOTA

$$X_k = X_m(1 \pm 1.645 \cdot COV / \sqrt{n})$$

$X_k$  = valore caratteristico del parametro

$X_m$  = valore medio del parametro

COV = coefficiente di variazione = dev.st. della popolazione / media della popolazione

n = numerosità del campione

### 1) DEFINIZIONE DEI VALORI MEDI

Parametri	Dati di ingresso					Media	n
$\Phi$ (°)	33,8	33	35,2	34,4	35,2	34,5	16
	34,4	33,6	32,7	32,4	31,2		
	37,8	36,3	35	34,2	36,7		
	35,6						
c (kPa)	0					0,0	1
cu (kPa)							
$\gamma_n$ (MPa)	21	22				21,5	2

### 2) DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI

Parametro	Val. medio	COV (%)	$\sqrt{n}$	Val caratt
$\Phi$	34,5	10	4,0	33,1
c	0,0	40	1,0	0,0
cu		40	0,0	
$\gamma_{n_{upper}}$	21,5	1	1,4	21,8
$\gamma_{n_{lower}}$	21,5	1	1,4	21,2

FIGURA 3.2  
PARAMETRI CARATTERISTICI  
COLTRE DETRITICA

## ANALISI STATISTICA A VARIANZA NOTA

$$X_k = X_m(1 \pm 1.645 \cdot COV / \sqrt{n})$$

X<sub>k</sub>=valore caratteristico del parametro

X<sub>m</sub>=valore medio del parametro

COV= coefficiente di variazione =dev.st. della popolazione/media della popolazione

n= numerosità del campione

### 1) DEFINIZIONE DEI VALORI MEDI

Parametri	Dati di ingresso					Media	n
<b>Φ (°)</b>	52	54	54	56	55	<b>50,5</b>	<b>12</b>
	57	43	45	46	47		
	48	49					
<b>c (kPa)</b>	83	101	112	140	162	<b>170,2</b>	<b>12</b>
	207	150	173	183	215		
	234	282					
<b>cu (kPa)</b>						-	-
<b>γ (MPa)</b>	25,5	26,5				<b>26,0</b>	<b>2</b>
<b>E (MPa)</b>	2290	3054	3402	4536	5489	<b>4348,2</b>	<b>12</b>
	7318	2290	3054	3402	4536		
	5489	7318					

### 2) DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI

Parametro	Val. medio	COV (%)	√n	Val caratt
<b>Φ</b>	50,5	10	3,5	48,1
<b>c</b>	170,2	40	3,5	137,8
<b>cu</b>	-	40	-	-
<b>Y<sub>upper</sub></b>	26,0	1	1,4	26,3
<b>Y<sub>lower</sub></b>	26,0	1	1,4	25,7
<b>E</b>	4348,2	40	3,5	3522,2

**FIGURA 3.3**  
**PARAMETRI CARATTERISTICI**  
**ROCCIA**

## PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 44.42707 N (ED50)

longitudine: 8.938397 E (ED50)

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 16695 Lat: 44,4450 Lon: 8,8684 Distanza: 5899,995

Sito 2 ID: 16696 Lat: 44,4477 Lon: 8,9383 Distanza: 2291,740

Sito 3 ID: 16918 Lat: 44,3977 Lon: 8,9421 Distanza: 3274,612

Sito 4 ID: 16917 Lat: 44,3950 Lon: 8,8723 Distanza: 6343,003

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

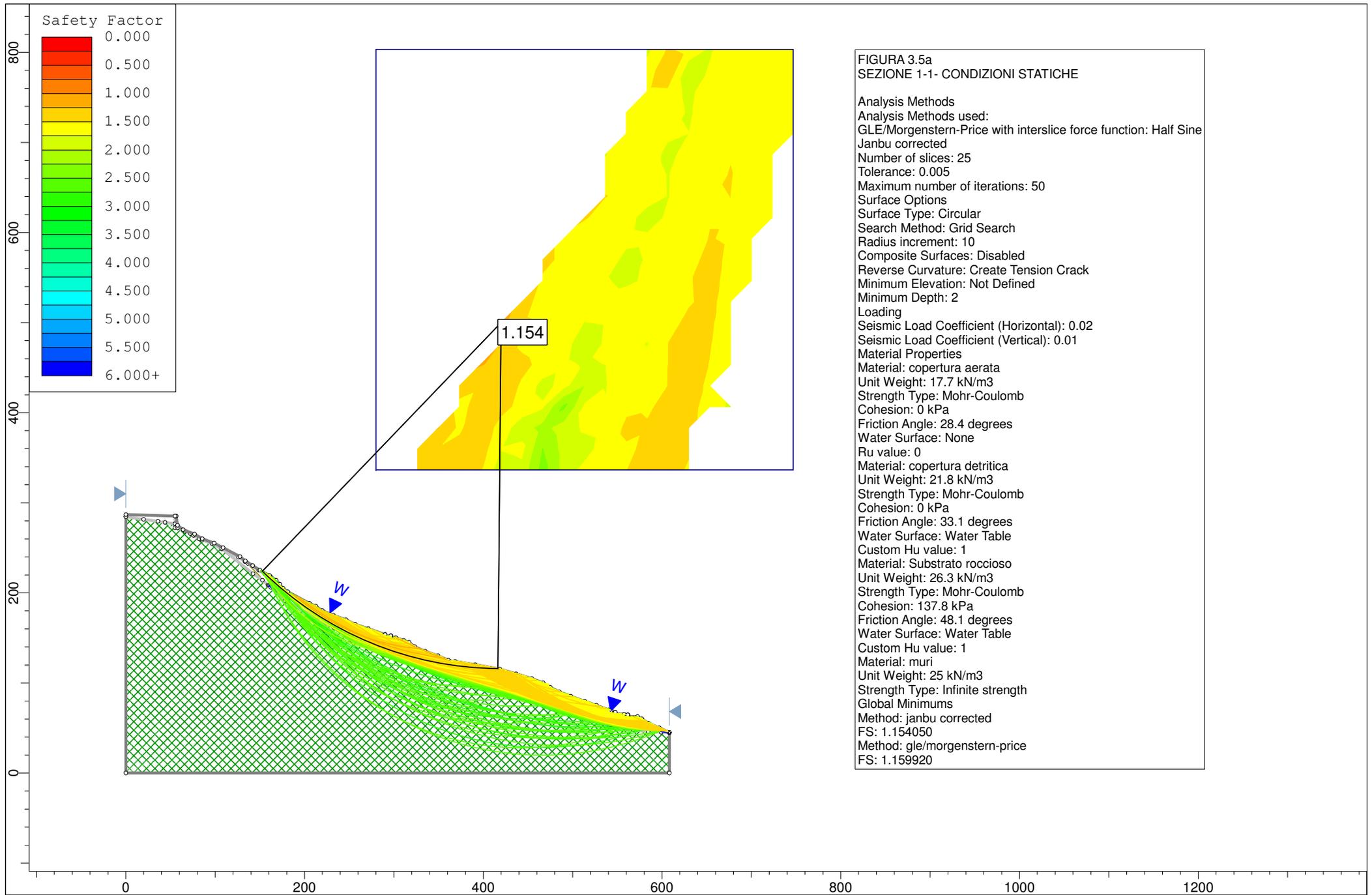
Stato Limite	SLO	SLD	SLV	SLC
Prob. di superamento:	81 %	63 %	10 %	5 %
Tr:	30 [anni]	50 [anni]	475 [anni]	975 [anni]
ag:	0,023 g	0,030 g	0,070 g	0,090 g
Fo:	2,536	2,526	2,532	2,525
Tc*:	0,186 [s]	0,207 [s]	0,286 [s]	0,295 [s]

