



Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77  
OCDPC n.979/2023

PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA di III° LIVELLO,  
ANNUALITA' 2023

## MICROZONAZIONE SISMICA

### Relazione Illustrativa

#### REALIZZAZIONE STUDI DI APPROFONDIMENTO DI LIVELLO 3 SULLE AREE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE

#### Regione Marche Comune di Fratte Rosa



|                                                                                                           |                                                                                                                                                                                      |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <p>REGIONE MARCHE</p>  | <p>Soggetto realizzatore<br/><i>Dott. Geol. Cristiana Nasoni</i><br/><i>Dott. Geol. Massimo Sergenti</i></p> <p>Collaboratore incaricato:<br/><i>Dott. Geol. Giulia Striglio</i></p> | <p>Data</p> <p>GIUGNO 2026</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|

## Sommar

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>0- PREMESSE</b>                                                         | 4  |
| <b>1- RACCOLTA DATI ESISTENTI</b>                                          | 7  |
| <b>1.1 Inquadramento geografico e cartografico dell'area di studio</b>     | 7  |
| <b>1.2 Cronistoria del fenomeno franoso</b>                                | 7  |
| 1.2.1 Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche,         | 7  |
| fotogrammi degli anni 1954-1956 (1993)                                     | 7  |
| 1.2.2 Carta Geologica - Ambiente fisico delle Marche, 1991                 | 8  |
| 1.2.3 Progetto IFFI - Anni 1995-2000                                       | 9  |
| 1.2.4 Piano assetto idrogeologico della Regione Marche 2004,               | 10 |
| aggiornamento 2020                                                         | 10 |
| <b>1.3 Caratteri geologici e tettonici</b>                                 | 11 |
| 1.3.1 Il substrato                                                         | 12 |
| 1.3.2 La copertura                                                         | 12 |
| <b>1.4 Caratteri idrogeologici</b>                                         | 13 |
| <b>2.1 Attività di fotointerpretazione</b>                                 | 15 |
| <b>2.2 Rilievi sul terreno</b>                                             | 16 |
| <b>2.3 Descrizione e definizione del fenomeno franoso in studio</b>        | 19 |
| <b>3- CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO</b>                                 | 20 |
| <b>3.1 Indagini di campo</b>                                               | 20 |
| <b>3.2 Risultati delle analisi di laboratorio geomeccanico</b>             | 21 |
| 3.2.1 Indagini precedenti (bibliografia)                                   | 21 |
| 3.2.2 Analisi di laboratorio in esame (Luglio 2024)                        | 22 |
| <b>3.3 Modello geologico</b>                                               | 23 |
| 3.3.1 Successione litostratigrafica                                        | 23 |
| 3.3.2 Parametri geotecnici                                                 | 27 |
| <b>4- CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO</b>                               | 28 |
| <b>4.1 Pericolosità sismica di base, la normativa</b>                      | 28 |
| <b>4.2 Inquadramento generale</b>                                          | 28 |
| <b>4.3 Microzonazione sismica di Livello 1 e Livello 2</b>                 | 30 |
| 4.3.1 Sintesi dei risultati della Microzonazione sismica di Livello 2      | 30 |
| <b>4.4 Microzonazione sismica di Livello 3</b>                             | 31 |
| 4.4.1 Categoria del sottosuolo                                             | 31 |
| 4.4.2 Condizioni e amplificazione topografica                              | 34 |
| <b>5- RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>                                          | 36 |
| <b>5.1 Tipologia indagini geofisiche eseguite</b>                          | 36 |
| <b>5.2 Inversione congiunta curva di dispersione e di ellitticità</b>      | 36 |
| <b>5.3 Analisi di RLS e dati propedeuci al calcolo degli spostamenti</b>   | 37 |
| <b>6- VERIFICHE DI STABILITÀ</b>                                           | 40 |
| <b>6.1 Premesse</b>                                                        | 40 |
| <b>6.2 Metodologia</b>                                                     | 42 |
| <b>6.3 Modello geotecnico assunto</b>                                      | 44 |
| <b>6.4 Condizioni idrogeologiche (acque sotterranee)</b>                   | 45 |
| <b>7- RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ</b>                             | 45 |
| <b>7.1 Verifica di stabilità in condizioni statiche e pseudo-statiche</b>  | 46 |
| <b>7.2 Verifiche di stabilità con il metodo dinamico degli spostamenti</b> | 46 |
| <b>8- RISULTATI FINALI, DUBBI E INCERTEZZE</b>                             | 57 |

## **9-DESCRIZIONE ELABORATI CARTOGRAFICI CON RELATIVI AGGIORNAMENTI ..... 59**

### ELENCO ALLEGATI

Fig.1 - Corografia CTR Regione Marche;  
 Fig.2 - Carta inventario dei movimenti franosi Regione Marche;  
 Fig.3 - Carta geologica - L'ambiente fisico delle Marche;  
 Fig.4 - Carta geologica - progetto C.A.R.G;  
 Fig.5 - Carta inventario dei fenomeni franosi - Progetto IFFI;  
 Fig.6 - Carta del Rischio Idrogeologico - P.A.I. Marche

- Allegato n°1 Inversione congiunta della curva di dispersione (MASW) e di ellitticità (HVSr)
- Allegato n°2 Verifiche di stabilità in condizioni statiche e pseudo-statiche

### ELENCO ELABORATI GRAFICI

- Tavola n°1 Carta delle indagini eseguite - scala 1:5.00 (A3)
- Tavola n°2 Carta geologica-geomorfologica - scala 1:5.00 (A3)
- Tavola n°3 Sezione litostratigrafica A-A' - scala 1:1.000 (A1)
- Tavola n°4 Sezione litostratigrafica B-B' - scala 1:1.000 (A1)

### ELENCO ELABORATI GRAFICI DI LIVELLO 2 REVISIONATI

- Carta delle Indagini - 1:10.000 (A0)
- Carta Geologico-Tecnica - 1:10.000 (A0)
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - 1:10.000 (A0)
- Carta delle frequenze naturali del terreno - 1:10.000 (A0)
- Carta di Microzonazione sismica di Livello 2 (Periodo di vibrazione 0,1-0,5 sec) - 1:10.000 (A0)
- Carta di Microzonazione sismica di Livello 2 (Periodo di vibrazione 0,4-0,8 sec) - 1:10.000 (A0)
- Carta di Microzonazione sismica di Livello 2 (Periodo di vibrazione 0,7-1,1 sec) - 1:10.000 (A0)

## • 0- PREMESSE

La presente relazione fa seguito all'incarico ricevuto dall'Amministrazione Comunale di Fratte Rosa e riguarda gli studi di approfondimento di microzonazione sismica (MS) di livello 3 sulle aree di attenzione per instabilità di versante, individuate all'interno del territorio comunale, ai sensi dell'O.C.D.P.C. 978/2023.

L'incarico consiste nell'espletamento di attività professionali volte all'analisi di dettaglio, secondo quanto previsto dagli "Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica" per gli studi di MS di livello 3, in aree di instabilità di versante, individuate in base alle risultanze degli studi di MS di livello inferiore (lavori precedenti).

Di concerto con l'Ente attuatore (Comune di Fratte Rosa), la Commissione Tecnica Regionale per gli studi di MS (CNR- IGAG) e l'Ente realizzatore (i Professionisti incaricati), tenendo conto degli indirizzi e dei criteri per la microzonazione sismica redatti dal Dipartimento alla Protezione Civile (approvati il 13.11.2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, tra quelle rilevate negli studi di MS precedenti), è stata presa in esame la frana, distinta con la sigla F-07-0678 nel P.I. Marche, che si estende lungo il versante collinare che volge a sud del centro storico di Fratte Rosa (Fig.1).

La scelta del dissesto gravitativo da esaminare è stata dettata dal suo stato di attività, in quanto doveva trovarsi in una condizione di quiescenza, ossia potenzialmente riattivabile nell'attuale sistema morfo-climatico per effetto del moto del suolo indotto dall'evento sismico atteso.

Le azioni sismiche possono infatti riattivare quei fenomeni gravitativi apparentemente stabili in condizioni fisico-climatiche, provocando potenzialmente danni alla popolazione, alle infrastrutture e procurare possibili ostacoli alle operazioni di protezione civile. La finalità del presente studio è pertanto quella di valutare la risposta del pendio naturale oggetto di analisi sotto l'azione dinamica e ciclica del terremoto di progetto.

Lo studio comprende anche l'aggiornamento delle Carte di MS di livello 1 e 2 esistenti e dei file necessari alla loro realizzazione, sulla base dei risultati del presente studio (Carta delle Indagini, Carta Geologico-tecnica, Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica e Carte di Microzonazione), da effettuarsi secondo gli standard tecnici nazionali e regionali di riferimento più aggiornati.

Per l'espletamento dell'incarico, sono state seguite le indicazioni contenute nei seguenti documenti tecnici di riferimento (O.C.D.P.C. 978/2023):

1. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (I.C.M.S.) e successivi aggiornamenti, redatti dal Dipartimento della Protezione Civile (approvati il 13.11.2008 dalla Conferenza delle Regioni e Province autonome);
2. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica della Commissione tecnica per la microzonazione sismica vigenti al momento del primo incontro di formazione (Art. 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907);



3. Studi pilota e disposizioni e/o linee guida per specifici tematismi redatte dai gruppi di lavoro del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile in accordo con la Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome;
4. Microzonazione sismica di II livello – Abachi Regionali, ultima revisione, redatta dall'OGS di Trieste e modificata dalla Commissione Tecnica Regionale;
5. Lo studio è stato redatto secondo lo standard di rappresentazione e archiviazione informatica di "Microzonazione Sismica" versione 4.2.

Le indagini previste nel programma di studio, consistono in:

1- Rilievi, indagini geologiche, geofisiche e geotecniche:

- a) Rilevamento geomorfologico e geologico-tecnico di dettaglio a scala adeguata (1:5000-1:10.000), integrato con analisi di foto aeree scalate nel tempo e compilazione di apposita scheda e restituzione cartografica in ambiente GIS.
- b) Valutazione di massima di stato/distribuzione/stile di attività del fenomeno franoso in esame integrando le evidenze di campo con i risultati di studi multi-temporal (change detection) su immagini ottiche (aeree e/o satellitari).
- c) Pianificazione ed esecuzione di indagini geognostiche e geofisiche, con il supporto della Commissione Tecnica Regionale per gli studi di MS rappresentativa del Centro MS - CNR-IGAG, come nel seguito indicate, per una somma non inferiore al 25% dell'ammontare complessivo dell'incarico.

Il programma delle indagini (tipologia, numero, localizzazione) è stato definito compiutamente in fase preliminare allo svolgimento dell'incarico, attraverso il confronto con la Commissione Tecnica Regionale per gli studi di MS rappresentativa del Centro MS - CNR-IGAG e l'Ufficio Tecnico Comunale, tenendo conto dell'areale da indagare e della tipologia di frana individuata come oggetto di studio.

2- Caratterizzazione sismica del sottosuolo

mediante la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs, esteso in profondità fino al raggiungimento del substrato sismico, attraverso inversione congiunta di curve di dispersione e HVSr.

3- Definizione del modello di riferimento del corpo di frana

attraverso la realizzazione di un congruo numero di sezioni longitudinali e trasversali al corpo di frana, inclusivo delle sue caratteristiche piezometriche e geotecniche.

4- Valutazione numerica di stabilità all'equilibrio limite e calcolo Kc

per determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica Kc) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica).

5- Analisi di risposta sismica locale monodimensionale e definizione dell'accelerogramma da utilizzare per la modellazione dinamica.

Alla presente relazione fanno parte integrante i seguenti elaborati grafici, raccolti in Appendice:

- Fig. 1 - Corografia, 1: 10.000 (C.T.R. Regione Marche);
- Fig. 2 - Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche, 1: 7.500;
- Fig. 3 - Carta geologica - L'ambiente fisico delle Marche (1991), 1: 7.500;
- Fig. 4 - Carta geologica regionale, Progetto C.A.R.G., 1: 7.500;
- Fig. 5 - Progetto IFFI - Carta inventario dei fenomeni franosi in Italia, 1: 7.500;
- Fig. 6 - Carta del Rischio Idrogeologico (P.A.I. delle Marche)
- Fig. 7 - Carta Geomorfologica, fotointerpretazione fotogrammi anno 1974, 1: 7.500;
- Fig. 8 - Carta Geomorfologica, fotointerpretazione fotogrammi anno 2000, 1: 7.500;
- Repertorio fotografico.

**Note:**

Per non confondere la denominazione delle indagini tra le varie versioni presentate (sia pur provvisorie) e comunque contenute nei report già stampati in pdf, si riporta la seguente tabella di conversione per facilitare la lettura della presente relazione.

| TABELLA DI CONVERSIONE     |                                         |                             |
|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Indagini</b>            | <b>Riferimento campagna geognostica</b> | <b>Codifica in Database</b> |
| Indagini geofisiche (HVRs) | H1                                      | P170                        |
|                            | H2                                      | P171                        |
|                            | H3                                      | P172                        |
| Penetrometrie statiche CPT | Ps1                                     | P173                        |
|                            | Ps2                                     | P174                        |
|                            | Ps3                                     | P175                        |
|                            | Ps4                                     | P176                        |
|                            | Ps5                                     | P177                        |
|                            | Ps6                                     | P178                        |
|                            | Ps7                                     | P179                        |
| Sondaggi geognostici       | SG1                                     | P180                        |
|                            | SG2                                     | P181                        |
|                            | SG3                                     | P182                        |
| Pozzi idrici               | Po1                                     | P183                        |
|                            | Po2                                     | P184                        |
| Indagini geofisiche (MASW) | MW1                                     | L12                         |
|                            | MW2                                     | L13                         |

## 1- RACCOLTA DATI ESISTENTI

Negli archivi del Comune di Fratte Rosa sono disponibili dati molto frammentari e più che altro in corrispondenza del centro storico o a bordi della viabilità principale.

Nell'area di studio, a vocazione esclusivamente agricola, di fatto, non sono reperibili informazioni utili a definire il contesto geologico, geotecnico, sismico e idrogeologico.

Il punto di partenza del presente studio è pertanto di tipo bibliografico e basato su conoscenze pregresse da parte dei professionisti incaricati.

### 1.1 Inquadramento geografico e cartografico dell'area di studio

È stata utilizzata la base cartografica tecnica regionale (C.T.R. in scala 1:10.000, realizzata negli 1999-2001 dalla Regione Marche.

L'area di studio ricade all'interno delle sezioni C.T.R. n 280150 "Fratte Rosa" e 280160 "Sant'Ippolito".

Per l'inquadramento geologico e geomorfologico sono state consultate le cartografie disponibili in letteratura.

La cartografia geologica ufficiale, a cui si fa riferimento, è quella realizzata dal Servizio Geologico d'Italia (Fogli n°280 "Fossombrone" in scala 1: 50.000), inoltre alla carta geologica e geomorfologica pubblicata dalla Regione Marche (in scala 1: 10.000), realizzata nell'ambito del progetto denominato "Carta Geologica Nazionale" (CARG: 1993-2004), cofinanziato dal Servizio Geologico Nazionale e dalla Regione Marche.

Sono stati presi in esame altri elaborati tecnico-cartografici (relazioni geologiche, studi professionali, documenti di PRG, fotografie aeree) che hanno permesso di inquadrare al meglio il fenomeno franoso in causa e ricavare la progressione evolutiva nel tempo.

### 1.2 Cronistoria del fenomeno franoso

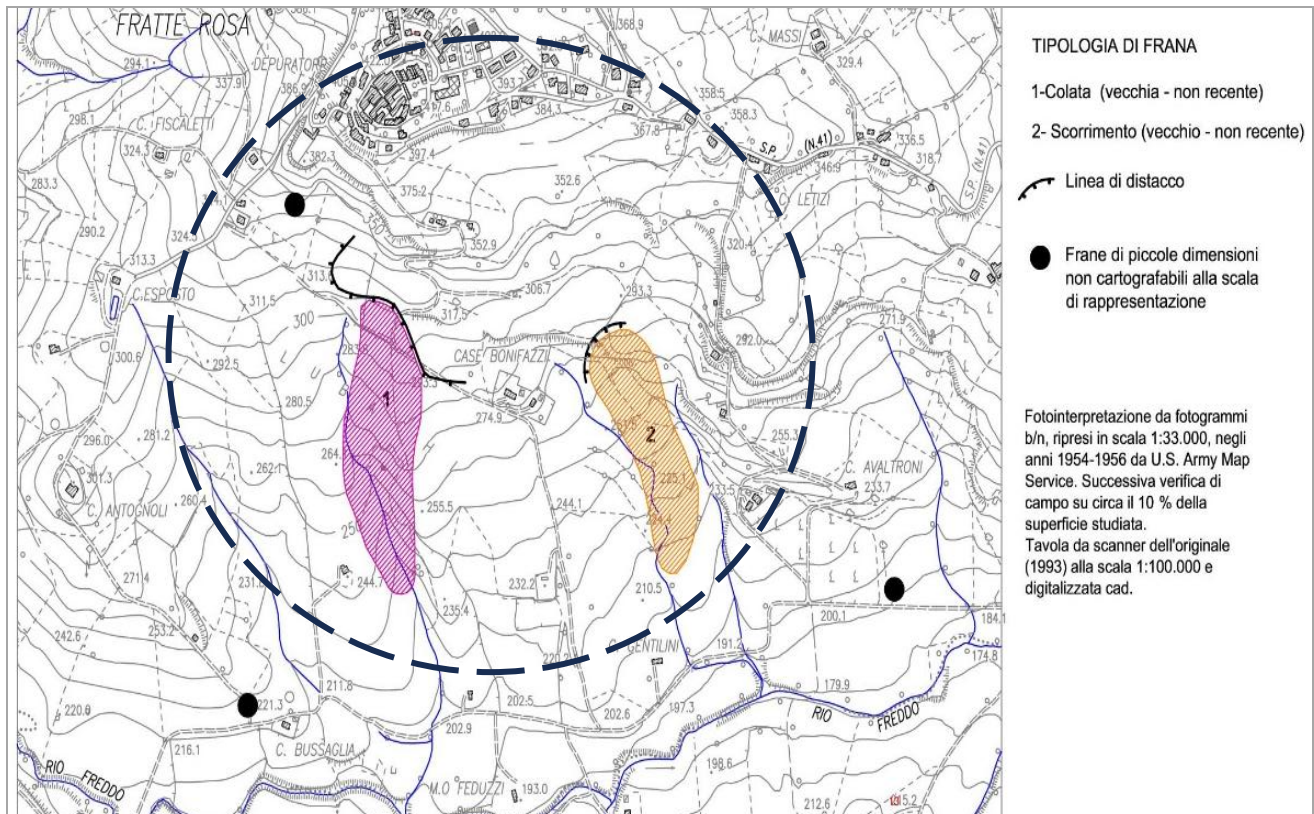
#### 1.2.1 Carta inventario dei movimenti franosi della Regione Marche, fotogrammi degli anni 1954-1956 (1993)

L'elaborato che segue è stato pubblicato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche (Istituto per la protezione idrogeologica nell'Italia Centrale).

La tavola in esame si basa su attività di fotointerpretazione dei fotogrammi omogenei ripresi negli anni 1954-1956 da U.S. Army Map Service e successiva verifica parziale sul campo (Fig. 2).

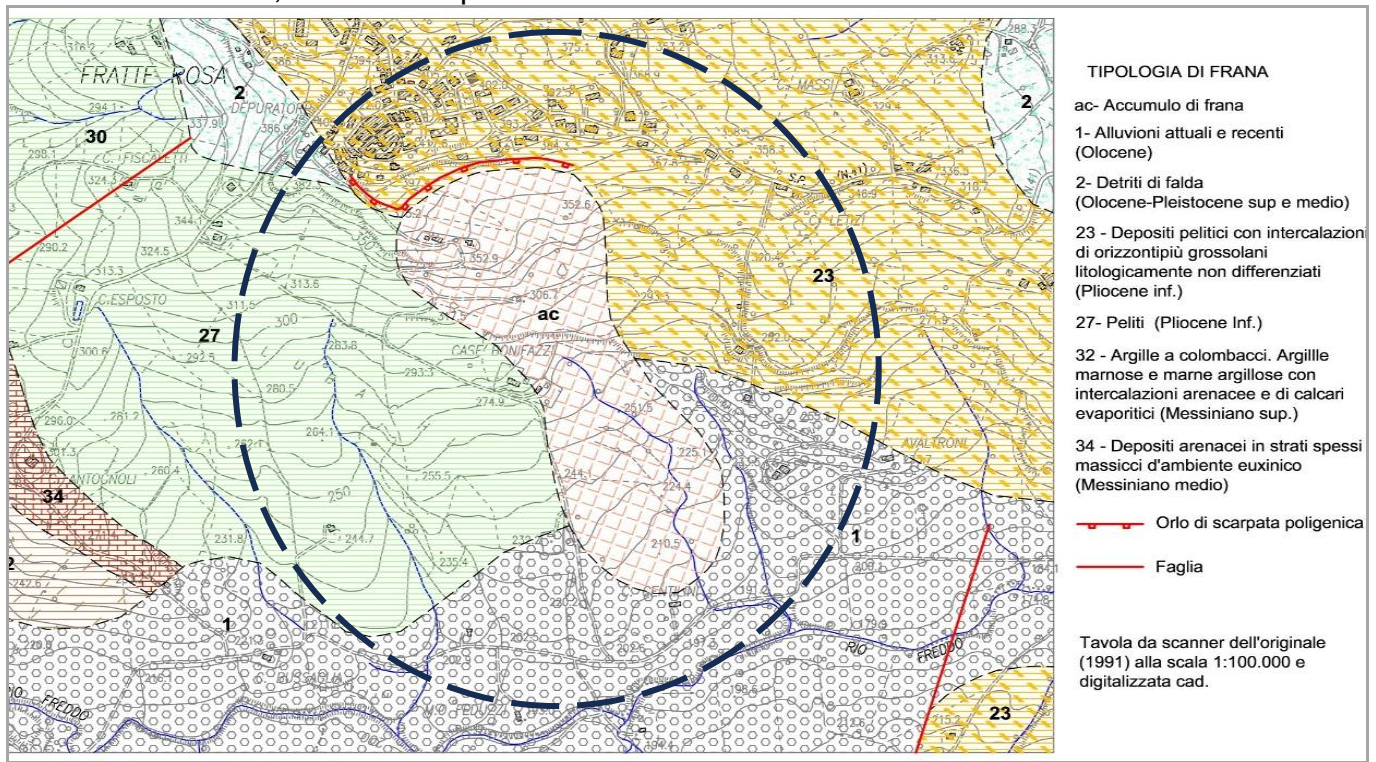
Nell'area oggetto di studio sono individuati due distinti fenomeni franosi, di non recente manifestazione (frane antiche):

- n° 1 tipo "colata" a sinistra dell'immagine,
- n° 2 tipo "scorrimento" a destra.



### 1.2.2 Carta Geologica - Ambiente fisico delle Marche, 1991

Il fenomeno franoso viene descritto come “accumulo di frana”, per la sua conformazione, assume l'aspetto di uno scosciamento roto-traslattivo.





Nell'immagine si evidenzia una corona di frana a valle della strada Provinciale S.P. 41. Tale frana interessa, senza soluzione di continuità, monte-valle, i terreni argilloso-marnosi con livelli arenacei presenti alle quote superiori e i terreni argillosi e argilloso-marnosi presso le porzioni inferiori del versante (Fig. 3).

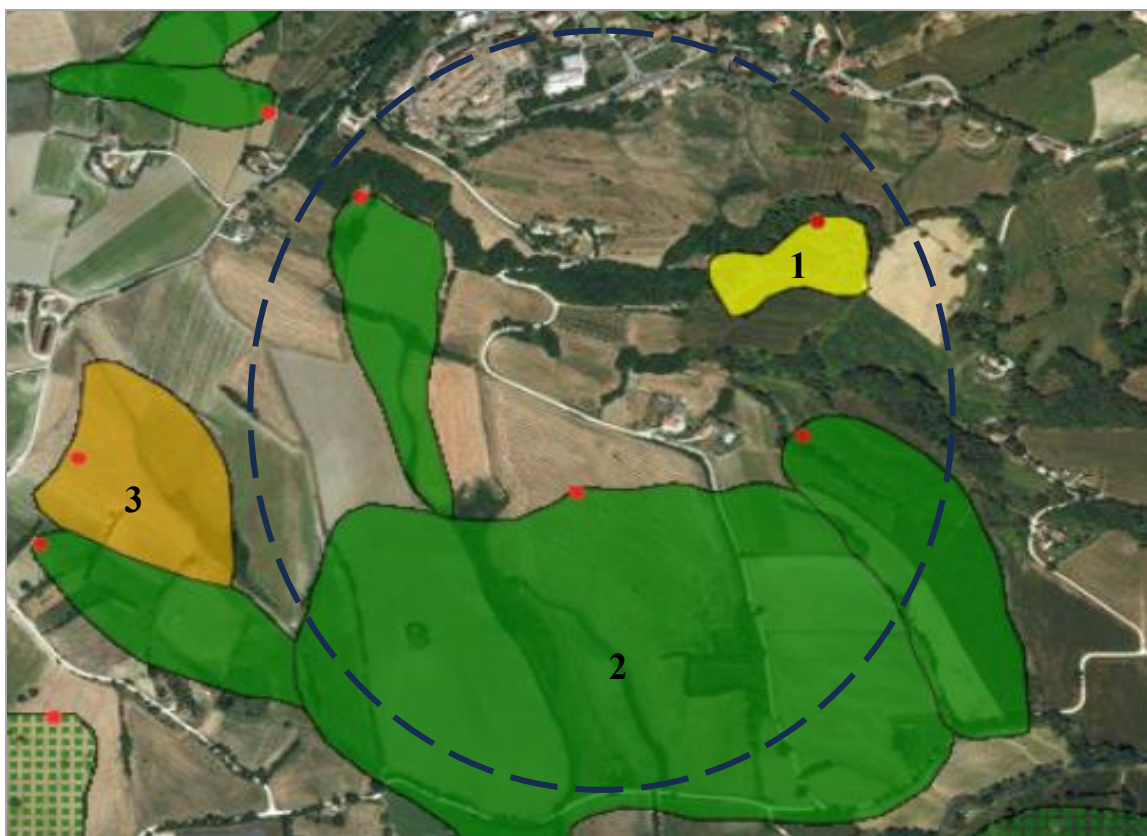
### 1.2.3 Progetto IFFI - Anni 1995-2000

Il Progetto IFFI costituisce il primo inventario omogeneo dei fenomeni franosi realizzato sull'intero territorio nazionale. È stato eseguito dalle Regioni e Province autonome d'Italia, in collaborazione con il Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia dell'APAT (ora in ISPRA).

Il Progetto IFFI (Web Gis dell'inventario dei fenomeni franosi in Italia) rappresenta, sulla base cartografica regionale, un quadro dettagliato della distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio della Regione Marche (Figg. 4 e 5).

Per la Regione Marche i dati risalgono a partire dalla seconda metà degli anni 90 fino ai primi anni 2000. La base cartografica visualizzata alle differenti scale deriva dalle informazioni contenute nella Carta Tecnica Regionale (CTR scala 1:10.000).

#### Progetto IFFI



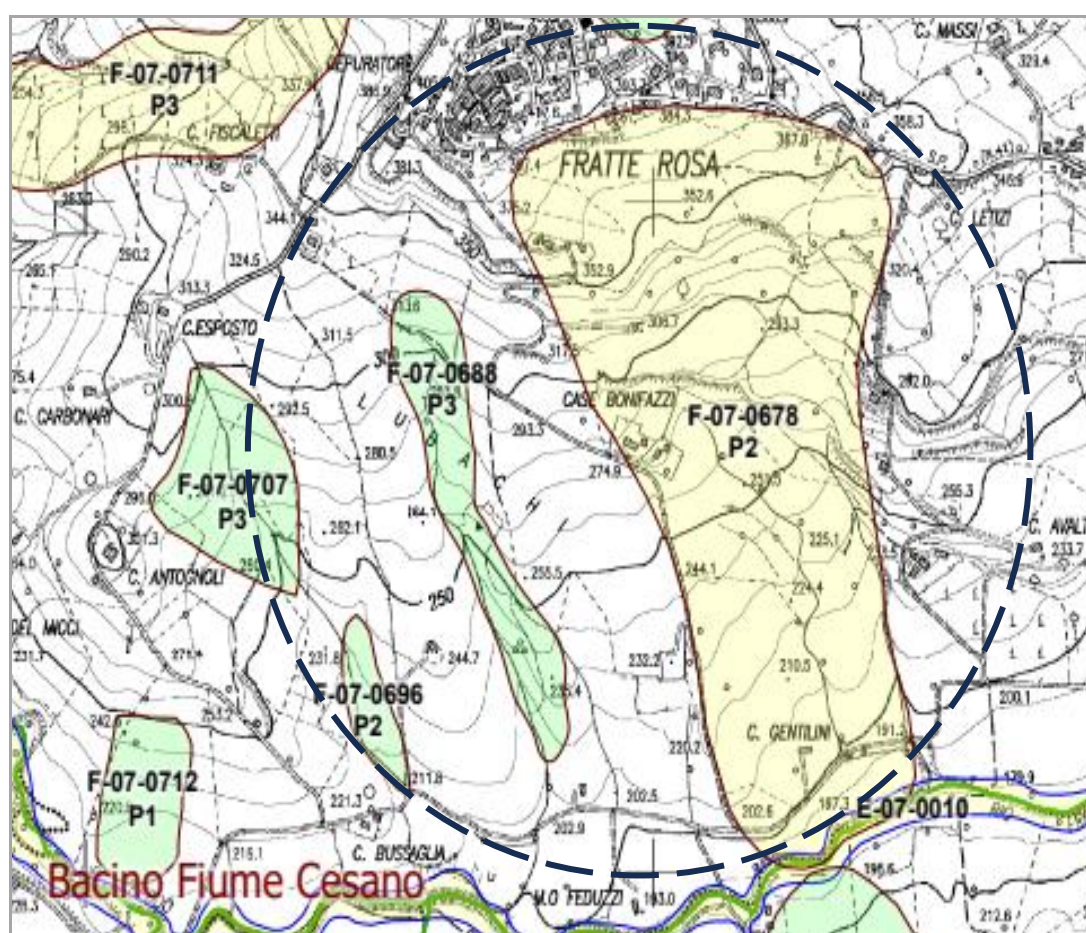
I fenomeni segnalati in pianta sono come nel seguito classificati:

- 1- frana di "scorrimento rotazionale/traslativo";
- 2- frana di "colamento lento";
- 3- frana "complessa".

Il contorno delle frane sopra indicate, di fatto, corrisponde a quello indicato nella Carta geologica regionale, Progetto C.A.R.G., alla scala 1: 10.000, sezione 280150 "Fratte Rosa" (fine rilevamento geologico 2001-2002).

#### 1.2.4 Piano assetto idrogeologico della Regione Marche 2004, aggiornamento 2020

Nel versante oggetto di studio, il Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I) dei bacini di rilievo regionale delle Marche, segnala una frana a rischio medio (R2) e a pericolosità media (P2), distinta con la sigla F-07-0678, in Tav RI 19C che segue. Tale elaborato è stato pubblicato dall'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino centrale (AUBAC), aggiornata con DS n° 109 del 02.07.2020 (Fig. 6).



Aree a rischio frana (cod. F- x-yyyy);



R1 - Rischio moderato



R2 - Rischio medio

P1

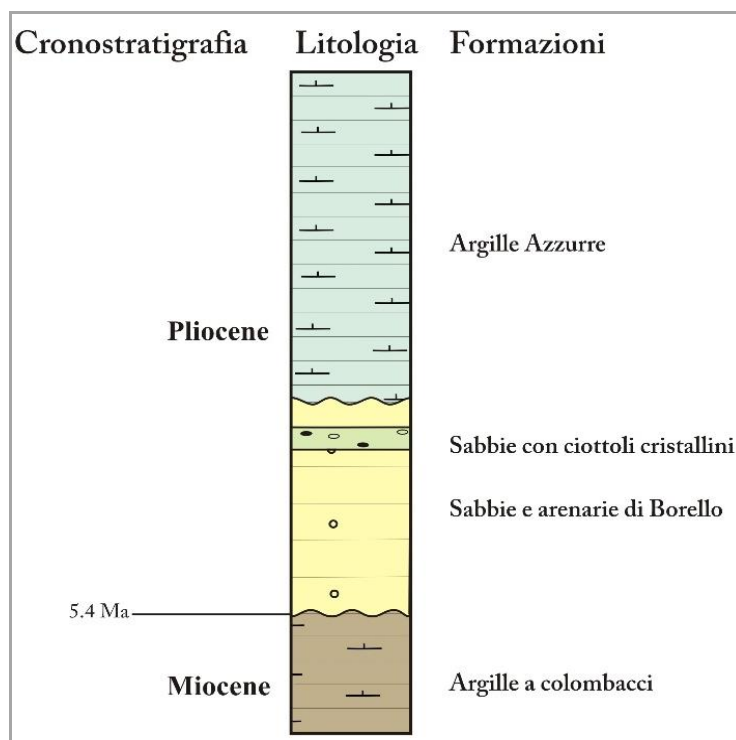
Pericolosità moderata

P2

Pericolosità media

### 1.3 Caratteri geologici e tettonici

L'area di studio appartiene alle Marche settentrionali e inserita nell'unità fisiografica del "bacino marchigiano esterno" (avanfossa adriatica). Il bacino che si sviluppa in direzione "appenninica" (NO-SE) è solcato da numerose dorsali mediane, poco accentuate, con sviluppo relativamente limitato e talora discontinuo. Vi affiorano successioni plio-pleistoceniche, plioceniche, che a luoghi ricoprono in discordanza le sequenze mioceniche.



Colonna stratigrafica dei terreni affioranti nell'area in esame

All'interno della successione plio-pleistocenica è possibile riconoscere, per mezzo della presenza di superfici di discontinuità, diverse sequenze sedimentarie, accompagnate talora da discordanze angolari.

Le unità litostratigrafiche, nel complesso, sono interessate da una tettonica con tipici allineamenti umbro-marchigiani, cioè a pieghe e faglie orientate NO-SE, talora interrotte da faglie NE-SO e E-O.

Le zone di faglia sono molto spesso occultate da coltri di alterazione più o meno potenti che occupano a volte le cime delle colline e che, in molti casi, seguono gli orientamenti strutturali della zona.

Più nel dettaglio l'area di studio è inserita in una estesa struttura monoclinale, disposta in direzione "appenninica", NO-SE e immersione NE a debole inclinazione. La giacitura degli strati, di fatto, si presenta a reggi-poggio rispetto al versante; situazione quest'ultima, che a parità di altre condizioni al contorno risulta a favore della sicurezza.

I processi relativamente più recenti e in atto sono legati essenzialmente alla neotettonica e alla degradazione meteorica i quali influiscono incessantemente sul modellamento terrestre. L'idrografia minore assume un pattern sostanzialmente radiale, centrifugo, con al centro il nucleo storico di Fratte Rosa, da cui è possibile ipotizzare il possibile sollevamento dell'area.

### 1.3.1 Il substrato

I litotipi del substrato appartengono alla formazione delle "Argille Azzurre", attribuita all'età che va dal Pliocene inferiore p.p. al Pleistocene inferiore p.p.

In tale intervallo temporale si assiste al passaggio da una litofacies argilloso-marnosa (FAA), ad un'altra litofacies arenacea (FAAa), infine ad una litofacies sabbioso-arenacea e marnoso-argillosa; quest'ultima riferita al cosiddetto Membro di Borello (FAA2). All'interno di quest'ultimo membro, localmente, si intercalano corpi conglomeratici poligenici, costituiti da clasti, anche grossolani, di gneiss, porfidi quarzitici, scisti, filladi, graniti, calcari e dolomie.

- La litofacies sabbioso-arenacea e marnoso-argillosa (FAA2), è presente nella porzione medio-sommitale del versante, interessando, altresì, il centro storico di Fratte Rosa. È costituita da sequenze arenacee e marnoso-argillose, senza alcuna sistematica ritmicità. Le arenarie, di color grigio-giallastro, hanno una cementazione medio-bassa e presentano una sostanziale lenticolarità a scala dell'affioramento. Gli strati sono da sottili a medi, e solo raramente spessi.

- La porzione medio-inferiore dell'area di studio, fino al fondovalle, è occupata dalla litofacies pelitica (FAA), rappresentata da argille e argille marnose, con sporadiche intercalazioni di veli e livelletti siltoso-sabbiosi di colore grigio azzurrognolo e subordinatamente nocciola. Le argille e le marne risultano talora laminate, in strati da sottili a medi, a luoghi estremamente fratturate con millimetriche patine di ossidazione rossastre.

### 1.3.2 La copertura

In superficie, ricoperti da ridotti spessori di cotico agrario, sono presenti depositi continentali dell'Olocene e del Pleistocene. La copertura, nel suo insieme, è costituita da detriti di falda e depositi di alterazione eluvio-colluviali.

La loro origine è legata al disfacimento esogeno operato dagli agenti atmosferici, dall'alterazione prodotta dalle acque dilavanti e dall'azione incessante della gravità. Ne consegue una sostanziale riduzione delle proprietà geomeccaniche rispetto a quelle della "roccia madre". Lo stato di disgregazione è pressoché completo, la struttura originaria è del tutto cancellata, fino allo stato di sedimento sciolto.

Tali depositi si sviluppano prevalentemente in corrispondenza degli impluvi, lungo i versanti e soprattutto per accumulo al loro piede, dove "l'energia di versante" è maggiore. Sono presenti anche al culmine dei crinali nel formare paleo-spianate morfologiche; ricoprono, appunto, la formazione geologica in posto con spessori variabili da luogo a luogo.



I depositi della copertura, sviluppandosi per la maggior parte nella formazione delle Argille Azzurre (FAA), assumono una prevalente tessitura limoso-argillosa e pertanto, ne deriva, una permeabilità da molto bassa a praticamente trascurabile.

Lo spessore della copertura, caratterizzata da bassa consistenza e suscettibile di mobilitazione alle mutate forze in gioco, mediante l'esecuzione delle indagini geognostiche puntuali (Luglio 2024), è stato determinato nell'intervallo compreso tra 2.0÷8.80 m.

#### 1.4 Caratteri idrogeologici

Le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni geologiche in causa e più in generale dei terreni affioranti, dipendono dalla natura litologica, dal grado di consolidazione raggiunto e dai coinvolgimenti tettonici subiti nel corso dell'orogenesi.

- Le Sabbie e arenarie di Borello (FAA2) possiedono generalmente sia una permeabilità primaria che secondaria, ma entrambe possono risultare fortemente influenzate (quindi penalizzate), dalla presenza di frequenti intercalazioni argilloso-marnose, tali da limitare l'infiltrazione efficace, o favorire il fenomeno del filling (intasamento) in fratture e diaclasi da parte del fino. Ne deriva una permeabilità assai limitata, solo localmente apprezzabile per situazioni stratigrafiche/tettoniche favorevoli da permettere circolazioni idriche.

- La litofacies argillosa (FAA) per la sua natura è da considerare praticamente impermeabile. L'acqua, tuttavia, è talora presente nel sottosuolo sia all'interno delle porzioni fessurate e decomprese che favoriscono l'infiltrazione che nei livelletti sabbiosi ivi incassati.

L'area di studio si colloca in un bacino imbrifero particolarmente esteso (62÷63 ha), con crinale e fondo valle posti rispettivamente alle quote di ca. 420.00 m slm e 175.00 m slm. Si possono così raccogliere importanti quantitativi idrici e favorire periodici fenomeni di infiltrazione, in occasione di eventi meteorologici significativi o estremi.

In tal caso, il risolto tecnico applicativo risulta importante poiché l'acqua nel sottosuolo, per imbibizione, rigonfiamento, rammollimento e riduzione delle proprietà geotecniche delle masse, può favorire la mobilitazione (lenta o "impulsiva"). delle coltri rimaneggiate.

Il rilievo dei piezometri appositamente installati in fase di indagine e di altri punti d'acqua, ubicati come in Fig. 9 ha indicato:

| Sigla          | Prof    | Prof. Livello idrico dal p.c. (- m dal p.c.) |                        |                    |                    |
|----------------|---------|----------------------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
|                |         | Data<br>15.05.2024                           | Data (*)<br>02.07.2024 | Data<br>10.07.2024 | Data<br>14.10.2024 |
| Pozzo 1 (P183) | /       | -2,38 m                                      | /                      | -4,62 m            | -2,23              |
| Pozzo 2 (P184) | /       |                                              | /                      | - 9.32 m           | ND                 |
| Piez. 1 (P173) | 5,00 m  |                                              | /                      | /                  | /                  |
| Piez. 2 (P174) | 10,00 m |                                              | -9,40 m (*)            | -5,70 m            | -4,77 m            |
| Piez. 6 (P178) | 9,40 m  |                                              | /                      | - 8.59 m           | -4,88 m            |
| Piez. 7 (P173) | 10,60 m |                                              | /                      | -9,12 m            | -4,94 m            |

(\*) dopo 3 ore dopo l'installazione del piezometro

Le letture di luglio sono state precedute da un lungo periodo siccitoso. Nella seconda metà di giugno, sono caduti solo pochi mm di pioggia. Nel Pozzo 1 (P183), tra maggio e luglio, in poco meno di due mesi, si è osservato un calo di oltre 2.0 m (tra -2.38 m a -4.62 m dal p.c.).

Le piogge abbondanti cadute nel mese di settembre hanno visto un notevole recupero di livello idrico, tra 0.9 e 4.2 m, soprattutto nel fondovalle, in corrispondenza dei piezometri Ps6 (P178) e Ps7 (P179).

Si deduce che l'acqua è presente nel sottosuolo ed esistono le condizioni affinché possa infiltrarsi e risalire a quote ancor più vicine al piano campagna. In condizioni meteo-climatiche critiche (piogge prolungate e persistenti e/o piogge su nevi in scioglimento) non si esclude la possibilità che i terreni superficiali (soprattutto le porzioni alterate e rimaneggate) possano saturarsi, fino al p.c.

Si rammenta che le indagini geognostiche e geofisiche che costituiscono parte integrante del presente studio sono state eseguite nel mese di luglio 2024. Solo una prova HVRS è stata eseguita nel settembre 2024.

Le misure dei livelli idrici (per infiltrazione) sono state effettuate nel periodo compreso tra maggio-ottobre 2024. Per collocare nel proprio intervallo di tempo le letture idro-piezometriche, come sopra indicate, segue un sintetico resoconto climatico sull'estate 2024 (Assam Regione Marche, Tonnetti ed Altri).

- L'estate 2024 è risultata la seconda più calda per le Marche dal 1961.
- La temperatura media stagionale è stata di 24,9°C e corrispondente ad un'anomalia di +2,5 °C in luglio e + 2,4 °C in agosto rispetto al periodo 1991-2020.
- L'estate 2024 è risultata meno piovosa della norma con un deficit del 37% rispetto al 1991-2020.
- Tutti e tre i mesi estivi sono risultati più secchi del normale, specie il mese di luglio.
- La precipitazione del periodo gennaio – agosto 2024 è risultata sotto la media storica.
- Il mese di settembre è risultato molto più piovoso della norma, il terzo più piovoso della serie storica dopo il 1996 e il 2012. La precipitazione mensile di settembre ha raggiunto valori prossimi a 150 mm. Dopo un lungo periodo siccitoso estivo, fin dai primi giorni di settembre si sono intervallati fenomeni temporaleschi.
- Un evento di particolare importanza è avvenuto tra i giorni 17-21 settembre in provincia di Pesaro-Urbino. Il vortice depressionario denominato "Boris" ed il suo isolamento dall'Europa verso l'Italia centrale hanno portato ad una fase di forte maltempo, che si è manifestato con piogge abbondanti, persistenti e purtroppo, localmente, anche alluvionali.
- Anche nelle Marche, in provincia di Ancona, si sono superati 300 mm in 48 ore. A Pesaro si sono toccati i 213 mm cumulativi.

Dal sito weatherspark.com si ricavano le medie stoiche per la località di Fratte Rosa:

|                        |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Temperatura media (°C) | Gen<br>5    | Feb<br>5    | Mar<br>9    | Apr<br>12   | Mag<br>17   | Giu<br>21   | Lug<br>24   | Ago<br>24   | Set<br>19   | Ott<br>15   | Nov<br>9    | Dic<br>6    |
| Piogge medie (mm)      | Gen<br>36.8 | Feb<br>47.0 | Mar<br>46.8 | Apr<br>51.4 | Mag<br>48.9 | Giu<br>42.6 | Lug<br>29.8 | Ago<br>38.8 | Set<br>63.9 | Ott<br>67.8 | Nov<br>76.0 | Dic<br>53.1 |

## 2- RILIEVO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

### 2.1 Attività di fotointerpretazione

Tale attività è stata condotta a partire dal perimetro stabilito dalla Commissione Tecnica, corrispondente allo stato di criticità inserito nel P.A.I. delle Marche (Tav. RI 19C, fenomeno F-07-0678 a rischio/pericolosità R2-P2, vedi anche Fig. 6).

L'attività di fotointerpretazione, eseguita mediante fotogrammi aerei scalati nel tempo, ha fornito un prezioso contributo nell'inquadrare e definire gli aspetti geomorfologici peculiari, la loro evoluzione nel tempo, gli elementi da verificare, nel dettaglio, direttamente sul terreno.

Lo studio, di fatto, ha permesso di identificare e delineare le aree soggette a fenomeno franoso e nel contempo di analizzare l'evoluzione geomorfologica del versante, attraverso l'analisi di immagini aeree, storiche e recenti.

La georeferenziazione delle foto aeree utilizzate ha permesso di rappresentare i fenomeni franosi nel modo più fedele possibile, alla scala di lavoro.

Pur utilizzando uno strumento ottico di buona qualità, i corpi di frana non sono sempre agevolmente "scontornabili" con apprezzabile dettaglio, per la piccola scala delle foto aeree, le ridotte pendenze del territorio in esame, frequenti e ripetuti interventi antropici (arature, fresature, piccole movimentazioni).

I fotogrammi utilizzati per la fotointerpretazione geomorfologica sono stati messi a disposizione dall'Ufficio cartografico della Regione Marche.