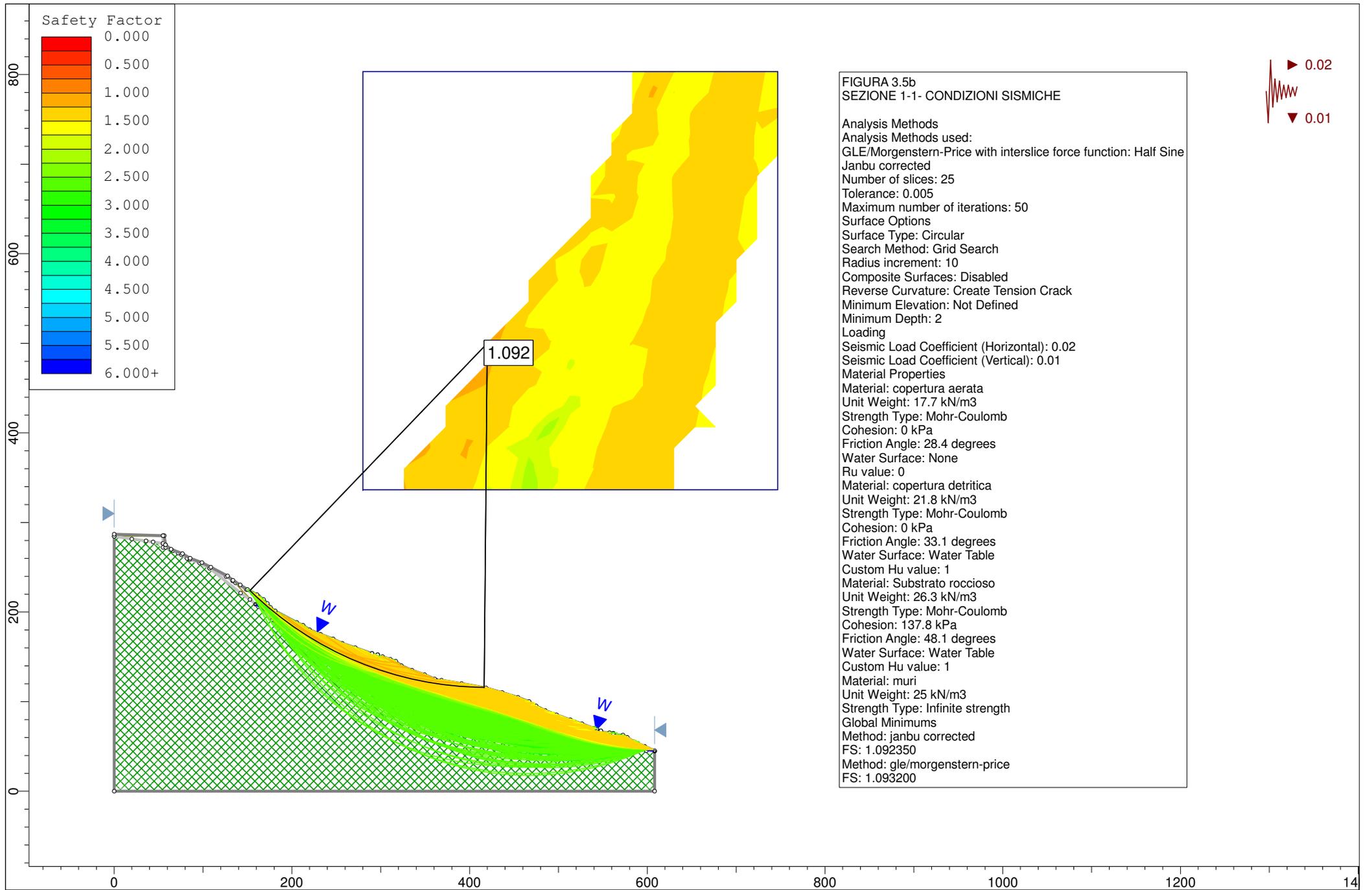
Coefficienti Sismici

Stato Limite	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,200	1,200	1,200	1,200
Cc	1,540	1,510	1,410	1,400
St	1,200	1,200	1,200	1,200
Kh	0,007	0,009	0,020	0,026
Kv	0,003	0,004	0,010	0,013
Amax	0,332	0,424	0,984	1,269
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

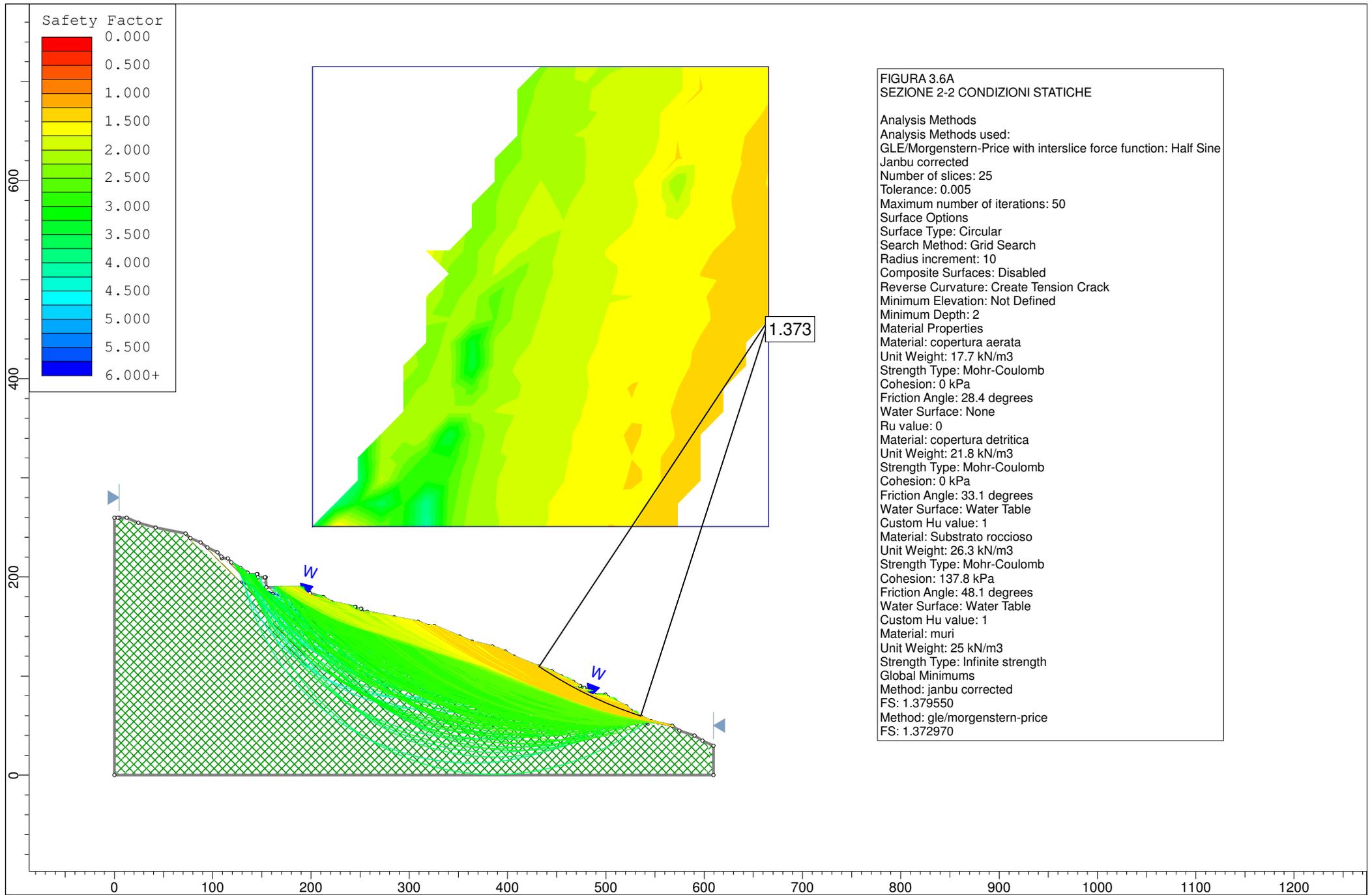
**FIGURA 3.4**  
**PARAMETRI SISMICI**

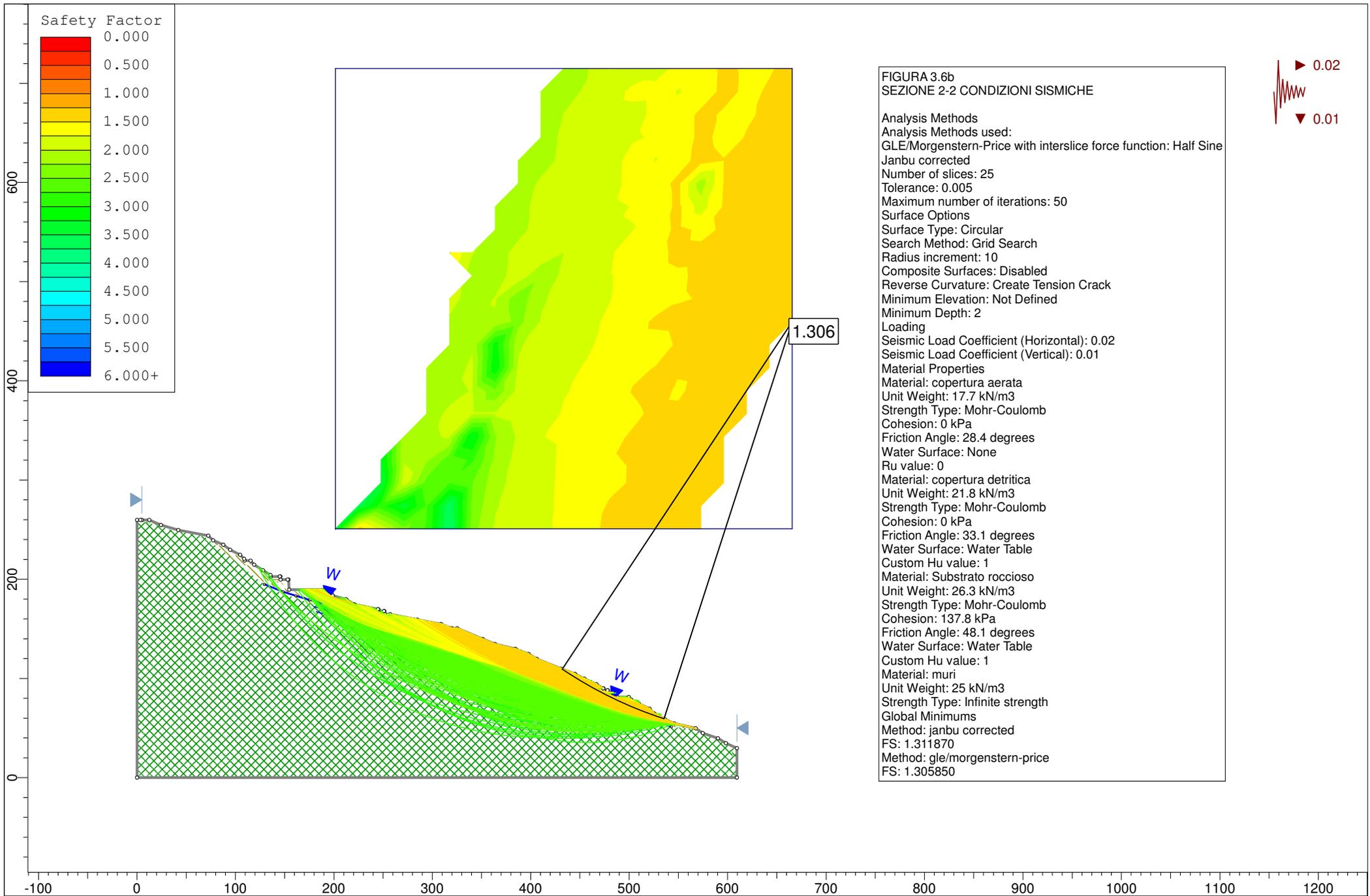
**FIGURA 3.5**  
**ANALISI VERSANTE**  
**SEZIONE 1-1**





**FIGURA 3.6**  
**ANALISI VERSANTE**  