In sintesi:

1. Fase 1: Analisi delle foto aeree del 1955. Analisi di fotografie aeree in bianco e nero risalenti al 1955, alla scala 1: 33.000.  
La scala ridotta delle immagini non ha permesso di distinguere in maniera soddisfacente le aree interessate da movimenti franosi.
2. Fase 2: Analisi delle foto aeree del 1973-74. Analisi di fotografie aeree del 1973-74, alla scala prossima a 1: 10.000.  
È stato possibile individuare diversi fenomeni franosi, sia pur con un doveroso margine di incertezza, sia per la qualità delle immagini che per la scala utilizzata. Per affinare l'interpretazione e comprendere al meglio l'evoluzione del versante sono state analizzate anche le aree limitrofe al perimetro di interesse.
3. Fase 3: Analisi delle foto aeree del 2000. Analisi di fotografie aeree del 2000, le più recenti disponibili, alla scala prossima a 1: 10.000, come nel caso precedente.  
Le aree in frana, rispetto a quelle rilevate in precedenza (1973-1974), hanno subito una sostanziale riduzione planimetrica. In tal caso vengono cartografate, solo le aree con evidenti segni di dissesto, i cui contorni coincidono spesso con l'assetto idrografico locale (fossi e impluvi).

I dati salienti dello studio fotointerpretativo sono rappresentati in Figg. 7 e 8.

## 2.2 Rilievi sul terreno

L'assetto morfologico dell'area in esame è il risultato della complessità tettonica e dell'assetto litostratigrafico dei terreni affioranti. Il paesaggio che ne risulta è di tipo collinare, con forme morbide ed addolcite, tipiche dei terreni plio-pleistocenici, caratterizzati da alternanze pelitiche e arenaceo-pelitiche.

L'area di studio è compresa nel bacino idrografico del Fiume Cesano, in corrispondenza di un versante collinare che degrada verso S con acclività medio-bassa. Lungo il declivio si susseguono alcune "rotture di pendenza" che mettono in evidenza scarpate poligeniche dovute essenzialmente a fenomeni di erosione differenziata e, fors'anche, in risposta ad effetti di natura tettonica.

La pendenza media dell'intero versante è di  $9\div 11^\circ$ , alcuni settori, quelli più acclivi, raggiungono valori fino a  $28\div 30^\circ$ . L'"energia di versante" è notevole, se si considerano i rilievi posti in prossimità del crinale, a ca. 400÷420 m s.l.m. (centro storico di Fratte Rosa) e il fondo valle a ca. 170÷180 m s.l.m. (alveo del Rio Freddo), lungo lo sviluppo lineare di ca. 1200÷1250 m.

Nel complesso la vegetazione è distribuita in modo pressoché regolare. Si avvicendano campi arati, vigneti, zone boscate lineari o discontinue. Si escludono zone interessate da erosione accelerata o concentrata; il cotico agrario è ben conservato e uniformemente distribuito. A valle della SP n° 41 si osservano gli effetti del dilavamento per scarichi idrici, anche a dispersione, testimoniati da rigagnoli più o meno accennati insieme a deformazioni plastiche nel cotico agrario.

### Fotografie riprese con drone – Giugno 2024



Vista a valle del centro storico di Fratte Rosa

(\*) direzione massima pendenza







Vista da Ovest verso Est (da sinistra a destra)



Vista da Sud a Nord (dal basso verso l'alto)



Si segnala la presenza di blande ondulazioni, della superficie topografica con raggi di curvatura dell'ordine delle decine di metri, sul lato occidentale della frana, in corrispondenza della Sezione A-A.

Tali forme sono riconducibili a movimenti traslativi della copertura alterata, a lenta evoluzione, determinati in conseguenza di episodici ma importanti carichi d'acqua che determinano l'appesantimento dei terreni e la successiva mobilitazione.

Sempre su tale lato della frana si osservano alcuni fuori-piombo di elementi verticali (linea elettrica).



All'interno del perimetro di frana sono presenti solo alcuni edifici residenziali e un paio di strutture recettive che, nel complesso, non mostrano segni di una dinamica fessurativa in atto, risultano ben conservati e fors'anche ristrutturati in accordo con le più recenti norme in materia.

In conclusione, non appaiono effetti evidenti di una dinamica gravitativa in atto (frane attive, tagli a trazione, scarpate erose o spoglie di vegetazione, irregolarità o disordine nel deflusso delle acque). Lo stato di franosità è possibile collocarlo tra l'inattivo e il quiescente.

### 2.3 Descrizione e definizione del fenomeno franoso in studio

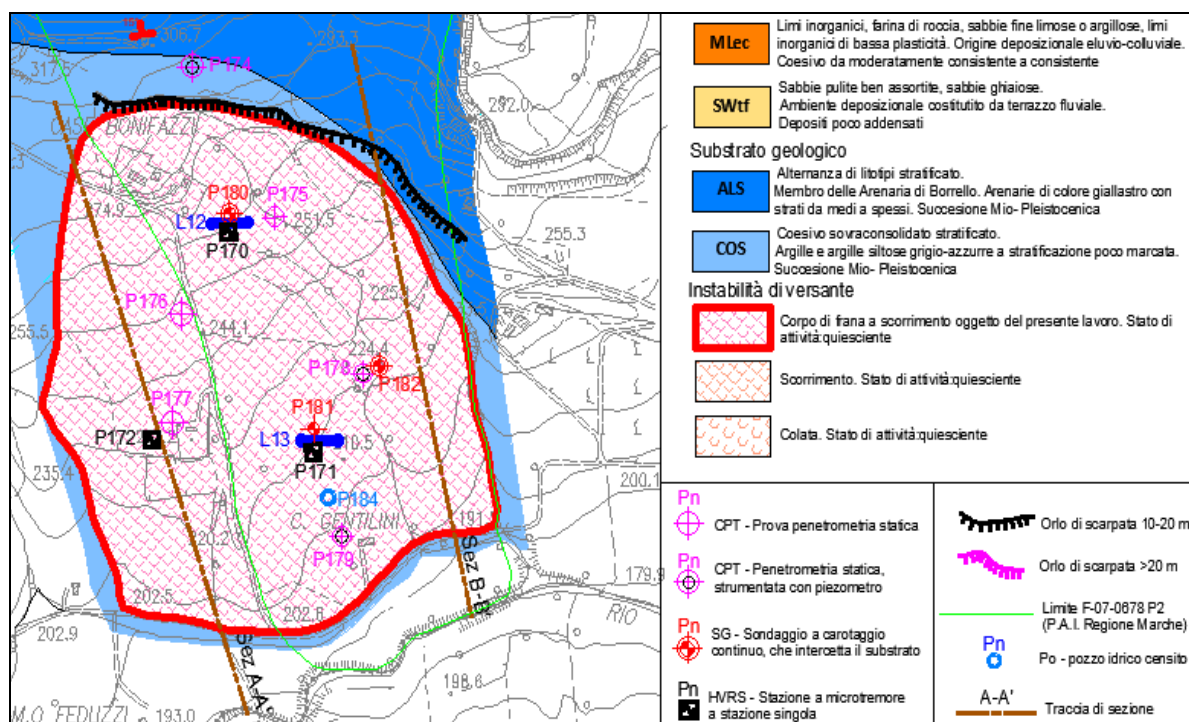
I risultati dello studio foto-interpretativo basato su fotogrammi di epoche diverse, hanno consentito di tracciare i contorni dell'area potenzialmente in frana, sulla carta delle indagini.

In seguito è stato eseguito un dettagliato rilievo geologico-geomorfologico, durante il quale è stato possibile stabilire le verticali di indagine nei punti più significativi.

I risultati della campagna geognostica e geofisica (sondaggi geognostici, lab-test sui campioni più significativi di terreno, prove penetrometriche CPT e indagini geofisiche (MASW e HVRs) hanno fornito elementi decisivi a definire i contorni e a classificare l'area potenzialmente in frana.

L'approccio di studio integrato, a partire dalle analisi storiche e condotto mediante successivi livelli di approfondimento, ha consentito la realizzazione della carta geomorfologica definitiva (Tavola n.2) come nel seguito si riporta uno stralcio.

All'interno dell'area di studio, nei sondaggi geognostici P180, P1281 il substrato è risultato molto superficiale. Di conseguenza, la corrispondente porzione di territorio può essere considerata stabile. L'immagine che segue raffigura il contorno di involuppo delle condizioni più sfavorevoli, che si sviluppano soprattutto lungo le sezioni A-A e B-B.



### 3- CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO

Negli archivi del Comune di Fratte Rosa non sono disponibili dati geologico-geognostici significativi da cui trarre utili informazioni, se non frammentari e più che altro in prossimità del centro storico o a bordi della viabilità principale.

La caratterizzazione geologica-geotecnica, idrogeologica e sismica del sito si raggiunge facendo riferimento alla bibliografia generale, al rilevamento di dettaglio, ai risultati delle indagini geognostiche-geofisiche, appositamente programmate e realizzate. L'obiettivo è di conseguire un "modello geologico" coerente da adottare nelle successive valutazioni tecnico-applicative (verifiche di stabilità in campo statico e dinamico).

#### 3.1 Indagini di campo

Le indagini programmate e concordate con la Commissione Tecnica (anche in base alle disponibilità economiche), per conseguire gli obiettivi prefissati, consistono nell'esecuzione di:

- a) n° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo: SG1, SG2, SG3 (P180, P181, P182) spinti fino al massimo di 10.00 m dall'attuale p.c. per indagare compiutamente i terreni di copertura e del substrato. In corso di perforazione sono stati prelevati n° 3 campioni indisturbati con fustella in acciaio inox tipo Shelby e n° 1 campione semi-disturbato in doppio sacchetto irrigidito in pvc;
- b) n° 7 penetrometrie statiche tipo CPT (Cone Penetration Test), distinte con le sigle Ps1-Ps7 (P173-P179). I test sono stati eseguiti con strumento oleodinamico Pagani da 10 ton, punta meccanica, letture dinamometriche con celle di carico. I test CPT sono stati approfonditi fino alla profondità di 4.5÷10.0 m dall'attuale p.c., al rinvenimento di orizzonti di terreno molto resistenti (fino al "rifiuto" e comunque con  $R_p > 100\div200$  kg/cmq). I test penetrometrici (ampiamente utilizzati, tarati e sperimentati in Letteratura), consentono di definire efficacemente la natura, il comportamento fisico-meccanico dei terreni e la loro parametrizzazione;
- c) n° 4 piezometri microfessurati in pvc, del tipo a "tubo aperto", installati nei test Ps1, Ps2, Ps6 e Ps7 (P173, P174, P178, P179), per il monitoraggio e l'oscillazione nel tempo del livello d'acqua presente nel sottosuolo;
- d) n° 4 determinazioni di laboratorio geomeccanico, su campioni prelevati nel sondaggio SG1 – P180 (C1 e C2) e nel sondaggio SG3 – P182 (C1 e C2) per acquisire le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni attraversati. Si tratta di n° 3 campioni indisturbati e di n° 1 semidisturbato.
- e) n° 3 indagini geofisiche tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio), nominate H1, H2, H3 (P170, P171, P172) eseguite con metodologia Nakamura, per la caratterizzazione sismica del sito, mediante l'andamento delle velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ( $V_s$ -z) e il valore del picco H/V, in funzione della frequenza di vibrazione del terreno (scuotimento).
- f) n° 2 indagini geofisiche tipo MASW ((Multichannel Analysis of Surface Waves), chiamate M1 e M2 (L12, L13), per ricavare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$

e la caratterizzazione sismica del sito mediante il rilievo della propagazione delle onde di Rayleigh (in accordo con l'O.P.C.M. 3274/03).

Le indagini di campo sono ubicate come in planimetria Tavola n.1 e 2.

La correlazione delle verticali d'indagine ha permesso di ricostruire la geologia profonda lungo i profili geologici A-A e B-B utilizzati per le verifiche di stabilità (Tav.n.3,4).

### 3.2 Risultati delle analisi di laboratorio geomeccanico

#### 3.2.1 Indagini precedenti (bibliografia)

A titolo indicativo, si riportano gli esiti di analisi geomeccaniche precedenti, acquisiti in formazioni geologiche e contesti morfologici analoghi al caso di studio in esame.

#### *Test di laboratorio (2010) loc. San Costanzo (PU)*

|                          | A - strato<br>alterato/rimaneggiato   | B - strato<br>compatto                | C - strato<br>compatto                |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Campione                 | indisturbato                          | indisturbato                          | indisturbato                          |
| Profondità m             | -3.0÷3.5                              | - 3.0÷3.5                             | - 4.0÷4.5                             |
| Umidità naturale %       | 25.49                                 | 20.27                                 | 21.47                                 |
| Densità naturale t/mc    | 1.99                                  | 2.10                                  | 2.03                                  |
| Densità secca t/mc       | 1.59                                  | 1.75                                  | 1.67                                  |
| Contenuto in sabbia %    | 12.8                                  | 11.4                                  | 9.8                                   |
| Contenuto in limo %      | 45.5                                  | 48.7                                  | 45.5                                  |
| Contenuto in argilla %   | <b>41.1</b>                           | <b>41.9</b>                           | <b>44.7</b>                           |
| Limite Liquido %         | 55.0                                  | 61.1                                  | 47.7                                  |
| Limite Plastico %        | 20.3                                  | 22.0                                  | 19.2                                  |
| Indice di plasticità %   | <b>34.7</b>                           | <b>39.1</b>                           | <b>28.5</b>                           |
| Indice di consistenza    | 0.85                                  | 1.04                                  | 0.92                                  |
| P.P. kg/cmq              | Qu = 2.0                              | Qu > 6.0                              | Qu > 6.0                              |
| V.T. kg/cmq              | Cu = 0.9                              | Cu > 2.0                              | Cu > 2.0                              |
| Triax U.U. kg/cmq        | /                                     | Qu = 3.09                             | Qu = 2.72                             |
| Taglio C.D. $\phi'$      | <b>21.2°</b>                          | /                                     | <b>28.7°</b>                          |
| Taglio C.D. $c'$ kg/cmq  | <b>0.25</b>                           | /                                     | <b>0.24</b>                           |
| Taglio C.D. $\phi_r$     | <b>14.8°</b>                          | /                                     | /                                     |
| Taglio C.D. $c_r$ kg/cmq | 0.05                                  | /                                     | /                                     |
| Class. CNR UNI 10016     | <b>A 7 -6</b>                         | <b>A 7 -6</b>                         | <b>A 7 -6</b>                         |
| Class. U.S.C.S.          | <b>CH</b>                             | <b>CH</b>                             | <b>CL</b>                             |
| Descrizione (A.G.I.)     | limi e argille<br>debolmente sabbiosi | limi e argille<br>debolmente sabbiosi | limi e argille<br>debolmente sabbiosi |

#### Dalla Carta di plasticità di Casagrande

|                              |                                                       |
|------------------------------|-------------------------------------------------------|
| M – limi inorganici          | L – basso limite di liquidità (bassa compressibilità) |
| C – argille inorganiche      | H – alto limite di liquidità (alta compressibilità)   |
| O – limi e argille organiche |                                                       |



*Test di laboratorio (2022) loc. San Costanzo (PU)*

| CAMPIONE                 | CI               | CI               | CI                             | CI               | Cr               | Cr               |
|--------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Profondità m             | 1.50-2.00        | 4.50-5.00        | 7.50-8.00                      | 3.00-3.50        | 5.00-5.50        | 11.5-12.5        |
| Umidità naturale %       | 18.19            | 23.83            | 28.36                          | 18,56            | 25.77            | 23.27            |
| Densità naturale t/mc    | 2.15             | 2.09             | 2.05                           | 2.14             | 2.05             | 2.12             |
| Densità secca t/mc       | 1.82             | 1.69             | 1.60                           | 1.81             | 1.63             | 1.72             |
| Contenuto in sabbia %    | 4.90             | 4.90             | 6.50                           | 4.60             | 2.30             | 1.80             |
| Contenuto in limo %      | 49.5             | 48.0             | 47.1                           | 48.7             | 46.9             | 49.5             |
| Contenuto in argilla %   | <b>45.5</b>      | <b>47.1</b>      | <b>46.4</b>                    | <b>47.0</b>      | <b>50.8</b>      | <b>48.6</b>      |
| Limite Liquido %         | 53.8             | 47.67            | 56.77                          | 55.22            | 60.48            | 56.89            |
| Limite Plastico %        | 27.5             | 28.1             | 27.0                           | 24.5             | 28.6             | 30.5             |
| Indice di plasticità %   | <b>26.3</b>      | <b>19.6</b>      | <b>29.8</b>                    | <b>30.8</b>      | <b>31.9</b>      | <b>26.4</b>      |
| Indice di consistenza    | 1.35             | 1.22             | 0.95                           | 1.19             | 1.09             | 1.27             |
| P.P. kPa                 | >600             | 320-440          | 180-320                        | >600             | 420-440          | >600             |
| V.T. kPa                 | >200             | 150-190          | 80-150                         | >200             | 140-210          | >200             |
| ELL kPa                  |                  |                  |                                |                  |                  | 982              |
| Deformaz. a rottura (%)  |                  |                  |                                |                  |                  | 11.05            |
| Taglio C.D. $\phi'$ (°)  |                  | <b>26.1</b>      | <b>22.0</b>                    | <b>24.1</b>      | <b>21.3</b>      |                  |
| Taglio C.D. $c'$ kPa     |                  | 33.2             | 30.0                           | 22.2             | 25.9             |                  |
| Taglio C.D. $\phi_r$ (°) |                  | <b>16.1</b>      |                                | <b>14.6</b>      | <b>16.8</b>      |                  |
| Taglio C.D. $c_r$ kPa    |                  | 9.3              |                                | 12.3             | 4.9              |                  |
| Class. CNR UNI 10016     | <b>A 7 -5/6</b>  | <b>A 7 -5/6</b>  | <b>A 7 -5/6</b>                | <b>A 7 -5/6</b>  | <b>A 7 -5/6</b>  | <b>A 7 -5/6</b>  |
| Class. U.S.C.S.          | CH               | ML-CL            | CH                             | CH               | CH               | CH-MH            |
| Descrizione (A.G.I.)     | limo con argilla | limo con argilla | limo con argilla deb. sabbioso | limo con argilla | limo con argilla | limo con argilla |

CI = campione indisturbato prelevato con tecnica Shelby in fustelle in acciaio Inox

Cr = campione rimaneggiato (spezzone di carota irrigidito e avvolto in doppio sacchetto).

**3.2.2 Analisi di laboratorio in esame (Luglio 2024)**

I risultati delle analisi di laboratorio per il caso in esame (2024) hanno indicato:

| Campioni                    | Copertura    |              |              | Substrato      |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| Sigla                       | SG1 - C1     | SG3 – C1     | SG3 – C2     | SG1 – C2       |
| Tipologia                   | indisturbato | indisturbato | indisturbato | semidisturbato |
| Profondità                  | 1.80-2.40    | 3.00-3.60    | 5.00-5.60    | 5.00-5.60      |
| Contenuto d'acqua (%)       | 25.71        | 21.93        | 23.40        | 18.66          |
| Peso di volume umido (t/mc) | 1.999        | 2.108        | 2.135        | 2.145          |
| Peso di volume umido (t/mc) | 1.591        | 1.729        | 1.73         | 1.808          |
| Limite Liquido              | 59.56        | 55.23        | 57.08        | 51.49          |
| Limite Plastico             | 33.61        | 28.24        | 30.79        | 29.63          |
| Indice Plastico             | <b>25.95</b> | <b>26.99</b> | <b>26.29</b> | <b>21.86</b>   |
| Indice di Consistenza       | 1.30         | 1.23         | 1.28         | 1.50           |
| Ghiaia (%)                  | /            | /            | /            | /              |
| Sabbia (%)                  | 6.54         | 6.89         | 5.99         | 7.03           |
| Limo (%)                    | 75.44        | 50.70        | 55.72        | 64.64          |
| Argilla (%)                 | <b>18.02</b> | <b>42.41</b> | <b>38.29</b> | <b>28.33</b>   |
| Pocket Penetr. (kPa)        | 550÷600      | 45-520       | 330-420      | > 600          |
| Vane Test (kPa)             | >200         | > 200        | 150-200      | > 200          |

|                                         |                                    |                                   |                                   |                                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Taglio CD angolo d'attrito $\phi'$ (°)  | <b>22.40</b>                       | <b>21.70</b>                      | <b>18.5</b>                       |                                      |
| Taglio CD coesione di picco (kPa)       | 57.4                               | 17.7                              | 40.4                              |                                      |
| Taglio CD angolo di attrito residuo (°) | <b>15.40</b>                       |                                   | <b>13.8</b>                       |                                      |
| Taglio CD coesione residua (kPa)        | 11.8                               |                                   | 10.9                              |                                      |
| Classificazione AGI                     | Limo argilloso debolmente sabbioso | Limo con argilla debolm. sabbioso | Limo con argilla debolm. sabbioso | Limo con argilla debolmente sabbioso |
| Classificazione USCS                    | MH                                 | MH                                | CH                                | CH                                   |
| Indice di Attività $I_p$ /%             | 1.44                               | 0.64                              | 0.69                              | 0.77                                 |
| CNR UNI 1006                            | A-7-5                              | A-7-5                             | A-7-5                             | A-7-5                                |

CI = campione indisturbato prelevato con tecnica Shelby in fustelle in acciaio Inox

Cr = campione semidisturbato (spezzone di carota in doppio sacchetto e irrigidito in pvc).

SG1, SG2, SG3 (P180, P181, P182)

In sintesi:

- I valori di  $I_p = 18 \div 38.3\%$  indicano materiali con un comportamento da moderatamente plastico a plastico, per la prevalenza di limo ( $50 \div 75\%$ ), subordinatamente di argilla ( $18 \div 42.4\%$ ), infine di sabbia ( $6 \div 7\%$ ).
- La classifica CNR UNI 10006 caratterizza i terreni come argille inorganiche compressibili (A7-5), con qualità portanti scadenti per sottofondo. La gelività risulta, elevata, così come gli effetti di ritiro e/o di rigonfiamento. La permeabilità è da considerare da scarsa a praticamente nulla.
- Per composizione mineralogica, i risultati delle determinazioni dei limiti di Atterberg attribuiscono i campioni alla famiglia delle "caoliniti".
- Per quanto riguarda l'attività (A) i terreni indagati risultano per lo più da inattivi, mediamente attivi, per un solo caso attivi. In quest'ultimo caso il campione in SG1 ( $1.80 \div 2.40$  m) è in grado di fissare elevati contenuti d'acqua così da elevare il valore di  $I_p$ . I terreni sono comunque privi di materiali instabili quali smectiti e montmorilloniti.

$A = I_p/\% < 2$  mm: terre inattive  $A < 0.75$ , terre mediamente attive  $0.75 < A < 1.25$ , terre attive  $A > 1.25$ .

### 3.3 Modello geologico

#### 3.3.1 Successione litostratigrafica

Le indagini in sito hanno individuato orizzonti geologici ben differenziati dal punto di vista fisico-meccanico.

Il passaggio tra la copertura alterata/rimaneggiata ed il sottostante orizzonte geotecnico è abbastanza netto, tanto che, ai fini del presente studio, si potrebbe definire un modello geologico a due strati:

1. la copertura alterata/rimaneggiata, suscettibile di mobilitazione (scivolamento);
2. il substrato compatto, molto resistente e in posto.

Nella procedura di calcolo che si adotterà nelle verifiche di stabilità si potrà affinare tale modello introducendo ulteriori suddivisioni all'interno del (substrato).

A partire dalla superficie del terreno s'incontrano:

### Strato n° 1 - Copertura

Limi argillosi debolmente sabbiosi e limi con argilla debolmente sabbiosi, con locali veli e interstrati limoso-sabbiosi, alterati e decompressi, da poco a mediamente compatti.

I valori minimi di resistenza penetrometrica alla punta  $R_p = 15 \div 25$  kg/cmq e resistenza laterale  $R_f = 0.5-1.0$  kg/cmq, si rilevano in corrispondenza nelle postazioni Ps5 (P177), Ps6 (P178), dove si registrano, altresì, gli spessori maggiori della copertura (6.2÷8.8 m).

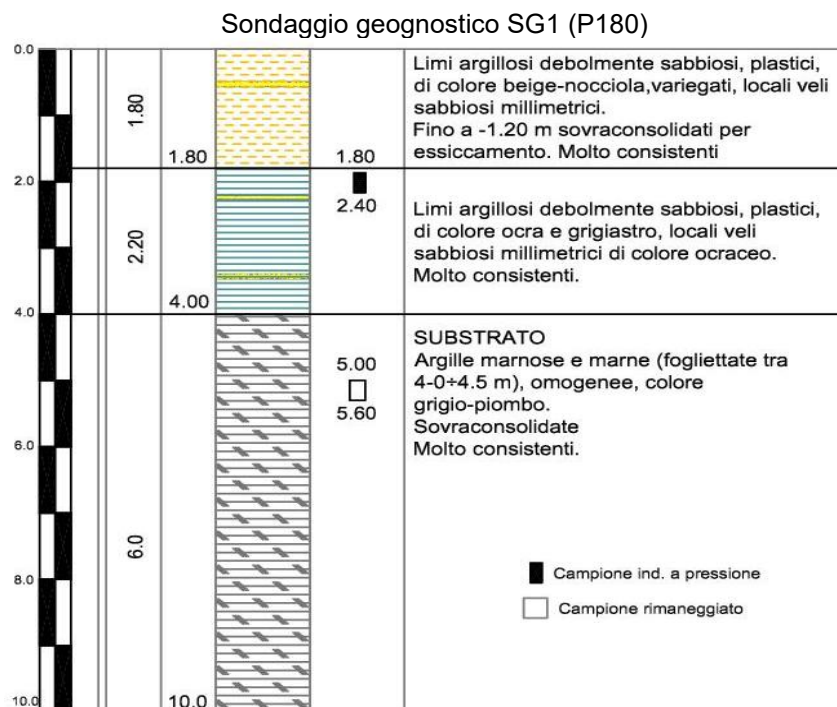
### Strato n° 2 - Substrato

Da -2.5÷3.0 m a -6.2÷8.8 m ed oltre dall'attuale p.c. si incontra il substrato, da compatto a molto compatto, caratterizzato da valori progressivamente crescenti di resistenza penetrometrica:  $R_p > 100 \div 200$  kg/cmq,  $R_f > 3 \div 10$  kg/cmq.

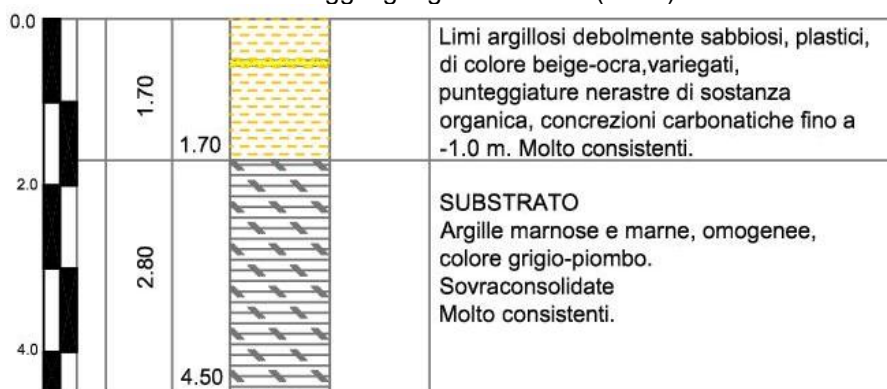
Nella postazione Ps1 (P173), i valori decisamente elevati di  $R_p > 200 \div 300$  kg/cmq indicano la presenza di argille marnose e arenarie della formazione FAA2 (Membro di Borello).

Tutte le altre prove CPT confermano la presenza di argille marnose e marne argillose delle Argille Azzurre (FAA), come osservato direttamente nei sondaggi geognostici.

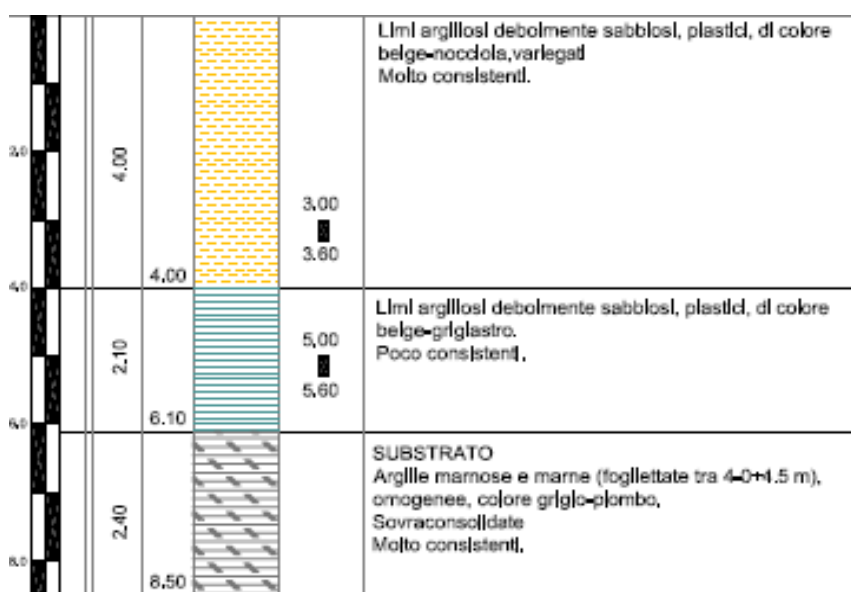
### Sondaggi geognostici (schema)



Sondaggio geognostico SG2 (P181)



Sondaggio geognostico SG3 (P182)



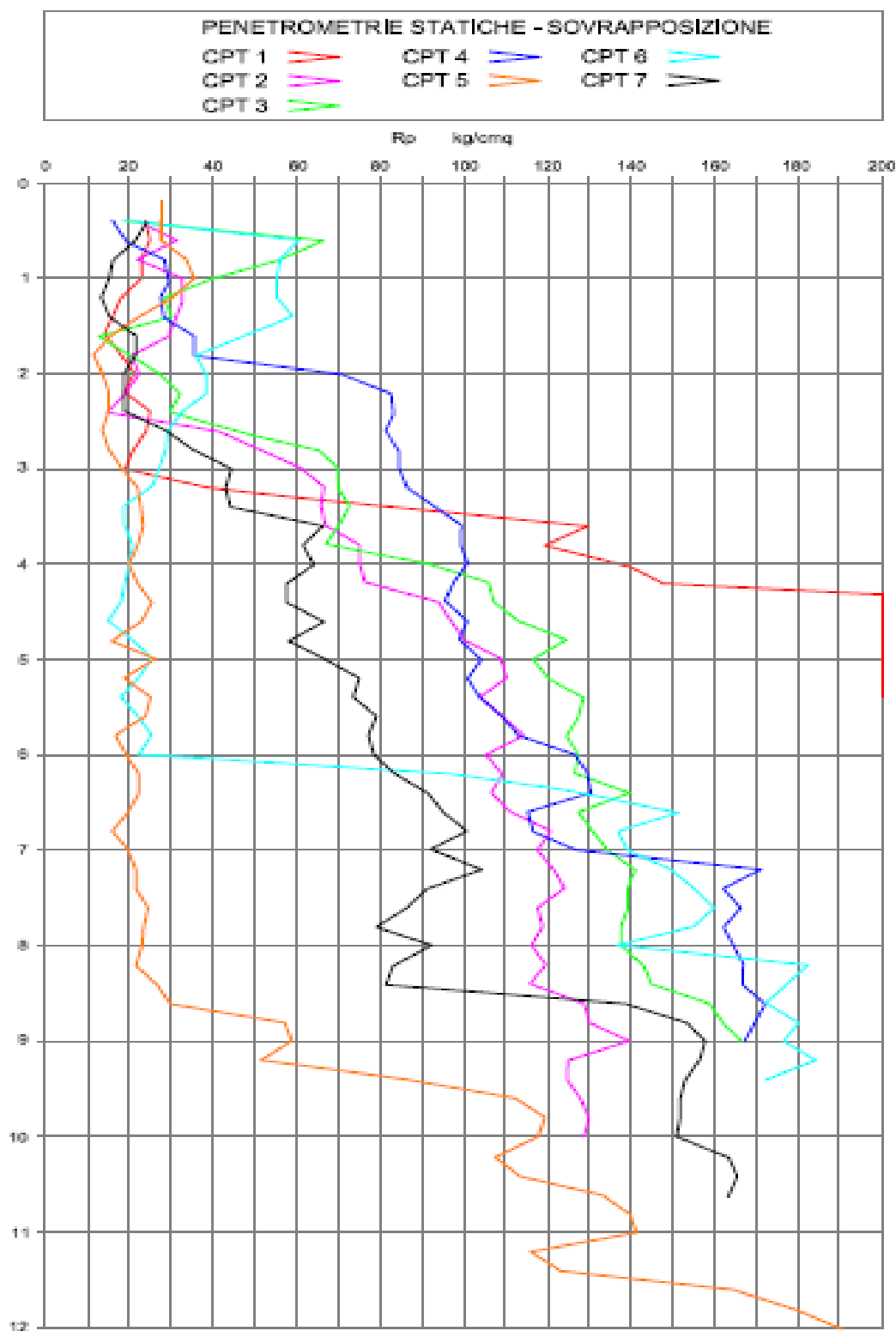
### Penetrometrie statiche (CPT)

L'immagine che segue è il risultato della sovrapposizione grafica dei singoli logs penetrometrici Ps1÷Ps7 (P173-P179), dal cui reciproco confronto lungo le verticali di indagine, insieme alle altre informazioni acquisite, è stato possibile chiarire e definire l'assetto stratigrafico locale (modello geologico).

In sintesi:

- In superficie, fino a 1.50÷1.80 m di profondità dal piano campagna, si osserva lo stato di pseudo-sovracconsolidazione ( $R_p = 40\div60 \text{ kg/cmq}$ ), per essiccamento e contrazione (active zone) dei materiali di natura prevalentemente coesiva. Ciò a causa della persistenza di un lungo periodo di siccità, altresì caratterizzato da elevate temperature estive che hanno raggiunto frequentemente i 40 °C.
- Lo spessore dello strato di copertura è variabile; aumenta progressivamente scendendo lungo il versante, da monte a valle: da -1.70 m a -6.2÷8.8 m dal piano campagna.

- Nel test Ps1 (P173) il substrato presenta una resistenza penetrometrica ( $R_p$ ) assai elevata e di rapido aumento, poiché costituito dalla litofacies argilloso-marnosa e sabbioso-arenacea (FAA2 - Membro di Borello). Negli altri test CPT è presente la litofacies argilloso-marnosa (FAA - Argille Azzurre) caratterizzata da valori di resistenza ( $R_p$ ) relativamente inferiori.





### 3.3.2 Parametri geotecnici

I valori caratteristici delle grandezze fisiche-meccaniche da attribuire ai terreni derivano da indagini puntuali (lab-test), dal confronto con precedenti prove di laboratorio su campioni di terreni analoghi o verificati in cantieri limitrofi; infine mediante la correlazione dei risultati di prove e misure in sito (CPT).

Si definiscono i "valori caratteristici" ( $f_k$ ) dei parametri geotecnici, a partire dai valori medi, ai quali è associata una prefissata probabilità di non superamento (frattile 5%), da una stima ragionata e cautelativa nello stato limite considerato. Nel caso di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la parametrizzazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili.

Ai valori caratteristici ( $f_k$ ) trovati, si applicano dei coefficienti di sicurezza parziali (CP) atti a definire i "valori di progetto" o valori operativi ( $f_p$ ) di  $c'$ ,  $\phi'$  e  $C_u$ , da adottare in funzione dello stato limite considerato, quindi, correggendo i valori caratteristici ( $f_k$ ) per un coefficiente riduttivo parziale.

Per la scelta dei parametri geotecnici, insieme ai risultati di precedenti analisi, si fa riferimento alla seguente tabella:

| N°                                  | SG  | Campione (prof) | P.P. kPa | Ip (%) | ic   | CF (%) | $\phi'$ (°) | $c'$ kPa | $\phi'_r$ (°) | $c'$ kPa |
|-------------------------------------|-----|-----------------|----------|--------|------|--------|-------------|----------|---------------|----------|
| 1) COPERTURA                        |     |                 |          |        |      |        |             |          |               |          |
| 1                                   | SG1 | 1.8-2.4 - CI    | 550-600  | 26.0   | 1.30 | 18.0   | 22.4        | 57.4     | 15.4          | 11.8     |
| 3                                   | SG3 | 3.0-3.6 - CI    | 460-520  | 27.0   | 1.23 | 42.4   | 21.7        | 17.7     |               |          |
| 4                                   | SG3 | 5.0-5.6 - CI    | 330-420  | 26.3   | 1.28 | 38.3   | 18.5        | 40.4     | 13.8          | 10.9     |
| 2) SUBSTRATO                        |     |                 |          |        |      |        |             |          |               |          |
| 2                                   | SG1 | 5.0-5.6 - CR    | > 600    | 21.86  | 1.50 | 28.3   |             |          |               |          |
| SUBSTRATO (altri campioni analoghi) |     |                 |          |        |      |        |             |          |               |          |
| A                                   |     | 5.2-5.9 - CI    | > 600    | 16,9   |      | 16.0   | 23.1        | 52.0     |               |          |
| B                                   |     | 7.0-7.7 - CI    | > 600    | 25,5   |      | 30.0   | 26.9        | 114.3    |               |          |
| C                                   |     | 4.4-4.8 - CI    | > 600    | 24,6   |      | 27.0   | 26.5        | 80.8     |               |          |
| D                                   |     | 6.1-6.5 - CI    | > 600    | 35,4   |      | 24.0   | 35.1        | 92.6     |               |          |
| E                                   |     | 12.0-12.5 - CI  | > 600    | 20,1   |      | /      | 25.0        | 62.5     |               |          |

Dalla sintesi dei risultati dei test in sito, delle prove di laboratorio e di altri campioni acquisiti in cantieri limitrofi e analoghi, ai terreni in causa si attribuiscono i seguenti parametri geotecnici:

#### PARAMETRI GEOTECNICI

| Strato | $Y_n$ | $\phi'$ | $\phi_r$ | $c'$  | cr    | $C_u$      | $\mu$ | $E_y$     |
|--------|-------|---------|----------|-------|-------|------------|-------|-----------|
| 1      | 1.90  | 18-20°  | 14-15°   | 10-20 | 10-12 | 400-600    | 0.50  | 500-700   |
| 2      | 2.10  | 23-25   | /        | 40-50 | /     | 2000-25000 | 0.30  | 1500-2000 |

con:  $Y_n$  = peso di volume naturale (t/mc);  $c'$  = coesione efficace (kPa); cr = coesione residua (kPa);  $\phi'$  = angolo di attrito efficace;  $\phi_r$  = angolo di attrito residuo (kPa),  $C_u$  = coesione rapida – non drenata (kPa);  $\mu$  = coefficiente di Poisson;  $E_y$  = modulo elastico di Young (t/mq).

Lo strato da inattivo a quiescente del contesto geologico in esame, consente di adottare parametri ridotti e/o intermedi tra i valori di picco e residuo. Con il ricorso alla back-analysis, si potrà ottimizzare la scelta della coppia dei valori  $\phi/c$  che meglio rappresenta le condizioni di stabilità, statica e dinamica.

## 4- CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 4.1 Pericolosità sismica di base, la normativa

Con l'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 è stato riclassato l'intero territorio nazionale.

Con Delib di G.R. n. 1142 del 19 settembre 2022, con oggetto: "Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche della Regione Marche", la Giunta regionale approva l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche nella Regione Marche. Per il Comune di Fratte Rosa (cod Istat 041016) si conferma la precedente zona 2.

L'area di progetto è inserita in 2<sup>a</sup> zona sismica cui compete un parametro  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima convenzionale) come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , riferito a una probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ], ovvero:

| Zona sismica | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ] | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ] |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | $> 0.25$                                                                                    | 0.35                                                                                   |
| <b>2</b>     | <b>0.15 – 0.25</b>                                                                          | <b>0.25</b>                                                                            |
| 3            | 0.05 – 0.15                                                                                 | 0.15                                                                                   |
| 4            | $< 0.05$                                                                                    | 0.05                                                                                   |

Con l'entrata in vigore delle NTC, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

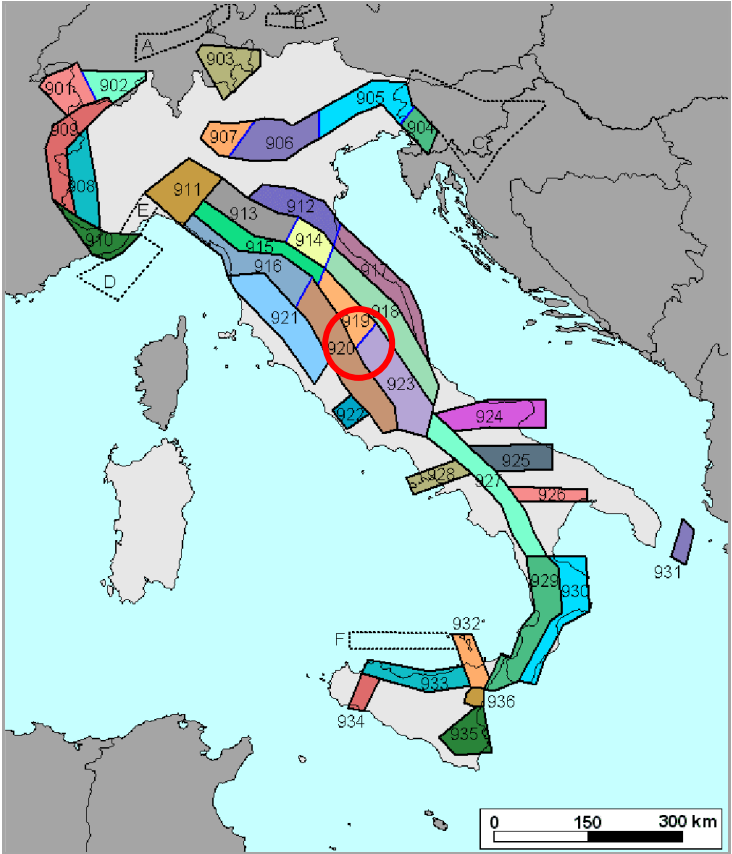
### 4.2 Inquadramento generale

Si fa riferimento alla zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata "ZS9", pubblicata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (O.P.C.M. 3519/2006). Tale zonazione rappresenta la sintesi di studi sismologici che, tenendo conto delle caratteristiche geodinamiche del territorio nazionale, lo suddividono in zone omogenee, caratterizzate dal medesimo regime tettonico e all'interno delle quali sono attesi eventi sismici potenzialmente simili.

L'area oggetto di studio ricade nella zona definita sorgente "918", all'interno della quale si verificano terremoti più che altro compressivi nella porzione nord-occidentale e distensivi nella porzione più sud-orientale. Sono altresì possibili meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture.

La fascia "918" è interessata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le strutture maggiormente pericolose e prossime al sito in esame, in virtù della loro vicinanza e massima magnitudo  $M_w$  attesa, sono quelle sorgenti sismogenetiche poste a SW e indicate come "Cagliese" e "Fabrianese".

Altre strutture di particolare importanza sono invece poste a NE e definite "Pesaro-San Bartolo", "Fano-Ardizio", "Mondolfo" e "Senigallia" (struttura composita Pesaro-Senigallia).



Dal Catalogo parametrico dei Terremoti Italiani (INGV, 2015), si evince che la massima intensità risentita (Is) per il Comune di Fratte Rosa sia pari al grado VIII-IX della Scala MCS, riferita al sisma Fabrianese del 1741 e al Cagliese del 1781.



Il terremoto “Fabrianese” del 1741 produsse gravi danni in una decina di paesi dell'Appennino marchigiano. Gli effetti più gravi si registrarono nelle località di Fabriano, Mergo, Sasso e Serra San Quirico, tutte in provincia di Ancona, dove venne raggiunto il IX grado MCS. Forte fu anche a Fratte Rosa e nella vicina località Monterolo (Monachesi & Stucchi, 1997).

In particolare a Fratte Rosa si ebbe un'intensità del VIII-IX grado.

L'area maggiormente colpita dal sisma “Cagliese” del 1781 fu quella dell'entroterra pesarese. Si ebbero effetti distruttivi nel territorio di Cagli, comprendente i centri di Cardella, Apecchio, Piobbico e una ventina di altre località, delle quali circa la metà furono quasi completamente rase al suolo. Il sisma causò complessivamente circa 300 vittime. Anche per il “Cagliese” a Fratte Rosa si ebbe una forte intensità, del VIII-IX grado.

Altro terremoto sicuramente importante nella storia del Comune Fratte Rosa fu il più recente sisma di Senigallia del 1930. Il sisma di “Senigallia” del 1930 produsse un'intensità massima dell'VIII-IX grado MCS. Il terremoto colpì soprattutto la costa centro-settentrionale delle Marche ed ebbe i suoi massimi effetti proprio a Senigallia, dove 318 case crollarono o divennero inagibili e 2.000 furono gravemente lesionate. Crolli e lesioni gravi furono segnalati a Montemarciano, Mondolfo, San Costanzo, Fano, Ancona. Altre 40 località marchigiane subirono danni rilevanti.

### 4.3 Microzonazione sismica di Livello 1 e Livello 2

Come livello di partenza si fa riferimento ai lavori di Microzonazione Sismica (MS) di Livello 1 e 2 che hanno permesso di ottimizzare la conoscenza delle possibili alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie, restituendo informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione dell'emergenza e per l'eventuale ricostruzione post sisma.

(\*) Il livello 1 è stato propedeutico ai veri e propri studi di MS (livello 2 e 3) poiché ha permesso la suddivisione del territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico: 1) le zone stabili; 2) le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali del moto sismico; 3) le zone suscettibili di instabilità. Le zone stabili corrispondono a quelle in cui s'ipotizza che il moto sismico non sia modificato rispetto a quello atteso, pertanto non si prevedono effetti locali di rilievo o di alcuna natura. In queste zone il bedrock sismico è affiorante o sub-affiorante. Il lavoro è consistito nella raccolta dei dati geologici, geofisici e geotecnici preesistenti (realizzazione di data-base), integrati da nuove misure geofisiche, eseguite nelle zone in cui le informazioni erano scarse e/o di dubbia interpretazione.

Il successivo livello 2 si è posto due obiettivi da raggiungere in sequenza:

a) compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi;  
b) fornire quantificazioni numeriche (metodi semplificati, abachi e leggi empiriche) della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità). Per il raggiungimento di tali obiettivi si possono determinare modificazioni delle geometrie delle zone individuate in precedenza nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica. Nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, le amplificazioni sono state quantificate per mezzo di “abachi” che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche.