**SEZIONE 2-2**





## **ALLEGATO 4 – INDICATORI GEOMORFOLOGICI**

Figura 4.1: Carta degli indicatori cinematico-geomorfologici

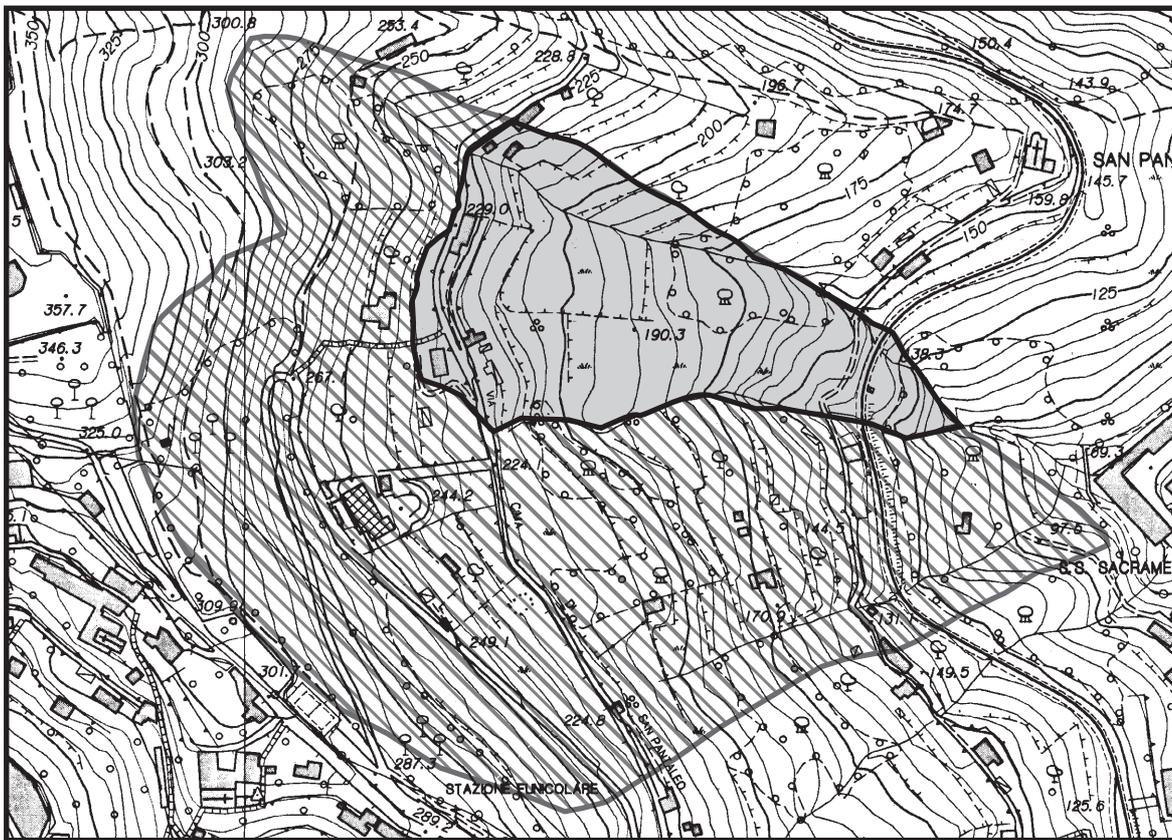
Figura 4.2: Carta degli indicatori cinematico-geomorfologici

Figura 4.3: Carta degli indicatori cinematico-geomorfologici

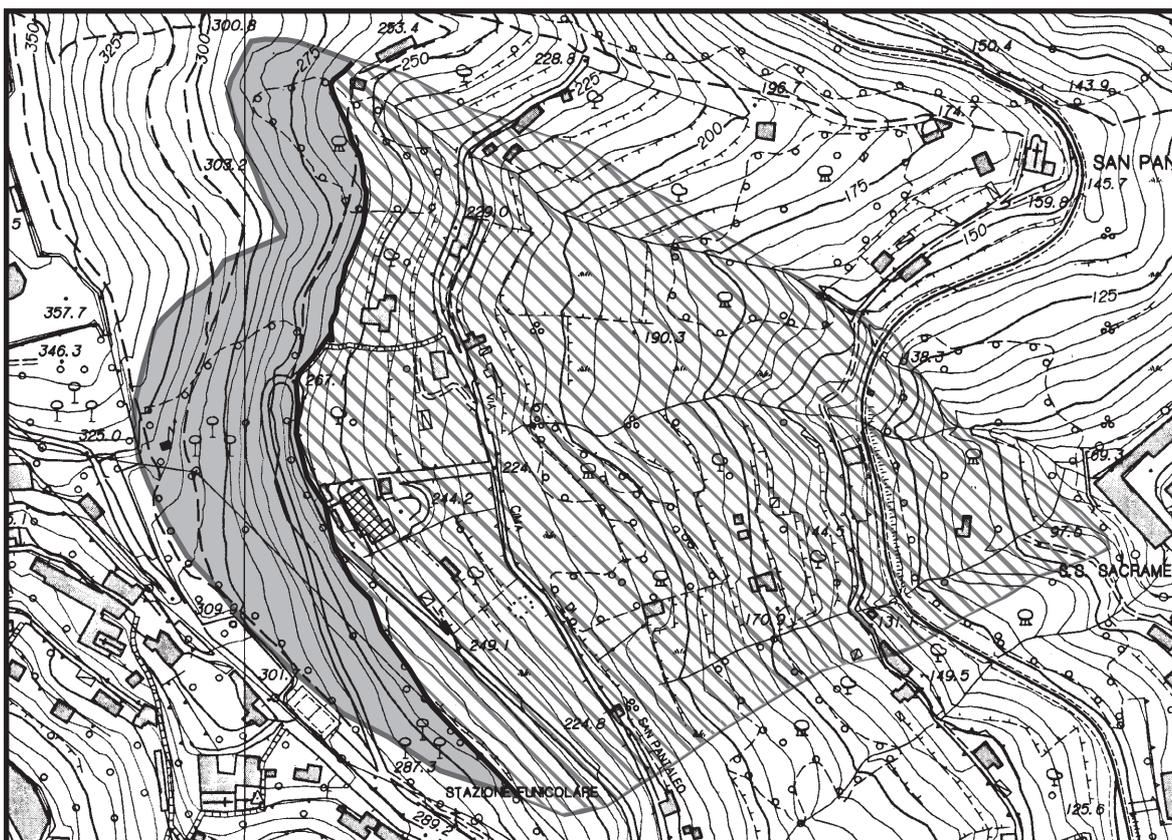
Figura 4.4: Carta degli indicatori cinematico-geomorfologici