#### 4.3.1 Sintesi dei risultati della Microzonazione sismica di Livello 2

Nel territorio di studio (MS livello 2) sono state individuate differenti microzone (Carta delle MOPS) operando la sintesi per sovrapposizione dei dati geologici (spessore delle coperture, tipologia del substrato), geomorfologici, geotecnici e geofisici disponibili, all'interno delle quali si ipotizza un'analoga suscettibilità a fenomeni di amplificazione locale indotti dal sisma. Ogni microzona, oltre agli aspetti geologici, geomorfologici e lito-

tecnici, si differenzia soprattutto rispetto alla velocità di propagazione delle onde di taglio e alla frequenza di risonanza.

Nel territorio comunale di Fratte Rosa sono state differenziate n° 3 categorie:

- 1) Zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura; il substrato geologico è in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15°);
- 2) Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- 3) Zone di attenzione per instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali);

In tale ambito sono state individuate 4 microzone (identificate con un numero progressivo da 1 a 4. Dai risultati degli studi di MS di livello 2 si evince che:

- non sono state identificate o assimilate a zone stabili;
- alcune zone sono interessate da movimenti gravitativi (instabilità di versante) suddivise in base al tipo di cinematismo e di attività;
- tutte le altre rientrano tra le zone suscettibili di amplificazioni locali. Nel territorio comunale non si rilevano substrati rigidi sub-affioranti alla superficie topografica. Le formazioni geologiche del substrato (serie plio-pleistocenica) hanno un comportamento plastico e, altresì, giacciono sotto coperture eluvio-colluviali sciolte, fino a 10 m di spessore. Il contesto geologico, nel complesso, è suscettibile di amplificazioni locali in prospettiva sismica;
- non sono state identificate aree suscettibili di instabilità per liquefazione. I livelli di falda acquifera sono generalmente bassi, prevalgono i terreni di natura coesiva, l'indice plastico è sempre maggiore del 20%, sono del tutto assenti depositi di sabbie pulite, sciolte o poco addensate, in stato di saturazione, alla presenza di una falda idrica, che possano subire la perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche.

#### **4.4 Microzonazione sismica di Livello 3**

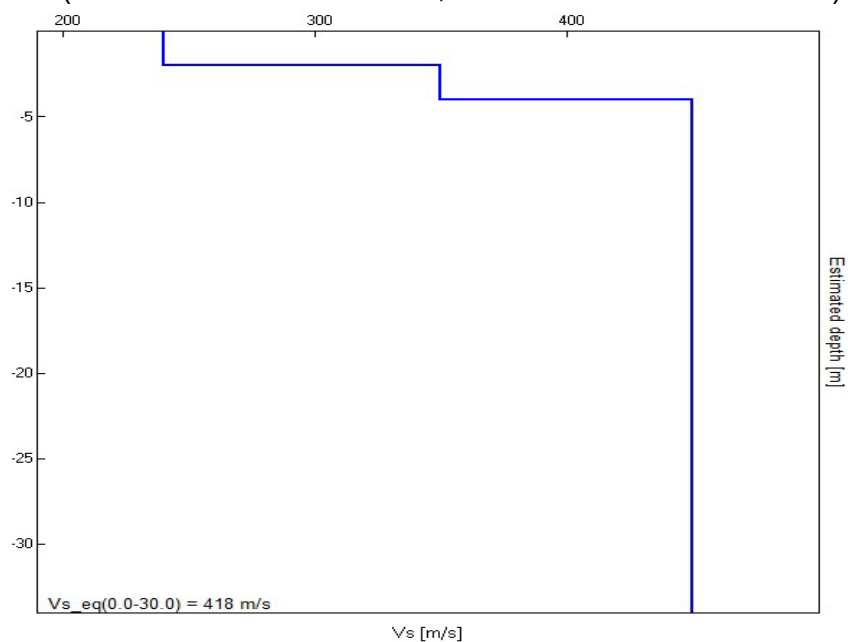
##### **4.4.1 Categoria del sottosuolo**

L'area prescelta nel presente studio, soggetta ad analisi di instabilità di versante, non è stata minimamente esaminata nei precedenti studi di MS di livello 2 (circoscritta più che altro in ambito urbano). Le indagini sismiche per l'attuale MS di livello 3, sono state pertanto eseguite ex-novo.

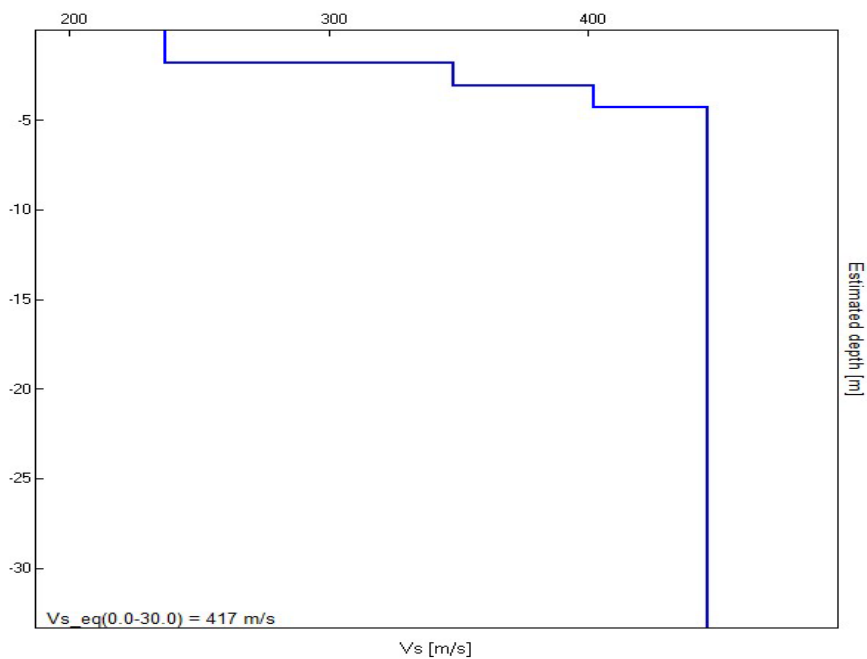
Per la definizione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio e la classificazione dei terreni del sito in esame nel luglio 2024 sono state eseguite n° 2 stazioni sismiche con metodologia MASW e HVRS in corrispondenza dei sondaggi geognostici SG1 (P180) e SG2 (P181) denominate con le sigle M1 – H1 (L12 - P170) e M2 -H2 (L13 - P171). In corrispondenza del test CPT Ps5 (P177) nel settembre 2024 è stata eseguita una ulteriore stazione sismica HVRS e sigla H3 (P172) per affinare le conoscenze nei punti più sensibili.

Nel seguito si riassumono sinteticamente i risultati acquisiti:



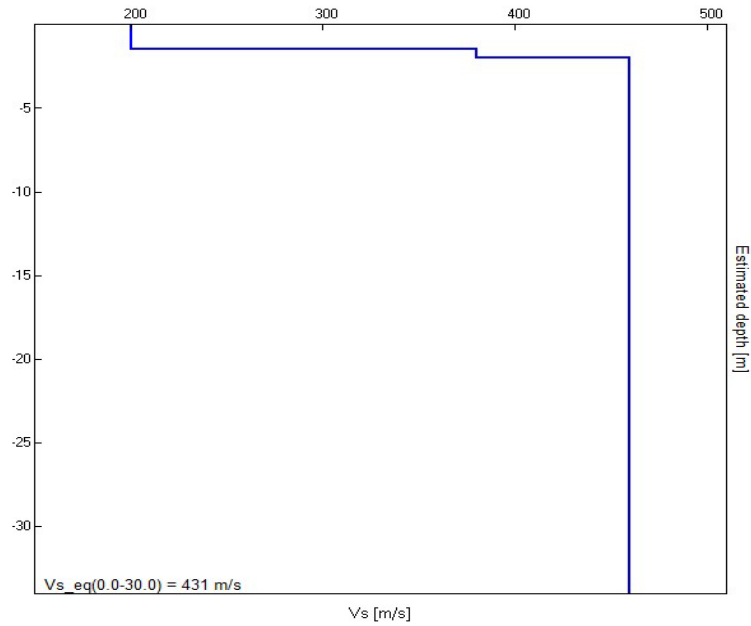
**Indagine HVRS 1** (Picco H/V a  $9.5 \pm 0.41$  Hz, nell'intervallo 1.0 - 30.0 Hz)

| Profondità dello strato | Spessore | Vs [m/s] | Vs, eq (0.0-30.0) | Categoria di suolo |
|-------------------------|----------|----------|-------------------|--------------------|
| 2.00 m                  | 2.00 m   | 240      | 418 m/s           | B                  |
| 4.00 m                  | 2.00 m   | 350      |                   |                    |
| Inf.                    | inf.     | 450      |                   |                    |

**Indagine MASW 1**

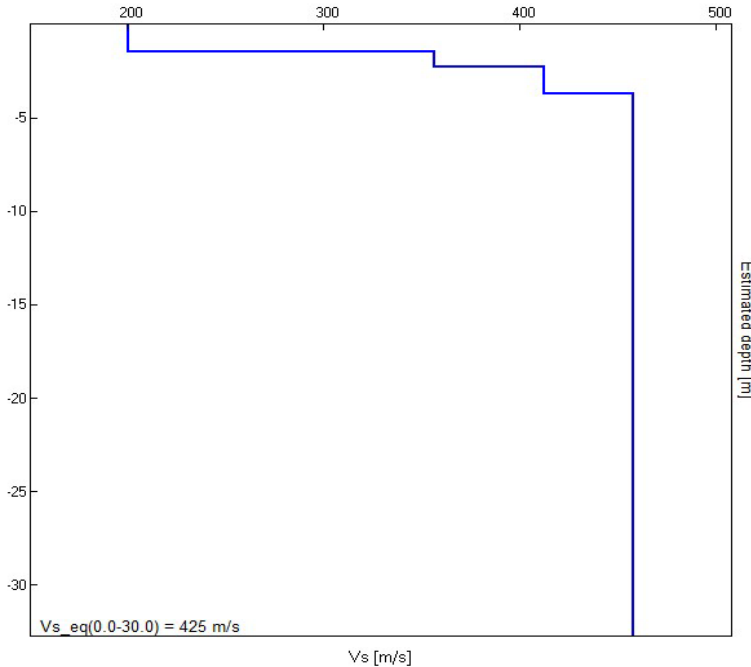
| Profondità dello strato | Spessore [m] | Vs [m/s] | Vs, eq (0.0-30.0) | Categoria di suolo |
|-------------------------|--------------|----------|-------------------|--------------------|
| 1.80 m                  | 1.80 m       | 237      | 417 m/s           | B                  |
| 3.10 m                  | 1.30 m       | 348      |                   |                    |
| 4.30 m                  | 1.20 m       | 402      |                   |                    |
| inf.                    | inf.         | 446      |                   |                    |

**Indagine HVRS 2** (Picco H/V a  $20.0 \pm 1.06$  Hz, nell'intervallo 1.0 - 30.0 Hz).

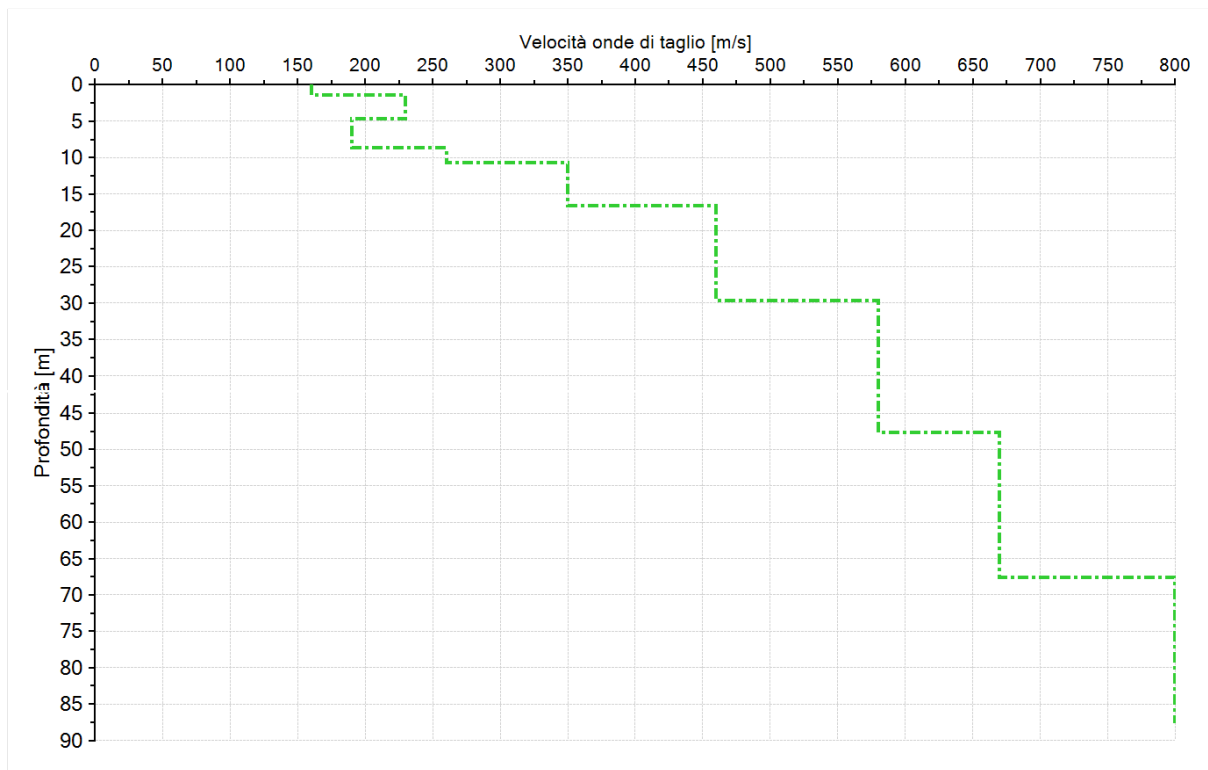


| Profondità dello strato | Spessore | Vs [m/s] | Vs, eq (0.0-30.0) | Categoria di suolo |
|-------------------------|----------|----------|-------------------|--------------------|
| 1.50 m                  | 1.50 m   | 200      | 431 m/s           | B                  |
| 2.00 m                  | 0.50 m   | 380      |                   |                    |
| Inf.                    | inf.     | 460      |                   |                    |

**Indagine MASW 2**



| Profondità dello strato | Spessore | Vs [m/s] | Vs, eq (0.0-30.0) | Categoria di suolo |
|-------------------------|----------|----------|-------------------|--------------------|
| 1.50 m                  | 1.50 m   | 201      | 425 m/s           | B                  |
| 2.30 m                  | 0.80 m   | 357      |                   |                    |
| 3.70                    | 1.40     | 413      |                   |                    |
| inf.                    | inf.     | 458      |                   |                    |

**Indagine HVRS 3 (Picco H/V a  $3.20 \pm 0.27$  Hz)**

| Profondità dello strato | Spessore | Vs [m/s] | Vs,eq (0.0-30.0) | Categoria di suolo |
|-------------------------|----------|----------|------------------|--------------------|
| 0                       | 1.5      | 160      | 306.27 m/s       | C                  |
| 1.5                     | 3.2      | 230      |                  |                    |
| 4.7                     | 4        | 190      |                  |                    |
| 8.7                     | 2.0      | 260      |                  |                    |
| 10.7                    | 6.0      | 350      |                  |                    |
| 16.7                    | 13.0     | 460      |                  |                    |
| 29.7                    | 18.0     | 580      |                  |                    |
| 47.7                    | 20.0     | 670      |                  |                    |
| 67.7                    | 20.0     | 800      |                  |                    |

Le prove eseguite H1, H2, MW 1, MW 2 hanno determinato Vs come categoria di suolo B quando tutte le prove geofisiche eseguite nella Microzonazione 2 hanno determinato la categoria di suolo C, pertanto si prende come riferimento la determinazione delle Vs nella prova eseguita H3 e quindi categoria di suolo C.

**4.4.2 Condizioni e amplificazione topografica**

Il versante collinare in esame degrada più o meno regolarmente, con pendenza media inferiore a  $15^\circ$ , tra il crinale e il fondovalle.

In base alle tabelle 3.2.III e Tab. 3.2.V delle N.T.C. 2018 che si riferiscono a configurazioni geometriche bidimensionali (creste o dorsali allungate), considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m, si evince che l'area in esame rientra

nella categoria topografica T1, alla quale non corrisponde alcun fattore di amplificazione topografica (ST = 1,0).

| CATEGORIA | CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA                                                                    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>T1</b> | <b>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i &lt; 15^\circ</math></b>    |
| T2        | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$                                                                    |
| T3        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$                  |

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

| CATEGORIA TOPOGRAFICA | UBICAZIONE DELL'OPERA                                                                        | ST         |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>T1</b>             | -                                                                                            | <b>1,0</b> |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio                                                   | 1,2        |
| T3                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$ | 1,2        |
| T4                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$       | 1,4        |

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST

## 5- RISPOSTA SISMICA LOCALE

### 5.1 Tipologia delle indagini geofisiche eseguite

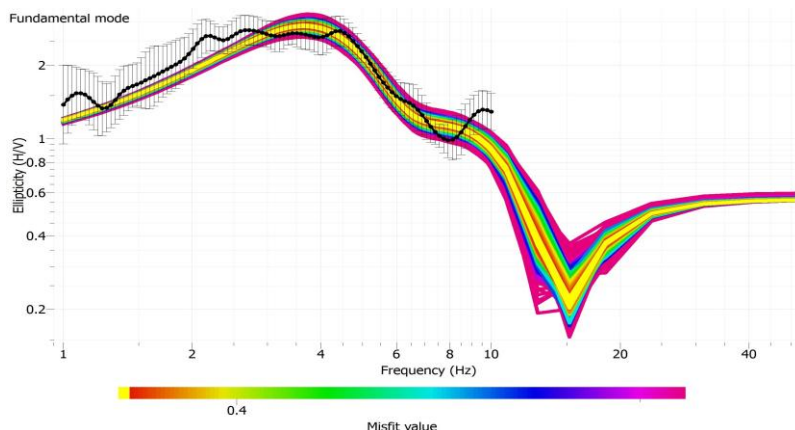
Per la caratterizzazione sismica del versante collinare oggetto di studio sono state eseguite le prove come da capitolo 4.4 per le indeterminazioni delle frequenze  $f_0$  delle prove H1(P170) e H2 (P171) e per tale motivo si è eseguita una terza prova H3 (P172) sulla verticale associata alla prova Ps5 (P177).

Le indagini sismiche eseguite sono state successivamente interpretate in maniera congiunta, per ottenere un profilo sismo-stratigrafico che contemplasse la presenza della profondità di partenza dell'input sismico.

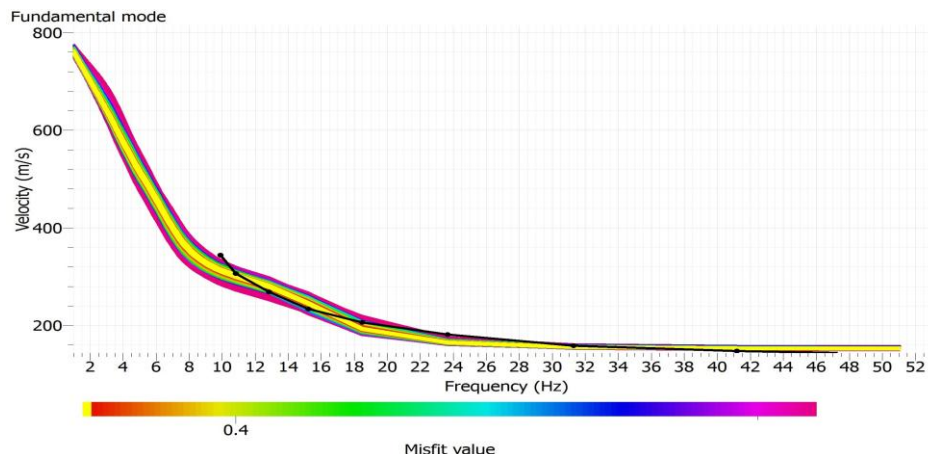
### 5.2 Inversione congiunta curva di dispersione e di ellitticità

Per questo tipo di analisi sono state studiate la MW2 (L13) e H3 (P177). Le curve di dispersione e di ellitticità di queste indagini geofisiche sono state sottoposte ad un processo di inversione congiunta tramite il modulo DINVER del software GEOPSY, che ha consentito di ricostruire il profilo di velocità della onda di taglio in corrispondenza della sezione A-A', utilizzata poi per le successive verifiche di stabilità del pendio:

Curva di ellitticità sperimentale (in nero) e curve di ellitticità numeriche a diverso grado di misfit

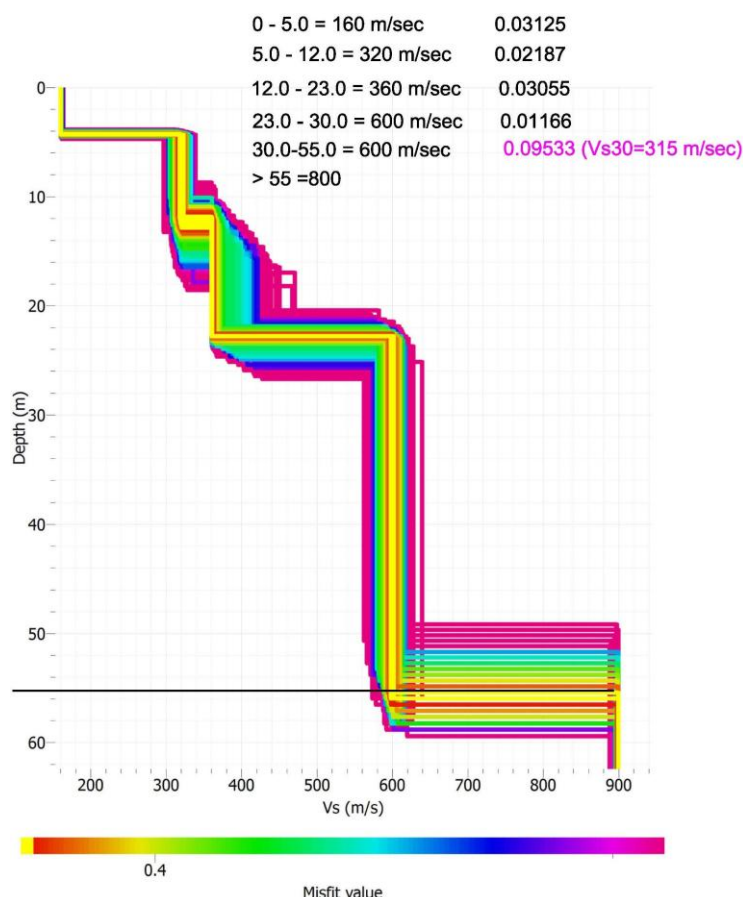


Curva di dispersione sperimentale (in nero) e curve di dispersione numeriche a diverso grado di misfit



L'inversione ha evidenziato, come si denota dal profilo di velocità riportato, la presenza del substrato sismico di riferimento caratterizzato da una velocità delle onde di taglio  $V_s \geq 600$  m/sec rilevabile a partire da una profondità variabile tra 30÷-55 mt dal relativo piano campagna. Per la successiva analisi di risposta sismica locale si utilizzato il profilo di velocità ottenuto in corrispondenza della sezione litostratigrafica B-B' (linea sismica L13 e HVSR P173) , valori estesi alla sezione A-A'.

Il suddetto valore della velocità delle onde di taglio del bedrock sismico è quello definito dalla raccomandazioni dalla Commissione Tecnica Regionale per gli studi di MS rappresentativa del Centro MS-CNR-IGAG.



Risultato dell'inversione congiunta- Profilo di velocità di propagazione delle onde di taglio (linea gialla) con individuazione della profondità del bedrock sismico

### 5.3 Analisi di risposta sismica locale e dati propedeutici al calcolo degli spostamenti

Per l'esecuzione delle analisi di risposta sismica locale (modello 1D), si è utilizzato il software STRATA, fornito dalla Commissione, che definisce la risposta dinamica monodimensionale di una colonna di terreno utilizzando il modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del suolo variabili in funzione del livello deformativo. L'algoritmo di risoluzione fa uso del modello a strati continui, adottando il modello di solido alla Kelvin-Voigt, in cui viene descritta la risposta dinamica utilizzando una molla puramente elastica in un mezzo puramente viscoso.

Gli input per tale verifica sono stati una serie di dati assunti nelle analisi, ovvero:



- l'andamento delle Vs all'interno della formazione di base, fino a raggiungere progressivamente gli 800m/s;
- le curve di decadimento normalizzate e di smorzamento per i diversi litotipi nei diversi domini, nelle quali sono state selezionate quelle pertinenti ai materiali nella zona di interesse (ipotizzando che la curva di decadimento normalizzata dipenda solo dal litotipo e non dal grado di rimaneggiamento);
- gli 8 accelerogrammi da assumere come moto di riferimento su affioramento rigido (medesimi segnali utilizzati per la redazione degli abachi nella MS di Livello 2), forniti dalla Commissione Tecnica Regionale, rappresentativi della pericolosità di base del sito in esame con periodo di ritorno  $T_r=475$  anni.

E' stato adottato il modello di comportamento lineare equivalente che consiste nella soluzione di un problema non lineare attraverso analisi lineari complete nelle quali, al termine di ogni iterazione, vengono aggiornati i parametri di rigidezza e smorzamento che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno.

L'analisi è stata quindi svolta con calcoli iterativi fino al raggiungimento della convergenza dei risultati ad un valore imposto. La variazione di rigidezza viene espressa in termini di variazione tra il modulo di rigidezza al taglio  $G$  ed il suo valore iniziale  $G_0$ . Il rapporto tra tali termini è pari all'unità in assenza di deformazione e diminuisce via via che aumenta la deformazione indotta dal sisma. Quando si esegue un'analisi lineare equivalente si opera nel campo delle tensioni totali, utilizzando un modello a strati piano-paralleli di estensione orizzontale infinita, continui ed omogenei a comportamento viscoelastico (modello di Kelvin-Voigt) posti su un semispazio sul quale si applica il moto di input (bedrock sismico). La soluzione del problema viene trovata imponendo la congruenza degli spostamenti e delle tensioni alle interfacce e la condizione che in superficie l'onda riflessa sia uguale a quella incidente. Ogni strato sarà caratterizzato dal modulo di taglio  $G$ , dal rapporto di smorzamento e dal proprio spessore. Lo smorzamento esprime la capacità del materiale di dissipare l'energia che lo attraversa. Le curve di variazione del modulo di rigidezza al taglio ( $G$ ) e dello smorzamento ( $D$ ), scelte nel Template\_Strata fornito dalla Commissione Tecnica Regionale, servono a descrivere il comportamento non lineare del terreno al variare del livello deformativo. Le due curve hanno andamento opposto in quanto al crescere della deformazione del terreno, in relazione alla maggiore intensità del moto sismico, il modulo di rigidezza diminuisce e lo smorzamento aumenta. Le conseguenze in termini di risposta sismica locale sono che la variazione del modulo di rigidezza al taglio modificano le frequenze di risonanza mentre all'aumentare dello smorzamento si ha maggiore dissipazione di energia e quindi diminuzione dell'ampiezza della funzione di amplificazione.

Contestualmente alla scelta delle suddette curve, si è inserito il modello sismico stratigrafico del sito di interesse, dedotto, dal profilo di velocità delle onde di taglio ottenuto dall'inversione congiunta eseguita in corrispondenza della sezione litostratigrafica B-B' (linea sismica L13 e HVSR P13).

Per ciascun accelerogramma inserito è stata poi calcolata l'intensità di Arias alla profondità del baricentro del dissesto gravitativo in esame, considerato posto ad una quota di -3,30 m dal p.c. (sezione litostratigrafica B-B') e 3,53 m dal p.c. e sez.A-A', la funzione di trasferimento dell'accelerazione e gli spettri di risposta elastici in superficie e al bedrock, necessari per il calcolo del fattore di amplificazione.

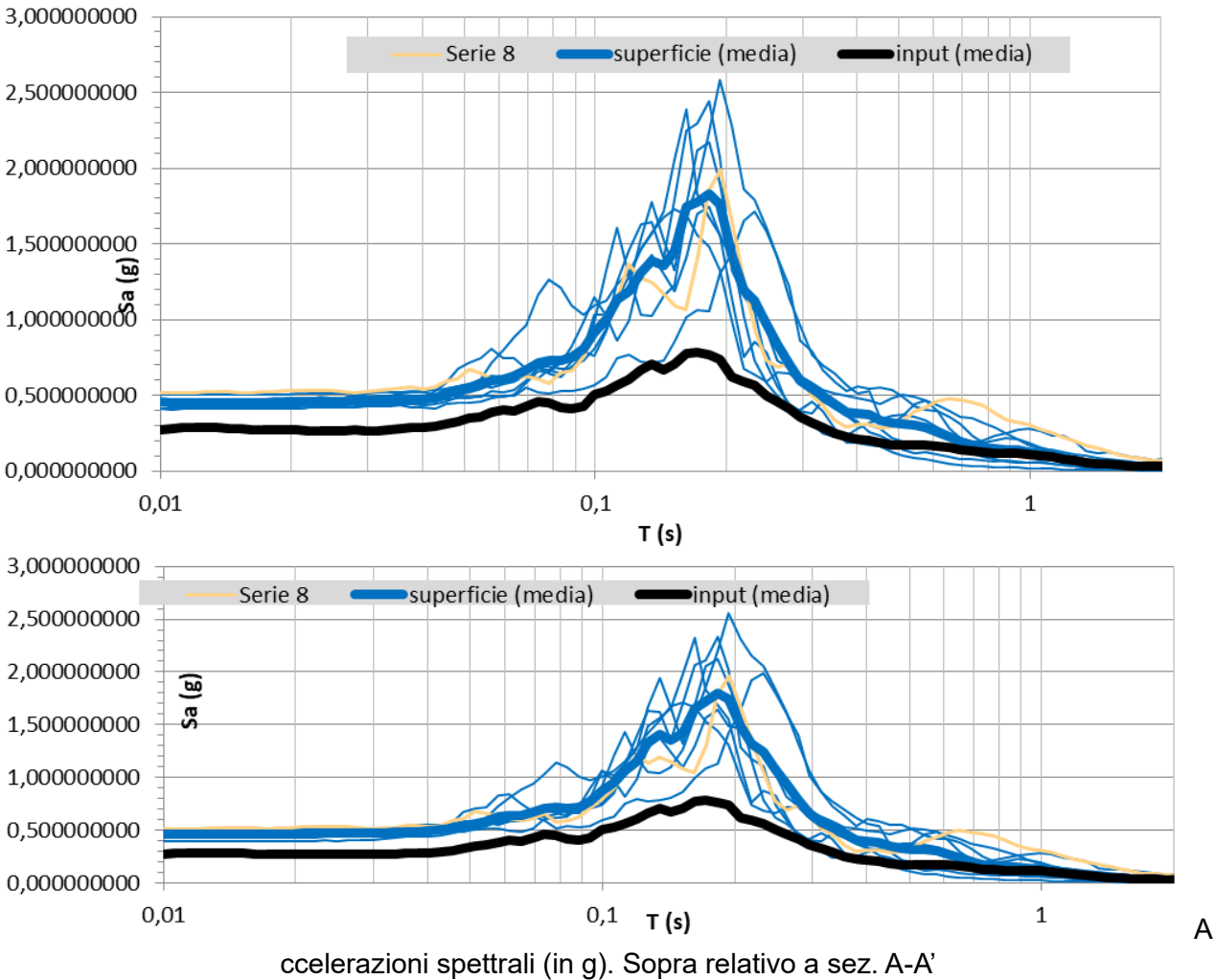
Mediante le analisi con STRATA si sono determinate:

- gli spettri in superficie e i valori dei fattori di amplificazione  $F_a$  nei 3 intervalli di periodi (in s): (0.1-0.5); (0.4-0.8); (0.7-1.1);
- gli accelerogrammi alla profondità del baricentro della massa potenzialmente instabile (propedeutici al calcolo degli spostamenti).

I valori di  $F_a$  sono calcolati come media logaritmica dei valori di  $F_a$  relativi agli 8 accelerogrammi utilizzati. In tabella sono rappresentati i valori del fattore di amplificazione in base ai differenti valori di  $T$  (periodo di amplificazione sismica). Nella tabella di seguito riportata sono indicati i Fattori di Amplificazione ottenuti utilizzando il foglio di calcolo fornito dalla Commissione Tecnica Regionale.

Fattore di amplificazione per i 3 periodi di amplificazione sismica

| Fattore di amplificazione |    |             |             |             |
|---------------------------|----|-------------|-------------|-------------|
|                           | T  | 0,1 ÷ 0,5 s | 0,4 ÷ 0,8 s | 0,7 ÷ 1,1 s |
| Sez. A-A'                 | FA | 1,96        | 1,73        | 1,51        |
| Sez. B-B'                 | FA | 2,00        | 1,78        | 1,54        |



## 6- VERIFICHE DI STABILITÀ

### 6.1 Premesse

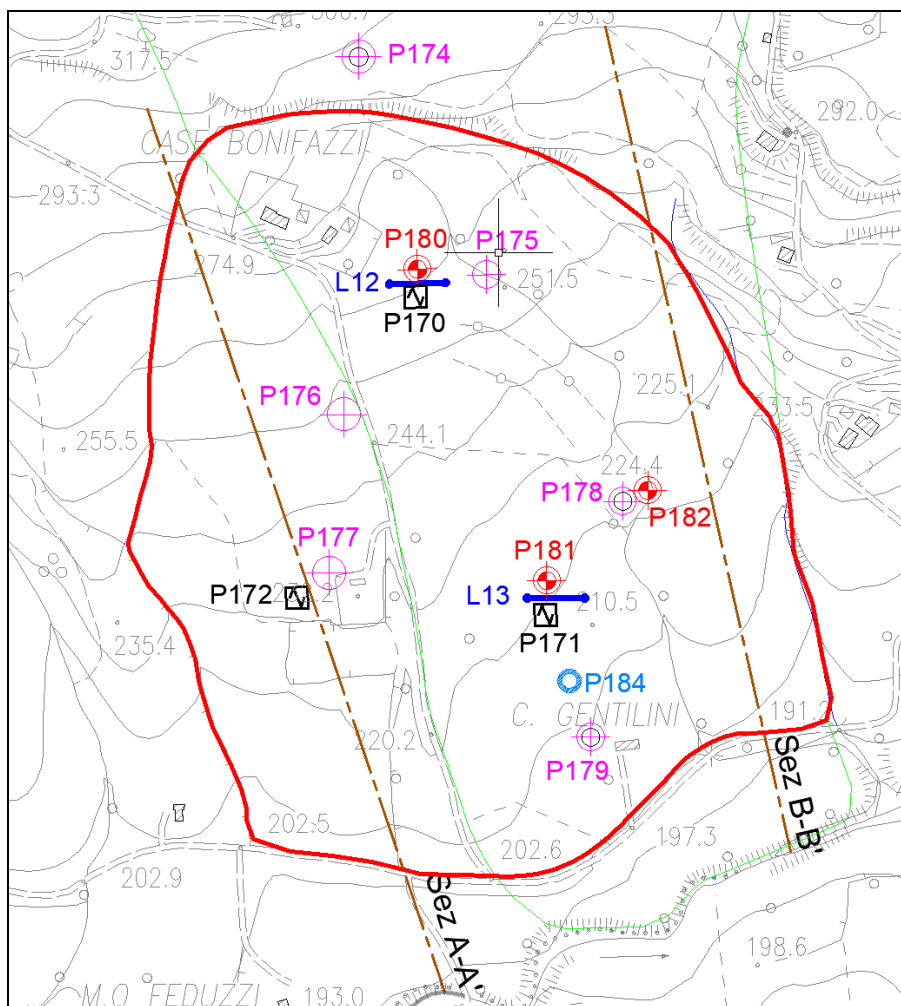
Al fine di valutare la stabilità del versante collinare oggetto del presente studio e la potenziale attivazione e/o riattivazione del dissesto gravitativo perimetrato in condizioni sismo-indotte, sono state eseguite le verifiche di stabilità lungo due distinte sezioni litostratigrafiche rappresentative del pendio in esame: le Sez. A-A' e B-B' (vedi tavola n.1, 3 e 4).

Le analisi di stabilità sono state eseguite:

1. in condizioni statiche, in assenza di sisma;
2. in condizioni pseudo-statiche (che simula le condizioni sismiche).
3. Verifiche di stabilità con il metodo dinamico degli spostamenti eseguita dalla Commissione Tecnica.

Sulla base dei risultati raggiunti è stata selezionata quella che ha fornito i risultati relativamente più sfavorevoli.

Tracce delle sezioni litostratigrafiche utilizzate per le verifiche di stabilità del dissesto gravitativo in esame



### Verifiche di stabilità in condizioni statiche

La procedura di analisi di stabilità di un pendio in terra, attraverso la valutazione dell'equilibrio limite, consiste nella stima di un coefficiente di sicurezza alla traslazione e/o alla rotazione del volume di terra compreso tra la superficie topografica del versante e una superficie di taglio impostata.

Il metodo di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni di equilibrio fornite dalla statica.

Il coefficiente di sicurezza globale del pendio ( $F_s$ ) viene definito dal rapporto esistente tra la resistenza di taglio massima disponibile lungo la superficie di potenziale rottura e gli sforzi tangenziali mobilitati lungo lo stesso piano.

L'equilibrio limite di  $F_s$  corrisponde a  $F_s = 1$ , ovvero  $T_{\max} = T_{\text{mob}}$ .

### Verifiche di stabilità in condizioni pseudo-statiche

L'analisi in condizioni sismiche viene eseguita mediante il metodo pseudo-statico, nel quale l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume di terreno potenzialmente instabile. Il modello dinamico degli spostamenti consente di valutare potenziali riattivazioni di frane preesistenti in base al livello di scuotimento locale atteso, connesso ad eventuali effetti sismici di sito.

La condizione di stato limite ultimo è riferita al meccanismo di collasso critico, indicato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza:

$$F_s = \tau_s / \tau_m$$

con:  $\tau_s$  = resistenza al taglio disponibile;  $\tau_m$  = sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale.

Considerata la finalità del presente studio, così come meglio specificato nelle raccomandazioni fornite dalla Commissione Tecnica Regionale, nel calcolo del fattore di sicurezza del pendio non si utilizzano i coefficienti di riduzione parziali, come previsto dalle N.T.C. 2018.

## **6.2 Metodologia**

Per l'analisi di stabilità, si è inizialmente utilizzato il software Slope di Geostru, per verificare l'affidabilità dei modelli e conseguire gli ordini di grandezza. Successivamente, su richiesta della Commissione Tecnica, l'analisi di stabilità è stata condotta con il software SSAP, sviluppato dal Dott. Lorenzo Borselli.

Nel seguito si descrive la struttura dei risultati ottenuti tramite il programma SSAP:

1. Verifica globale: È stata eseguita una verifica di stabilità su un totale di 15.000 superfici di scorrimento, generate automaticamente dal software, con l'obiettivo di individuare l'intervallo del *Fattore di Sicurezza* ( $F_s$ ) minimo.
2. Selezione delle superfici critiche: Tra tutte le superfici generate dal software, sono state estrapolate e analizzate n° 10 superfici che hanno indicato i valori più bassi di  $F_s$  (coefficiente di sicurezza).

3. Calcolo del coefficiente sismico critico: Adottando il metodo di calcolo proposto da Sarma (1973), è stato ricavato il coefficiente sismico critico corrispondente alla condizione di  $F_s = 1$ , che rappresenta il limite di stabilità in condizioni sismiche.
4. Per ciascuna delle verifiche sopra indicate, sono stati generati appositi report dettagliati e relativi file DXF contenenti le geometrie delle superfici di scorrimento analizzate.

Si è operato secondo i seguenti criteri:

- Metodo di calcolo: Janbu rigoroso (Janbu, 1973) in quanto risulta il procedimento più restrittivo,
- Sniff random search: rappresenta il metodo più rigoroso per il campionamento dei punti di inizio delle superfici random,
- Variante no-convex sniff: rappresenta l'opzione che consente di potenziare la ricerca del motore sniff random search in casi di complessità stratigrafica,
- Tension cracks testa del pendio: attivato. È possibile generare superfici di scivolamento con inglobato un tratto verticale. Il criterio non è stato attivato per le verifiche in condizioni pseudostatiche, in base alle raccomandazioni fornite dal prof. Boselli.
- Lunghezza dei conci: 20 m per condizioni statiche; 30 m per condizioni pseudostatiche, sempre secondo le raccomandazioni del prof. Boselli.
- Numero massimo di superfici generate: n°10.

## 6.2 Modello geotecnico assunto

### Sezione A-A' e Sezione B-B'

Il profilo topografico lungo tale sezione è caratterizzato da una pendenza media dell'ordine di 13.5%, rispettivamente pari a 7.6° per la sezione A-A' e di 14.8%, rispettivamente pari a 8.4° per la sezione B-B'.

La quota di passaggio tra un livello geologico-geotecnico e quello successivo (successione stratigrafica) deriva dal riscontro diretto dei carotaggi estratti in corso perforazione, dai risultati delle prove CPT, dalle determinazioni di laboratorio geomeccanico, infine dai risultati delle indagini geofisiche.

I logs penetrometrici, messi criticamente a confronto tra loro, hanno indicato il passaggio da un orizzonte geotecnico all'altro.

In alcune verticali di indagine tale passaggio avviene in modo piuttosto netto, mentre per altre verticali avviene gradualmente attraverso un intervallo di alcuni decimetri.

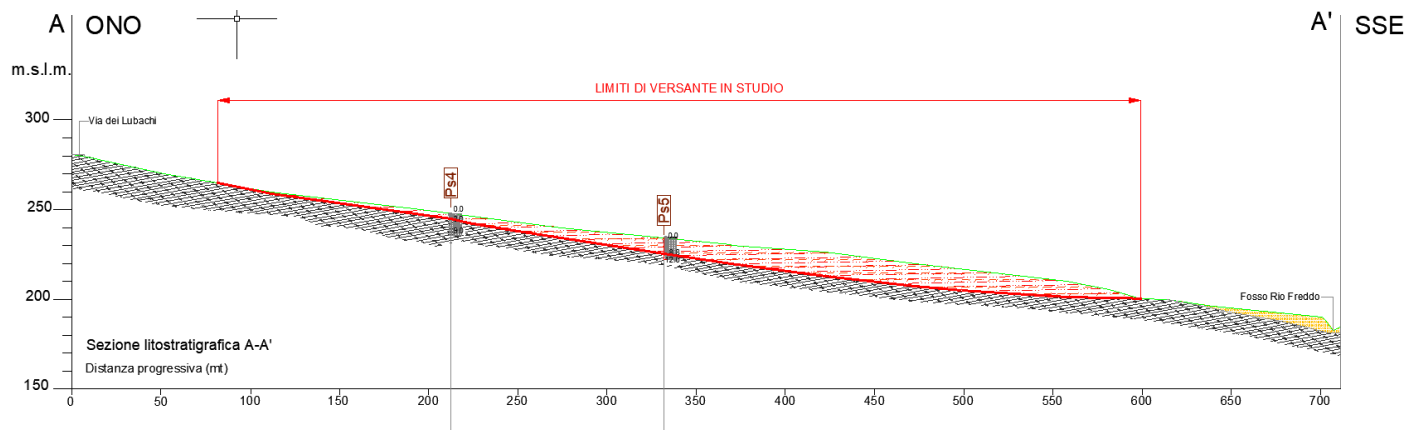
Si è potuto perfezionare e definire con maggiore dettaglio la successione geologica-geotecnica degli orizzonti coinvolti nelle verifiche di stabilità, così come vengono rappresentati nei relativi modelli di calcolo.

La profondità e la distinzione più accurata dei livelli più profondi è stata possibile dall'analisi dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio (indagini geofisiche tipo HVRS e MASW) e pertanto, dal punto di vista litologico, si associa il livello n° 3 al substrato decompresso, mentre il livello n° 4 più profondo, è associato al substrato integro.

Tabella 1

| MODELLO LITOLOGICO SEZ A-A' E SEZ.B-B' |                  |                                                 |                                |
|----------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|
| LIVELLI                                | Profondità media | DESCRIZIONE                                     |                                |
| 1                                      | 0 ÷ 7            | Copertura<br>Limi argillosi debolmente sabbiosi | Copertura e corpo di frana     |
| 2                                      | 7 ÷ 9            | Sbstrato FAA                                    | Substrato alterato decompresso |
| 3                                      | 9 ÷ 16           | Argille marnose e marne argillose               | Substrato decompresso          |
| 4                                      | >16              |                                                 | Substrato integro              |

SCHEMI LITOSTRATIGRAFICI DELLE SEZIONI A-A' E B-B' (vedi Tavola n.3 e Tavola n.4)



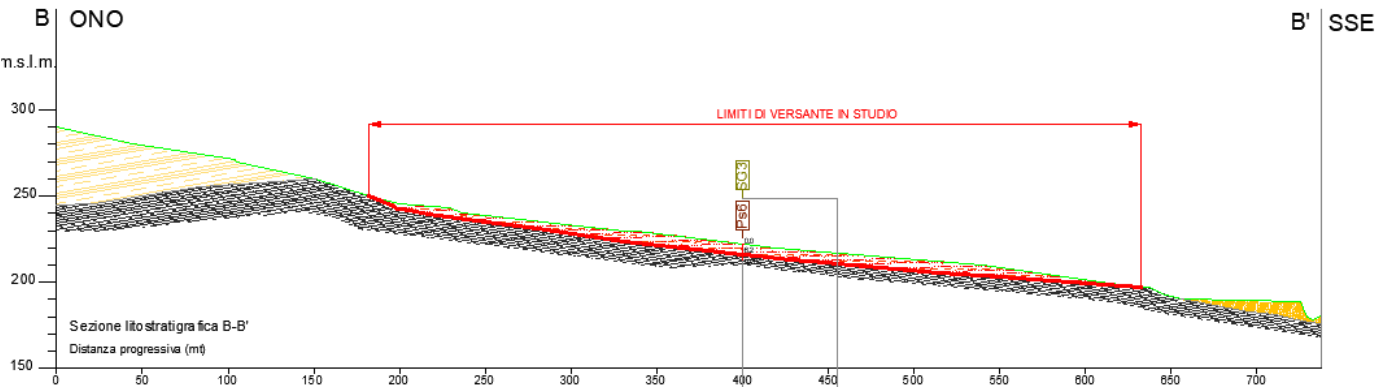
Legenda

Depositi continentali quaternari

- Zona di alterazione per frana
- Deposito alluvionale terrazzato

Successione Mio-Pleistocenica

- Argille e argille siltose grigio-azzurre a stratificazione poco marcata.





### 6.3 Parametri utilizzati per l'analisi di stabilità (SSAP)

I parametri geomeccanici adottati nelle verifiche di stabilità derivano dalle analisi di laboratorio, tenendo conto altresì dei dati bibliografici disponibili in letteratura e sulla base di esperienze professionali maturate nel tempo.

Da questa sintesi ragionata, si stabilisce:

Tabella 2

| PARAMETRI GEOTECNICI ASSEGNATI A SAAP (ZONA CIRCOSTANTE LA SUPERFICIE CRITICA) SEZ. A-A'; B-B' |         |                  |                |                      |                 |          |            |                |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------|----------------|----------------------|-----------------|----------|------------|----------------|----------------------|
| Litologia                                                                                      | Livello | Profondità media | $\gamma$ kN/mc | $\gamma_{sat}$ kN/mc | $\phi'^{\circ}$ | $c'$ kPa | $c_u$ t/mq | $c_{res}$ t/mq | $\phi_{res}^{\circ}$ |
| Copertura                                                                                      | 1       | 0 ÷ 7            | 21             | 22                   | 21,0            | 17       | /          | /              | /                    |
| Substrato alterato decompresso                                                                 | 2       | 7 ÷ 9            | 21             | 21                   | 18,0            | 40       | /          | 10,9           | 13,8                 |
| Substrato decompresso                                                                          | 3       | 9 ÷ 16           | 22             | 23                   | 18,5            | 100      | /          | /              | /                    |
| Substrato integro                                                                              | 4       | /                | 22             | 23                   | 20              | 200      | /          | /              | /                    |

- L'attribuzione dei parametri geotecnici ai singoli livelli tiene conto dei grafici sforzo/deformazione insiti nelle prove di laboratorio (taglio diretto CD mediante scatola di Casagrande), nella condizione di "picco" e "residua", allegati nello specifico fascicolo.
- Il substrato viene caratterizzato ricorrendo ai risultati dei test in sito, ai dati bibliografici e analisi precedenti in analoghe condizioni e contesti litologici.

In conclusione, sono stati adottati parametri geotecnici leggermente ridotti, compresi tra i valori di "picco" e "residuo":

- per la coesione drenata  $c'$  di picco, si sono mantenuti i valori in linea con la natura limoso-argillosa dei terreni in esame.
- per l'angolo di attrito  $\phi'$  di picco, si è tenuto conto del basso contenuto di sabbia (< 10%), cosicché il comportamento meccanico è controllato principalmente dalla frazione fine limo-argillosa.

In tabella 3 sono riassunti le caratteristiche geometriche della superficie critica presa a riferimento:

Tabella 3

| Superficie critica |           |                 |                        |                              | Caratteristiche del pendio |                    |
|--------------------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------|
| Sezione            | Dominio   | Cinematica      | Profondità massima (m) | Estensione longitudinale (m) | Profondità media falda (m) | Pendenza media (°) |
| A-A'               | Terrigeno | Roto-traslativo | 9                      | 577                          | 2                          | 7.6                |
| B-B'               |           |                 | /                      | 382                          |                            | 8.4                |

## 6.4 Condizioni idrogeologiche (acque sotterranee)

La natura prevalentemente limoso-argillosa dei terreni in causa, stante la genesi, le vicissitudini geologiche e le situazioni ambientali e idrauliche, li colloca tra i terreni coesivi con permeabilità da ritenere da molto scarsa a trascurabile.

Nel modello di calcolo la profondità della falda idrica (o meglio il livello di saturazione dei terreni) si assume sulla base di misure eseguite nei piezometri appositamente installati nelle verticali di indagine e nei pozzi, presenti nelle immediate vicinanze (vedi misure in cap. 1.4).

Le misure freaticometriche si riferiscono al periodo maggio – luglio - ottobre 2024. Durante il periodo particolarmente piovoso di settembre-ottobre, il livello di saturazione è risalito di diversi metri rispetto al periodo secco (luglio-agosto), raggiungendo, nelle aree di maggiore interesse, la profondità media di – 5.0 m dalla superficie del terreno.

Tenendo conto di possibili situazioni ancora più avverse, nelle verifiche di stabilità, si si assume un livello di falda a -2.00 m dal piano campagna.

Considerando la formazione delle Argille Azzurre praticamente impermeabile, nel calcolo si esclude l'effetto della pressione dei pori nel substrato decompresso e nel substrato integro rispettivamente indicati come livello 3 e livello 4.

## 7- RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITA'

### 7.1 Verifica di stabilità in condizioni statiche e pseudo-statiche

Lo studio delle analisi di stabilità sopra descritte è stato svolto in condizioni statiche e pseudo-statiche preliminarmente al successivo calcolo della verifica dinamica degli spostamenti eseguita dalla Commissione Tecnica incaricata.

Il calcolo della stabilità è stato effettuato in condizioni statiche e in condizioni sismiche (mediante il metodo pseudo-statico), calcolo che hanno tenuto conto:

- dei valori geomeccanici indicati nella Tabella 2 e 3: Modello Geotecnico e delle caratteristiche geometriche del pendio e della superficie critica
- situazione di sezione analizzata non assimilabile allo schema di pendio indefinito,
- (pseudostatico) dei valori di  $K_h$  (e  $K_v$ ) ottenuti mediante l'applicazione della equazione 7.11.3 (e 7.11.4) delle N.T.C. del 2018.

Le procedure di analisi di stabilità di un pendio in terra, attraverso la valutazione dell'equilibrio limite, consistono nella stima di un coefficiente di sicurezza alla traslazione e/o rotazione del volume di terra compreso tra la superficie del versante e un superficie di taglio impostata. La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni di equilibrio fornite dalla statica.

Il coefficiente di sicurezza globale del pendio viene calcolato attraverso il rapporto fra la resistenza di taglio massima disponibile lungo la superficie di potenziale rottura e gli sforzi tangenziali mobilitati lungo tale piano; al limite dell'equilibrio  $F_s$  deve essere uguale a 1, ossia  $T_{max} = T_{mob}$ .

L'analisi in condizioni sismiche è stata eseguita mediante il metodo pseudo-statico, nel quale l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello

spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume di terreno potenzialmente instabile. La condizione di stato limite ultimo viene riferita al meccanismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza:

$$F_s = \tau_s / \tau_M$$

dove  $\tau_s$  = resistenza al taglio disponibile  $\tau_M$  = sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale.

Nota: come conseguenza della finalità del presente studio, così come specificato nelle raccomandazioni fornite dalla Commissione Tecnica Regionale, nel calcolo del fattore di sicurezza del pendio non si è utilizzato alcuno dei coefficienti parziali di riduzione previsto dalle N.T.C. 2018.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della predetta “forza statica equivalente” possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

essendo  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h$$

dove:

$\beta_s$  [fraz. di g] = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;  
 $a_{max}$  [m/sec<sup>2</sup>] = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;  
 $g$  [m/sec<sup>2</sup>] = accelerazione di gravità.

Il parametro  $\beta_s$  è stato ricavato mediante l'equazione 7.11.3 delle N.T.C. 2018 sopra riportata, utilizzando il coefficiente di riduzione, pari a 0,28, relativo alla categoria di sottosuolo C. Il valore del coefficiente sismico orizzontale è stato poi ricavato moltiplicando il suddetto parametro con il valore di  $a_{max}=0,5162$  ottenuto dal codice di calcolo Strata utilizzato per l'analisi di risposta sismica locale del sito di interesse.

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

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

### Generazione delle superfici di scivolamento

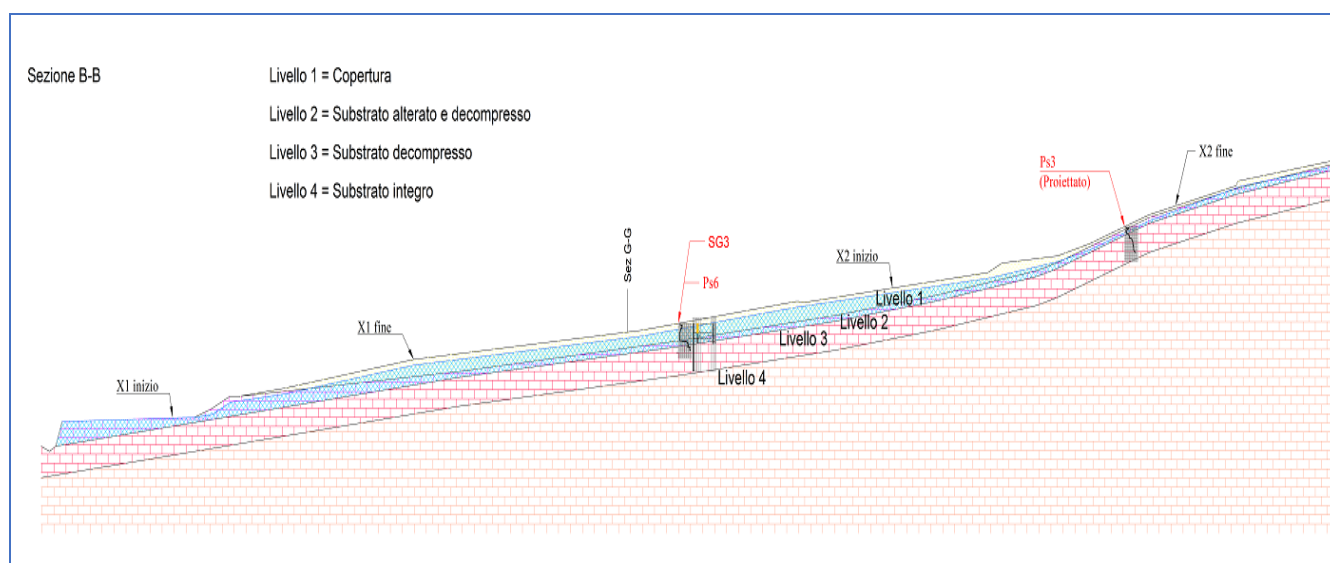
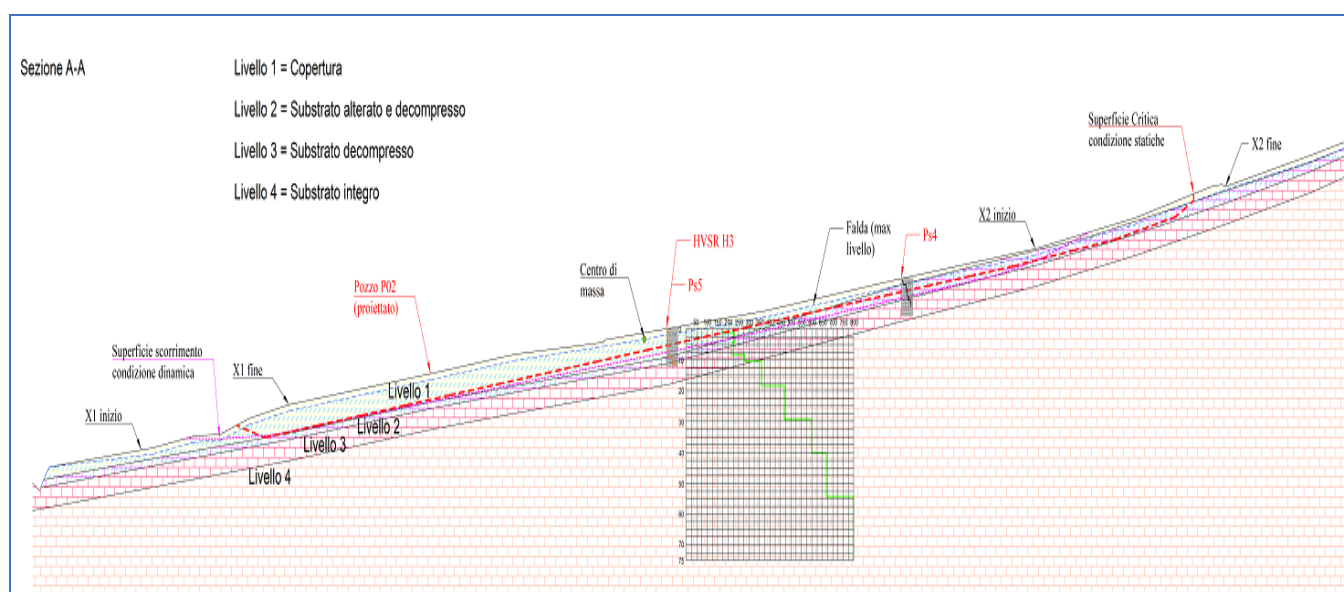
Per la verifica di stabilità e il calcolo del fattore di sicurezza ( $F_s$ ), sono state generate superfici di scivolamento in modo casuale, escludendo geometrie di tipo circolare o a spirale logaritmica.

Le superfici adottate presentano una forma generica e segmentata, risultando particolarmente adatte in contesti caratterizzati da discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo.

Ogni superficie generata è costituita da una serie di segmenti rettilinei interconnessi ed è vincolata a rispettare specifici criteri: deve passare entro determinati livelli prefissati (come discontinuità o nodi) e/o intersecare la superficie topografica entro intervalli considerati maggiormente probabili

In base a quanto sopra il valore di  $F_s$  è stato calcolato in condizioni statiche e pseudo-statiche per 10.000 superfici di scorrimento di forma generica, ognuna delle quali costituita da segmenti lunghi 20 m.

Schemi della sezioni A-A' e B-B' utilizzati per le verifiche di stabilità



Le analisi, sopra descritte, hanno portato al calcolo del coefficiente sismico critico  $K_c$  (coefficiente sismico pseudo-statico corrispondente alle condizioni di equilibrio limite con  $F_s=1$ ) riferito alla superficie di scorrimento critica determinata dall'analisi statica.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori, forniti alla Commissione Tecnica per le successive attività di analisi, dei fattori di sicurezza  $F_s$  dedotti dalla verifiche pseudo-statiche ottenuti aumentando progressivamente il valore del coefficiente sismico orizzontale  $K_h$  sino ad ottenere il relativo valore critico  $K_c$  corrispondente alla condizione di equilibrio limite attivo ( $F_s=1$ ).

Nella tabella che segue si riassumono i valori del fattore di stabilità " $F_s$ " e " $K_c$ ":

| Fattore di sicurezza minimo e coefficiente sismico critico |              |                |             |                   |
|------------------------------------------------------------|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| SEZIONE                                                    | Metodo       | Condizioni     | $F_{s\min}$ | $K_c$ ( $F_s=1$ ) |
| A-A'                                                       | Janbu (1973) | statiche       | 3.7679      | 0.31750           |
|                                                            |              | pseudostatiche | 3.1818      | 0.28750           |
| B-B'                                                       | Janbu (1973) | statiche       | 3.9745      | 0.29750           |
|                                                            |              | pseudostatiche | 3.4558      | 0.28375           |

In questa tabella che segue si riassumono i valori dei coefficienti sismici ottenuto ( $K_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $K_v$  coefficiente sismico verticale)

| Coefficienti Sismici [fraz. di g] |       |            |       |             |
|-----------------------------------|-------|------------|-------|-------------|
| A-A                               | $K_h$ | 0,01473353 | $K_v$ | 0,007366767 |
| B-B                               | $K_h$ | 0,01481957 | $K_v$ | 0,007409785 |

Coefficienti Sismici  $K_h$  e  $K_v$

## 4.2 Verifiche di stabilità con il metodo dinamico degli spostamenti

Il metodo pseudo-statico per l'analisi di stabilità di un pendio restituisce un fattore di sicurezza sulla stabilità, ma non fornisce nessuna informazione circa la deformazione associata ad una potenziale superficie di scorrimento. Un'analisi che consenta di stimare gli spostamenti indotti da un sisma su un pendio, risulta sicuramente più appropriata per stabilire il suo livello di sicurezza dopo un evento sismico; senza contare, inoltre, che le accelerazioni indotte dal sisma, e quindi le forze d'inerzia, sono variabili durante l'evento e pertanto anche il fattore di sicurezza subirà una variazione nel corso del sisma. In particolare, quando le forze d'inerzia di una massa potenzialmente instabile supereranno le resistenze del terreno, il fattore di sicurezza sarà inferiore all'unità.

Con il metodo di analisi introdotto da Newmark (1965) è possibile prevedere quale sarà lo spostamento permanente totale del pendio (massa in frana potenziale e blocco rigido appoggiato su una base vibrante inclinata) sotto l'azione di un'accelerazione variabile nel tempo.

L'equazione del moto su cui si basano i metodi degli spostamenti è quella di un blocco rigido su un piano inclinato vibrante in direzione orizzontale:

$$\ddot{x}(t) = [a(t) - k_c \cdot g] \cdot \frac{\cos(\phi - \theta)}{\cos \phi}$$

con:  $\ddot{x}$  accelerazione relativa del blocco rigido rispetto al piano inclinato;  $a(t)$  accelerazione assoluta del piano inclinato vibrante;  $a_c = k_c \cdot g$  accelerazione critica di soglia;  $\phi$  angolo di attrito fra blocco e superficie d'appoggio;  $\theta$  angolo di inclinazione del piano vibrante.

Se l'accelerogramma  $a(t)$  ha valore di picco inferiore all'accelerazione critica di soglia  $a_c$ , non si manifestano spostamenti relativi tra blocco e piano di appoggio. Nel caso contrario si procede all'integrazione nel tempo della parte di accelerogramma che risulta superiore al valore di accelerazione critica e si determina la velocità relativa del blocco. Nell'istante in cui l'accelerazione del piano vibrante torna ad eguagliare l'accelerazione critica corrisponde il massimo valore della velocità relativa. Il movimento del blocco continua poi per inerzia con velocità decrescenti fino ad arrestarsi o fino al sopraggiungere di un altro impulso di accelerazione superiore al valore di soglia. Per ipotesi non sono ammesse velocità negative, oltretutto movimenti di risalita del blocco verso monte. Lo spostamento del blocco è calcolato per integrazione nel tempo della velocità.

Poiché si assume che la resistenza allo scorrimento sia costante nel tempo ( $\phi = \text{cost}$ ), il

termine  $A = \frac{\cos(\phi - \theta)}{\cos \phi}$  è costante ed assume il valore  $A=1$  nel caso particolare di piano d'appoggio orizzontale ( $\theta=0$ ). Per un assegnato valore dell'accelerazione critica di soglia,  $a_c = k_c \cdot g$ , l'accelerazione, la velocità e lo spostamento di un blocco rigido su un piano inclinato vibrante corrispondono pertanto a quelle di un blocco rigido su un piano orizzontale vibrante, moltiplicate per una costante  $A$ , funzione della resistenza d'attrito e dell'angolo di inclinazione del piano. Lo spostamento finale cumulato di un blocco rigido su un piano orizzontale vibrante,  $s$ , è quindi funzione solo dell'accelerogramma  $a(t)$  e dell'accelerazione critica di soglia  $a_c = k_c \cdot g$ .

Per la determinazione degli accelerogrammi da utilizzare nel calcolo degli spostamenti, le analisi sono state condotte secondo la seguente procedura:

1. Identificazione della superficie critica in campo statico,
2. Definizione della posizione del baricentro della massa potenzialmente instabile (approssimativamente pari a 1/3 della profondità della superficie critica),
3. Identificazione della verticale passante per il centro di massa,
4. Rappresentazione nella finestra "Soil Profile" di Strata del modello sismo-stratigrafico lungo la verticale suddetta, con la stratigrafia litologica e le corrispondenti velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

È stata analizzata, come definito nei paragrafi 6 e 7, la stabilità di due sezioni longitudinali (A-A' e B-B') localizzate in Tavola n.1.

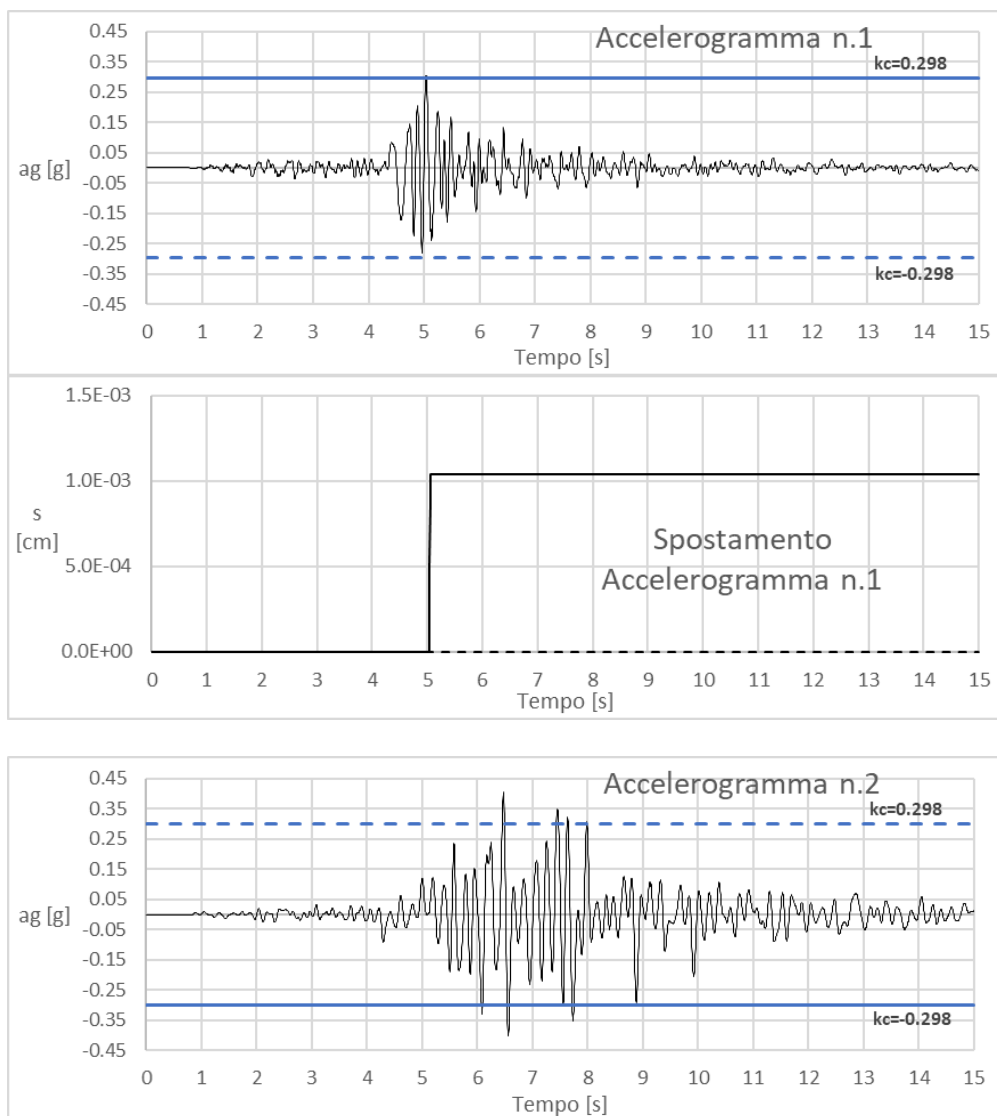
La superficie di scorrimento critica e la relativa accelerazione critica ( $K_c$ ) sono state determinate mediante il software SSAP2010 (Borselli, 2022) con riferimento alle condizioni statiche.

Gli accelerogrammi forniti in output da STRATA sono stati selezionati con il metodo deterministico, in cui sono stati forniti gli spettri in superficie e i valori dei 3 fattori di

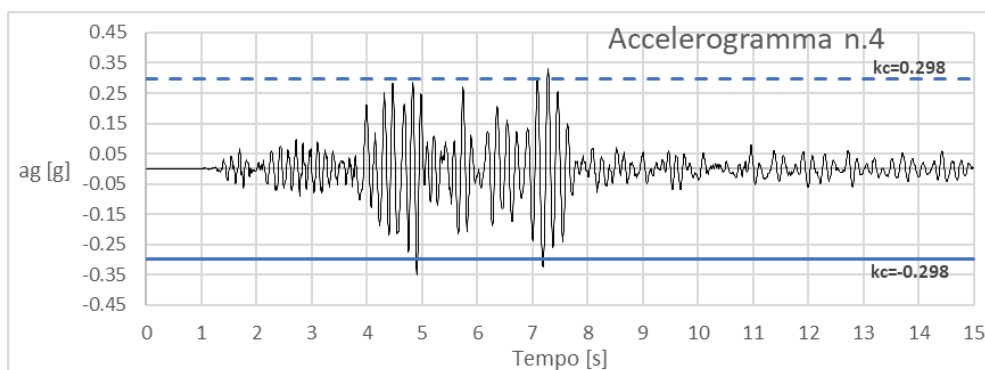
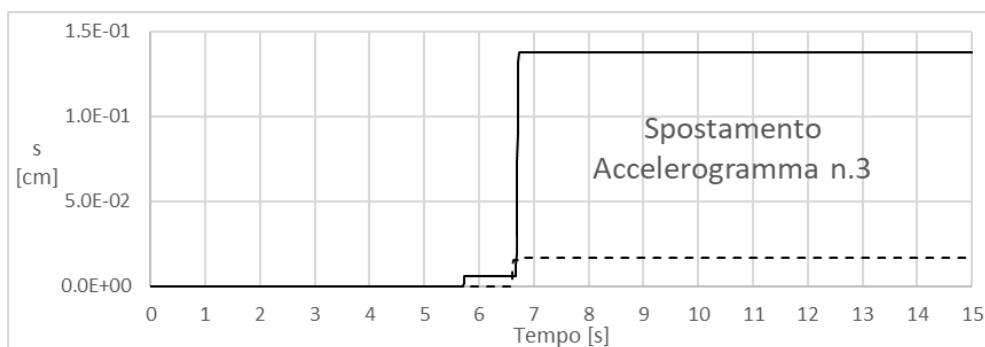
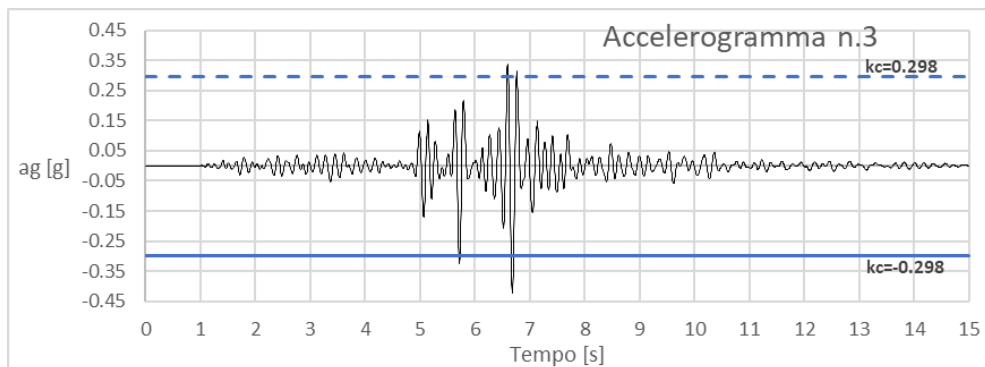
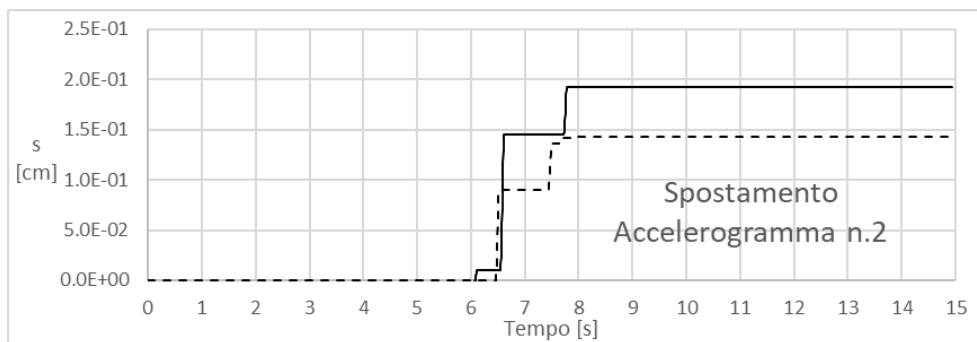
amplificazione  $F_a$  relativi a ciascuno degli 8 accelerogrammi e oltre agli accelerogrammi (uno per ciascuno dei 8 segnali di input assegnati) determinati approssimativamente in corrispondenza della profondità del baricentro della massa potenzialmente instabile.

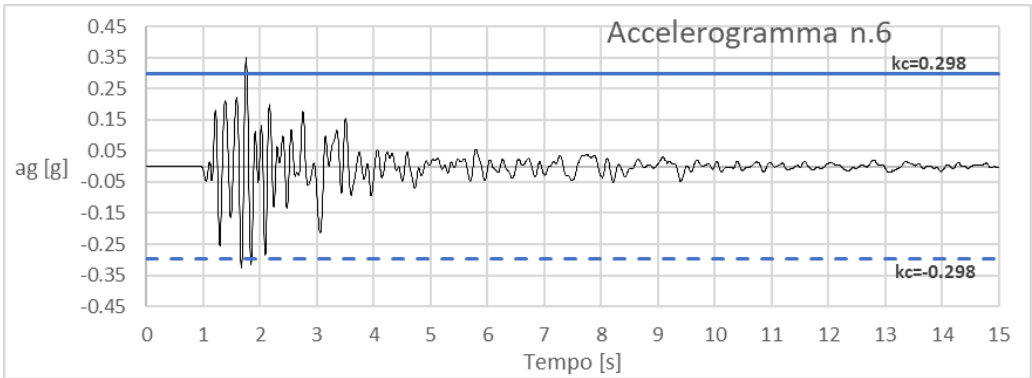
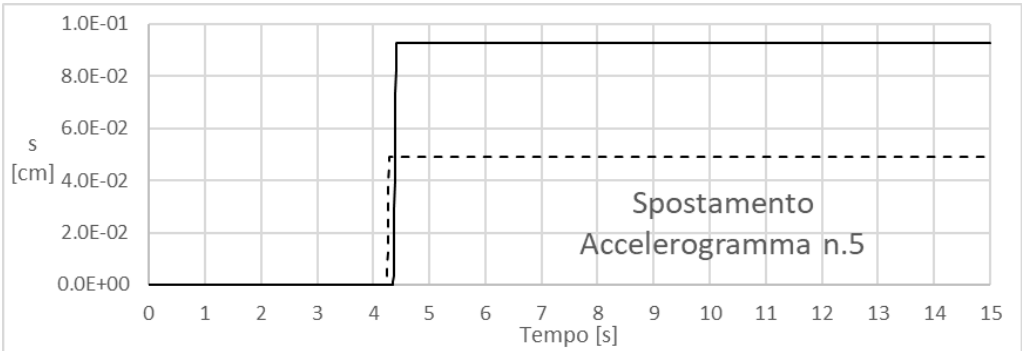
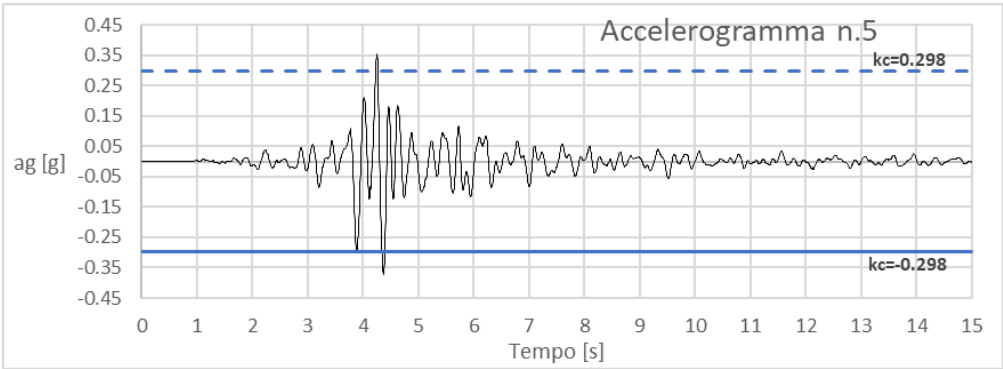
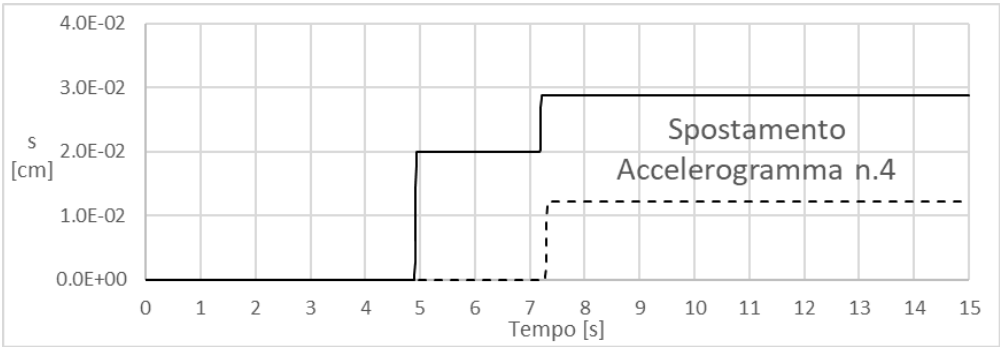
Dalle analisi di stabilità è emerso che in corrispondenza delle 2 sezioni i valori del fattore di sicurezza e del coefficiente sismico critico sono poco diversi tra loro. Gli accelerogrammi da assumere per il calcolo degli spostamenti lungo la superficie critica sono stati determinati mediante il codice STRATA ad una profondità pari a ca 3.3 m, approssimativamente uguale a quella del baricentro della massa potenzialmente instabile identificata in corrispondenza della Sezione B-B' (poco diversa da quella del baricentro della massa potenzialmente instabile identificata in corrispondenza della Sezione A-A').

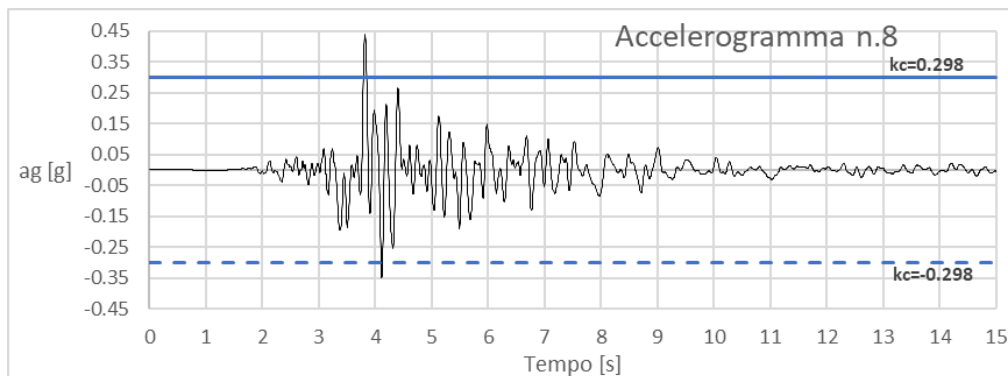
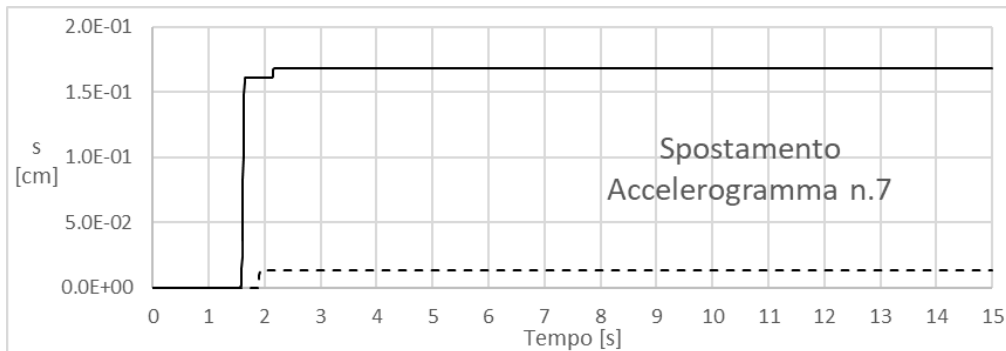
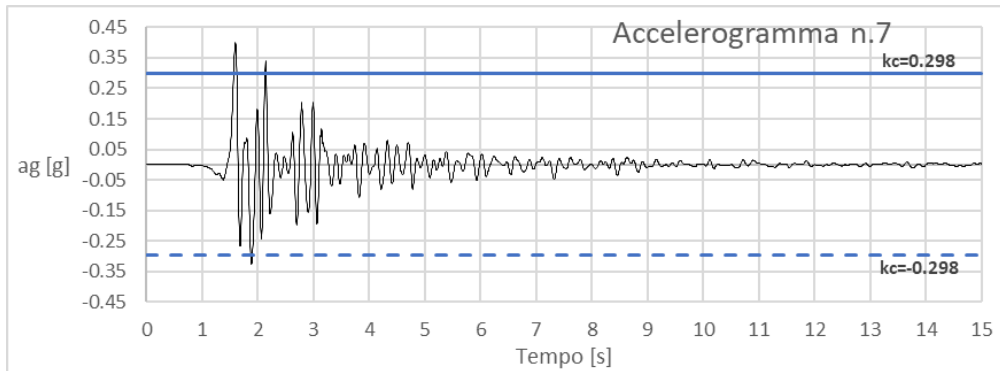
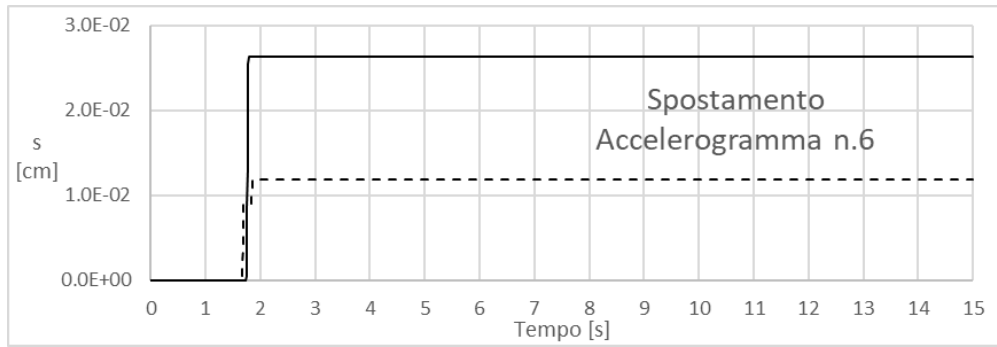
Grafici degli accelerogrammi alla profondità del baricentro e degli spostamenti (rispettivamente  $a_g$  ed  $s$  in funzione del tempo).

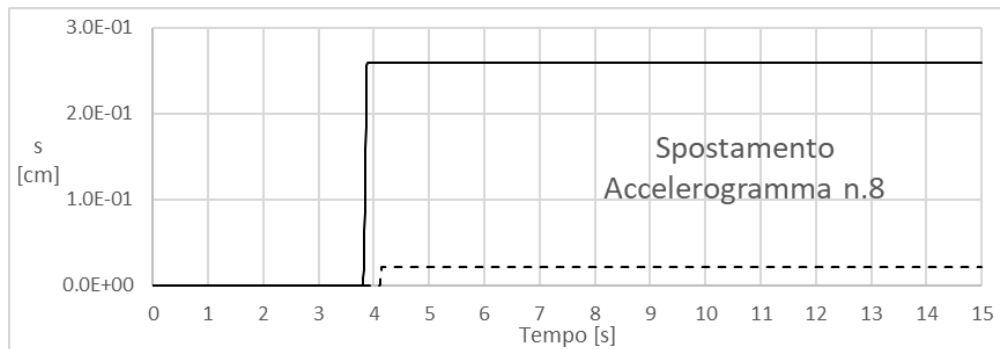












I risultati ottenuti provengono dal calcolo degli spostamenti del blocco di Newmark con riferimento al valore minimo di  $K_c$  ottenuto dall'analisi di stabilità in condizioni statiche della sezione B-B'.

Nel seguito è riportato l'andamento della superficie critica ottenuta mediante le analisi di stabilità condotte con il codice SSAP per ciascuna delle due sezioni A-A' e B-B' (come definite nel paragrafo 7.1).

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**sottostante contiene il fattore di sicurezza dell'analisi statica e il valore di  $K_c$  ottenuti per le due sezioni. Nella stessa tabella sono riportati anche i valori degli spostamenti ottenuti mediante lo script Python<sup>1</sup>, relativi a ciascun accelerogramma analizzato, assumendo il valore di  $K_c$  relativo alla sezione BB, assieme ai valori minimo, massimo e medio.

Valori calcolati di FS,  $K_c$  e spostamenti

| FS<br>statico<br>Sez.AA' | FS<br>statico<br>Sez.BB' | $K_c$<br>Sez.AA' | $K_c$<br>Sez.BB' | s_1<br>[cm] | s_2<br>[cm] | s_3<br>[cm] | s_4<br>[cm] | s_5<br>[cm] | s_6<br>[cm] | s_7<br>[cm] | s_8<br>[cm] | s_min<br>[cm] | s_max<br>[cm] | s_medio<br>[cm] |
|--------------------------|--------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-----------------|
| 3.768                    | 3.975                    | 0.318            | 0.298            | 0.00        | 0.19        | 0.14        | 0.03        | 0.09        | 0.03        | 0.17        | 0.26        | 0.00          | 0.26          | 0.11            |

Si riportano nel seguito alcune considerazioni in merito alla stabilità in condizioni sismiche dell'area studiata, sulla base dei risultati ottenuti in termini di coefficiente sismico critico e di spostamenti calcolati con riferimento al modello del blocco rigido di Newmark.

Com'è noto, alcuni Autori ritengono che l'accelerazione critica ( $a_c = k_c g$ ) possa rappresentare una misura della vulnerabilità sismica del pendio, utile soprattutto per analisi comparative. Nella tabella qui di seguito si riportano i valori dell'accelerazione critica corrispondenti a diversi livelli di stabilità del pendio in condizioni sismiche, in accordo con quanto proposto da Legg e Slosson (1984).

<sup>1</sup> Il linguaggio di programmazione Python, è stato creato dal gruppo di lavoro del DICeA ed è uno script per calcolare gli spostamenti del blocco rigido di Newmark con le assunzioni riportate nel paragrafo precedente. Lo script, specificamente realizzato per l'attività in oggetto, richiede in ingresso gli otto accelerogrammi ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale monodimensionale in corrispondenza della profondità del baricentro della massa potenzialmente instabile analizzata.

Tabella dei valori dell'accelerazione critica corrispondenti a diversi livelli di stabilità del pendio secondo la classificazione di Legg e Slosson (1984)

| Stato del pendio      | Accelerazione critica |
|-----------------------|-----------------------|
| Instabile             | $ac \leq 0.01g$       |
| Precario              | $0.01g < ac < 0.1g$   |
| Moderatamente stabile | $0.1g < ac < 0.3g$    |
| Discretamente stabile | $0.3g < ac < 0.5g$    |
| Stabile               | $0.5g < ac < 0.7g$    |
| Molto stabile         | $ac \geq 0.7$         |

In questa tabella sono riportati, il valore del fattore di sicurezza statico, il valore dell'accelerazione critica e il giudizio qualitativo sul livello di stabilità del versante in condizioni sismiche, in accordo con la classificazione proposta da Legg e Slosson (1984).

Giudizio sulla suscettibilità di frana in accordo con la classificazione di Legg e Slosson (1984)

| Indicazione sezioni frana | FS statico | Kc    | caso                | Stato del pendio      |
|---------------------------|------------|-------|---------------------|-----------------------|
| Sezione A-A'              | 3.768      | 0.318 | Generica post-picco | Discretamente stabile |
| Sezione B-B'              | 3.975      | 0.298 | Generica post-picco | Discretamente stabile |

Nella tabella successiva sono riportati i risultati relativi al valore medio degli spostamenti calcolati con tutti e 8 gli accelerogrammi, e alla media riferita ai 6 valori centrali (media calcolata sul set ottenuto escludendo il valore massimo e il valore minimo).

Valore medio dello spostamento relativo al set completo di 8 accelerogrammi e media relativa ai 6 valori centrali

| Indicazione frana             | Caso                | Media degli 8 valori di spostamento (cm) | Media dei valori centrali |
|-------------------------------|---------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| Area a SEE del centro abitato | Generica post-picco | 0.11                                     | 0.11                      |

In riferimento al contesto nazionale, gli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (Gruppo di Lavoro MS, 2008), indicano, solo a livello qualitativo, che il pendio può considerarsi stabile per spostamenti centimetrici.

Dai risultati ottenuti si evince che l'area sia discretamente stabile, con il dissesto in studio e pertanto non risulta attivabile sotto l'azione sismica di progetto.

L'area oggetto di approfondimento di livello 3, così come stabilito dalla Commissione Tecnica Regionale, rimarrà come "zona di attenzione per instabilità" sia nella Carta Geologico-Tecnica che nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, mentre sarà definita come "Zona stabile suscettibile di amplificazione locale" nella Carta di Microzonazione Sismica.

A titolo esemplificativo di seguito si riportano gli spostamenti ammissibili e i livelli di danno strutturale forniti dalla Commissione Tecnica Regionale nell'ambito degli incontri obbligatori di formazione.

Relazione fra spostamenti osservati e danno indotto (Legg & Slosson, 1984)

| Livello di danno | Spostamento [cm] |
|------------------|------------------|
| irrelevante      | < 0.5            |
| modesto          | 0.5÷5            |
| forte            | 5÷50             |
| severo           | 50÷500           |
| catastrofico     | > 500            |

Spostamenti ammissibili di pendii naturali stabiliti dallo State of Alaska Geotechnical Evaluation Criteria Committee (Idriss, 1985)

|     | Livello di danno | Spostamento [cm] |
|-----|------------------|------------------|
| V   | irrelevante      | < 3              |
| IV  | modesto          | 15               |
| III | moderato         | 30               |
| II  | elevato          | 90               |
| I   | catastrofico     | 300              |

## 8- RISULTATI FINALI, DUBBI E INCERTEZZE

- L'area di studio ricade nel territorio comunale di Fratte Rosa (PU), lungo un versante collinare che degrada debolmente a Sud, tra la strada provinciale S.P. n° 41 (a monte) e il Rio Freddo (a valle).