Figura 4.5: Proposta di ripermetrazione





**Indicatore geomorfologico I3:** Sconvolgimento del sistema di drenaggio, ristagni d'acqua



**Indicatore geomorfologico I4:** Assenza di sviluppo di suolo e/o di affioramento di substrato

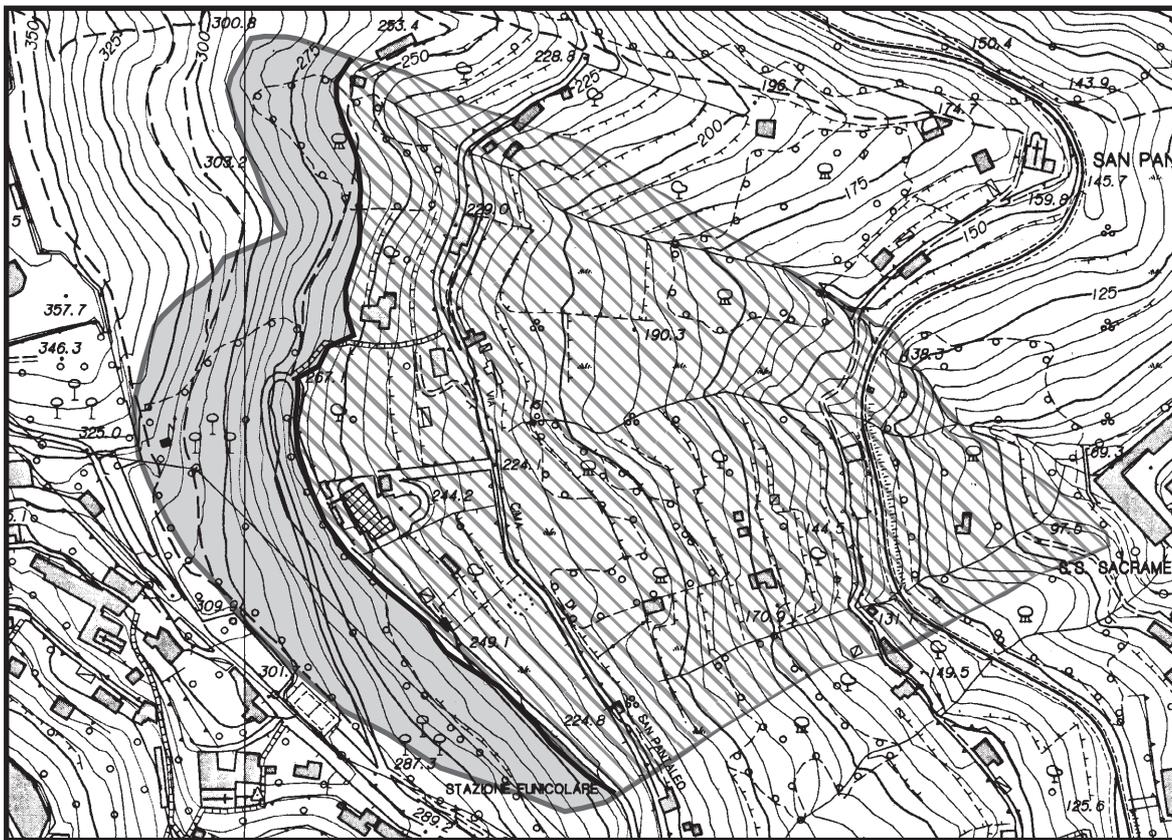


Assenza dell'indicatore - indice di cinematicità  $g=0$

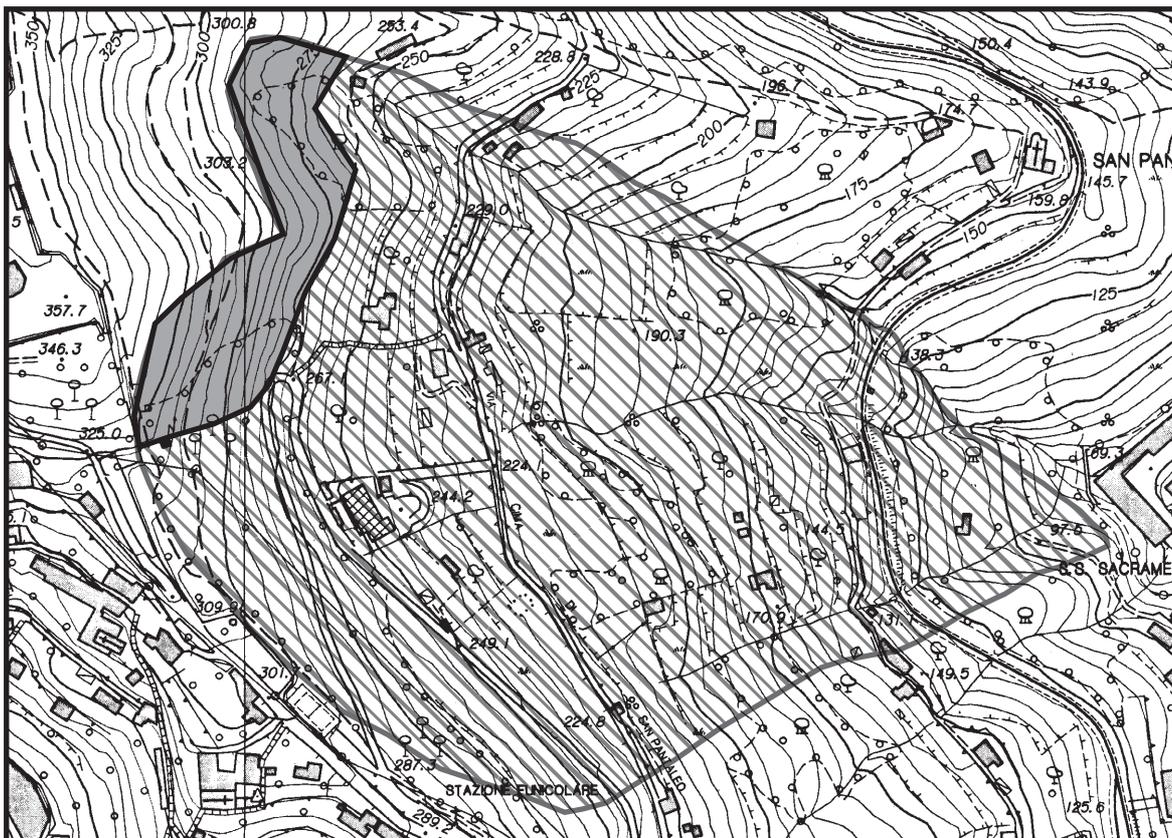


Presenza dell'indicatore - indice di cinematicità  $g=1$