- In tale ambito il Piano Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale delle Marche (P.A.I.), Tav RI 19C, segnala una frana specificata con la sigla F-07-0678.

Il fenomeno, con aggiornamento DS n° 109 del 02.07.2020 da parte dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino centrale (AUBAC), corrisponde ad un livello di rischio medio (R2) e pericolosità media (P2).

- Mediante l'approccio integrato, che caratterizza il presente studio, ovvero mirato al conseguimento di successivi livelli di approfondimento, attraverso ricerche bibliografiche, studio fotointerpretativo di fotogrammi aerei scalati nel tempo, rilievo geologico-geomorfologico, esecuzione di indagini geognostiche-geofisiche, infine analisi ed elaborati di calcolo è stato possibile ridefinire la geometria e la tipologia del fenomeno franoso in corrispondenza del versante collinare in esame.

- Il fenomeno R2/P2 (sigla F-07-0678), cartografato a partire dalla Sp. N° 41 (a monte) fino a raggiungere il corso del Rio Freddo (a valle), ha uno sviluppo lineare di circa 1170 m, larghezza variabile tra 340÷660 m.

Gli studi attuali hanno permesso di aggiornare le dimensioni, la posizione e lo stato di attività della frana. Lo sviluppo lineare del fenomeno individuato è contenuto in 690 m e si posiziona nel tratto medio-terminale del versante; la larghezza massima in direzione ortogonale al versante, è di circa 570 m. Non avendo evidenziato segni netti e incisivi di qualsiasi attività in atto, lo stato di attività si considera tra l'inattivo e il quiescente.

- A quote superiori del versante sono presenti materiali eluvio-colluviali e detritici, di spessore ridotto, che a luoghi giacciono in assetto più o meno terrazzato. Sono interessati perlopiù da forme erosive e da locali deformazioni plastiche provocate dal ruscellamento epidermico (dispersioni), spesso incontrollato da monte.

A quote più ribassate nelle litofacies arenaceo-marnose (FAA2) si osservano cambi di pendenza in corrispondenza di scarpate poligeniche prodotte per erosione differenziata, o fors'anche di origine tettonica.

- La frana si sviluppa nella formazione delle "Argille Azzurre", attribuita all'età che va dal Pliocene inferiore p.p. al Pleistocene inferiore p.p. In particolar modo nella litofacies argilloso-marnosa (FAA) rappresentata da argille e argille marnose, con sporadiche intercalazioni di veli e livelletti siltoso-sabbiosi di colore grigio azzurrognolo e subordinatamente nocciola.

- In superficie è presente uno strato di copertura, in cui sono presenti materiali di alterazione di genesi eluvio-colluviale, originati per il disfacimento esogeno operato dagli agenti atmosferici, dall'alterazione prodotta dalle acque dilavanti e dall'azione incessante della gravità. Ne consegue una sostanziale riduzione delle proprietà geomeccaniche della copertura rispetto a quelle della "roccia madre".

- Lo spessore massimo delle coperture è stato riscontrato tra 6.2 m (Sez. B-B') e 8.8 m (Sez. A-A').



- In tali circostanze il pendio degrada pressoché regolarmente a Sud, senza apprezzabili interruzioni di continuità. A luoghi la superficie del terreno si presenta debolmente ondulata, ad ampio raggio di curvatura, specialmente presso la porzione più occidentale della frana. Il fatto è correlato al comportamento plastico della coltre alterata/rimaneggiata, a prevalente composizione limoso-argillosa, che si evolve tramite lenti ma reiterati scivolamenti (talora anche impulsivi) in concomitanza agli eccessi di ritenzione idrica. Non si rilevano, tuttavia, effetti di erosione accelerata o concentrata, se non in corrispondenza dei frequenti impluvi.
- Le misure freatimetriche eseguite all'interno dei pozzi esistenti e soprattutto dei piezometri appositamente installati in corso di indagine hanno indicato la presenza di acque di infiltrazione. Nel periodo maggio-ottobre 2024 sono risalite di livello fino a -4.0-4.5 m dall'attuale p.c., nonostante importanti episodi pluviometrici siano accaduti nel periodo settembre-ottobre.
- Le verifiche di stabilità eseguite in condizioni statiche e pseudo-statiche hanno evidenziato come alle condizioni idrogeologiche più sfavorevoli con superficie freatica imposta a - 2.0 m dall'attuale p.c. il versante in esame, come conseguenza delle modeste acclività, si presenti stabile con i fattori di sicurezza ottenuti  $F_s > 3.0$ , sia pur utilizzando parametri geotecnici ridotti, nel range dei valori di picco e residuo.
- Dai risultati ottenuti dalle verifiche dinamiche eseguite dalla Commissione Tecnica Regionale si evince come gli spostamenti medi del blocco di Newmark siano uguali 0.11 cm, posizionando l'area di frana in oggetto come discretamente stabile e pertanto non risulta attivabile sotto l'azione sismica di progetto.
- Il valore di spostamento ottenuto può fornire un'indicazione qualitativa di massima di stabilità dell'area in esame dovuta alla metodologia adottata che si basa su pesanti ipotesi semplificative che stanno alla base dei metodi dinamici degli spostamenti (e dei metodi all'equilibrio limite), sulle incertezze nella definizione del modello geotecnico adottato e della storia di accelerazioni associata al terremoto atteso. Per tale motivo, il valore di spostamento ottenuto può fornire un'indicazione qualitativa di massima di stabilità dell'area in esame e deve considerarsi solo una stima dell'ordine di grandezza dello spostamento reale.
- L'area oggetto di approfondimento di livello 3, così come stabilito dalla stessa Commissione, rimarrà come "zona di attenzione per instabilità" sia nella Carta Geologico-Tecnica che nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, mentre sarà definita come "Zona stabile suscettibile di amplificazione locale" nella Carta di Microzonazione Sismica.
- La definizione del modello geologico, geotecnico e geofisico dell'area oggetto del presente studio, può riportare possibili incertezze legate, in particolar modo, alla notevole estensione areale dell'area, ai limiti economici per le spese di indagine, alla scala troppo piccola della cartografia disponibile.

La ricostruzione geologico-tecnica del sito, sia pur avvenuta attraverso limitate verticali di osservazione, è risultata coerente e affidabile con i risultati acquisiti, rispetto alle caratteristiche dei terreni, in base all'esperienza dei soggetti realizzatori.

## 9-DESCRIZIONE ELABORATI CARTOGRAFICI CON RELATIVI AGGIORNAMENTI

L'area oggetto di approfondimento di livello 3 per attenzione di instabilità di versante, così come delimitata dal vigente P.A.I. delle Marche (sigla F-07-0678 e classe di pericolo P2), si estende lungo il versante collinare che volge a sud del centro storico di Fratte Rosa, a valle della S.P. n° 41.

Sulla base delle risultanze ottenute, nel seguito vengono evidenziate le modifiche apportate alle precedenti carte di Microzonazione 2.

### Carta delle Indagini

La Carta delle indagini è l'elaborato di base per uno studio di MS, dove vengono rappresentate le indagini pregresse raccolte nella fase di reperimento dei dati esistenti.

Sono state inserite tutte le indagini eseguite nell'ambito del seguente lavoro, atte a definire il modello geologico-geotecnico e descritte ampiamente in questa relazione.

Le indagini inserite sono:

| <b>Indagini</b>                | <b>Codifica in Database</b> |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Indagini geofisiche (HVRS) n.3 | P170HVRS187                 |
|                                | P171HVRS188                 |
|                                | P172HVRS189                 |
| Penetrometrie statiche CPT n.7 | P173CPT190                  |
|                                | P174CPT195                  |
|                                | P175CPT192                  |
|                                | P176CPT193                  |
|                                | P177CPT194                  |
|                                | P178CPT196                  |
|                                | P179CPT197                  |
| Sondaggi geognostici n.4       | P180SS198                   |
|                                | P181SS203                   |
|                                | P182SS204                   |
| Pozzi idrici censiti n.2       | P183PA210                   |
|                                | P184PA211                   |
| Indagini geofisiche (MASW) n.2 | L12MASW12                   |
|                                | L13MASW13                   |

### Carta Geologico-Tecnica

La Carta geologico-tecnica, è un elaborato che deriva dall'analisi delle indagini geognostiche e geotecniche pregresse eseguite nel territorio comunale e da quello delle carte geologiche e geomorfologiche esistenti.

La cartografia geologica utilizzata come base per la redazione dell'elaborato in oggetto è quella dal progetto CARG (Cartografia geologica e geomorfologica - scala 1:10.000), opportunamente modificata sulla base dei dati geologici e stratigrafici reperiti e del rilievo geologico e geomorfologiche di superficie effettuati per lo studio del territorio comunale di Fratte Rosa.

L'aggiornamento oggetto di questo studio, è stata la restituzione di tutte le elaborazioni derivanti da fotointerpretazione, rilevamento geologico e geomorfologico, da un dettagliato rilievo geologico-geomorfologico, dai risultati della campagna geognostica e geofisica (sondaggi geognostici, lab-test sui campioni più significativi di terreno, prove penetrometriche CPT e indagini geofisiche (MASW e HVRs) che hanno fornito elementi decisivi a definire i contorni e a classificare l'area potenzialmente in frana.

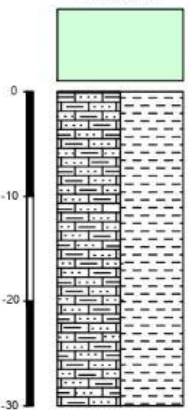
L'approccio di studio integrato, a partire dalle analisi storiche e condotto mediante successivi livelli di approfondimento, ha fornito elementi decisivi a definire i contorni e a classificare l'area potenzialmente in frana ad una ridefinizione dell'area rispetto a quella definita nel P.A.I.

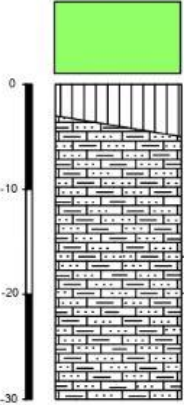
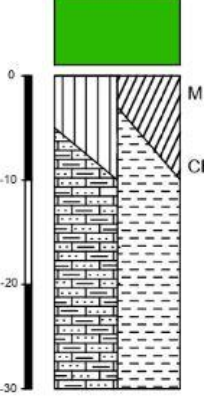
L'area di frana così delimitata è stata definita sulla base della tipologia di cinematismo (scorrimento, colamento, complessa, non definito) e del relativo stato di attività.

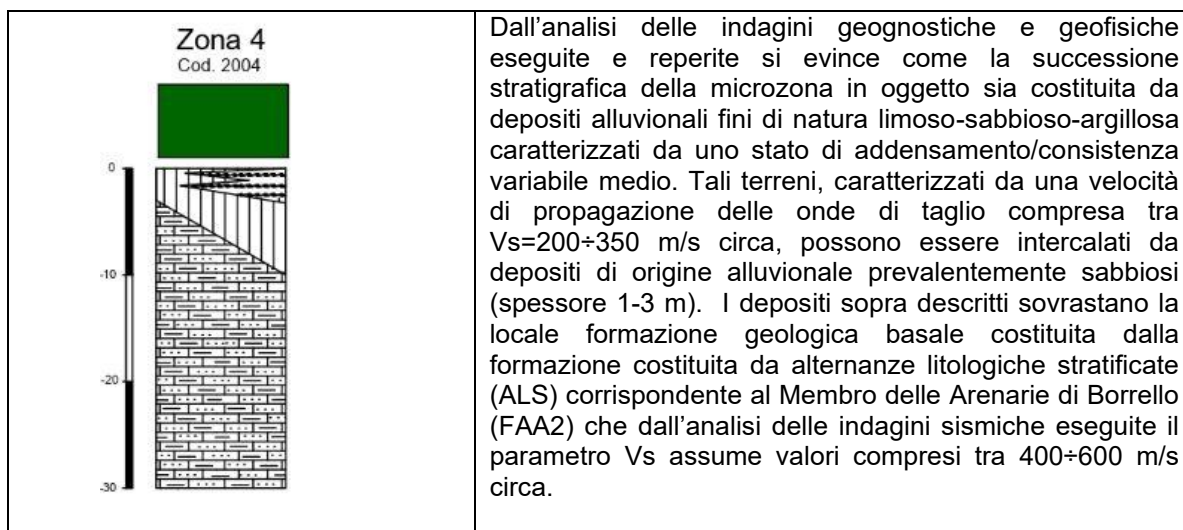
### Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

Nella carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, l'area è stata codificata con le zone definite nella Microzonazione 2 in cui è stata operata una sintesi derivante dalla sovrapposizione dei dati geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici acquisiti per la suddivisione del territorio in microzone ad analoghe caratteristiche geologiche.

In tutta l'area studiata sono state individuate 4 microzone, identificate con un numero progressivo da 1 a 4 e da una colorazione basata su diverse tonalità di verde, le quali hanno definito le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e Zone di attenzione per instabilità. Di seguito si riporta la descrizione delle colonne stratigrafiche delle microzone omogenee in prospettiva sismica individuate nel territorio oggetto di indagine e riportate nella relativa cartografia.

| COLONNE<br>STRATIGRAFICHE                                                                                                                          | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p style="text-align: center;"><b>Zona 1</b><br/>Cod. 2001</p>  | <p>Questa zona è caratterizzata dalla presenza di substrato ALS (alternanze litologiche stratificate) – unità litostratigrafica Membro Arenarie di Borrello (FAA2) o COS (coesivo sovraconsolidato stratificato) – unità Formazionale delle Argille Azzurre (FAA).</p> <p>Dall'analisi delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite e reperite si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia caratterizzata dalla locale formazione geologica affiorante o sub-affiorante come sopra descritto; la sua porzione più superficiale, per uno spessore variabile da pochi decimetri a diversi metri, si presenta più o meno alterata e/o fratturata. Dall'analisi delle indagini sismiche reperite ed eseguite si evince come tale tipologia di terreni sia caratterizzata da una velocità di propagazione delle onde di taglio compresa tra 400÷600 m/s.</p> |

|                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Zona 2</b><br/>Cod. 2002</p>   | <p>Dall'analisi delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite e reperite si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia costituita, al di sotto di modesti spessori di terreno vegetale e/o di riporto antropico eterogeneo, da coperture eluvio-colluviali prevalentemente limoso-sabbiosa e limoso-argillosa, generalmente caratterizzate da una bassa consistenza e dalle mediocri caratteristiche geotecniche. Tali depositi, caratterizzati da uno spessore compreso tra 3÷5 metri circa, sovrastano la locale formazione geologica basale costituita dalla formazione costituita da alternanze litologiche stratificate (ALS) corrispondente al Membro delle Arenarie di Borrello (FAA2). Dall'analisi delle indagini sismiche eseguite e reperite si definisce che i terreni riferibili alla coltre di alterazione eluvio-colluviale siano caratterizzati da una velocità di propagazione delle onde di taglio dell'ordine <math>V_s=150\div300</math> m/s, mentre nella sottostante formazione geologica basale il parametro <math>V_s</math> assume valori compresi tra 400÷600 m/s circa.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p><b>Zona 3</b><br/>Cod. 2003</p>  | <p>Dall'analisi delle indagini reperite si evince che la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia costituita da depositi eluvio-colluviali fini di natura limoso-sabbiosa e limoso-argillosa (ML). Tali depositi, caratterizzati da uno spessore compreso tra 5÷10 metri circa, sovrastano la locale formazione geologica basale costituita dalla formazione costituita da alternanze litologiche stratificate (ALS) corrispondente al Membro delle Arenarie di Borrello (FAA2). La stratigrafia di questa zona può essere costituita da depositi argillosi inorganici e argilloso-limosa, caratterizzati da uno spessore compreso tra 3÷10 mt circa e da una velocità di propagazione delle onde di taglio compresa tra <math>V_s=150\div300</math> m/s circa. La successione stratigrafica prosegue verso il basso con la formazione geologica basale costituita da depositi prettamente argilloso-marnosi della formazione delle Argille Azzurre (FAA) prettamente argilloso-marnosa. La composizione dei substrati sopra descritti, si presentano con la porzione più superficiale, per uno spessore variabile da pochi decimetri a diversi metri, più o meno alterata e/o fratturata. Dall'analisi delle indagini sismiche reperite si evince come i terreni riferibili alla locale formazione geologica presentino una velocità di propagazione delle onde di taglio compresa tra 400÷600 m/s circa.</p> |



Tutta l'area oggetto di questo studio è stata fatta rientrare nella zona di attenzione per instabilità (come già definita nella Microzonazione 1 e 2) e suddivisa in varie zone in base alla caratterizzazione geo-litologica, geotecnica e sismica elaborata in questo studio.

L'area è stata cartografata in questo modo: Zone di attenzione per instabilità come Zona 1(2001), 3 (2003), 4 (2004).

Carta di Microzonazione sismica (Periodo di vibrazione 0,1-0,5 sec); (Periodo di vibrazione 0,4-0,8 sec); (Periodo di vibrazione 0,7-1,1 sec)

Il risultato principale ottenuto in questo studio (come per la Microzonazione 2) è la Carta di Microzonazione Sismica ottenuta associando una quantificazione numerica degli effetti di amplificazione alle diverse aree analizzate.

Per la realizzazione di tale elaborato cartografico sono stati utilizzati sia gli abachi di riferimento forniti dal Servizio di Protezione Civile della Regione Marche che lo studio di Risposta Sismica Locale e di verifiche dinamiche realizzata dalla Commissione Tecnica.

Gli Abachi sono tabelle che consentono la determinazione dei valori di FA (fattore di amplificazione) corrispondente ad una data posizione o ad una data MOPS in funzione di alcuni parametri: valore di  $V_{s30}$  e valore della frequenza di risonanza ( $f_0$ )

Per zone comprese nella delimitazione P.A.I., in cui non sono state eseguite le verifiche di stabilità statiche, pseudo-statiche e dinamiche, di contorno alla zona delimitata come movimento franoso (Tavola 1 e 2), è stato attribuito il valore di FA corrispondente alle MOPS definite nella Microzonazione 2.

Per l'area studiata nel dettaglio (area del movimento franoso ridefinita rispetto al P.A.I.) i valori di FA sono stati definiti dallo studio con lo studio di RLS, ha portato a dei valori di FA che saranno riportati sulle carte corrispondenti:

| T  | 0,1 ÷ 0,5 s | 0,4 ÷ 0,8 s | 0,7 ÷ 1,1 s |
|----|-------------|-------------|-------------|
| FA | 2,00        | 1,8         | 1,5         |

Dai risultati ottenuti dalle verifiche dinamiche eseguite dalla Commissione Tecnica Regionale si evince come gli spostamenti medi del blocco di Newmark siano uguali 0.11 cm, posizionando l'area di frana in oggetto come discretamente stabile e pertanto non risulta attivabile sotto l'azione sismica di progetto.

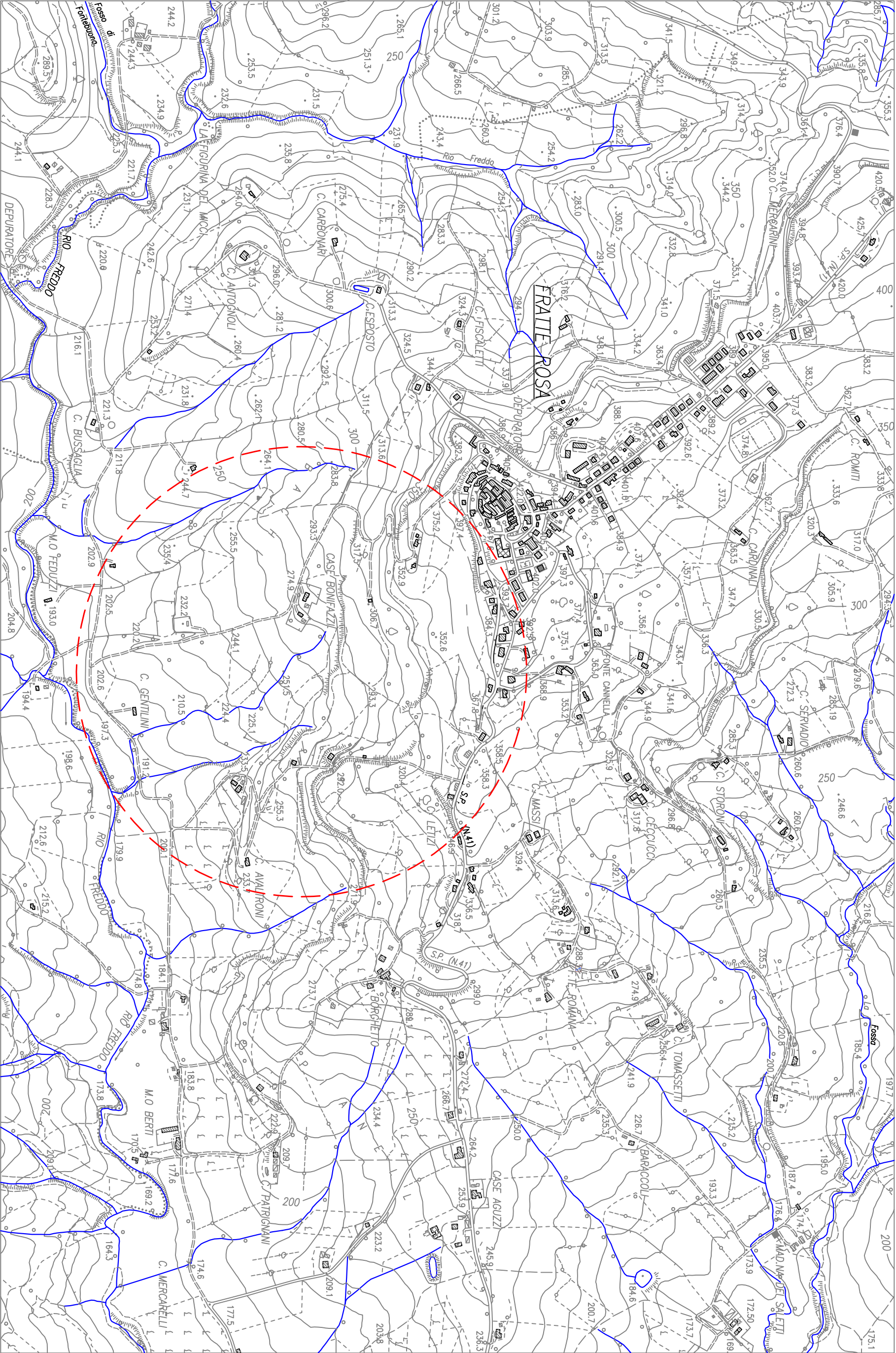
- L'area oggetto di approfondimento di livello 3, così come stabilito dalla stessa Commissione, rimarrà come "zona di attenzione per instabilità" sia nella Carta Geologico-Tecnica che nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, mentre sarà definita come "Zona stabile suscettibile di amplificazione locale" nella Carta di Microzonazione Sismica.

Le aree limitrofe non rientranti nell'area studiata con la RSL e con le verifiche di stabilità rimarranno definite come "Zone instabili suscettibili di amplificazione locale" in quanto in questa parte non si hanno elementi di indagine e di studio in dettaglio tali che possono definire la zona come "Stabile suscettibile di amplificazione locale".

Fano, gennaio 2026



Fig. 1 - COROGRAFIA, 1:10.000 (C.T.R. Regione Marche)



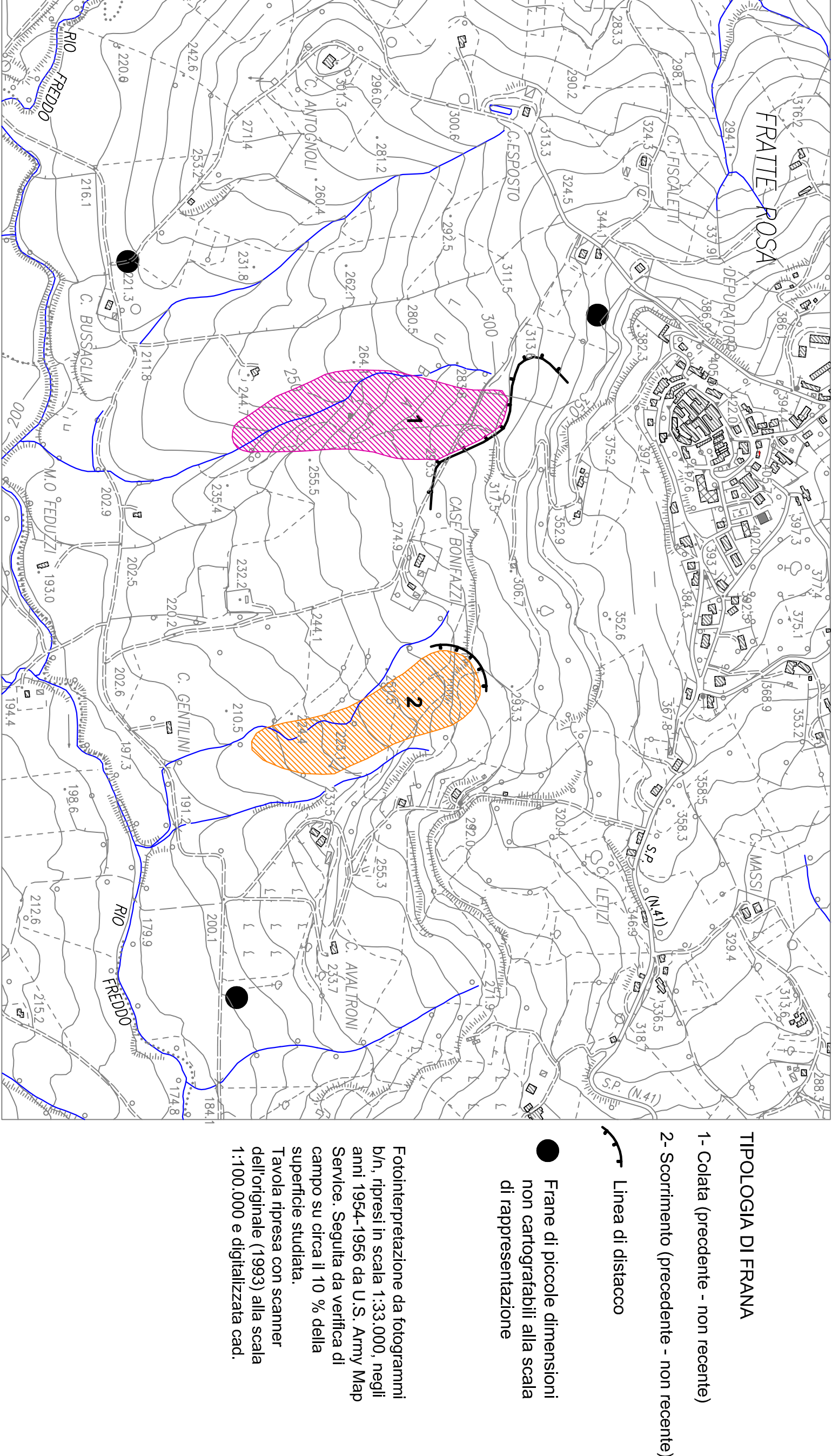
Area di studio

Idrografia principale



scala 1:7.500

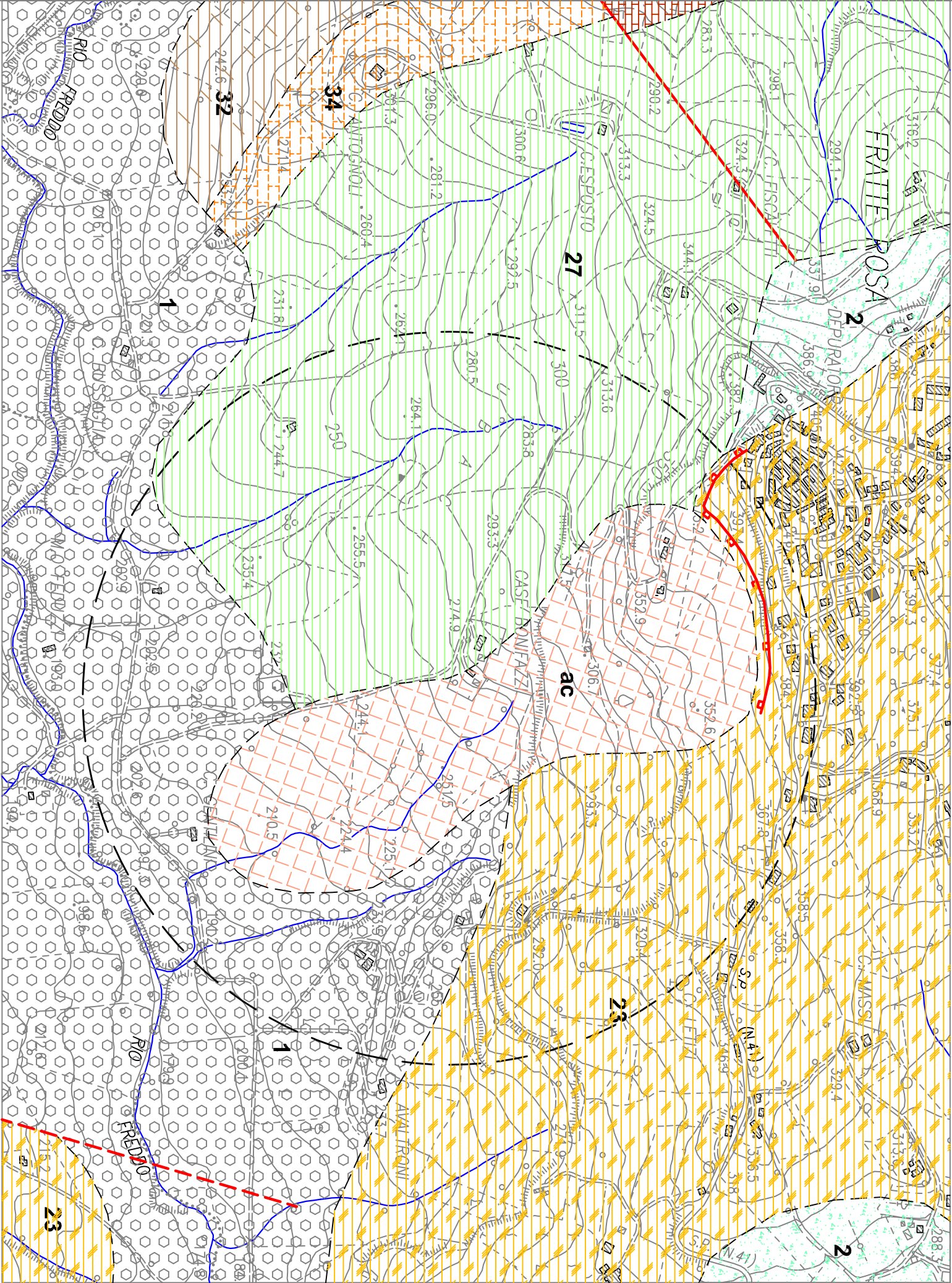
Fig. 2 - CARTA INVENTARIO DEI MOVIMENTI FRANOSI DELLA REGIONE MARCHE E ZONE LIMITROFE  
Consiglio Nazionale delle Ricerche - Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche  
Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nell'Italia Centrale





scala 1:7.500

Fig. 3 - CARTA GEOLOGICA - L'ambiente fisico delle Marche (1991)



**TIPOLOGIA DI FRANA**

- ac- Accumulo di frana
- 1- Alluvioni attuali e recenti (Olocene)
- 2- Detriti di falda (Olocene-Pleistocene sup e medio)
- 23 - Depositi pelitici con intercalazioni di orizzontipiù grossolani litologicamente non differenziati (Pliocene inf.)
- 27- Peliti (Pliocene Inf.)
- 32 - Argille a colombacci. Argille marnose e marne argillose con intercalazioni arenacee e di calcari evaporitici (Messiniano sup.)
- 34 - Depositi arenacei in strati spessi e massicci d'ambiente euxinico (Messiniano medio)

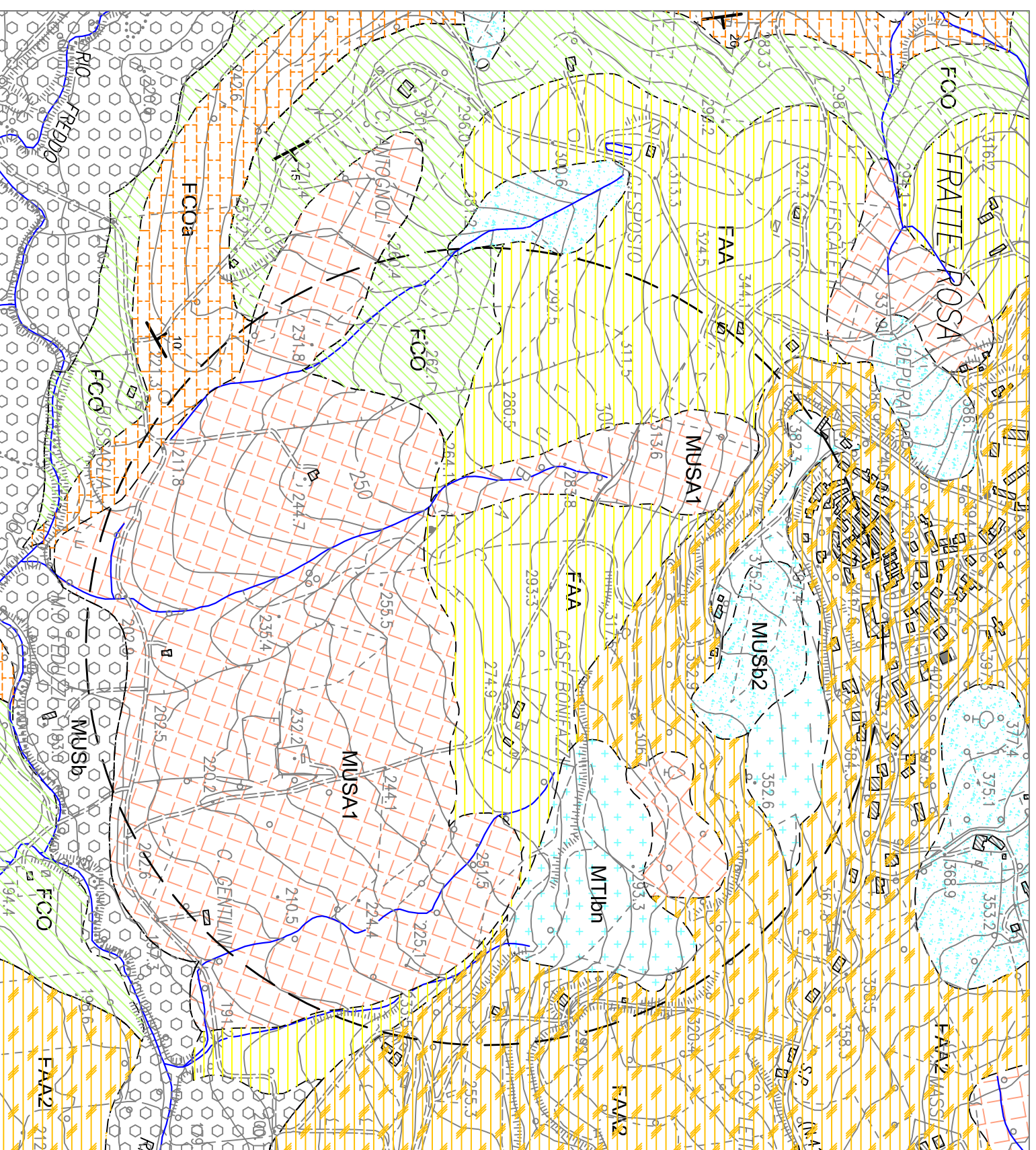
 Orlo di scarpata poligenica

 Fraglia

Tavola da scanner dell'originale (1991) alla scala 1:100.000 e digitalizzata cad



**Fig. 4 - CARTA GEOLOGICA REGIONALE**  
**Edizione CTR - Sezione 280150 "Fratte Rosa" - Progetto C.A.R.G.**  
**(fine rilevamento geologico 2001-2002)**



## LEGENDA GEOLOGICA

## DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

## MUSA1 - Frane in evoluzione

## MUSb2 - Depositi eluvio-colluviali

MTIbn - Depositi terrazzati

**MUSbn - Depositi alluvionali recenti**

## SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANA

## Successione Pliocenica

FAA - Formazione delle Argille Azzurre  
(Pliocene Inf. - Pleistocene Inf.)

FAA - Formazione delle Argille Azzurre,  
Lito facies arenacea  
(Pliocene Inf. - Pleistocene Inf.)

**FAA2 - Formazione delle Argille Azzurre,  
Membro delle Arenarie di Borrello  
(Pliocene Inf. - Pleistocene Inf.)**

## Successione Miocenica

## FCO - Formazione a colombacci (Messiniano sup.)

FCOa - Formazione a colombacci  
Litofacie pelitica  
(Messiniano sup.)

Tavola da scanner dell'originale alla scala 1:10.000 e digitalizzata cad



Fig. 5 - CARTA INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI IN ITALIA - PROGETTO IFFI

TAVOLA RI 19c CTR 280150

TIPOLOGIA DI FRANA

- Scorrimento rotazionale/traslativo
- Colamento lento
- Movimento complesso

Il Progetto IFFI (Web Gis dell'Inventario dei fenomeni franosi in Italia) rappresenta, su base cartografica regionale, un quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio della Regione Marche.

Il Progetto IFFI costituisce il primo inventario omogeneo dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale. E' stato realizzato dalle Regioni e Province Autonome d'Italia, in collaborazione con il Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia di APAT (ora in ISPRA).

Per la Regione Marche i dati risalgono dalla seconda metà degli anni 90 fino ai primi anni 2000. La base cartografica vettoriale visualizzata alle differenti scale deriva dalle informazioni contenute nella Carta Tecnica Regionale (CTR scala 1:10.000).

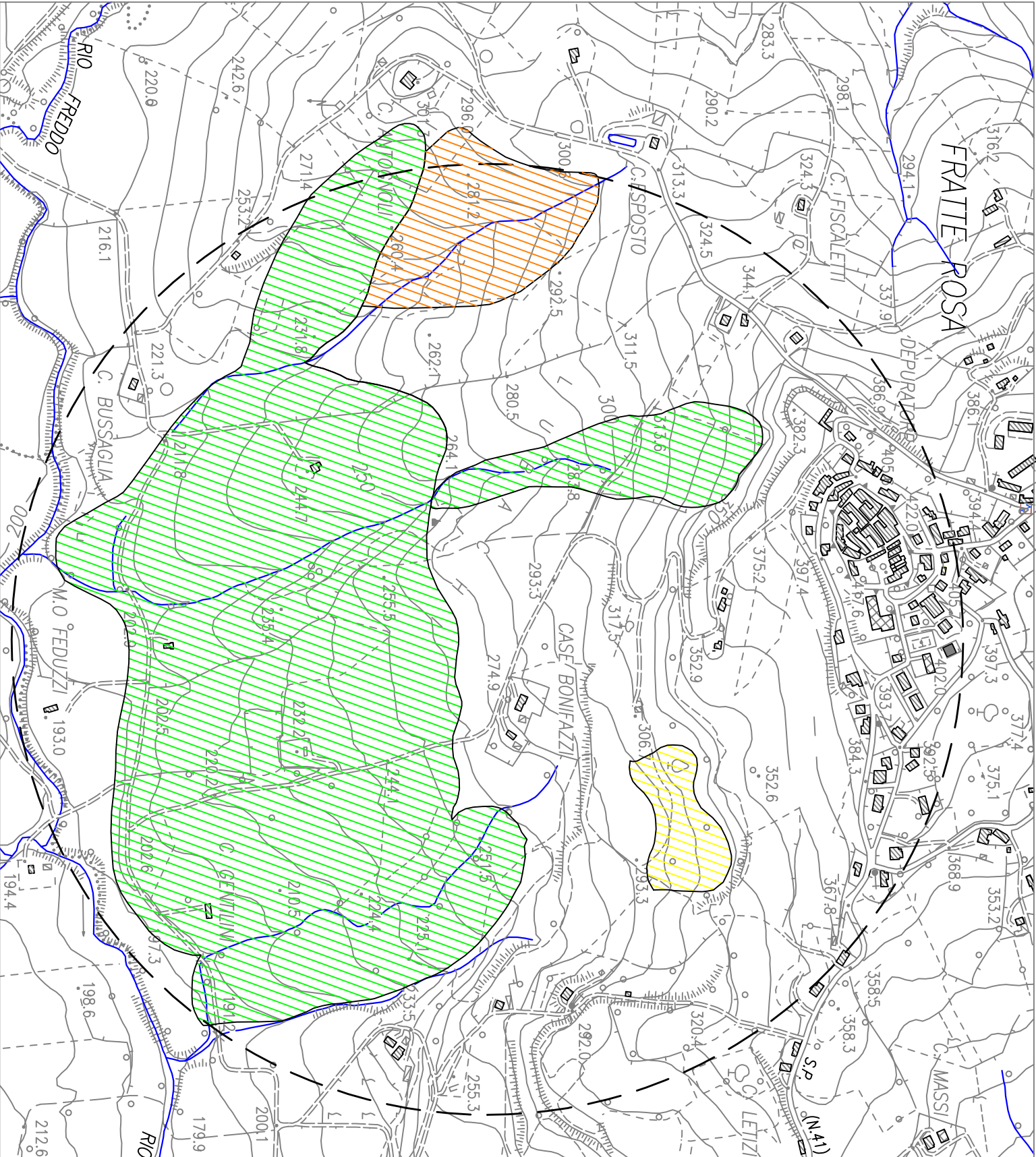
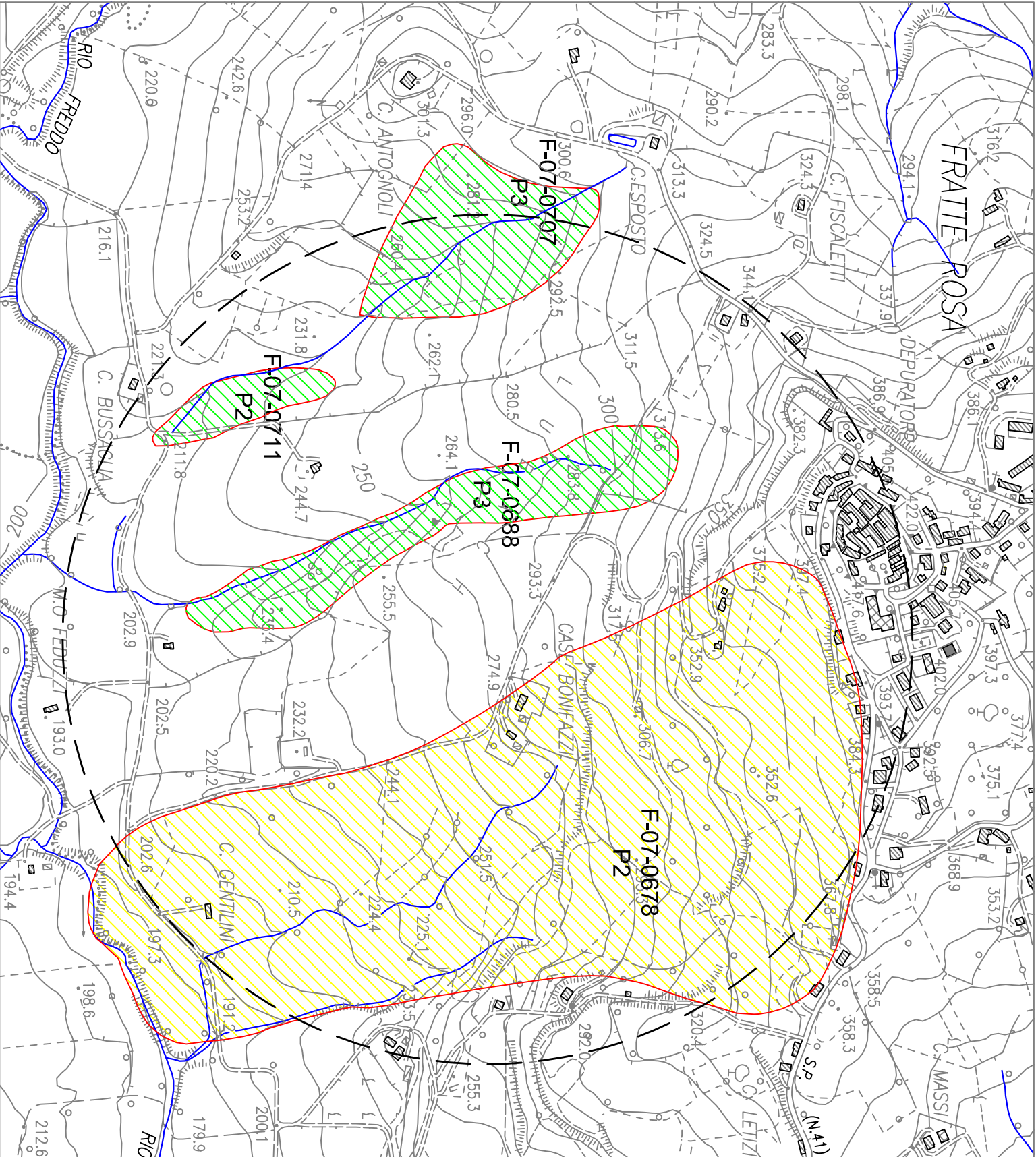


Fig. 6 - CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO  
Piano Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale delle Marche  
Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale (AUBAC)



**TAVOLA RI 19c CTR 280150**

Area a rischio frana

 Rischio moderato (R1)

 Rischio medio (R2)

P1 - Pericolosità bassa

P2 - Pericolosità media

P3 - Pericolosità alta

Tavola aggiornata al decreto  
DS n° 109 del 02.07.2020



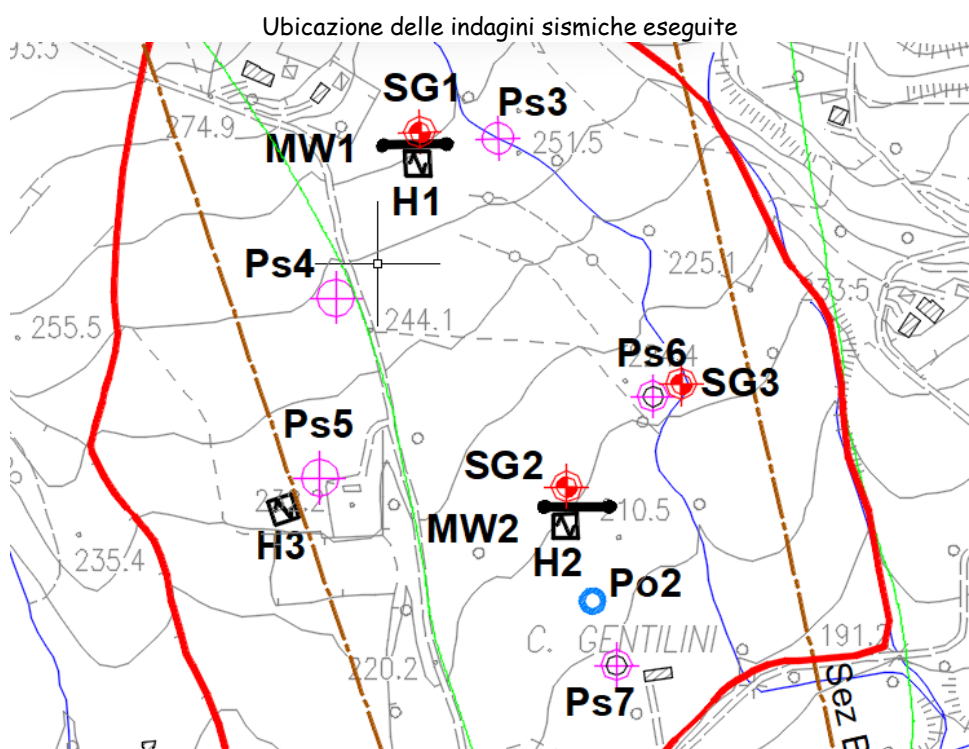
**REGIONE MARCHE  
COMUNE DI FRATTE ROSA (PU)**

**REALIZZAZIONE STUDI DI APPROFONDIMENTO DI LIVELLO 3  
SULLE AREE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE  
- ANNUALITÀ 2023**

**ALLEGATO N.1**

## 1 PREMESSA

E' stata eseguita un'indagine geofisica con metodologie attive e passive presso l'area cartografata in frana posta a valle del toponimo Case Bonifazi - Via Dei Lubachi. L'indagine è consistita nell'esecuzione di una linea sismica MASW, per determinare il profilo verticale delle onde di taglio necessario per classificare i terreni di fondazione dell'intervento in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle NTC-2018 "D.M. 17/01/2018". Inoltre neipressi della verticale CPT 5 (Ps.5) è stata eseguita una misura sismica passiva con la metodologia dei rapporti spettrali (HVSr) per determinare la frequenza di risonanza dei terreni in studio. Le indagini sismiche eseguite sono state successivamente interpretate in maniera congiunta, per ottenere un profilo sismostratigrafico che contemplasse la presenza della profondità di partenza dell'input sismico.