**FIGURA 4.2**  
**INDICATORI CINEMATICI**  
in scala 1:5000



**Indicatore geomorfologico I5:** Differenze nette di vegetazione all'interno del perimetro di frana

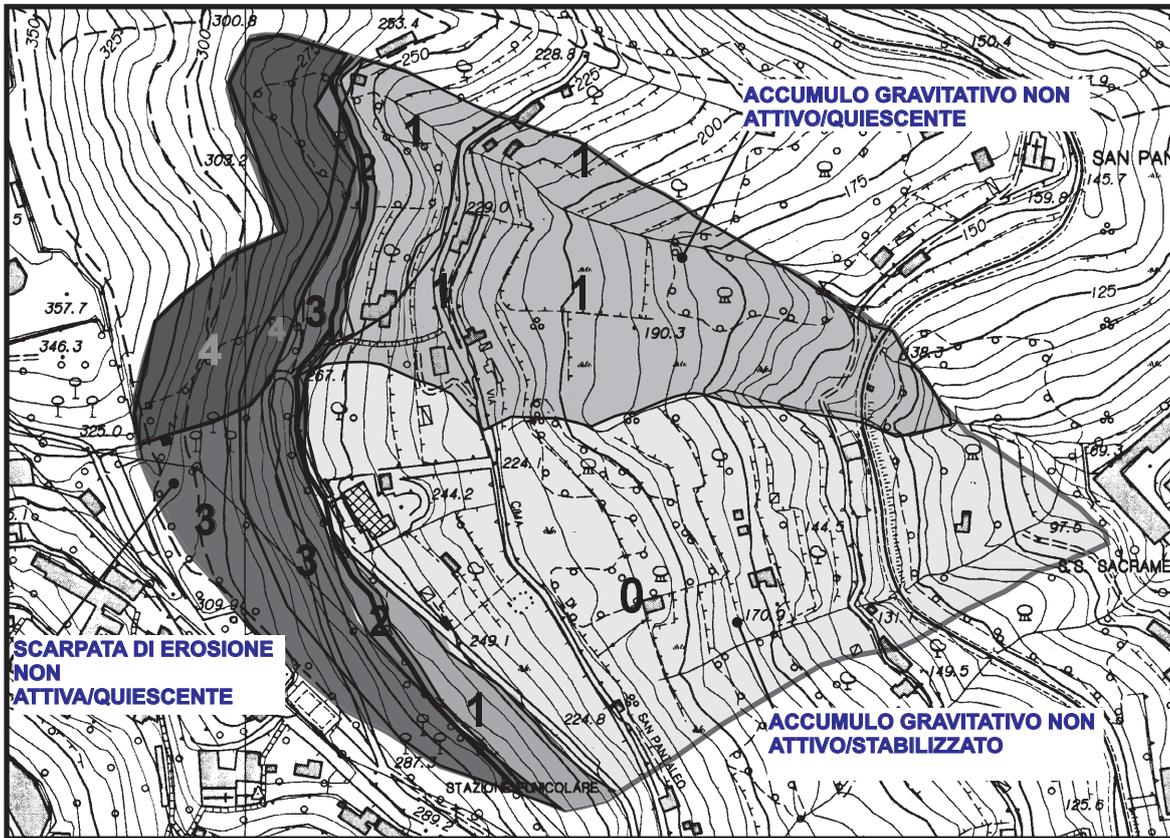


**Indicatore geomorfologico I6:** Alberi inclinati

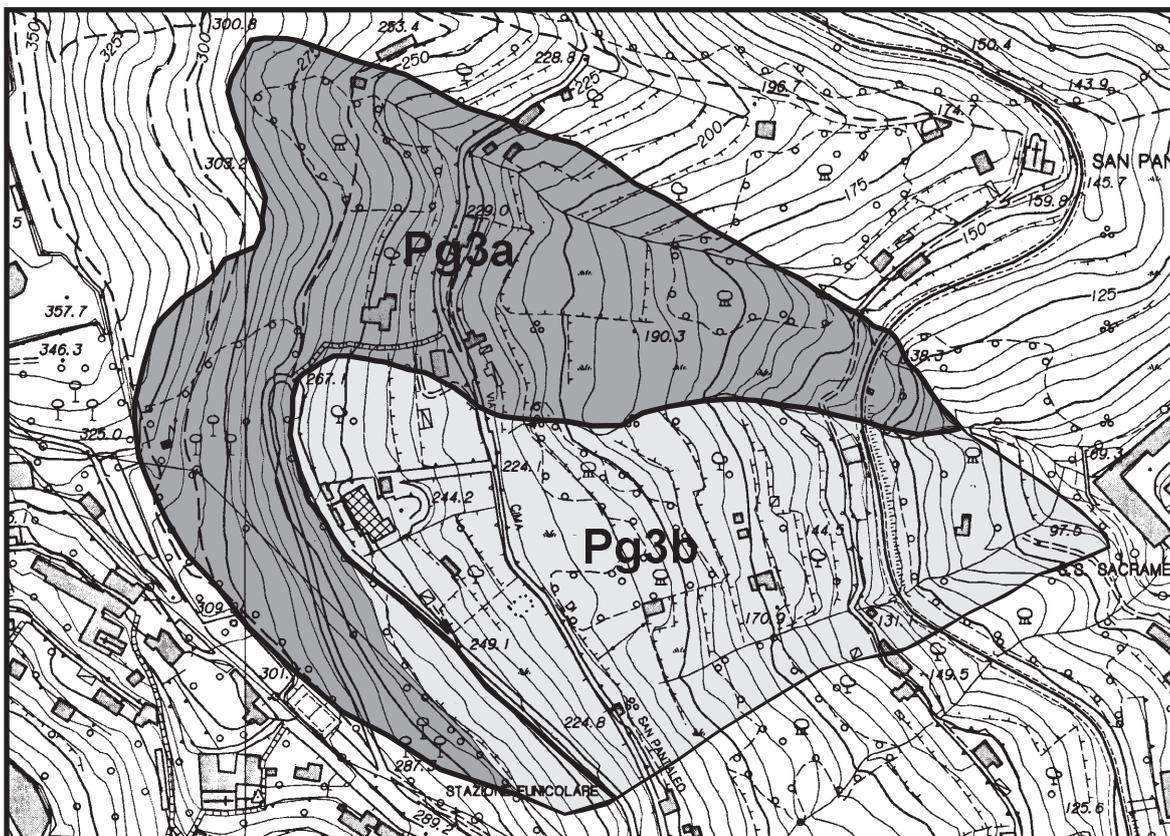
-  Assenza dell'indicatore - indice di cinematicità  $g=0$
-  Presenza dell'indicatore - indice di cinematicità  $g=1$

**FIGURA 4.3**  
**INDICATORI CINEMATICI**  
in scala 1:5000





Carta di sintesi



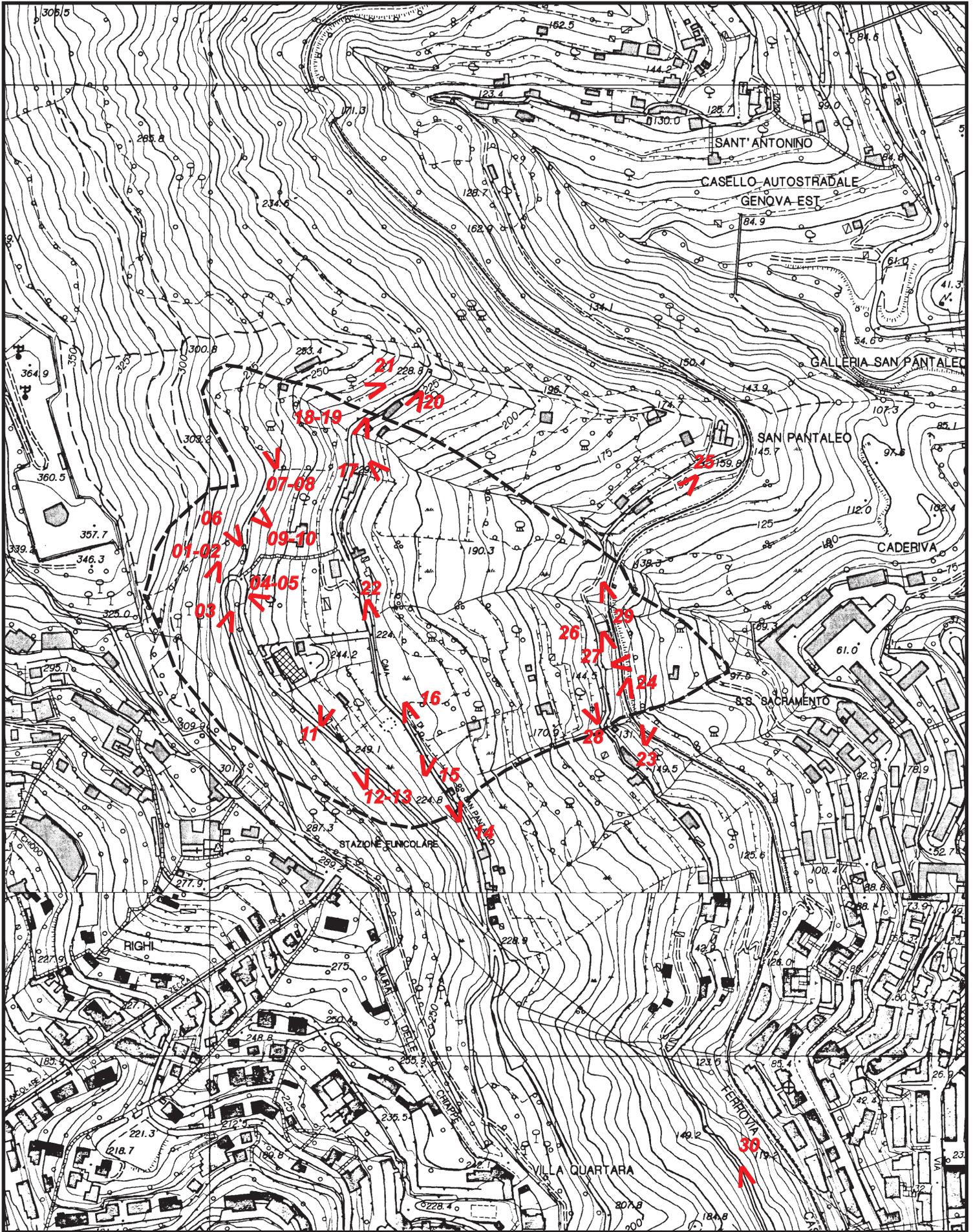
Proposta di ripermimetrazione:  
generale 1:5000

**FIGURA 4.5**  
**PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE**  
in scala 1:5000/2500

## **ALLEGATO 5 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

Figura 5.1: Carta punti di ripresa fotografici

Doc. fotografica: n. 30 fotografie



Punti di ripresa fotografici

**FIGURA 5.1**  
**PUNTI DI RIPRESA FOTOGRAFICI**  
 in scala 1:2500



F 01



F 02



F 03



F 04



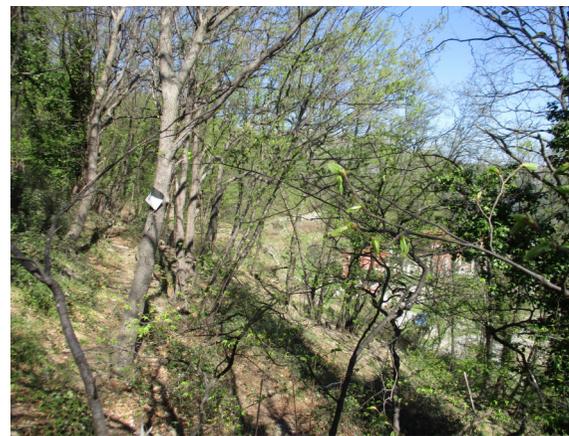
F 05



F 06



F 07



F 08



F 09



F 10



F 11



F 12



F 13



F 14



F 15



F 16



F 17



F 18



F 19



F 20



F 21



F 22



F 23



F 24



F 25



F 26



F 27



F 28



F 29



F 30