## 2. INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

### 2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra le onde di pressione e le onde di taglio verticali ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Alla superficie libera hanno un moto ellittico retrogrado (antiorario) che si inverte ad una profondità di  $\frac{2}{3}\lambda$ . In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente sino ad estinguersi ad una profondità pari circa ad una lunghezza d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda

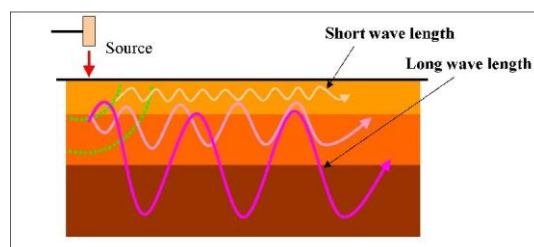


corrispondente la stessa velocità di fase. In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali presentano un comportamento dispersivo, ossia a frequenza diverse corrispondono diverse velocità di fase. Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati differenti ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di *processing* che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. Esistono diverse tecniche per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh  $V_r$  determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_r(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori  $V_r$ -f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura.

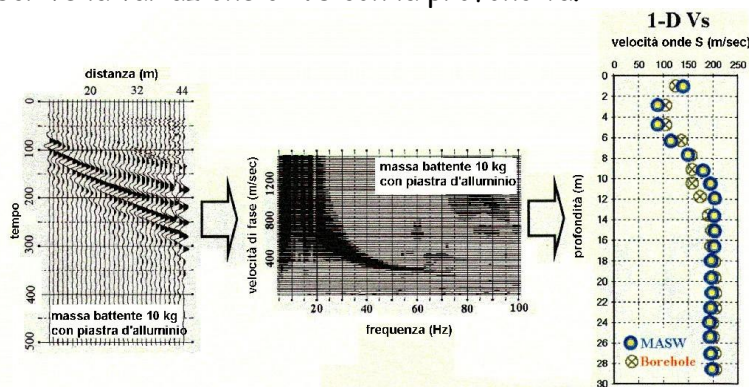


L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

## 2.2 Descrizione generale della procedura MASW

La procedura MASW comprende tre passi successivi:

- 1 acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- 2 estrazione della curva di dispersione caratteristica del sito (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- 3 inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$  (profilo 1-D) che descrive la variazione di  $V_s$  con la profondità.



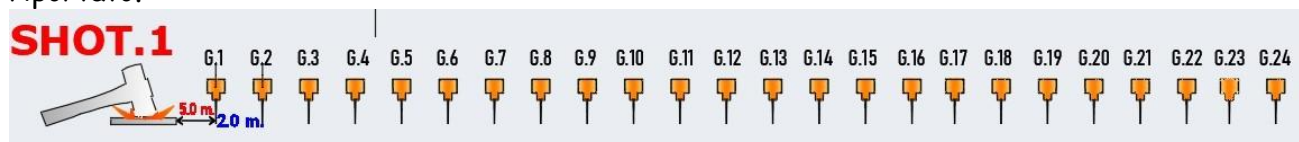
## 2.3 Strumentazione e metodologia di indagine

La prospezione sismica oggetto del presente lavoro è stata eseguita utilizzando un Sismografo multicanale a trasmissione digitale della Sara Electronic Instruments dotato delle seguenti caratteristiche tecniche:

| No. of Bits                    | Sismografo DOREMI 24bit | 24                    |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| A/D Converter Type             | Technical Features      | SIGMA DELTA           |
| Converter Input Span           |                         | 5 V                   |
| S/N Ratio @ 500 SPS            |                         | 140 dB                |
| S/N Ratio @ 5000 SPS           |                         | 130 dB                |
| S/N Ratio @ 20000 SPS          |                         | 105 dB                |
| Input Type                     |                         | Unipolar Differential |
| Input Impedance                |                         | 20 k $\Omega$         |
| Common Mode Rejection          |                         | > 80 dB               |
| Low Pass Filter:               |                         | 400 Hz                |
| High Pass Filter:              |                         | none                  |
| Max Sampling Lag Between Ch.:  |                         | <30 ppm               |
| Max Error Between Trigger Ch.: |                         | < 1 ns                |
| Ch. Memory:                    |                         | 128000 bytes          |
| Maximum Samples:               |                         | 40000                 |
| Sampling Rates:                |                         | 200 Hz to 20000 Hz    |
| Maximum Connectable Channels:  |                         | 255                   |

Per la presente indagine si è adottata una frequenza di campionamento pari a 2000 Hz e una durata del campionamento di 1 secondo. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori sono costituiti da una catena di 24 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati con interdistanza geofonica di 2,0 mt.

La base sismica con metodologia MASW è stata eseguita con 1 punto di scoppio posizionato all'esterno del geofono G.1 per una distanza di 5 metri, secondo lo schema di seguito riportato.



## 2.4 Classificazione dei terreni di fondazione ( $V_s$ equivalente)

L'esecuzione dell'indagine sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di determinare i valori della velocità di propagazione delle onde di taglio nei terreni costituenti il sottosuolo investigato, così come riportato nel paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.D.L. 17/01/2018".

La metodologia MASW presenta rispetto ad altre tecniche sismiche il vantaggio di non essere limitata dalla presenza di inversioni di velocità, consentendo pertanto l'individuazione di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici. Il metodo MASW consente quindi di individuare il profilo di velocità  $V_s$  anche in presenza di contrasti di rigidezza tra gli strati del suolo. Tale prova fornisce un profilo di velocità  $V_s$  monodimensionale. La velocità di propagazione delle onde di taglio dipende dalle proprietà elastiche dei mezzi attraversati e il parametro geofisico  $V_{s30}$  è quello che meglio rappresenta la condizione geotecnica media dei materiali geologici del sottosuolo dei primi 30 metri. Infatti la velocità di propagazione delle onde trasversali dipende dalle proprietà elastiche del mezzo attraversato, come si evince dalla seguente relazione:

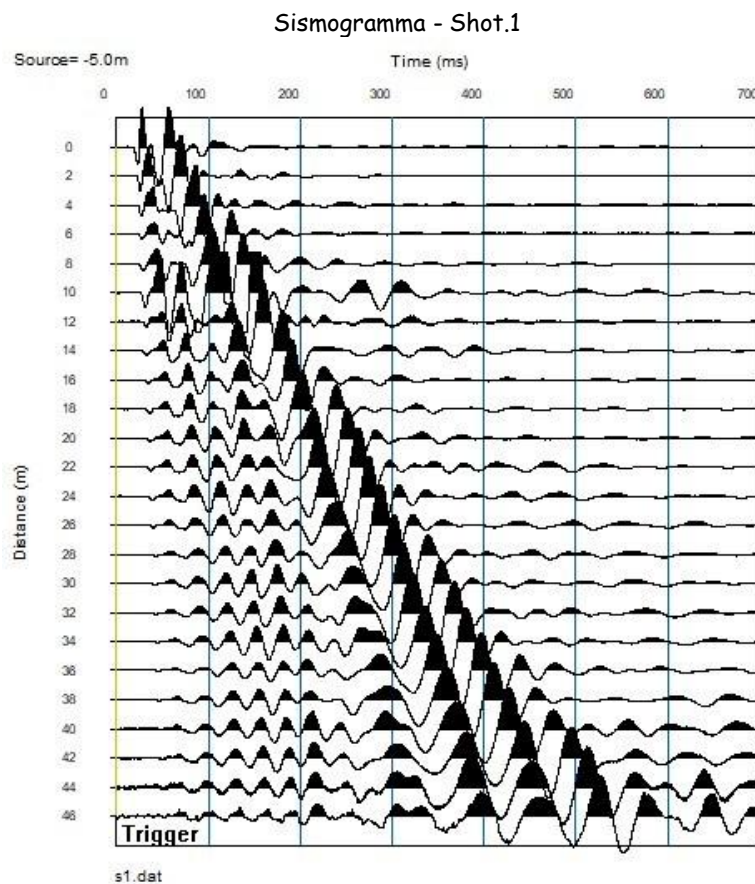
$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

dove  $\rho$  rappresenta la densità del corpo e  $G$  il modulo di rigidità o modulo di taglio che indica la resistenza di un corpo alle variazioni di forma. Le proprietà elastiche del mezzo sono a loro volta influenzate da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il grado alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, la profondità, ecc.

Con  $V_s$  equivalente si definisce la velocità media di propagazione delle onde di taglio, il cui calcolo viene effettuato utilizzando la seguente espressione:

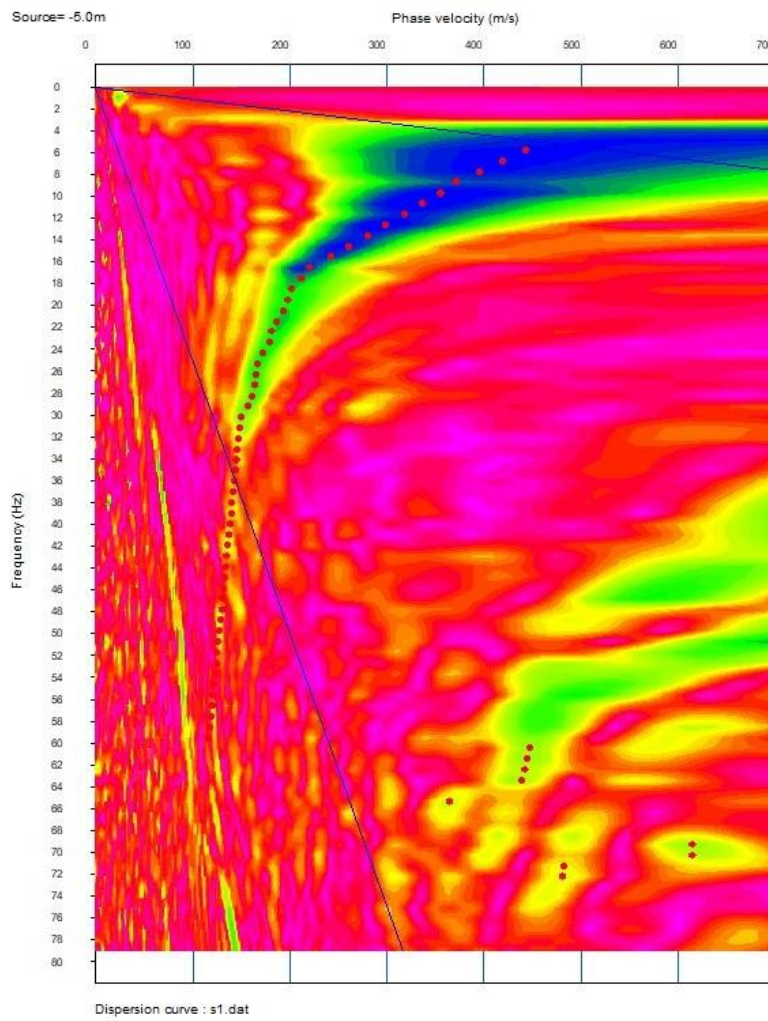
$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (metri) e la velocità delle onde di taglio (m/sec) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nella profondità  $H$ . Le diverse fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno portato alla creazione dei seguenti elaborati:

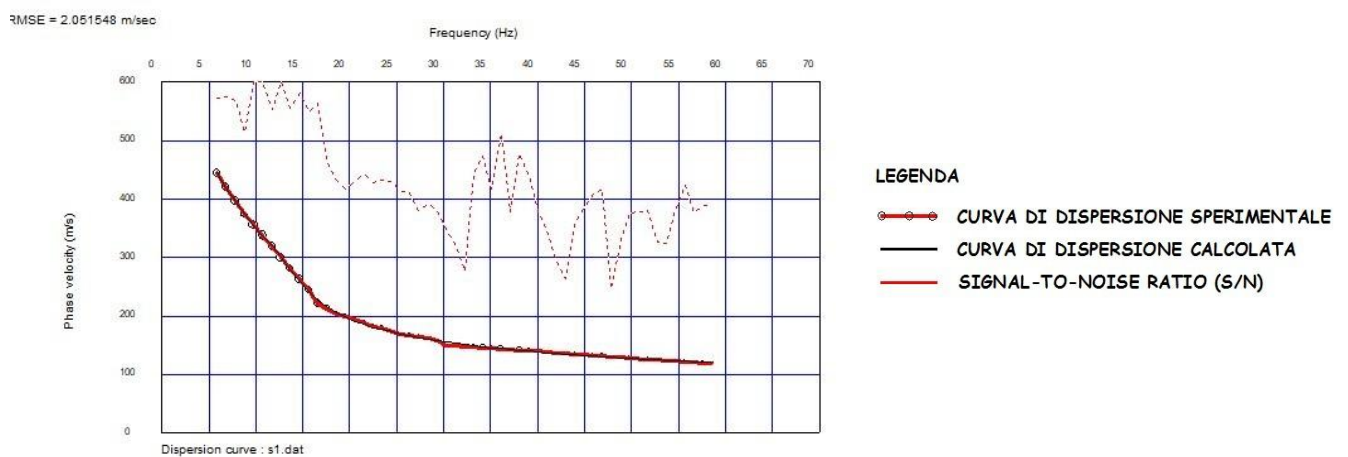




### Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 1



### Curva di dispersione sperimentale e calcolata - Shot 1





Per depositi di terreno con profondità  $H$  del substrato sismico ( $V_{s30} \geq 800$  m/sec) superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s_{eq}}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore  $V_{s30}$  necessario per la classificazione dei terreni di fondazione dell'area di interesse nelle categorie di sottosuolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle NTC. 2018 sono riassunti nella tabella di seguito riportata:

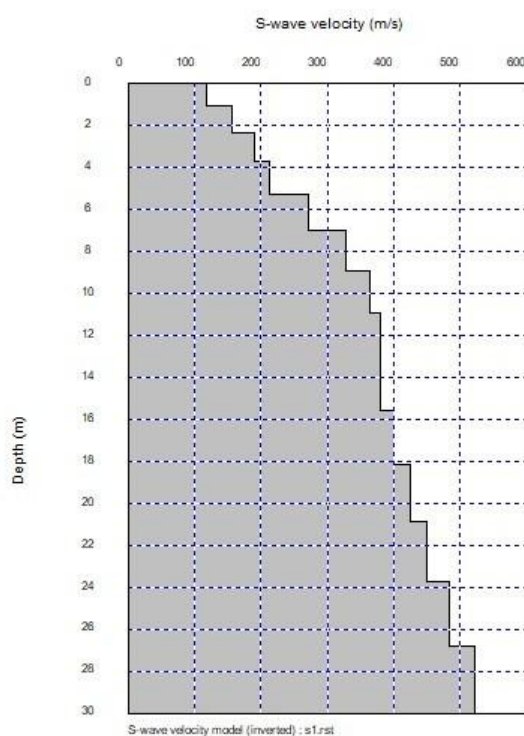
| Profondità [m] |   |       | Spessore [m] | Vs [m/s] | Densità [kN/m³] | VS_EQ = (0-30 m) [m/s] | Categoria di suolo |
|----------------|---|-------|--------------|----------|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0.00           | ÷ | 1.07  | 1.07         | 117      | 16.36           | <b>322</b>             | <b>C</b>           |
| 1.07           | ÷ | 2.31  | 1.24         | 157      | 16.44           |                        |                    |
| 2.31           | ÷ | 3.71  | 1.40         | 191      | 16.58           |                        |                    |
| 3.71           | ÷ | 5.27  | 1.57         | 212      | 16.71           |                        |                    |
| 5.27           | ÷ | 7.01  | 1.73         | 271      | 16.87           |                        |                    |
| 7.01           | ÷ | 8.90  | 1.90         | 329      | 16.97           |                        |                    |
| 8.90           | ÷ | 10.96 | 2.06         | 365      | 17.07           |                        |                    |
| 10.96          | ÷ | 13.19 | 2.23         | 380      | 17.17           |                        |                    |
| 13.19          | ÷ | 15.58 | 2.39         | 380      | 17.22           |                        |                    |
| 15.58          | ÷ | 18.13 | 2.55         | 400      | 17.31           |                        |                    |
| 18.13          | ÷ | 20.85 | 2.72         | 426      | 17.35           |                        |                    |
| 20.85          | ÷ | 23.74 | 2.88         | 451      | 17.35           |                        |                    |
| 23.74          | ÷ | 26.79 | 3.05         | 485      | 17.35           |                        |                    |
| 26.79          | ÷ | 30.00 | 3.21         | 524      | 17.35           |                        |                    |

Sulla base della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità i terreni di sedime del sito risultano classificabili nella categoria di sottosuolo **C**, come si evince dalla tabella 3.2.II delle NTC-2018 di seguito stralciata.

**C**

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Profilo verticale delle onde di taglio - Shot 1



Dal profilo verticale monodimensionale delle Vs sopra riportato si evince la presenza di terreni caratterizzati da basse velocità di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità di circa 7 metri dal p.c.. Oltre tale quota il profilo presenta un andamento gradualmente crescente con la profondità.

### **3 REGISTRAZIONE DEI RAPPORTI SPETTRALI (HVSR)**

La prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o prova HVNSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o prova "di Nakamura", è una tecnica di sismica passiva che si basa sull'analisi del campo delle vibrazioni ambientali (microtremore sismico ambientale è un campo d'onde costituito prevalentemente da onde di superficie) finalizzata alla determinazione delle caratteristiche del sottosuolo al di sotto del punto di osservazione. Dato che le vibrazioni ambientali sono costituite da onde che attraversano porzioni significative del sottosuolo, la struttura del segnale che si registra in superficie è potenzialmente in grado di fornire informazioni sul mezzo attraversato dalle onde. Considerando che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, tale tecnica di sismica passiva trova una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, essa permette di individuare situazioni sismostratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, consentendo una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri.

In particolare, la prova effettua una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. La frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi.

In assenza di contrasti di impedenza alla base della copertura, il rapporto H/V sarà all'incirca unitario. I criteri SESAME (2004) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2. Questo criterio ha carattere puramente empirico. Tuttavia va tenuto presente che massimi H/V di ampiezza inferiore a 2 indicano bassi contrasti di impedenza e, in questo caso, la frequenza corrispondente al massimo della curva H/V potrebbe fornire una indicazione meno precisa della frequenza di risonanza delle onde S.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata per una durata non inferiore ai 15-20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

## **Dati Generali**

Committente: Gruppo di progettazione MS3 Fratterosa

Cantiere: 43.624619 – 12.905267

Operatore: Servizi Sismici s.n.c.

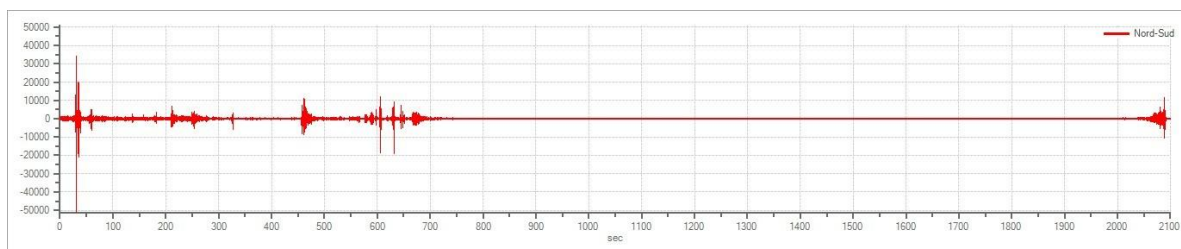


## Tracce in input

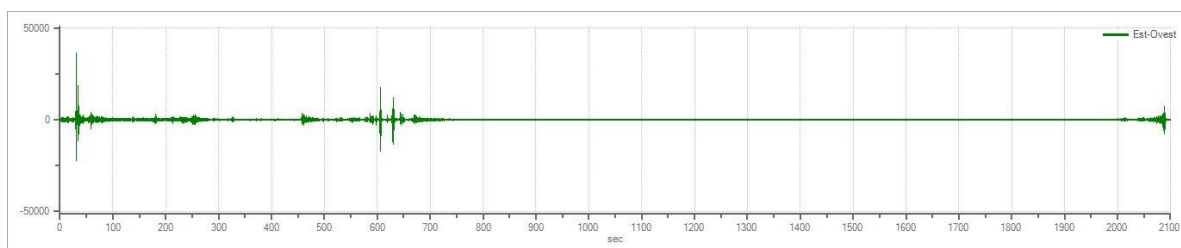
### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
 Durata registrazione: 2100 s  
 Frequenza di campionamento: 200.00 Hz  
 Numero campioni: 420000  
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

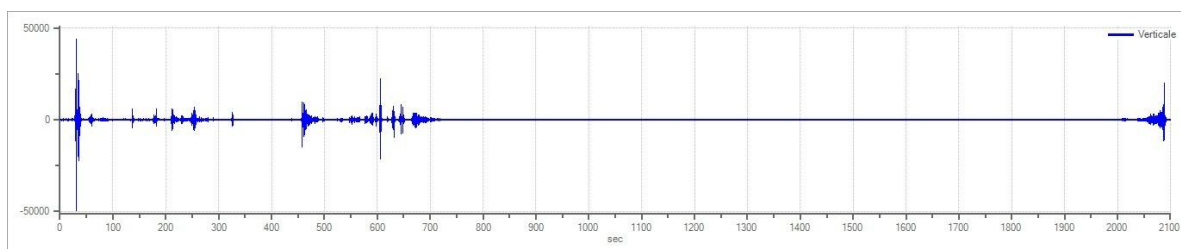
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 96 Numero finestre incluse nel calcolo: 96  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s - Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 % - Coefficiente di banda: 40.00

### Tabella finestre:

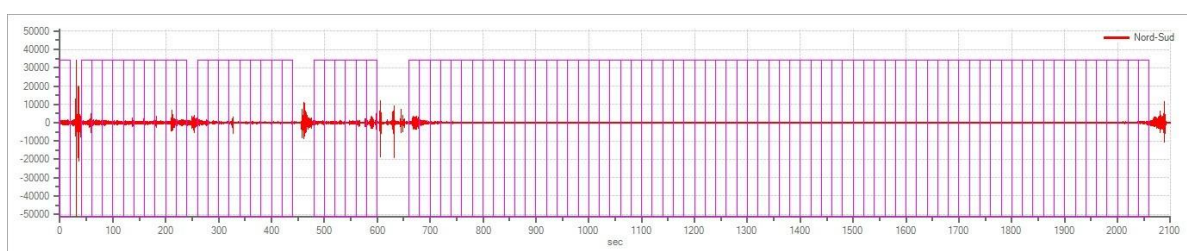
| Numero finestra | Istante iniziale | Istante finale | Selezione |
|-----------------|------------------|----------------|-----------|
| 1               | 0                | 20             | Inclusa   |
| 2               | 40               | 60             | Inclusa   |
| 3               | 60               | 80             | Inclusa   |
| 4               | 80               | 100            | Inclusa   |
| 5               | 100              | 120            | Inclusa   |
| 6               | 120              | 140            | Inclusa   |

|    |      |      |         |
|----|------|------|---------|
| 7  | 140  | 160  | Inclusa |
| 8  | 160  | 180  | Inclusa |
| 9  | 180  | 200  | Inclusa |
| 10 | 200  | 220  | Inclusa |
| 11 | 220  | 240  | Inclusa |
| 12 | 260  | 280  | Inclusa |
| 13 | 280  | 300  | Inclusa |
| 14 | 300  | 320  | Inclusa |
| 15 | 320  | 340  | Inclusa |
| 16 | 340  | 360  | Inclusa |
| 17 | 360  | 380  | Inclusa |
| 18 | 380  | 400  | Inclusa |
| 19 | 400  | 420  | Inclusa |
| 20 | 420  | 440  | Inclusa |
| 21 | 480  | 500  | Inclusa |
| 22 | 500  | 520  | Inclusa |
| 23 | 520  | 540  | Inclusa |
| 24 | 540  | 560  | Inclusa |
| 25 | 560  | 580  | Inclusa |
| 26 | 580  | 600  | Inclusa |
| 27 | 660  | 680  | Inclusa |
| 28 | 680  | 700  | Inclusa |
| 29 | 700  | 720  | Inclusa |
| 30 | 720  | 740  | Inclusa |
| 31 | 740  | 760  | Inclusa |
| 32 | 760  | 780  | Inclusa |
| 33 | 780  | 800  | Inclusa |
| 34 | 800  | 820  | Inclusa |
| 35 | 820  | 840  | Inclusa |
| 36 | 840  | 860  | Inclusa |
| 37 | 860  | 880  | Inclusa |
| 38 | 880  | 900  | Inclusa |
| 39 | 900  | 920  | Inclusa |
| 40 | 920  | 940  | Inclusa |
| 41 | 940  | 960  | Inclusa |
| 42 | 960  | 980  | Inclusa |
| 43 | 980  | 1000 | Inclusa |
| 44 | 1000 | 1020 | Inclusa |
| 45 | 1020 | 1040 | Inclusa |
| 46 | 1040 | 1060 | Inclusa |
| 47 | 1060 | 1080 | Inclusa |
| 48 | 1080 | 1100 | Inclusa |
| 49 | 1100 | 1120 | Inclusa |
| 50 | 1120 | 1140 | Inclusa |
| 51 | 1140 | 1160 | Inclusa |
| 52 | 1160 | 1180 | Inclusa |
| 53 | 1180 | 1200 | Inclusa |
| 54 | 1200 | 1220 | Inclusa |
| 55 | 1220 | 1240 | Inclusa |
| 56 | 1240 | 1260 | Inclusa |
| 57 | 1260 | 1280 | Inclusa |
| 58 | 1280 | 1300 | Inclusa |
| 59 | 1300 | 1320 | Inclusa |
| 60 | 1320 | 1340 | Inclusa |
| 61 | 1340 | 1360 | Inclusa |
| 62 | 1360 | 1380 | Inclusa |
| 63 | 1380 | 1400 | Inclusa |
| 64 | 1400 | 1420 | Inclusa |
| 65 | 1420 | 1440 | Inclusa |
| 66 | 1440 | 1460 | Inclusa |
| 67 | 1460 | 1480 | Inclusa |
| 68 | 1480 | 1500 | Inclusa |
| 69 | 1500 | 1520 | Inclusa |
| 70 | 1520 | 1540 | Inclusa |
| 71 | 1540 | 1560 | Inclusa |
| 72 | 1560 | 1580 | Inclusa |
| 73 | 1580 | 1600 | Inclusa |
| 74 | 1600 | 1620 | Inclusa |
| 75 | 1620 | 1640 | Inclusa |
| 76 | 1640 | 1660 | Inclusa |
| 77 | 1660 | 1680 | Inclusa |
| 78 | 1680 | 1700 | Inclusa |
| 79 | 1700 | 1720 | Inclusa |
| 80 | 1720 | 1740 | Inclusa |
| 81 | 1740 | 1760 | Inclusa |

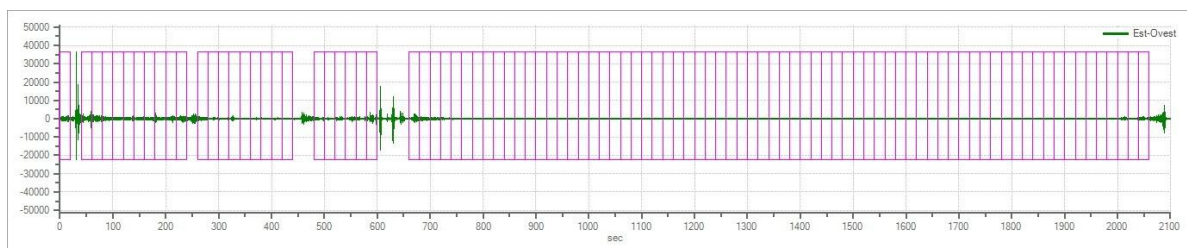


|    |      |      |         |
|----|------|------|---------|
| 82 | 1760 | 1780 | Inclusa |
| 83 | 1780 | 1800 | Inclusa |
| 84 | 1800 | 1820 | Inclusa |
| 85 | 1820 | 1840 | Inclusa |
| 86 | 1840 | 1860 | Inclusa |
| 87 | 1860 | 1880 | Inclusa |
| 88 | 1880 | 1900 | Inclusa |
| 89 | 1900 | 1920 | Inclusa |
| 90 | 1920 | 1940 | Inclusa |
| 91 | 1940 | 1960 | Inclusa |
| 92 | 1960 | 1980 | Inclusa |
| 93 | 1980 | 2000 | Inclusa |
| 94 | 2000 | 2020 | Inclusa |
| 95 | 2020 | 2040 | Inclusa |
| 96 | 2040 | 2060 | Inclusa |

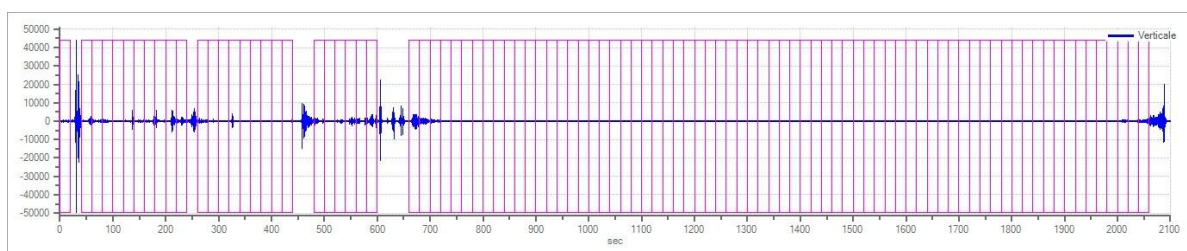
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

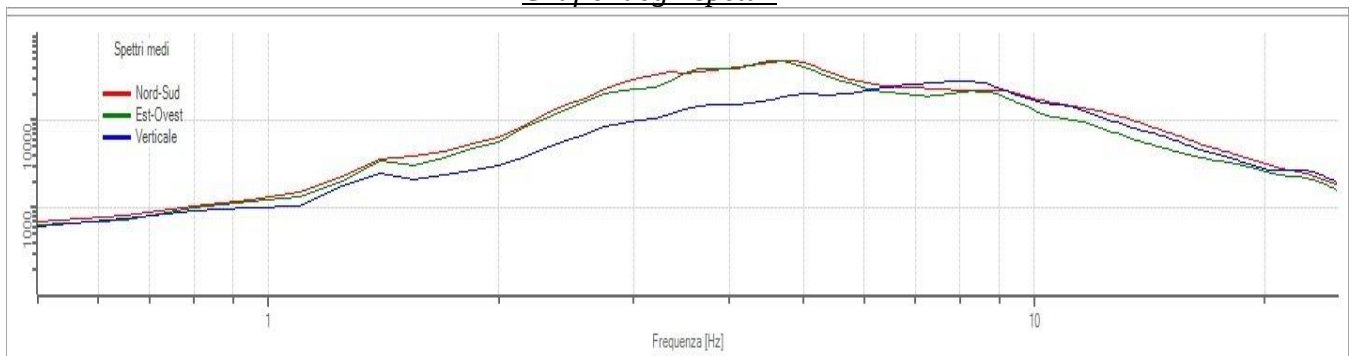


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

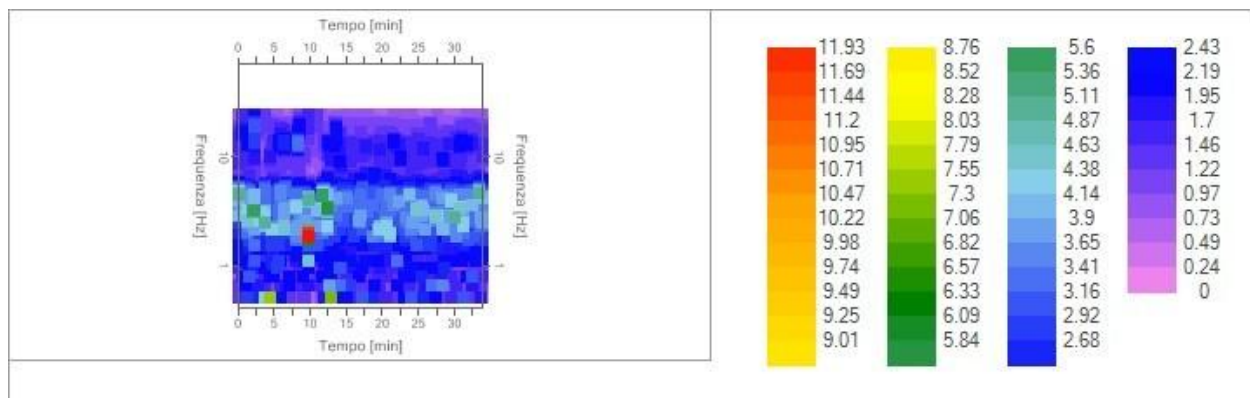


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

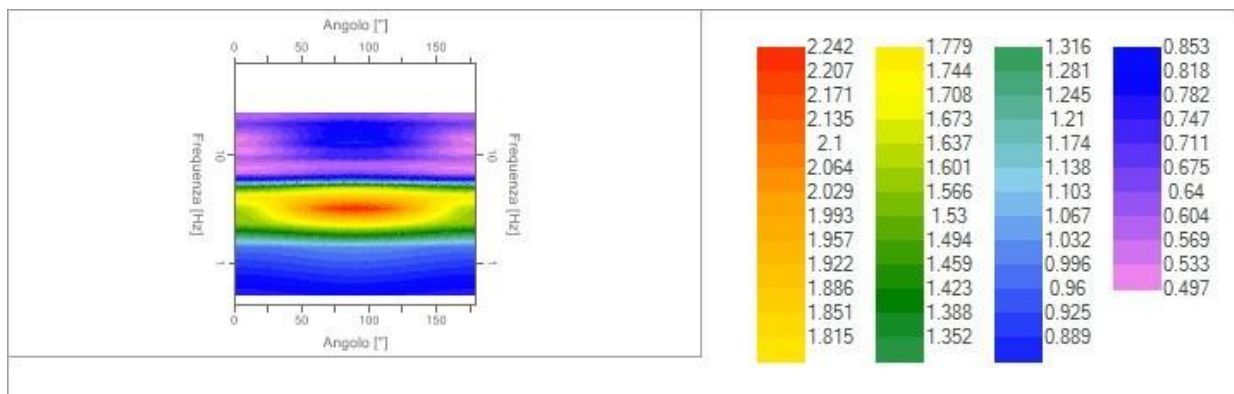
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

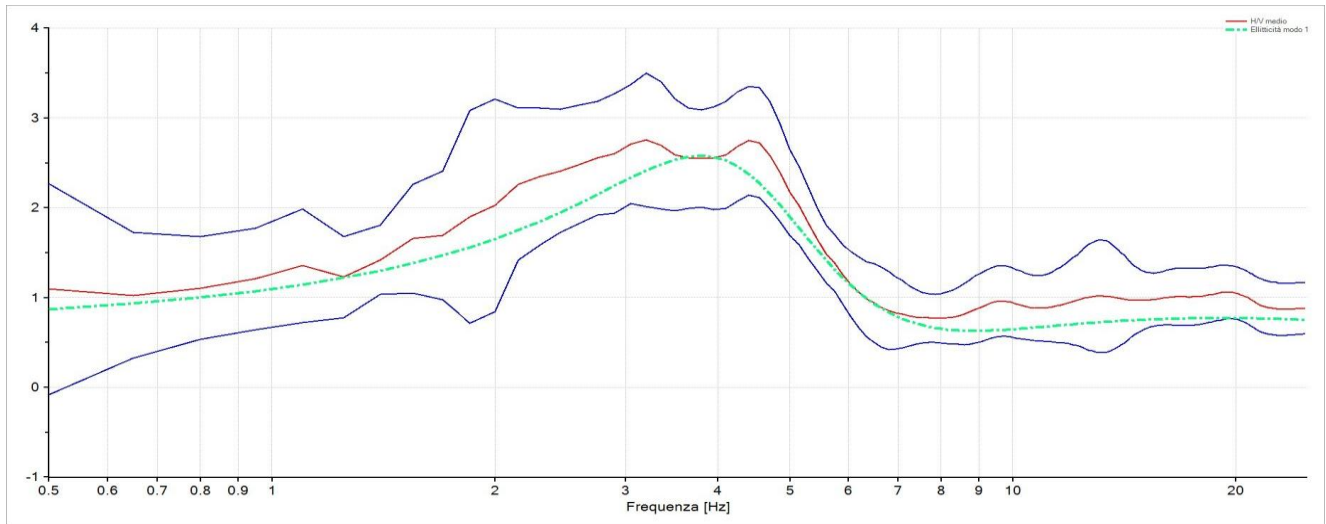
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 25.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media quadratica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 3.20 Hz  $\pm 0.27$  Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME:

| Verifica                                                                                                                                           | Esito        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| $f_0 > 10/l_w$                                                                                                                                     | Ok           |
| $n_c(f_0) > 200$                                                                                                                                   | Ok           |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$ | Ok           |
| $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$                                                                                           | Non superato |
| $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$                                                                                     | Ok           |
| $A_0 > 2$                                                                                                                                          | Ok           |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$                                                                                       | Non superato |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$                                                                                                                        | Non superato |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                                                                                                      | Ok           |

## Modello stratigrafico

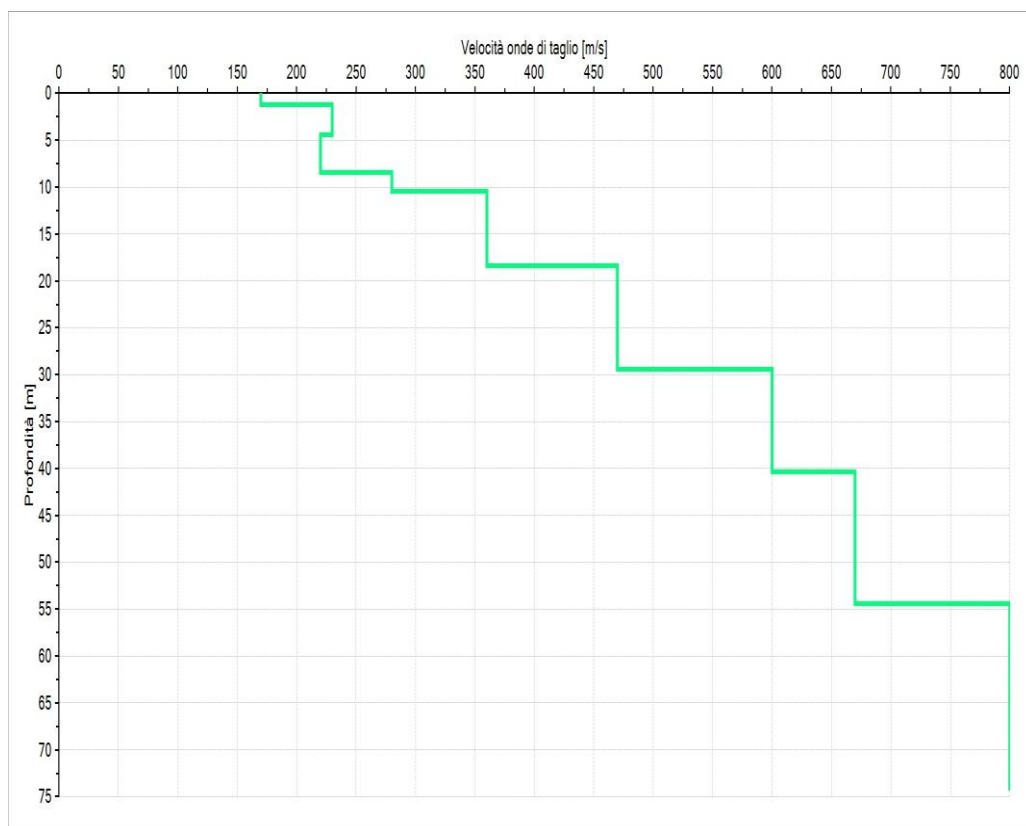
### Dati riepilogativi:

Numero strati: 9  
Frequenza del picco dell'ellitticità: 3.80 Hz  
Valore di disadattamento: -1.00  
Valore Vs30: 322.85 m/s

Dati della stratigrafia:

| Strato | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ] | Coeff. di Poisson | Velocità onde di taglio [m/s] |
|--------|----------------|--------------|---------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 1      | 0              | 1.2          | 18.5                                        | 0.36              | 170                           |
| 2      | 1.2            | 3.2          | 19                                          | 0.35              | 230                           |
| 3      | 4.4            | 4            | 19.5                                        | 0.35              | 220                           |
| 4      | 8.4            | 2            | 20                                          | 0.34              | 280                           |
| 5      | 10.4           | 8            | 21                                          | 0.33              | 360                           |
| 6      | 18.4           | 11           | 22                                          | 0.31              | 470                           |
| 7      | 29.4           | 11           | 22.5                                        | 0.29              | 600                           |
| 8      | 40.4           | 14           | 23                                          | 0.28              | 670                           |
| 9      | 54.4           | 20           | 23.5                                        | 0.26              | 800                           |

Profilo delle velocità delle onde di taglio



## 4.0 INVERSIONE CONGIUNTA - Curva di Dispersione e Curva Hvsr

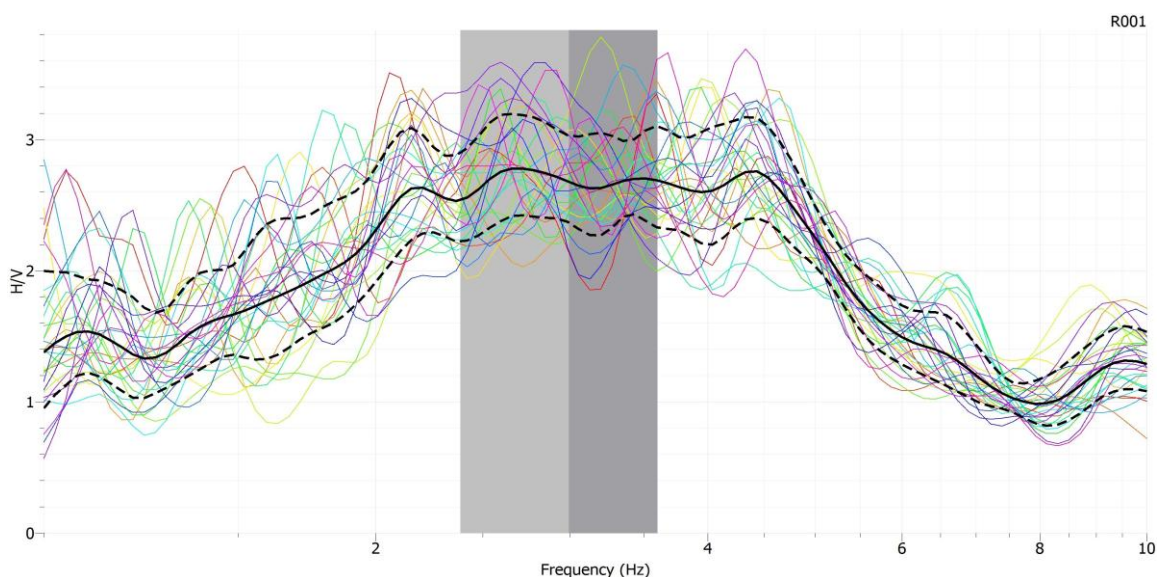
Per ottenere un profilo sismostratigrafico più affidabile in profondità (basse frequenze) e per vincolare maggiormente il profilo di velocità è stata effettuata un'inversione congiunta della curva di dispersione delle onde di Rayleigh ottenuta dalla sismica attiva con la curva dei rapporti spettrali ottenuta dalla registrazione sismica passiva (HVSR).

Questa procedura consente di sfruttare al meglio le differenti sensibilità che hanno le due metodologie nei confronti del profilo delle onde di taglio. In particolare la curva di dispersione vincola bene i valori più vicini alla superficie mentre la curva H/V o curva di ellitticità vincola meglio quelli più profondi.

Esistono diversi metodi numerici che permettono di eseguire il processo di inversione nel nostro caso è stato utilizzato il codice di calcolo DINVER, che implementa il metodo stocastico "Neighbourhood Algorithm".

Questo algoritmo investiga l'intero spazio di parametri (metodo di ricerca globale) e ricerca quel set che garantisce una funzione di misfit (funzione di disaccordo) minima tra il dato sperimentale e quello numerico.

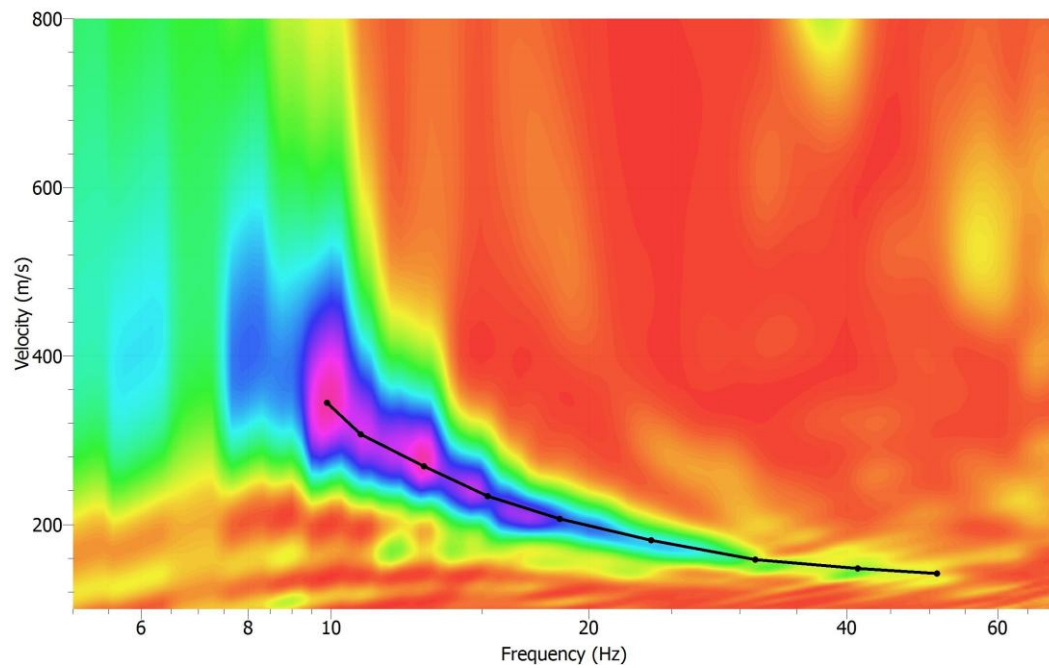
Di seguito vengono mostrati i dati di input inseriti



Curva HV presa nell'intervallo 0,5 - 10Hz

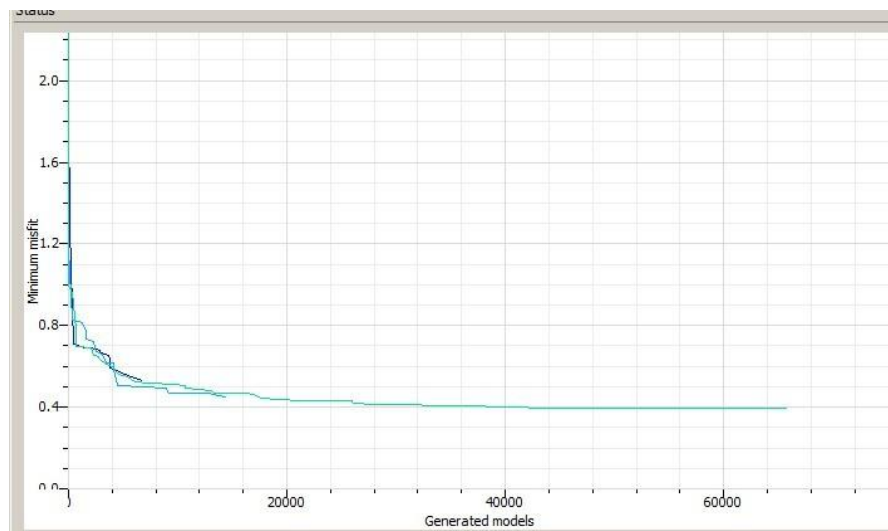


Shot at (-5, 0, 0), time=2024-10-11 00:00:00

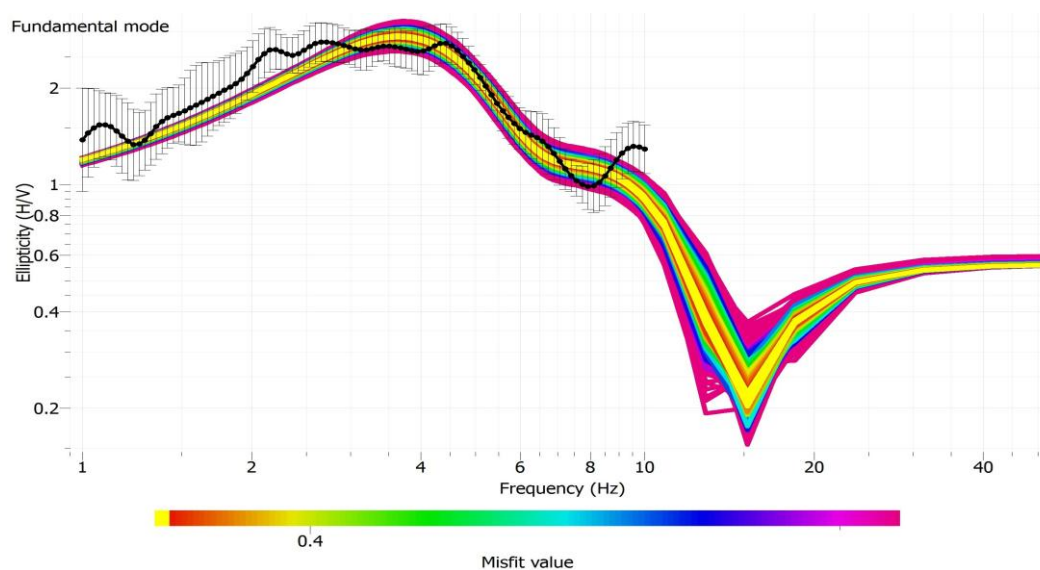


Spettro di velocità e curva di dispersione - Shot 1

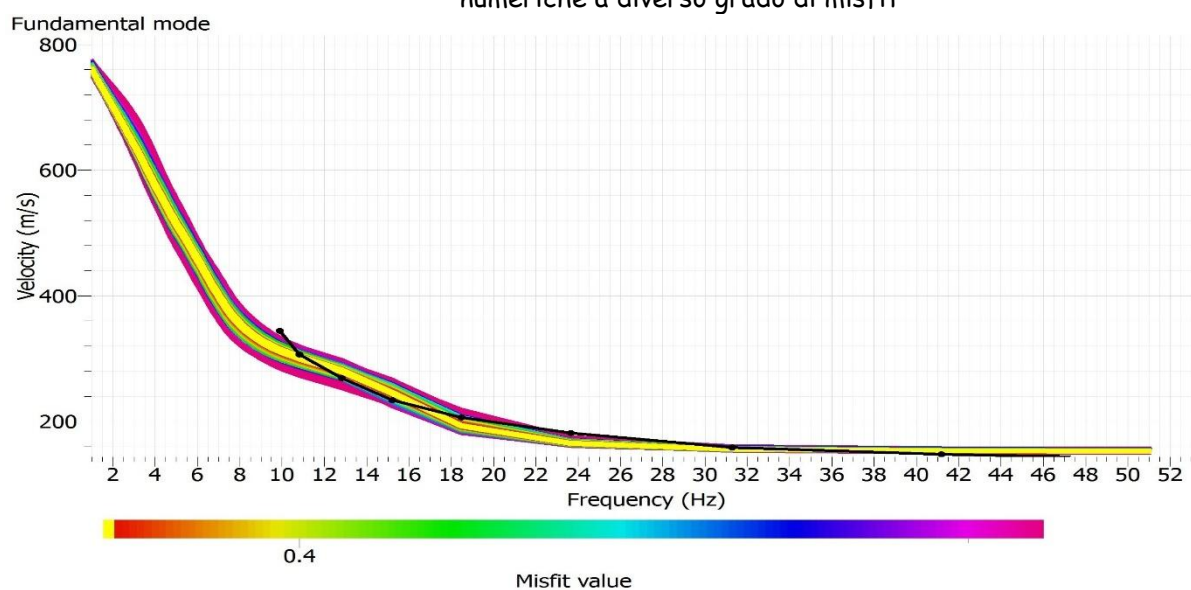
Di seguito vengono mostrati gli output restituiti dall'inversione congiunta effettuata dove sono stati visionati 78878 modelli e ne sono stati convalidati circa 2192 con il modello ottenuto che ha raggiunto un valore di misfit di 0.394(curva gialla).



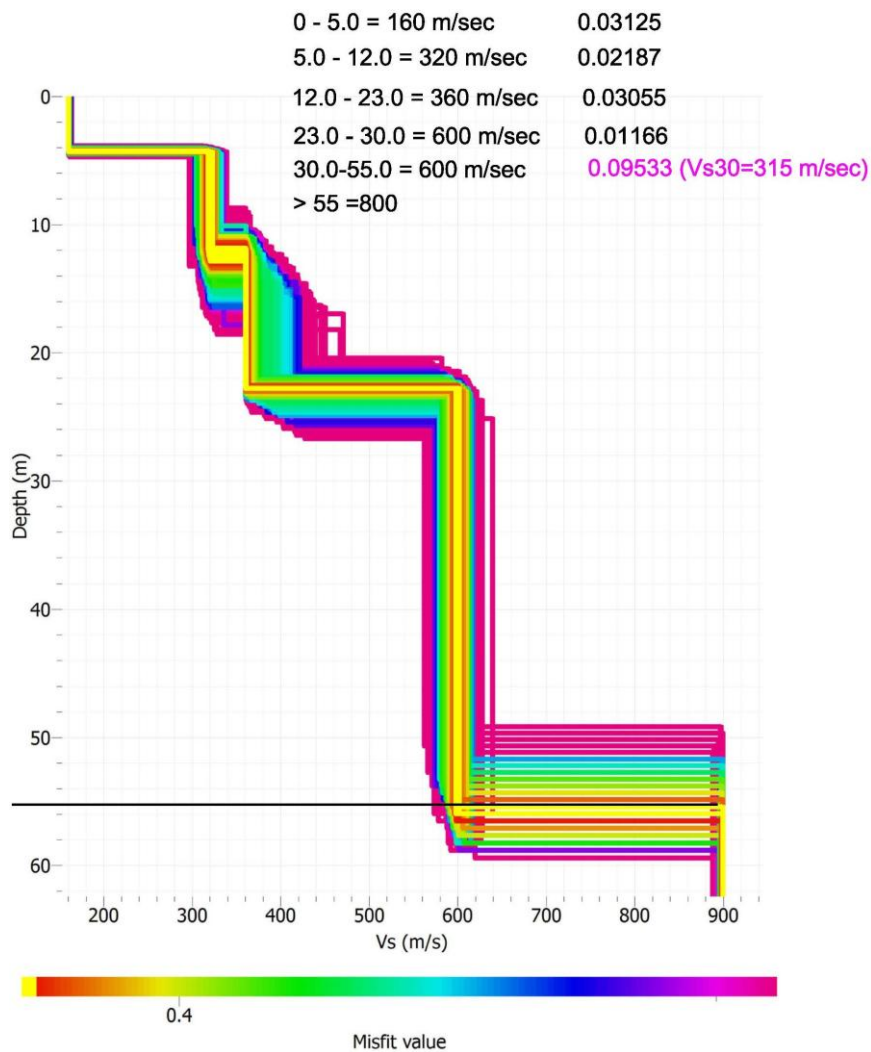
|   | Pen | Run name | Min misfit | Valid models | Active models | Visited models | Rate   | Eff. Nr | Rejected | Give up |
|---|-----|----------|------------|--------------|---------------|----------------|--------|---------|----------|---------|
| 1 |     | run_01   | 0.529623   | 7650/7650    | 2356          | 7975           | 0 m/s  | 50 m    | 0 m      | 0 m     |
| 2 |     | run_02   | 0.452562   | 15150/15150  | 2658          | 15779          | 0 m/s  | 50 m    | 0 m      | 0 m     |
| 3 |     | run_03   | 0.394431   | 75500/75500  | 2192          | 78878          | 498... | 50 m    | 0 m/m    | 0 m     |



Risultato dell'inversione congiunta- curva di ellitticità sperimentale (in nero) e curve di ellitticità numeriche a diverso grado di misfit



Risultato dell'inversione congiunta-curve di dispersione sperimentale (in nero) e curve di dispersione numeriche a diverso grado di misfit



Risultato dell'inversione congiunta- Profilo di velocità di propagazione delle onde di taglio (linea gialla )  
con individuazione della profondità del bedrock sismico

Il risultato ottenuto dall'inversione congiunta eseguita conferma il valore Vs30 ottenuto dall'interpretazione della prova sismica Masw e di conseguenza la categoria di sottosuolo C. La sismostratigrafia ottenuta dall'inversione congiunta può essere utilizzata insieme alle informazioni stratigrafiche e geotecniche acquisite per la modellazione della RSL di sito.

**REGIONE MARCHE  
COMUNE DI FRATTE ROSA (PU)**

**REALIZZAZIONE STUDI DI APPROFONDIMENTO DI LIVELLO 3  
SULLE AREE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE  
- ANNUALITÀ 2023**

**ALLEGATO N.2**

**VERIFICHE DI STABILITÀ IN CONDIZIONI  
STATICHE E PSEUDO-STATICHE**

| SEZIONE DI VERIFICA | CONDIZIONE              |
|---------------------|-------------------------|
| SEZIONE A-A'        | STATICA – PSEUDOSTATICA |

Data: 30/12/2024

Localita' : Via Dei Lubachi Fratte Rosa (PU)

Descrizione:

Modello pendio: Fratte\_Rosa\_Pseudo\_A-A'.mod

----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

\_\_PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X,Y (in m) \_\_

| SUP T.  |        | SUP 2   |        | SUP 3   |        | SUP 4   |        |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| X       | Y      | X       | Y      | X       | Y      | X       | Y      |
| 0.00    | 184.70 | 0.00    | 180.56 | 0.00    | 178.52 | 0.00    | 174.60 |
| 4.23    | 182.45 | 4.23    | 181.01 | 4.23    | 179.15 | 10.20   | 177.10 |
| 10.20   | 190.00 | 10.20   | 186.33 | 10.20   | 183.90 | 153.43  | 192.00 |
| 71.67   | 196.09 | 71.91   | 192.72 | 153.43  | 198.80 | 238.41  | 202.00 |
| 97.14   | 200.00 | 71.91   | 192.72 | 238.41  | 208.80 | 288.82  | 207.22 |
| 112.26  | 200.51 | 153.43  | 200.80 | 288.82  | 214.02 | 379.20  | 216.35 |
| 129.67  | 205.62 | 238.41  | 210.80 | 379.20  | 223.15 | 519.63  | 236.70 |
| 153.43  | 210.00 | 288.82  | 216.02 | 519.63  | 243.50 | 599.70  | 247.90 |
| 238.41  | 220.00 | 379.20  | 225.15 | 599.70  | 254.70 | 659.78  | 257.90 |
| 288.82  | 226.22 | 437.24  | 234.51 | 659.78  | 264.70 | 713.56  | 267.90 |
| 341.58  | 230.00 | 519.63  | 248.50 | 713.56  | 274.70 | 764.36  | 278.01 |
| 341.77  | 230.70 | 631.23  | 263.75 | 764.36  | 284.81 | 792.35  | 284.76 |
| 437.24  | 240.00 | 764.25  | 287.74 | 792.35  | 291.56 | 812.08  | 289.90 |
| 515.42  | 250.00 | 792.35  | 293.96 | 812.08  | 296.70 | 839.47  | 299.90 |
| 599.70  | 260.00 | 812.08  | 299.10 | 839.47  | 306.70 | 881.08  | 303.11 |
| 659.78  | 270.00 | 839.47  | 309.10 | 881.08  | 309.91 | 897.82  | 306.94 |
| 704.97  | 279.98 | 881.08  | 312.31 | 897.82  | 313.74 | 903.59  | 306.94 |
| 711.37  | 280.64 | 897.82  | 316.14 | 903.59  | 313.74 | 932.40  | 317.40 |
| 713.56  | 280.00 | 903.59  | 316.14 | 932.40  | 324.20 | 956.68  | 330.40 |
| 764.33  | 290.00 | 932.40  | 326.60 | 956.68  | 337.20 | 964.69  | 332.61 |
| 812.08  | 300.00 | 956.68  | 339.60 | 964.69  | 339.41 | 973.28  | 339.90 |
| 839.47  | 310.00 | 964.69  | 341.81 | 973.28  | 346.70 | 1014.57 | 355.85 |
| 881.08  | 315.71 | 973.28  | 349.10 | 1014.57 | 362.65 | 1082.35 | 361.80 |
| 897.82  | 319.54 | 1014.57 | 365.05 | 1082.35 | 368.60 | 1121.01 | 367.40 |
| 903.59  | 319.54 | 1082.35 | 371.00 | 1121.01 | 374.20 | 1139.09 | 374.11 |
| 932.40  | 330.00 | 1121.01 | 376.60 | 1139.09 | 380.91 | 1153.89 | 379.90 |
| 949.41  | 340.00 | 1139.09 | 383.31 | 1153.89 | 386.70 | 1161.62 | 387.43 |
| 956.60  | 340.34 | 1153.89 | 389.10 | 1161.62 | 394.23 | 1188.21 | 389.90 |
| 956.60  | 343.17 | 1161.62 | 396.63 | 1188.21 | 396.70 | 1197.37 | 404.15 |
| 964.69  | 342.71 | 1188.21 | 399.10 | 1197.37 | 410.95 | 1243.89 | 407.40 |
| 973.28  | 350.00 | 1197.37 | 413.35 | 1243.89 | 414.20 | 1299.02 | 409.25 |
| 1014.57 | 365.95 | 1243.89 | 416.60 | 1299.02 | 416.05 | -       | -      |
| 1082.35 | 374.40 | 1299.02 | 418.45 | -       | -      | -       | -      |
| 1121.01 | 380.00 | -       | -      | -       | -      | -       | -      |
| 1139.09 | 384.21 | -       | -      | -       | -      | -       | -      |
| 1153.89 | 390.00 | -       | -      | -       | -      | -       | -      |
| 1161.62 | 397.52 | -       | -      | -       | -      | -       | -      |
| 1188.21 | 400.00 | -       | -      | -       | -      | -       | -      |



|         |        |   |   |   |   |   |   |
|---------|--------|---|---|---|---|---|---|
| 1197.37 | 414.25 | - | - | - | - | - | - |
| 1243.89 | 420.00 | - | - | - | - | - | - |
| 1299.02 | 421.85 | - | - | - | - | - | - |

|            |        |  |  |  |  |  |  |
|------------|--------|--|--|--|--|--|--|
| SUP. FALDA |        |  |  |  |  |  |  |
| X          | Y      |  |  |  |  |  |  |
| 0.00       | 184.70 |  |  |  |  |  |  |
| 4.23       | 182.45 |  |  |  |  |  |  |
| 10.20      | 190.00 |  |  |  |  |  |  |
| 71.67      | 194.09 |  |  |  |  |  |  |
| 97.14      | 198.00 |  |  |  |  |  |  |
| 112.26     | 198.51 |  |  |  |  |  |  |
| 129.67     | 203.62 |  |  |  |  |  |  |
| 153.43     | 208.00 |  |  |  |  |  |  |
| 238.41     | 218.00 |  |  |  |  |  |  |
| 288.82     | 224.22 |  |  |  |  |  |  |
| 341.77     | 228.70 |  |  |  |  |  |  |
| 437.24     | 238.00 |  |  |  |  |  |  |
| 515.42     | 248.00 |  |  |  |  |  |  |
| 599.70     | 258.00 |  |  |  |  |  |  |
| 659.78     | 268.00 |  |  |  |  |  |  |
| 711.37     | 278.64 |  |  |  |  |  |  |
| 764.33     | 288.00 |  |  |  |  |  |  |
| 812.08     | 298.00 |  |  |  |  |  |  |
| 839.47     | 308.00 |  |  |  |  |  |  |
| 881.08     | 313.71 |  |  |  |  |  |  |
| 897.82     | 317.54 |  |  |  |  |  |  |
| 903.59     | 317.54 |  |  |  |  |  |  |
| 932.40     | 328.00 |  |  |  |  |  |  |
| 956.60     | 338.34 |  |  |  |  |  |  |
| 964.69     | 340.71 |  |  |  |  |  |  |
| 973.28     | 348.00 |  |  |  |  |  |  |
| 1014.57    | 363.95 |  |  |  |  |  |  |
| 1082.35    | 372.40 |  |  |  |  |  |  |
| 1121.01    | 378.00 |  |  |  |  |  |  |
| 1139.09    | 382.21 |  |  |  |  |  |  |
| 1153.89    | 388.00 |  |  |  |  |  |  |
| 1161.62    | 395.52 |  |  |  |  |  |  |
| 1188.21    | 398.00 |  |  |  |  |  |  |
| 1197.37    | 412.25 |  |  |  |  |  |  |
| 1243.89    | 418.00 |  |  |  |  |  |  |
| 1299.02    | 419.85 |  |  |  |  |  |  |

----- GESTIONE ACQUIFERI -----

Strati esclusi da acquifero e effetto pressione dei pori:

STRATO 3

STRATO 4

Esclusione sovraccarico pendio sommerso: NON ATTIVATA

EFFETTO TENSION CRACK IN TESTA RIEMPITO DI ACQUA: ----> DISATTIVATO

In caso di superfici con tension crack in testa, la frattura di tensione puo' venir viene considerata completamente riempita di acqua per la sua intera profondita'. Viene quindi considerato una forza in testa, prodotta dalla pressione idrostatica. La forza applicata ha un effetto destabilizzante aggiuntivo alle altre forze destabilizzanti agenti.

Peso unitario fluido (kN/m^3): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A 0  
 Coefficiente K 0.000800  
 Pressione minima fluidi Uo\_Min (kPa) 0.01  
 Coefficiente di soprapressione oltre pressione idrostatica 1.00  
 Limitazione dissipazione a Pressione Idrostatica = ATTIVA

STABILITE CONDIZIONI PER LA VERIFICA CON SOVRAPPRESSIONE ACQUIFERI CON DISSIPAZIONE IN DIREZIONE DELLA SUPERFICIE

#### CALCOLO EFFETTO DI FILTRAZIONE NON ATTIVATO

| PARAMETRI GEOMECCANICI |       |        |      |       |          |         |      |      |      |      |  |
|------------------------|-------|--------|------|-------|----------|---------|------|------|------|------|--|
|                        | fi`   | C`     | Cu   | Gamm  | Gamm_sat | STR_IDX | sgci | GSI  | mi   | D    |  |
| STRATO 1               | 21.70 | 17.00  | 0.00 | 21.00 | 22.00    | 1.802   | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| STRATO 2               | 18.50 | 40.00  | 0.00 | 21.00 | 22.00    | 3.231   | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| STRATO 3               | 18.50 | 100.00 | 0.00 | 22.00 | 23.00    | 19.996  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |
| STRATO 4               | 20.00 | 200.00 | 0.00 | 22.00 | 23.00    | 403.443 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |  |

LEGENDA: fi` \_\_\_\_\_ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)

C` \_\_\_\_\_ Coesione efficace (in Kpa)

Cu \_\_\_\_\_ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)

Gamm \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m^3)

Gamm\_sat \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno immerso (in KN/m^3)

STR\_IDX \_\_\_\_\_ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH') (adimensionale)

SOLO Per AMMASSI ROCCIOSI FRATTURATI - Parametri Criterio di Rottura di Hoek et al.(2002)-

sigci \_\_\_\_\_ Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa)

GSI \_\_\_\_\_ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)

mi \_\_\_\_\_ Indice litologico ammasso(adimensionale)

D \_\_\_\_\_ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)

NOTA BENE:

FATTORI DI RIDUZIONE NTC2018/EC-7: gammaPHI=1.25, gammaC=1.25 e gammaCu=1.4 - DISATTIVATI

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : JANBU RIGOROSO (Janbu, 1973)

METODO DI ESPLORAZIONE CAMPO VALORI (lambda0,Fs0) ADOTTATO : A (rapido)

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0148

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.0074

COEFFICIENTE c=Kv/Kh UTILIZZATO : 0.5000

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

---- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA -----

METODO DI CALCOLO.....Fs.... lambda....MLD.....Kc.....Esito....Note..

JANBU\_RIGOROSO(1973)..... 3,1818 1,0000 0,0011 0,2875 Verificata

SPENCER(1973)..... 3,2477 0,2635 0,0038 0,2956 Verificata

SARMA\_I(1973)..... 3,2470 0,4071 0,0038 0,2956 Verificata

MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 3,2469 0,3665 0,0035 0,2950 Verificata

CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 3,2473 0,1771 0,0036 0,2950 Verificata  
 SARMA\_II(1979)..... 3,2465 0,4979 0,0033 0,2950 Verificata  
 BORSELLI(2016)..... 3,2471 0,3011 0,0037 0,2950 Verificata  
 NOTE di Calcolo:-----  
 [0]-->  $F_s < 1.0$  oppure non convergenza calcolo  
 [1]-->  $F_s > 50$   
 [2]-->  $K_c = 0.0$  per  $F_s < 1.0$   
 [3]-->  $K_c = 0.0$  per  $F_s > 50$   
 [4]--> Calcolo  $K_c$  senza convergenza  
 [5]--> Calcolo  $K_c$  non attivato  
 MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)  
 $K_c$ : Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere  $F_s = 1.0$ . (Sarma, 1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCENDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) - METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO

.....||----- S(cm) per  $A_{max}(g)$  ATTESA IN SITO-||  
 METODO DI CALCOLO..... $K_c$ ..... $S_r$ ...0.1g...0.2g...0.4g...0.6g...0.8g...1.0g  
 JANBU\_RIGOROSO(1973)..... 0,2875 1,036 0,001 0,001 0,117 0,752 1,615 2,564  
 SPENCER(1973)..... 0,2956 1,036 0,001 0,001 0,095 0,687 1,514 2,431  
 SARMA\_I(1973)..... 0,2956 1,036 0,001 0,001 0,095 0,687 1,514 2,431  
 MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 0,2950 1,036 0,001 0,001 0,097 0,692 1,522 2,440  
 CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 0,2950 1,036 0,001 0,001 0,097 0,692 1,522 2,440  
 SARMA\_II(1979)..... 0,2950 1,036 0,001 0,001 0,097 0,692 1,522 2,441  
 BORSELLI(2016)..... 0,2950 1,036 0,001 0,001 0,097 0,692 1,522 2,440

# DATI RELATIVI ALLA SUPERFICIE SINGOLA INDICATA - METODO DI CALCOLO : JANBU RIGOROSO  
 (Janbu, 1973)

| X(m)    | Y(m)    | #Superficie N.1 - #FS_minimo | #Fattore di sicurezza(FS)= 3.1818 | #Lambda= 1.0000 |
|---------|---------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 91.603  | 199.150 |                              |                                   |                 |
| 111.893 | 199.040 |                              |                                   |                 |
| 141.493 | 200.074 |                              |                                   |                 |
| 165.142 | 202.734 |                              |                                   |                 |
| 183.216 | 204.767 |                              |                                   |                 |
| 216.775 | 208.542 |                              |                                   |                 |
| 255.111 | 212.854 |                              |                                   |                 |
| 287.780 | 216.529 |                              |                                   |                 |
| 321.653 | 220.340 |                              |                                   |                 |
| 355.283 | 224.123 |                              |                                   |                 |
| 392.438 | 228.302 |                              |                                   |                 |
| 419.742 | 231.374 |                              |                                   |                 |
| 461.533 | 236.744 |                              |                                   |                 |
| 498.764 | 241.529 |                              |                                   |                 |
| 526.178 | 245.052 |                              |                                   |                 |
| 544.387 | 247.392 |                              |                                   |                 |
| 575.663 | 251.411 |                              |                                   |                 |
| 602.875 | 256.802 |                              |                                   |                 |
| 632.609 | 265.478 |                              |                                   |                 |

Coefficiente Sismico Critico ( $K_h$ ) per ottenere  $F_s = 1.0$  --->  $K_{hcrit} = 0.28750$

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----

# DATI RELATIVI ALLA SUPERFICIE SINGOLA INDICATA \*

# Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.200

|        |       |           |           |                |         |
|--------|-------|-----------|-----------|----------------|---------|
| Sup N. | FS    | FTR(kN/m) | FTA(kN/m) | Bilancio(kN/m) | ESITO   |
| 1      | 3.182 | 33843.0   | 10636.4   | 21079.4        | Surplus |

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 21079.4

Note: FTR --> Forza totale Resistente lungo la superficie di scivolamento

FTA --> Forza totale Agente lungo la superficie di scivolamento

IMPORTANTE! : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN  
per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata,  
ovvero in kN/m

-----  
TABELLA PARAMETRI CONCI DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS  
-----

| X       | dx    | alpha | W      | ru   | U     | phi'  | (c',Cu) |
|---------|-------|-------|--------|------|-------|-------|---------|
| (m)     | (m)   | ( )   | (kN/m) | (-)  | (kPa) | ( )   | (kPa)   |
| 91.603  | 4.839 | -0.31 | 39.36  | 0.00 | 0.00  | 21.70 | 17.00   |
| 96.442  | 0.698 | -0.31 | 12.18  | 0.00 | 0.00  | 21.70 | 17.00   |
| 97.140  | 4.839 | -0.31 | 99.78  | 0.00 | 0.00  | 21.70 | 17.00   |
| 101.979 | 4.839 | -0.31 | 119.18 | 0.00 | 0.00  | 21.70 | 17.00   |
| 106.818 | 4.839 | -0.31 | 138.57 | 0.00 | 0.00  | 21.70 | 17.00   |
| 111.657 | 0.236 | -0.31 | 7.26   | 0.00 | 0.00  | 21.70 | 17.00   |
| 111.893 | 0.367 | 2.00  | 11.32  | 0.00 | 0.00  | 21.70 | 17.00   |
| 112.260 | 2.099 | 2.00  | 76.77  | 0.00 | 0.00  | 21.70 | 17.00   |
| 114.359 | 4.839 | 2.00  | 271.83 | 0.09 | 7.07  | 21.70 | 17.00   |
| 119.198 | 4.839 | 2.00  | 406.03 | 0.15 | 13.75 | 21.70 | 17.00   |
| 124.037 | 4.839 | 2.00  | 540.22 | 0.19 | 20.98 | 21.70 | 17.00   |
| 128.876 | 0.794 | 2.00  | 101.46 | 0.23 | 27.59 | 21.70 | 17.00   |
| 129.670 | 4.839 | 2.00  | 668.10 | 0.23 | 28.70 | 21.70 | 17.00   |
| 134.509 | 4.839 | 2.00  | 745.64 | 0.27 | 35.61 | 21.70 | 17.00   |
| 139.348 | 2.145 | 2.00  | 355.39 | 0.30 | 42.57 | 21.70 | 17.00   |
| 141.493 | 4.839 | 6.42  | 837.44 | 0.31 | 45.57 | 21.70 | 17.00   |
| 146.332 | 4.839 | 6.42  | 874.73 | 0.33 | 52.05 | 21.70 | 17.00   |
| 151.171 | 2.259 | 6.42  | 421.14 | 0.34 | 56.12 | 21.70 | 17.00   |
| 153.430 | 4.839 | 6.42  | 912.12 | 0.34 | 57.76 | 21.70 | 17.00   |
| 158.269 | 4.839 | 6.42  | 914.81 | 0.34 | 60.63 | 21.70 | 17.00   |
| 163.108 | 2.034 | 6.42  | 385.42 | 0.34 | 62.91 | 21.70 | 17.00   |
| 165.142 | 4.839 | 6.42  | 918.64 | 0.35 | 63.46 | 21.70 | 17.00   |
| 169.981 | 4.839 | 6.42  | 921.33 | 0.35 | 64.57 | 21.70 | 17.00   |
| 174.820 | 4.839 | 6.42  | 924.02 | 0.35 | 65.37 | 21.70 | 17.00   |
| 179.659 | 3.557 | 6.42  | 681.00 | 0.35 | 65.81 | 21.70 | 17.00   |
| 183.216 | 4.839 | 6.42  | 928.69 | 0.35 | 66.06 | 21.70 | 17.00   |
| 188.055 | 4.839 | 6.42  | 931.38 | 0.35 | 66.38 | 21.70 | 17.00   |
| 192.894 | 4.839 | 6.42  | 934.07 | 0.35 | 66.66 | 21.70 | 17.00   |
| 197.733 | 4.839 | 6.42  | 936.76 | 0.35 | 66.94 | 21.70 | 17.00   |
| 202.572 | 4.839 | 6.42  | 939.45 | 0.35 | 67.19 | 21.70 | 17.00   |
| 207.411 | 4.839 | 6.42  | 942.14 | 0.35 | 67.46 | 21.70 | 17.00   |

|         |       |      |         |      |       |       |       |
|---------|-------|------|---------|------|-------|-------|-------|
| 212.250 | 4.525 | 6.42 | 883.49  | 0.35 | 67.74 | 21.70 | 17.00 |
| 216.775 | 4.839 | 6.42 | 947.35  | 0.35 | 68.00 | 21.70 | 17.00 |
| 221.614 | 4.839 | 6.42 | 950.04  | 0.35 | 68.28 | 21.70 | 17.00 |
| 226.452 | 4.839 | 6.42 | 952.73  | 0.35 | 68.60 | 21.70 | 17.00 |
| 231.291 | 4.839 | 6.42 | 955.43  | 0.35 | 68.93 | 21.70 | 17.00 |
| 236.130 | 2.280 | 6.42 | 451.07  | 0.35 | 69.28 | 21.70 | 17.00 |
| 238.410 | 4.839 | 6.42 | 960.87  | 0.35 | 69.45 | 21.70 | 17.00 |
| 243.249 | 4.839 | 6.42 | 966.52  | 0.35 | 69.84 | 21.70 | 17.00 |
| 248.088 | 4.839 | 6.42 | 972.18  | 0.35 | 70.26 | 21.70 | 17.00 |
| 252.927 | 2.184 | 6.42 | 440.65  | 0.35 | 70.69 | 21.70 | 17.00 |
| 255.111 | 4.839 | 6.42 | 980.39  | 0.35 | 70.91 | 21.70 | 17.00 |
| 259.950 | 4.839 | 6.42 | 986.04  | 0.35 | 71.43 | 21.70 | 17.00 |
| 264.789 | 4.839 | 6.42 | 991.70  | 0.35 | 71.91 | 21.70 | 17.00 |
| 269.627 | 4.839 | 6.42 | 997.36  | 0.35 | 72.32 | 21.70 | 17.00 |
| 274.466 | 4.839 | 6.42 | 1003.01 | 0.36 | 72.58 | 21.70 | 17.00 |
| 279.305 | 4.839 | 6.42 | 1008.67 | 0.36 | 72.67 | 21.70 | 17.00 |
| 284.144 | 3.636 | 6.42 | 761.55  | 0.36 | 72.58 | 21.70 | 17.00 |
| 287.780 | 1.040 | 6.42 | 218.52  | 0.36 | 72.36 | 21.70 | 17.00 |
| 288.820 | 4.839 | 6.42 | 1006.52 | 0.36 | 72.24 | 21.70 | 17.00 |
| 293.659 | 4.839 | 6.42 | 985.63  | 0.36 | 71.58 | 21.70 | 17.00 |
| 298.498 | 4.839 | 6.42 | 964.74  | 0.36 | 70.68 | 21.70 | 17.00 |
| 303.337 | 4.839 | 6.42 | 943.85  | 0.36 | 69.58 | 21.70 | 17.00 |
| 308.176 | 4.839 | 6.42 | 922.96  | 0.36 | 68.26 | 21.70 | 17.00 |
| 313.014 | 4.839 | 6.42 | 902.07  | 0.36 | 66.58 | 21.70 | 17.00 |
| 317.853 | 3.799 | 6.42 | 693.63  | 0.36 | 64.98 | 21.70 | 17.00 |
| 321.653 | 4.839 | 6.42 | 864.78  | 0.36 | 63.80 | 21.70 | 17.00 |
| 326.492 | 4.839 | 6.42 | 843.89  | 0.36 | 62.59 | 21.70 | 17.00 |
| 331.330 | 4.839 | 6.42 | 823.00  | 0.36 | 61.55 | 21.70 | 17.00 |
| 336.169 | 4.839 | 6.42 | 802.11  | 0.36 | 60.68 | 21.70 | 17.00 |
| 341.008 | 0.572 | 6.42 | 93.40   | 0.35 | 60.00 | 21.70 | 17.00 |
| 341.580 | 0.190 | 6.42 | 32.35   | 0.35 | 59.93 | 21.70 | 17.00 |
| 341.770 | 4.839 | 6.42 | 854.73  | 0.35 | 59.90 | 21.70 | 17.00 |
| 346.609 | 4.839 | 6.42 | 846.90  | 0.35 | 59.32 | 21.70 | 17.00 |
| 351.448 | 3.835 | 6.42 | 665.60  | 0.35 | 58.70 | 21.70 | 17.00 |
| 355.283 | 4.839 | 6.42 | 832.88  | 0.34 | 58.19 | 21.70 | 17.00 |
| 360.121 | 4.839 | 6.42 | 825.06  | 0.34 | 57.48 | 21.70 | 17.00 |
| 364.960 | 4.839 | 6.42 | 817.23  | 0.34 | 56.70 | 21.70 | 17.00 |
| 369.799 | 4.839 | 6.42 | 809.41  | 0.33 | 55.84 | 21.70 | 17.00 |
| 374.638 | 4.562 | 6.42 | 755.91  | 0.33 | 54.87 | 21.70 | 17.00 |
| 379.200 | 4.839 | 6.42 | 794.21  | 0.33 | 54.07 | 21.70 | 17.00 |
| 384.039 | 4.839 | 6.42 | 786.39  | 0.33 | 53.21 | 21.70 | 17.00 |
| 388.878 | 3.560 | 6.42 | 573.58  | 0.33 | 52.34 | 21.70 | 17.00 |
| 392.438 | 4.839 | 6.42 | 772.81  | 0.33 | 51.76 | 21.70 | 17.00 |
| 397.277 | 4.839 | 6.42 | 764.98  | 0.33 | 50.98 | 21.70 | 17.00 |
| 402.116 | 4.839 | 6.42 | 757.16  | 0.32 | 50.21 | 21.70 | 17.00 |
| 406.955 | 4.839 | 6.42 | 749.34  | 0.32 | 49.40 | 21.70 | 17.00 |
| 411.794 | 1.501 | 6.42 | 230.84  | 0.32 | 48.60 | 21.70 | 17.00 |



|         |       |       |        |      |       |       |       |
|---------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|
| 413.294 | 4.839 | 6.42  | 739.09 | 0.32 | 48.36 | 18.50 | 40.00 |
| 418.133 | 1.609 | 6.42  | 244.04 | 0.32 | 47.57 | 18.50 | 40.00 |
| 419.742 | 4.839 | 7.32  | 724.50 | 0.32 | 47.30 | 18.50 | 40.00 |
| 424.581 | 4.839 | 7.32  | 708.37 | 0.32 | 46.49 | 18.50 | 40.00 |
| 429.420 | 4.839 | 7.32  | 692.23 | 0.32 | 45.70 | 18.50 | 40.00 |
| 434.259 | 2.981 | 7.32  | 418.40 | 0.31 | 44.95 | 18.50 | 40.00 |
| 437.240 | 4.839 | 7.32  | 674.06 | 0.31 | 44.54 | 18.50 | 40.00 |
| 442.079 | 4.839 | 7.32  | 673.75 | 0.31 | 43.97 | 18.50 | 40.00 |
| 446.918 | 4.839 | 7.32  | 673.44 | 0.31 | 43.48 | 18.50 | 40.00 |
| 451.757 | 4.839 | 7.32  | 673.13 | 0.31 | 43.16 | 18.50 | 40.00 |
| 456.596 | 4.839 | 7.32  | 672.82 | 0.31 | 42.98 | 18.50 | 40.00 |
| 461.434 | 0.099 | 7.32  | 13.73  | 0.31 | 42.87 | 18.50 | 40.00 |
| 461.533 | 4.839 | 7.32  | 672.50 | 0.31 | 42.87 | 18.50 | 40.00 |
| 466.372 | 4.839 | 7.32  | 672.19 | 0.31 | 42.80 | 18.50 | 40.00 |
| 471.211 | 4.839 | 7.32  | 671.88 | 0.31 | 42.75 | 18.50 | 40.00 |
| 476.050 | 4.839 | 7.32  | 671.57 | 0.31 | 42.71 | 18.50 | 40.00 |
| 480.889 | 4.839 | 7.32  | 671.25 | 0.31 | 42.67 | 18.50 | 40.00 |
| 485.728 | 4.839 | 7.32  | 670.94 | 0.31 | 42.63 | 18.50 | 40.00 |
| 490.567 | 4.839 | 7.32  | 670.63 | 0.31 | 42.56 | 18.50 | 40.00 |
| 495.405 | 3.359 | 7.32  | 465.29 | 0.31 | 42.46 | 18.50 | 40.00 |
| 498.764 | 4.839 | 7.32  | 670.10 | 0.31 | 42.39 | 18.50 | 40.00 |
| 503.603 | 4.839 | 7.32  | 669.79 | 0.31 | 42.26 | 18.50 | 40.00 |
| 508.442 | 4.839 | 7.32  | 669.48 | 0.31 | 42.11 | 18.50 | 40.00 |
| 513.281 | 2.139 | 7.32  | 295.88 | 0.31 | 41.93 | 18.50 | 40.00 |
| 515.420 | 4.201 | 7.32  | 579.01 | 0.31 | 41.84 | 18.50 | 40.00 |
| 519.621 | 0.009 | 7.32  | 1.27   | 0.31 | 41.63 | 18.50 | 40.00 |
| 519.630 | 4.839 | 7.32  | 662.18 | 0.31 | 41.63 | 18.50 | 40.00 |
| 524.469 | 1.709 | 7.32  | 232.69 | 0.31 | 41.35 | 18.50 | 40.00 |
| 526.178 | 4.839 | 7.32  | 655.26 | 0.31 | 41.23 | 18.50 | 40.00 |
| 531.017 | 4.839 | 7.32  | 650.14 | 0.31 | 40.87 | 18.50 | 40.00 |
| 535.856 | 4.839 | 7.32  | 645.03 | 0.30 | 40.45 | 18.50 | 40.00 |
| 540.695 | 3.692 | 7.32  | 488.72 | 0.30 | 39.96 | 18.50 | 40.00 |
| 544.387 | 4.839 | 7.32  | 636.01 | 0.30 | 39.48 | 18.50 | 40.00 |
| 549.226 | 4.839 | 7.32  | 630.89 | 0.30 | 38.72 | 18.50 | 40.00 |
| 554.065 | 4.839 | 7.32  | 625.78 | 0.30 | 37.82 | 18.50 | 40.00 |
| 558.904 | 4.839 | 7.32  | 620.66 | 0.30 | 36.73 | 18.50 | 40.00 |
| 563.743 | 4.839 | 7.32  | 615.54 | 0.29 | 35.41 | 18.50 | 40.00 |
| 568.581 | 4.839 | 7.32  | 610.43 | 0.29 | 33.76 | 18.50 | 40.00 |
| 573.420 | 2.243 | 7.32  | 281.16 | 0.28 | 31.63 | 18.50 | 40.00 |
| 575.663 | 4.839 | 11.21 | 584.89 | 0.28 | 30.48 | 18.50 | 40.00 |
| 580.502 | 4.839 | 11.21 | 543.66 | 0.27 | 27.76 | 18.50 | 40.00 |
| 585.341 | 4.839 | 11.21 | 502.43 | 0.25 | 24.61 | 18.50 | 40.00 |
| 590.180 | 4.839 | 11.21 | 461.20 | 0.23 | 21.12 | 18.50 | 40.00 |
| 595.018 | 4.682 | 11.21 | 406.97 | 0.20 | 17.40 | 18.50 | 40.00 |
| 599.700 | 3.175 | 11.21 | 259.38 | 0.17 | 13.79 | 18.50 | 40.00 |
| 602.875 | 4.839 | 16.27 | 357.40 | 0.15 | 11.15 | 18.50 | 40.00 |
| 607.714 | 4.839 | 16.27 | 292.36 | 0.12 | 7.62  | 18.50 | 40.00 |

|         |       |       |        |      |      |       |       |
|---------|-------|-------|--------|------|------|-------|-------|
| 612.553 | 4.099 | 16.27 | 196.79 | 0.07 | 4.26 | 18.50 | 40.00 |
| 616.652 | 4.839 | 16.27 | 173.69 | 0.00 | 0.00 | 18.50 | 40.00 |
| 621.491 | 1.197 | 16.27 | 33.39  | 0.00 | 0.00 | 18.50 | 40.00 |
| 622.688 | 4.839 | 16.27 | 96.25  | 0.00 | 0.00 | 21.70 | 17.00 |
| 627.527 | 3.703 | 16.27 | 31.72  | 0.00 | 0.00 | 21.70 | 17.00 |
| 631.230 | 1.379 | 16.27 | 2.52   | 0.00 | 0.00 | 21.70 | 17.00 |
|         |       |       |        |      |      |       |       |

#### LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio

dx(m) : Larghezza concio

alpha( ) : Angolo pendenza base concio

W(kN/m) : Forza peso concio

ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale

U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio

phi'( ) : Angolo di attrito efficace base concio

c'/Cu (kPa) : Coesione efficace o Resistenza al taglio in condizioni non drenate

#### TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

| X                | ht              | yt                | yt'   | E(x)              | T(x)              | E'                | rho(x) | FS_qFEM | FS_p-qPATH |
|------------------|-----------------|-------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|---------|------------|
| (m)              | (m)             | (m)               | (--)  | (kN/m)            | (kN/m)            | (kN)              | (--)   | (--)    | (--)       |
| 91.603<br>0.106  | 0.000<br>23.809 | 199.150<br>14.290 | 0.045 | 0.0000000000E+000 | 0.0000000000E+000 | 1.0209489920E+000 |        |         |            |
| 96.442<br>0.106  | 0.269<br>23.405 | 199.393<br>14.557 | 0.045 | 3.3549659653E+000 | 2.4634345109E-001 | 3.8456610383E-001 |        |         |            |
| 97.140<br>0.106  | 0.278<br>22.967 | 199.398<br>14.491 | 0.008 | 3.5773597879E+000 | 2.4841479313E-001 | 4.2265883290E-001 |        |         |            |
| 101.979<br>0.124 | 0.344<br>17.898 | 199.438<br>12.550 | 0.015 | 6.7776338615E+000 | 5.6471352719E-001 | 9.7877074974E-001 |        |         |            |
| 106.818<br>0.210 | 0.478<br>12.586 | 199.546<br>8.847  | 0.034 | 1.4032323375E+001 | 2.0330470837E+000 | 1.8934414469E+000 |        |         |            |
| 111.657<br>0.267 | 0.724<br>10.703 | 199.765<br>7.414  | 0.044 | 2.0901020185E+001 | 3.7095527494E+000 | 2.2997155249E+000 |        |         |            |
| 111.893<br>0.269 | 0.729<br>10.626 | 199.769<br>7.356  | 0.026 | 2.1442645606E+001 | 3.8239584913E+000 | 2.3172644754E+000 |        |         |            |
| 112.260<br>0.272 | 0.729<br>10.518 | 199.781<br>7.274  | 0.083 | 2.2256813240E+001 | 4.0013371328E+000 | 2.3424763978E+000 |        |         |            |
| 114.359<br>0.288 | 0.846<br>9.939  | 199.972<br>6.840  | 0.089 | 2.7859673192E+001 | 5.1230798561E+000 | 2.4776816768E+000 |        |         |            |
| 119.198<br>0.322 | 1.104<br>8.703  | 200.399<br>5.961  | 0.092 | 4.5886321286E+001 | 8.2772019178E+000 | 2.7240314203E+000 |        |         |            |
| 124.037<br>0.354 | 1.403<br>7.633  | 200.867<br>5.251  | 0.095 | 6.8094752613E+001 | 1.1778759728E+001 | 2.8313687788E+000 |        |         |            |
| 128.876<br>0.406 | 1.690<br>6.462  | 201.323<br>4.489  | 0.095 | 8.9107904251E+001 | 1.5019605598E+001 | 2.9117621341E+000 |        |         |            |
| 129.670<br>0.418 | 1.739<br>6.255  | 201.400<br>4.356  | 0.104 | 9.2653348874E+001 | 1.5569972434E+001 | 2.9241100982E+000 |        |         |            |
| 134.509<br>0.469 | 2.081<br>5.361  | 201.910<br>3.764  | 0.110 | 1.1510525224E+002 | 1.8986743641E+001 | 2.8548615642E+000 |        |         |            |
| 139.348<br>0.507 | 2.466<br>4.639  | 202.465<br>3.309  | 0.116 | 1.3776242454E+002 | 2.2434182081E+001 | 2.6693291080E+000 |        |         |            |

|                  |                |                  |       |                   |                   |                    |
|------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 141.493<br>0.521 | 2.647<br>4.350 | 202.721<br>3.135 | 0.126 | 1.4744951608E+002 | 2.3918795510E+001 | 2.5542918086E+000  |
| 146.332<br>0.552 | 2.726<br>3.757 | 203.344<br>2.795 | 0.120 | 1.6794784116E+002 | 2.7080943912E+001 | 2.1880534947E+000  |
| 151.171<br>0.575 | 2.717<br>3.429 | 203.879<br>2.632 | 0.111 | 1.8007726454E+002 | 2.9036743125E+001 | 1.7150885061E+000  |
| 153.430<br>0.586 | 2.714<br>3.300 | 204.131<br>2.569 | 0.113 | 1.8443370501E+002 | 2.9818356207E+001 | 1.4727908544E+000  |
| 158.269<br>0.608 | 2.719<br>3.079 | 204.680<br>2.459 | 0.116 | 1.9010643311E+002 | 3.1118030930E+001 | 9.0362658125E-001  |
| 163.108<br>0.628 | 2.747<br>2.902 | 205.252<br>2.370 | 0.115 | 1.9151805475E+002 | 3.1986048105E+001 | 2.9346262182E-001  |
| 165.142<br>0.633 | 2.735<br>2.857 | 205.469<br>2.346 | 0.111 | 1.9003895609E+002 | 3.2087135844E+001 | 6.0253833323E-002  |
| 169.981<br>0.640 | 2.738<br>2.766 | 206.016<br>2.296 | 0.116 | 1.8407208373E+002 | 3.2109844580E+001 | -5.0551514379E-001 |
| 174.820<br>0.641 | 2.767<br>2.700 | 206.590<br>2.255 | 0.116 | 1.7471344371E+002 | 3.1750956547E+001 | -1.0510014405E+000 |
| 179.659<br>0.632 | 2.773<br>2.666 | 207.140<br>2.229 | 0.114 | 1.6251540146E+002 | 3.1026824608E+001 | -1.4990960410E+000 |
| 183.216<br>0.622 | 2.777<br>2.650 | 207.544<br>2.214 | 0.117 | 1.5239474492E+002 | 3.0350401358E+001 | -1.7719731865E+000 |
| 188.055<br>0.601 | 2.808<br>2.639 | 208.120<br>2.196 | 0.118 | 1.3680902150E+002 | 2.9189099537E+001 | -2.0635431291E+000 |
| 192.894<br>0.576 | 2.833<br>2.638 | 208.689<br>2.184 | 0.119 | 1.2055858008E+002 | 2.7845807568E+001 | -2.2323722388E+000 |
| 197.733<br>0.547 | 2.875<br>2.643 | 209.275<br>2.174 | 0.118 | 1.0390199494E+002 | 2.6377876079E+001 | -2.3016808389E+000 |
| 202.572<br>0.519 | 2.885<br>2.652 | 209.829<br>2.167 | 0.119 | 8.8845112960E+001 | 2.4943336704E+001 | -2.2506411199E+000 |
| 207.411<br>0.491 | 2.937<br>2.663 | 210.426<br>2.161 | 0.122 | 7.4422631313E+001 | 2.3471829733E+001 | -2.0998763745E+000 |
| 212.250<br>0.465 | 2.981<br>2.675 | 211.014<br>2.155 | 0.121 | 6.1834953228E+001 | 2.2107629599E+001 | -1.8905730416E+000 |
| 216.775<br>0.444 | 3.015<br>2.686 | 211.557<br>2.150 | 0.117 | 5.2131169677E+001 | 2.0967334345E+001 | -1.6606036879E+000 |
| 221.614<br>0.425 | 3.026<br>2.697 | 212.112<br>2.145 | 0.117 | 4.4835952597E+001 | 1.9980926046E+001 | -1.3989112649E+000 |
| 226.452<br>0.409 | 3.055<br>2.706 | 212.686<br>2.140 | 0.116 | 3.9716665811E+001 | 1.9186782960E+001 | -1.1288205311E+000 |
| 231.291<br>0.396 | 3.064<br>2.715 | 213.239<br>2.135 | 0.112 | 3.6488341864E+001 | 1.8605939175E+001 | -8.8113155140E-001 |
| 236.130<br>0.386 | 3.053<br>2.722 | 213.772<br>2.130 | 0.109 | 3.4706029608E+001 | 1.8213072727E+001 | -6.6548983811E-001 |
| 238.410<br>0.383 | 3.041<br>2.724 | 214.016<br>2.128 | 0.108 | 3.4344785921E+001 | 1.8100167645E+001 | -5.8014487218E-001 |
| 243.249<br>0.376 | 3.019<br>2.729 | 214.539<br>2.123 | 0.108 | 3.3934547135E+001 | 1.7935387610E+001 | -4.1732467227E-001 |
| 248.088<br>0.371 | 2.998<br>2.733 | 215.063<br>2.119 | 0.108 | 3.4006840452E+001 | 1.7875321606E+001 | -2.8580318885E-001 |
| 252.927<br>0.368 | 2.975<br>2.736 | 215.583<br>2.114 | 0.110 | 3.4224547462E+001 | 1.7889886841E+001 | -1.8611366867E-001 |

|                  |                |                  |       |                   |                   |                    |
|------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 255.111<br>0.366 | 2.978<br>2.737 | 215.833<br>2.112 | 0.120 | 3.4318867080E+001 | 1.7909610971E+001 | -1.4776603414E-001 |
| 259.950<br>0.363 | 3.031<br>2.739 | 216.429<br>2.108 | 0.123 | 3.4514450323E+001 | 1.7960747979E+001 | -8.4232476987E-002 |
| 264.789<br>0.359 | 3.083<br>2.741 | 217.026<br>2.104 | 0.123 | 3.4687938971E+001 | 1.7994164162E+001 | -4.0172763569E-002 |
| 269.627<br>0.357 | 3.133<br>2.742 | 217.621<br>2.102 | 0.119 | 3.4842116924E+001 | 1.7988079093E+001 | -1.0750657695E-002 |
| 274.466<br>0.354 | 3.142<br>2.744 | 218.173<br>2.101 | 0.112 | 3.4966998844E+001 | 1.7926524327E+001 | 4.4327546991E-003  |
| 279.305<br>0.351 | 3.131<br>2.746 | 218.707<br>2.101 | 0.109 | 3.5074057359E+001 | 1.7818459261E+001 | 1.2077220980E-002  |
| 284.144<br>0.349 | 3.105<br>2.748 | 219.225<br>2.103 | 0.106 | 3.5166560073E+001 | 1.7665430309E+001 | 1.5313131160E-002  |
| 287.780<br>0.347 | 3.081<br>2.751 | 219.610<br>2.106 | 0.106 | 3.5228734831E+001 | 1.7513429187E+001 | 1.6064332661E-002  |
| 288.820<br>0.347 | 3.073<br>2.752 | 219.719<br>2.107 | 0.098 | 3.5244903829E+001 | 1.7459544597E+001 | 1.6017500358E-002  |
| 293.659<br>0.345 | 2.997<br>2.756 | 220.188<br>2.114 | 0.097 | 3.5308114612E+001 | 1.7194403778E+001 | 1.4772070952E-002  |
| 298.498<br>0.344 | 2.927<br>2.762 | 220.662<br>2.123 | 0.099 | 3.5364623505E+001 | 1.6884072724E+001 | 1.2970584530E-002  |
| 303.337<br>0.343 | 2.863<br>2.769 | 221.142<br>2.135 | 0.101 | 3.5414636823E+001 | 1.6533492278E+001 | 1.0970456313E-002  |
| 308.176<br>0.341 | 2.813<br>2.777 | 221.636<br>2.149 | 0.113 | 3.5458275736E+001 | 1.6144320420E+001 | 8.9255551983E-003  |
| 313.014<br>0.340 | 2.871<br>2.789 | 222.239<br>2.169 | 0.122 | 3.5497083077E+001 | 1.5637554416E+001 | 6.5853858188E-003  |
| 317.853<br>0.338 | 2.909<br>2.801 | 222.822<br>2.189 | 0.119 | 3.5526883937E+001 | 1.5132778281E+001 | 4.4309446614E-003  |
| 321.653<br>0.337 | 2.925<br>2.810 | 223.264<br>2.204 | 0.109 | 3.5543436437E+001 | 1.4756469106E+001 | 2.8809622623E-003  |
| 326.492<br>0.335 | 2.876<br>2.821 | 223.760<br>2.221 | 0.100 | 3.5552550963E+001 | 1.4368424683E+001 | 1.2774505148E-003  |
| 331.330<br>0.333 | 2.803<br>2.831 | 224.232<br>2.237 | 0.095 | 3.5553655489E+001 | 1.4050904966E+001 | -1.4506188754E-004 |
| 336.169<br>0.331 | 2.709<br>2.840 | 224.682<br>2.252 | 0.091 | 3.5548200164E+001 | 1.3808481868E+001 | -1.4122981138E-003 |
| 341.008<br>0.330 | 2.596<br>2.849 | 225.113<br>2.265 | 0.090 | 3.5537510222E+001 | 1.3641341393E+001 | -2.5503625768E-003 |
| 341.580<br>0.329 | 2.587<br>2.850 | 225.168<br>2.267 | 0.097 | 3.5535779262E+001 | 1.3624689188E+001 | -2.6931745247E-003 |
| 341.770<br>0.329 | 2.584<br>2.850 | 225.187<br>2.267 | 0.092 | 3.5535185355E+001 | 1.3619411089E+001 | -2.7403642877E-003 |
| 346.609<br>0.328 | 2.484<br>2.859 | 225.631<br>2.280 | 0.095 | 3.5517442551E+001 | 1.3536613732E+001 | -3.8289623343E-003 |
| 351.448<br>0.326 | 2.411<br>2.868 | 226.102<br>2.294 | 0.099 | 3.5494057262E+001 | 1.3494413514E+001 | -4.9659995499E-003 |
| 355.283<br>0.326 | 2.363<br>2.875 | 226.486<br>2.306 | 0.105 | 3.5472073651E+001 | 1.3485859177E+001 | -5.8913708283E-003 |
| 360.121<br>0.325 | 2.350<br>2.885 | 227.016<br>2.322 | 0.113 | 3.5436914882E+001 | 1.3478961688E+001 | -7.1977117337E-003 |

|                  |                |                  |       |                   |                   |                    |
|------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 364.960<br>0.324 | 2.368<br>2.896 | 227.579<br>2.340 | 0.120 | 3.5395707686E+001 | 1.3454284127E+001 | -8.6165420551E-003 |
| 369.799<br>0.323 | 2.421<br>2.910 | 228.177<br>2.360 | 0.127 | 3.5347523957E+001 | 1.3391692352E+001 | -1.0165120722E-002 |
| 374.638<br>0.322 | 2.511<br>2.925 | 228.811<br>2.382 | 0.120 | 3.5291145076E+001 | 1.3271129646E+001 | -1.1860703816E-002 |
| 379.200<br>0.322 | 2.495<br>2.940 | 229.308<br>2.400 | 0.112 | 3.5239583532E+001 | 1.3114049613E+001 | -1.3265235937E-002 |
| 384.039<br>0.320 | 2.510<br>2.961 | 229.868<br>2.445 | 0.118 | 3.5173176606E+001 | 1.2895099501E+001 | -1.4932152174E-002 |
| 388.878<br>0.318 | 2.546<br>2.988 | 230.448<br>2.534 | 0.116 | 3.5095489424E+001 | 1.2632642189E+001 | -1.6773679814E-002 |
| 392.438<br>0.316 | 2.539<br>3.009 | 230.841<br>2.615 | 0.110 | 3.5037551880E+001 | 1.2438005620E+001 | -1.8091564478E-002 |
| 397.277<br>0.312 | 2.523<br>3.039 | 231.369<br>2.747 | 0.107 | 3.4953583747E+001 | 1.2179548932E+001 | -1.9963543460E-002 |
| 402.116<br>0.309 | 2.489<br>3.071 | 231.880<br>2.900 | 0.106 | 3.4864529326E+001 | 1.1943532730E+001 | -2.1925315213E-002 |
| 406.955<br>0.305 | 2.461<br>3.103 | 232.396<br>3.082 | 0.105 | 3.4764437082E+001 | 1.1736417362E+001 | -2.4136017900E-002 |
| 411.794<br>0.300 | 2.412<br>3.135 | 232.892<br>3.280 | 0.101 | 3.4659565778E+001 | 1.1566356185E+001 | -2.6466337045E-002 |
| 413.294<br>0.299 | 2.389<br>3.144 | 233.037<br>3.347 | 0.099 | 3.4627387884E+001 | 1.1521743535E+001 | -2.7185179164E-002 |
| 418.133<br>0.294 | 2.329<br>3.172 | 233.522<br>3.542 | 0.101 | 3.4511355744E+001 | 1.1402270906E+001 | -2.9800758266E-002 |
| 419.742<br>0.292 | 2.313<br>3.180 | 233.687<br>3.599 | 0.105 | 3.4468571382E+001 | 1.1370891881E+001 | -3.0770061815E-002 |
| 424.581<br>0.286 | 2.202<br>3.205 | 234.197<br>3.756 | 0.109 | 3.4331204849E+001 | 1.1286571460E+001 | -3.3888635421E-002 |
| 429.420<br>0.279 | 2.126<br>3.228 | 234.743<br>3.891 | 0.119 | 3.4168624484E+001 | 1.1215850797E+001 | -3.7565644066E-002 |
| 434.259<br>0.271 | 2.113<br>3.251 | 235.352<br>4.005 | 0.126 | 3.3970044776E+001 | 1.1140093310E+001 | -4.2024582850E-002 |
| 437.240<br>0.266 | 2.103<br>3.264 | 235.726<br>4.061 | 0.129 | 3.3841533221E+001 | 1.1093997869E+001 | -4.4901637065E-002 |
| 442.079<br>0.258 | 2.118<br>3.284 | 236.363<br>4.133 | 0.134 | 3.3607986797E+001 | 1.1013112647E+001 | -5.0136102321E-002 |
| 446.918<br>0.249 | 2.158<br>3.304 | 237.024<br>4.178 | 0.133 | 3.3346709566E+001 | 1.0921610491E+001 | -5.6009260768E-002 |
| 451.757<br>0.240 | 2.161<br>3.322 | 237.649<br>4.200 | 0.124 | 3.3075358379E+001 | 1.0829039399E+001 | -6.2129368488E-002 |
| 456.596<br>0.233 | 2.115<br>3.339 | 238.224<br>4.217 | 0.118 | 3.2798237071E+001 | 1.0753447827E+001 | -6.8415543494E-002 |
| 461.434<br>0.226 | 2.058<br>3.357 | 238.789<br>4.231 | 0.117 | 3.2499774898E+001 | 1.0704559041E+001 | -7.5210661710E-002 |
| 461.533<br>0.226 | 2.056<br>3.357 | 238.800<br>4.231 | 0.122 | 3.2493844875E+001 | 1.0703878378E+001 | -7.5346634837E-002 |
| 466.372<br>0.218 | 2.028<br>3.377 | 239.394<br>4.242 | 0.125 | 3.2139689609E+001 | 1.0680773313E+001 | -8.3348748679E-002 |
| 471.211<br>0.211 | 2.022<br>3.399 | 240.010<br>4.252 | 0.126 | 3.1737445961E+001 | 1.0660677954E+001 | -9.2183129879E-002 |

|                  |                |                  |       |                   |                   |                    |
|------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 476.050<br>0.204 | 2.008<br>3.421 | 240.617<br>4.260 | 0.127 | 3.1299038572E+001 | 1.0641916538E+001 | -1.0132661058E-001 |
| 480.889<br>0.197 | 2.009<br>3.445 | 241.241<br>4.267 | 0.135 | 3.0808402841E+001 | 1.0616734303E+001 | -1.1085939056E-001 |
| 485.728<br>0.189 | 2.066<br>3.471 | 241.919<br>4.274 | 0.148 | 3.0217172831E+001 | 1.0555020458E+001 | -1.2112175260E-001 |
| 490.567<br>0.180 | 2.199<br>3.500 | 242.675<br>4.283 | 0.157 | 2.9487467995E+001 | 1.0418924790E+001 | -1.3218827653E-001 |
| 495.405<br>0.172 | 2.345<br>3.529 | 243.442<br>4.293 | 0.148 | 2.8680535812E+001 | 1.0215393391E+001 | -1.4318533432E-001 |
| 498.764<br>0.167 | 2.355<br>3.546 | 243.884<br>4.299 | 0.128 | 2.8172801806E+001 | 1.0059859044E+001 | -1.4933899165E-001 |
| 503.603<br>0.161 | 2.344<br>3.568 | 244.495<br>4.309 | 0.122 | 2.7430451030E+001 | 9.8344191763E+000 | -1.5784087964E-001 |
| 508.442<br>0.155 | 2.291<br>3.588 | 245.063<br>4.318 | 0.115 | 2.6687787848E+001 | 9.6175739670E+000 | -1.6600857142E-001 |
| 513.281<br>0.150 | 2.213<br>3.607 | 245.608<br>4.330 | 0.110 | 2.5919123664E+001 | 9.4155924637E+000 | -1.7442972127E-001 |
| 515.420<br>0.149 | 2.161<br>3.615 | 245.831<br>4.335 | 0.105 | 2.5590660984E+001 | 9.3356015825E+000 | -1.7805186646E-001 |
| 519.621<br>0.145 | 2.066<br>3.630 | 246.275<br>4.347 | 0.106 | 2.4895962001E+001 | 9.1891837040E+000 | -1.8587865958E-001 |
| 519.630<br>0.145 | 2.066<br>3.630 | 246.276<br>4.347 | 0.104 | 2.4894583697E+001 | 9.1889260168E+000 | -1.8589445570E-001 |
| 524.469<br>0.142 | 1.949<br>3.647 | 246.781<br>4.364 | 0.104 | 2.4046927861E+001 | 9.0448686655E+000 | -1.9573917845E-001 |
| 526.178<br>0.141 | 1.906<br>3.652 | 246.957<br>4.371 | 0.109 | 2.3735169070E+001 | 9.0010598722E+000 | -1.9938039225E-001 |
| 531.017<br>0.138 | 1.824<br>3.668 | 247.498<br>4.396 | 0.114 | 2.2749087705E+001 | 8.8694156300E+000 | -2.1080747137E-001 |
| 535.856<br>0.134 | 1.762<br>3.681 | 248.058<br>4.429 | 0.120 | 2.1667676872E+001 | 8.7338552298E+000 | -2.2283718669E-001 |
| 540.695<br>0.131 | 1.741<br>3.689 | 248.658<br>4.472 | 0.131 | 2.0455221823E+001 | 8.5732701009E+000 | -2.3523895844E-001 |
| 544.387<br>0.128 | 1.786<br>3.690 | 249.178<br>4.520 | 0.146 | 1.9364433589E+001 | 8.4053799874E+000 | -2.4467719666E-001 |
| 549.226<br>0.123 | 1.888<br>3.681 | 249.902<br>4.598 | 0.148 | 1.7811489274E+001 | 8.1320263693E+000 | -2.5617327019E-001 |
| 554.065<br>0.119 | 1.975<br>3.662 | 250.611<br>4.693 | 0.143 | 1.6256542537E+001 | 7.8095676384E+000 | -2.6459335991E-001 |
| 558.904<br>0.116 | 2.024<br>3.631 | 251.282<br>4.808 | 0.135 | 1.4776015769E+001 | 7.4515141702E+000 | -2.6900187192E-001 |
| 563.743<br>0.113 | 2.036<br>3.594 | 251.915<br>4.945 | 0.132 | 1.3396850588E+001 | 7.0703510683E+000 | -2.6948410893E-001 |
| 568.581<br>0.111 | 2.062<br>3.554 | 252.563<br>5.120 | 0.139 | 1.2031774598E+001 | 6.6535731496E+000 | -2.6698032623E-001 |
| 573.420<br>0.109 | 2.133<br>3.513 | 253.256<br>5.359 | 0.145 | 1.0656632119E+001 | 6.1812075793E+000 | -2.6129302968E-001 |
| 575.663<br>0.108 | 2.178<br>3.498 | 253.589<br>5.494 | 0.149 | 1.0036672495E+001 | 5.9492015293E+000 | -2.5769047358E-001 |
| 580.502<br>0.107 | 1.945<br>3.472 | 254.314<br>5.839 | 0.157 | 8.7786956906E+000 | 5.4407161019E+000 | -2.4825297082E-001 |



|         |       |         |       |                   |                   |                    |
|---------|-------|---------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 585.341 | 1.777 | 255.105 | 0.171 | 7.5527863419E+000 | 4.8918913348E+000 | -2.3620737620E-001 |
| 0.107   | 3.468 | 6.324   |       |                   |                   |                    |
| 590.180 | 1.687 | 255.974 | 0.190 | 6.3731747863E+000 | 4.3029586699E+000 | -2.2148406515E-001 |
| 0.106   | 3.502 | 7.014   |       |                   |                   |                    |
| 595.018 | 1.694 | 256.939 | 0.203 | 5.2461818263E+000 | 3.6733732086E+000 | -2.0406702384E-001 |
| 0.106   | 3.596 | 7.926   |       |                   |                   |                    |
| 599.700 | 1.737 | 257.910 | 0.208 | 4.2380559738E+000 | 3.0646193882E+000 | -1.8709570773E-001 |
| 0.106   | 3.708 | 8.898   |       |                   |                   |                    |
| 602.875 | 1.774 | 258.576 | 0.205 | 3.5159881676E+000 | 2.6273567399E+000 | -1.7495738192E-001 |
| 0.106   | 3.779 | 9.567   |       |                   |                   |                    |
| 607.714 | 1.342 | 259.556 | 0.212 | 2.6486383622E+000 | 2.0208249835E+000 | -1.5655440975E-001 |
| 0.106   | 3.939 | 10.765  |       |                   |                   |                    |
| 612.553 | 1.001 | 260.627 | 0.236 | 1.9143582683E+000 | 1.4254962488E+000 | -1.3623516982E-001 |
| 0.106   | 4.196 | 12.393  |       |                   |                   |                    |
| 616.652 | 0.845 | 261.667 | 0.236 | 1.3625952057E+000 | 9.3003060258E-001 | -1.1688579374E-001 |
| 0.106   | 4.547 | 14.260  |       |                   |                   |                    |
| 621.491 | 0.502 | 262.736 | 0.223 | 9.3078588198E-001 | 5.2308824362E-001 | -9.8793344305E-002 |
| 0.106   | 5.098 | 16.334  |       |                   |                   |                    |
| 622.688 | 0.432 | 263.015 | 0.261 | 8.3598673753E-001 | 4.3400579533E-001 | -9.5288699161E-002 |
| 0.106   | 5.245 | 16.349  |       |                   |                   |                    |
| 627.527 | 0.318 | 264.313 | 0.248 | 4.9794330660E-001 | 1.5169973244E-001 | -1.0697350900E-001 |
| 0.106   | 7.121 | 24.061  |       |                   |                   |                    |
| 631.230 | 0.057 | 265.132 | 0.248 | 3.5760524488E-001 | 9.2096997857E-002 | -1.9919534258E-001 |
| 0.106   | 7.121 | 43.054  |       |                   |                   |                    |

#### LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio

ht(m) : Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio

yt(m) : coordinata Y linea di thrust

yt'(-) : gradiente pendenza locale linea di thrust

E(x)(kN/m) : Forza Normale interconcio

T(x)(kN/m) : Forza Tangenziale interconcio

E' (kN) : derivata Forza normale interconcio

Rho(x) (-) : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcio ZhU et al.(2003)

FS\_qFEM(x)(-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by qFEM

FS\_p-qPATH(x)(-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by p-qPATH Procedure

#### TABELLA SFORZI DI TAGLIO DISTRIBUITI LUNGO SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

| X       | dx    | dl    | alpha  | TauStress | TauF   | TauStrength | TauS    |
|---------|-------|-------|--------|-----------|--------|-------------|---------|
| (m)     | (m)   | (m)   | ( )    | (kPa)     | (kN/m) | (kPa)       | (kN/m)  |
| 91.603  | 4.839 | 4.839 | -0.310 | 0.076     | 0.369  | 20.259      | 98.030  |
| 96.442  | 0.698 | 0.698 | -0.310 | 0.164     | 0.114  | 23.943      | 16.722  |
| 97.140  | 4.839 | 4.839 | -0.310 | 0.193     | 0.936  | 25.234      | 122.106 |
| 101.979 | 4.839 | 4.839 | -0.310 | 0.231     | 1.118  | 26.928      | 130.301 |
| 106.818 | 4.839 | 4.839 | -0.310 | 0.269     | 1.300  | 28.540      | 138.105 |
| 111.657 | 0.236 | 0.236 | -0.310 | 0.288     | 0.068  | 29.434      | 6.956   |
| 111.893 | 0.367 | 0.367 | 2.000  | 1.531     | 0.562  | 29.386      | 10.792  |
| 112.260 | 2.099 | 2.101 | 2.000  | 1.816     | 3.815  | 31.680      | 66.547  |
| 114.359 | 4.839 | 4.842 | 2.000  | 2.790     | 13.508 | 36.689      | 177.644 |
| 119.198 | 4.839 | 4.842 | 2.000  | 4.167     | 20.176 | 45.071      | 218.225 |
| 124.037 | 4.839 | 4.842 | 2.000  | 5.544     | 26.844 | 53.194      | 257.555 |

|         |       |       |       |        |         |        |         |
|---------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|---------|
| 128.876 | 0.794 | 0.795 | 2.000 | 6.346  | 5.042   | 56.980 | 45.271  |
| 129.670 | 4.839 | 4.842 | 2.000 | 6.857  | 33.198  | 60.629 | 293.556 |
| 134.509 | 4.839 | 4.842 | 2.000 | 7.652  | 37.051  | 64.250 | 311.089 |
| 139.348 | 2.145 | 2.147 | 2.000 | 8.227  | 17.660  | 66.069 | 141.826 |
| 141.493 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 21.754 | 105.928 | 66.790 | 325.228 |
| 146.332 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 22.722 | 110.645 | 67.224 | 327.343 |
| 151.171 | 2.259 | 2.273 | 6.418 | 23.433 | 53.271  | 67.817 | 154.170 |
| 153.430 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 23.694 | 115.376 | 67.975 | 330.999 |
| 158.269 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 23.764 | 115.716 | 67.048 | 326.483 |
| 163.108 | 2.034 | 2.047 | 6.418 | 23.814 | 48.752  | 66.290 | 135.714 |
| 165.142 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 23.863 | 116.200 | 66.227 | 322.486 |
| 169.981 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 23.933 | 116.540 | 66.000 | 321.381 |
| 174.820 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.003 | 116.880 | 65.897 | 320.880 |
| 179.659 | 3.557 | 3.580 | 6.418 | 24.064 | 86.140  | 65.910 | 235.936 |
| 183.216 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.124 | 117.471 | 65.996 | 321.362 |
| 188.055 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.194 | 117.811 | 66.087 | 321.804 |
| 192.894 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.264 | 118.152 | 66.193 | 322.320 |
| 197.733 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.334 | 118.492 | 66.301 | 322.847 |
| 202.572 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.404 | 118.833 | 66.418 | 323.415 |
| 207.411 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.474 | 119.173 | 66.528 | 323.952 |
| 212.250 | 4.525 | 4.554 | 6.418 | 24.541 | 111.754 | 66.631 | 303.416 |
| 216.775 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.609 | 119.832 | 66.739 | 324.981 |
| 221.614 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.679 | 120.172 | 66.847 | 325.503 |
| 226.452 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.749 | 120.513 | 66.940 | 325.959 |
| 231.291 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.819 | 120.853 | 67.029 | 326.391 |
| 236.130 | 2.280 | 2.294 | 6.418 | 24.870 | 57.057  | 67.053 | 153.832 |
| 238.410 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.960 | 121.541 | 67.265 | 327.543 |
| 243.249 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 25.107 | 122.257 | 67.570 | 329.025 |
| 248.088 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 25.254 | 122.972 | 67.863 | 330.453 |
| 252.927 | 2.184 | 2.198 | 6.418 | 25.361 | 55.738  | 68.022 | 149.499 |
| 255.111 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 25.467 | 124.010 | 68.268 | 332.426 |
| 259.950 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 25.614 | 124.726 | 68.519 | 333.649 |
| 264.789 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 25.761 | 125.441 | 68.785 | 334.945 |
| 269.627 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 25.908 | 126.157 | 69.082 | 336.390 |
| 274.466 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 26.055 | 126.872 | 69.439 | 338.126 |
| 279.305 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 26.202 | 127.588 | 69.858 | 340.168 |
| 284.144 | 3.636 | 3.658 | 6.418 | 26.331 | 96.330  | 70.295 | 257.173 |
| 287.780 | 1.040 | 1.047 | 6.418 | 26.402 | 27.641  | 70.607 | 73.921  |
| 288.820 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 26.146 | 127.316 | 69.853 | 340.144 |
| 293.659 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 25.603 | 124.673 | 68.424 | 333.184 |
| 298.498 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 25.061 | 122.031 | 67.086 | 326.670 |
| 303.337 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 24.518 | 119.388 | 65.834 | 320.571 |
| 308.176 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 23.975 | 116.746 | 64.663 | 314.870 |
| 313.014 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 23.433 | 114.104 | 63.636 | 309.871 |
| 317.853 | 3.799 | 3.823 | 6.418 | 22.948 | 87.738  | 62.764 | 239.965 |
| 321.653 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 22.464 | 109.387 | 61.721 | 300.547 |
| 326.492 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 21.921 | 106.744 | 60.510 | 294.647 |

|         |       |       |       |        |         |        |         |
|---------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|---------|
| 331.330 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 21.379 | 104.102 | 59.231 | 288.421 |
| 336.169 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 20.836 | 101.460 | 57.883 | 281.856 |
| 341.008 | 0.572 | 0.575 | 6.418 | 20.533 | 11.814  | 57.207 | 32.915  |
| 341.580 | 0.190 | 0.191 | 6.418 | 21.403 | 4.092   | 59.952 | 11.463  |
| 341.770 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 22.203 | 108.116 | 62.460 | 304.145 |
| 346.609 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 22.000 | 107.126 | 62.056 | 302.178 |
| 351.448 | 3.835 | 3.859 | 6.418 | 21.818 | 84.193  | 61.735 | 238.231 |
| 355.283 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 21.635 | 105.352 | 61.369 | 298.830 |
| 360.121 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 21.432 | 104.362 | 61.020 | 297.131 |
| 364.960 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 21.229 | 103.373 | 60.696 | 295.554 |
| 369.799 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 21.026 | 102.383 | 60.404 | 294.131 |
| 374.638 | 4.562 | 4.591 | 6.418 | 20.828 | 95.616  | 60.171 | 276.225 |
| 379.200 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 20.631 | 100.461 | 59.873 | 291.545 |
| 384.039 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 20.428 | 99.471  | 59.582 | 290.128 |
| 388.878 | 3.560 | 3.583 | 6.418 | 20.251 | 72.553  | 59.375 | 212.720 |
| 392.438 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 20.075 | 97.753  | 59.055 | 287.563 |
| 397.277 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 19.872 | 96.764  | 58.732 | 285.992 |
| 402.116 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 19.668 | 95.774  | 58.406 | 284.402 |
| 406.955 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 19.465 | 94.784  | 58.095 | 282.889 |
| 411.794 | 1.501 | 1.510 | 6.418 | 19.332 | 29.199  | 57.996 | 87.597  |
| 413.294 | 4.839 | 4.869 | 6.418 | 19.199 | 93.488  | 74.202 | 361.318 |
| 418.133 | 1.609 | 1.619 | 6.418 | 19.064 | 30.869  | 74.112 | 120.006 |
| 419.742 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 21.108 | 102.982 | 73.364 | 357.920 |
| 424.581 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 20.638 | 100.688 | 72.541 | 353.903 |
| 429.420 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 20.168 | 98.394  | 71.709 | 349.843 |
| 434.259 | 2.981 | 3.005 | 7.323 | 19.788 | 59.471  | 71.075 | 213.607 |
| 437.240 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.639 | 95.812  | 70.862 | 345.715 |
| 442.079 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.630 | 95.768  | 71.034 | 346.554 |
| 446.918 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.621 | 95.723  | 71.175 | 347.242 |
| 451.757 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.612 | 95.679  | 71.262 | 347.663 |
| 456.596 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.603 | 95.635  | 71.300 | 347.849 |
| 461.434 | 0.099 | 0.100 | 7.323 | 19.598 | 1.952   | 71.326 | 7.104   |
| 461.533 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.593 | 95.590  | 71.315 | 347.925 |
| 466.372 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.584 | 95.546  | 71.317 | 347.935 |
| 471.211 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.575 | 95.501  | 71.313 | 347.915 |
| 476.050 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.566 | 95.457  | 71.306 | 347.877 |
| 480.889 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.557 | 95.413  | 71.298 | 347.839 |
| 485.728 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.548 | 95.369  | 71.293 | 347.816 |
| 490.567 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.539 | 95.324  | 71.296 | 347.830 |
| 495.405 | 3.359 | 3.386 | 7.323 | 19.531 | 66.136  | 71.311 | 241.471 |
| 498.764 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.524 | 95.249  | 71.317 | 347.934 |
| 503.603 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.514 | 95.205  | 71.338 | 348.034 |
| 508.442 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.505 | 95.161  | 71.366 | 348.173 |
| 513.281 | 2.139 | 2.157 | 7.323 | 19.499 | 42.056  | 71.413 | 154.027 |
| 515.420 | 4.201 | 4.235 | 7.323 | 19.432 | 82.300  | 71.287 | 301.919 |
| 519.621 | 0.009 | 0.009 | 7.323 | 19.367 | 0.181   | 71.205 | 0.666   |
| 519.630 | 4.839 | 4.879 | 7.323 | 19.293 | 94.123  | 71.031 | 346.539 |

|         |       |       |        |        |         |        |         |
|---------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|---------|
| 524.469 | 1.709 | 1.723 | 7.323  | 19.192 | 33.074  | 70.891 | 122.170 |
| 526.178 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 19.091 | 93.139  | 70.694 | 344.891 |
| 531.017 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 18.942 | 92.412  | 70.467 | 343.788 |
| 535.856 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 18.793 | 91.685  | 70.260 | 342.778 |
| 540.695 | 3.692 | 3.722 | 7.323  | 18.662 | 69.467  | 70.119 | 261.018 |
| 544.387 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 18.530 | 90.403  | 69.975 | 341.387 |
| 549.226 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 18.381 | 89.676  | 69.882 | 340.932 |
| 554.065 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 18.232 | 88.948  | 69.838 | 340.718 |
| 558.904 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 18.083 | 88.221  | 69.855 | 340.802 |
| 563.743 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 17.934 | 87.494  | 69.949 | 341.259 |
| 568.581 | 4.839 | 4.879 | 7.323  | 17.785 | 86.767  | 70.154 | 342.261 |
| 573.420 | 2.243 | 2.261 | 7.323  | 17.676 | 39.964  | 70.613 | 159.654 |
| 575.663 | 4.839 | 4.933 | 11.205 | 24.762 | 122.148 | 68.632 | 338.557 |
| 580.502 | 4.839 | 4.933 | 11.205 | 23.016 | 113.538 | 66.812 | 329.577 |
| 585.341 | 4.839 | 4.933 | 11.205 | 21.271 | 104.928 | 65.133 | 321.297 |
| 590.180 | 4.839 | 4.933 | 11.205 | 19.525 | 96.318  | 63.567 | 313.569 |
| 595.018 | 4.682 | 4.773 | 11.205 | 17.808 | 84.992  | 62.120 | 296.472 |
| 599.700 | 3.175 | 3.237 | 11.205 | 16.736 | 54.169  | 61.651 | 199.546 |
| 602.875 | 4.839 | 5.041 | 16.266 | 20.868 | 105.187 | 59.013 | 297.464 |
| 607.714 | 4.839 | 5.041 | 16.266 | 17.070 | 86.044  | 56.066 | 282.610 |
| 612.553 | 4.099 | 4.270 | 16.266 | 13.563 | 57.917  | 53.380 | 227.951 |
| 616.652 | 4.839 | 5.041 | 16.266 | 10.141 | 51.120  | 51.066 | 257.409 |
| 621.491 | 1.197 | 1.247 | 16.266 | 7.881  | 9.826   | 48.604 | 60.604  |
| 622.688 | 4.839 | 5.041 | 16.266 | 5.620  | 28.328  | 24.292 | 122.446 |
| 627.527 | 3.703 | 3.857 | 16.266 | 2.420  | 9.336   | 20.136 | 77.673  |
| 631.230 | 1.379 | 1.437 | 16.266 | 0.517  | 0.742   | 17.700 | 25.431  |

#### ----- LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
dx(m) : Larghezza concio  
dl(m) : lunghezza base concio  
alpha( ) : Angolo pendenza base concio  
TauStress(kPa) : Sforzo di taglio su base concio  
TauF (kN/m) : Forza di taglio su base concio  
TauStrength(kPa) : Resistenza al taglio su base concio  
TauS (kN/m) : Forza resistente al taglio su base concio

-----

| SEZIONE DI VERIFICA | CONDIZIONE              |
|---------------------|-------------------------|
| SEZIONE B-B'        | STATICA – PSEUDOSTATICA |

File report: C:\Users\ennio\_palma\OneDrive - Regione Marche\Lavori\Fratte Rosa\10 stabilita\BB

Modello pendio: BB\_Pseudostatica1.mod

----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

\_\_\_ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X,Y (in m) \_\_\_

| SUP T.    |        | SUP 2  |        | SUP 3  |        | SUP 4  |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| X         | Y      | X      | Y      | X      | Y      | X      | Y      |
| 0.00      | 180.00 | 99.75  | 197.17 | 7.68   | 179.95 | 0.00   | 169.09 |
| 4.38      | 178.18 | 220.93 | 205.79 | 220.93 | 203.79 | 220.93 | 193.79 |
| 7.68      | 179.95 | 336.85 | 216.37 | 336.85 | 214.37 | 336.85 | 204.37 |
| 11.06     | 188.49 | 419.13 | 225.05 | 419.13 | 223.05 | 419.13 | 213.05 |
| 81.03     | 189.95 | 473.00 | 232.08 | 473.00 | 230.08 | 473.00 | 220.08 |
| 99.75     | 197.17 | 526.67 | 240.67 | 526.67 | 238.67 | 526.67 | 228.67 |
| 104.79    | 197.18 | 537.24 | 243.38 | 537.24 | 241.38 | 537.24 | 231.38 |
| 128.20    | 199.95 | 585.76 | 258.95 | 585.76 | 256.95 | 585.76 | 246.95 |
| 196.87    | 209.95 | 631.70 | 268.95 | 631.70 | 266.95 | 631.70 | 256.95 |
| 399.01    | 229.95 | 692.41 | 278.95 | 692.41 | 276.95 | 692.41 | 266.95 |
| 500.51    | 239.95 | 737.29 | 287.87 | 737.29 | 285.87 | 737.29 | 275.87 |
| 508.02    | 243.25 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| 537.24    | 245.71 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| 585.76    | 259.95 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| 631.70    | 269.95 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| 632.65    | 271.54 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| 737.29    | 288.87 | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| SUP FALDA |        |        |        |        |        |        |        |
| X         | Y      |        |        |        |        |        |        |
| 0.00      | 180.00 |        |        |        |        |        |        |
| 4.38      | 178.18 |        |        |        |        |        |        |
| 7.68      | 179.95 |        |        |        |        |        |        |
| 11.06     | 188.49 |        |        |        |        |        |        |
| 81.03     | 189.95 |        |        |        |        |        |        |
| 90.30     | 191.27 |        |        |        |        |        |        |
| 104.79    | 195.68 |        |        |        |        |        |        |
| 128.46    | 197.97 |        |        |        |        |        |        |
| 197.09    | 207.96 |        |        |        |        |        |        |
| 399.12    | 227.95 |        |        |        |        |        |        |
| 501.03    | 238.00 |        |        |        |        |        |        |
| 537.56    | 243.73 |        |        |        |        |        |        |
| 586.28    | 258.02 |        |        |        |        |        |        |
| 633.88    | 269.69 |        |        |        |        |        |        |
| 737.29    | 286.84 |        |        |        |        |        |        |

----- GESTIONE ACQUIFERI -----

Strati esclusi da acquifero e effetto pressione dei pori:

STRATO 3

STRATO 4

Esclusione sovraccarico pendio sommerso: NON ATTIVATA

EFFETTO TENSION CRACK IN TESTA RIEMPITO DI ACQUA: ----> DISATTIVATO

In caso di superfici con tension crack in testa, la frattura di tensione

puo' venir viene considerata completamente riempita di acqua per la sua intera profondita'.

Viene quindi considerato una forza in testa, prodotta dalla pressione idrostatica.

La forza applicata ha un effetto destabilizzante aggiuntivo alle altre forze destabilizzanti agenti.

Peso unitario fluido (kN/m^3): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A 0

Coefficiente K 0.000800

Pressione minima fluidi Uo\_Min (kPa) 0.01

Coefficiente di soprapressione oltre pressione idrostatica 1.00

Limitazione dissipazione a Pressione Idrostatica = ATTIVA

STABILITE CONDIZIONI PER LA VERIFICA CON SOVRAPPRESSIONE ACQUIFERI CON DISSIPAZIONE IN DIREZIONE DELLA SUPERFICIE

CALCOLO EFFETTO DI FILTRAZIONE NON ATTIVATO

----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----

|          | fi`   | C`     | Cu   | Gamm  | Gamm_sat | STR_IDX | sgci | GSI  | mi   | D    |
|----------|-------|--------|------|-------|----------|---------|------|------|------|------|
| STRATO 1 | 21.00 | 17.00  | 0.00 | 21.00 | 22.00    | 1.751   | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| STRATO 2 | 18.00 | 40.00  | 0.00 | 21.00 | 21.00    | 3.198   | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| STRATO 3 | 18.50 | 100.00 | 0.00 | 22.00 | 23.00    | 19.996  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| STRATO 4 | 20.00 | 200.00 | 0.00 | 22.00 | 23.00    | 403.443 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

LEGENDA: fi` \_\_\_\_\_ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)

C` \_\_\_\_\_ Coesione efficace (in Kpa)

Cu \_\_\_\_\_ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)

Gamm \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m^3)

Gamm\_sat \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno immerso (in KN/m^3)

STR\_IDX \_\_\_\_\_ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH) (adimensionale)

---- SOLO Per AMMASSI ROCCIOSI FRATTURATI - Parametri Criterio di Rottura di Hoek et al.(2002)-

sigci \_\_\_\_\_ Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa)

GSI \_\_\_\_\_ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)

mi \_\_\_\_\_ Indice litologico ammasso(adimensionale)

D \_\_\_\_\_ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)

NOTA BENE:

FATTORI DI RIDUZIONE NTC2018/EC-7: gammaPHI=1.25, gammaC=1.25 e gammaCu=1.4 - DISATTIVATI

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : JANBU RIGOROSO (Janbu, 1973)

METODO DI ESPLORAZIONE CAMPO VALORI (lambda0,Fs0) ADOTTATO : A (rapido)

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0148

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.0074

COEFFICIENTE c=Kv/Kh UTILIZZATO : 0.5000

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

---- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA -----



METODO DI CALCOLO.....Fs.... lambda....MLD.....Kc.....Esito....Note..  
 JANBU\_RIGOROSO(1973)..... 3,4558 1,0000 0,0101 0,2838 Verificata  
 SPENCER(1973)..... 3,5258 0,1228 0,0146 0,2913 Verificata  
 SARMA\_I(1973)..... 3,5266 0,7211 0,0146 0,2913 Verificata  
 MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 3,5253 0,1379 0,0147 0,2913 Verificata  
 CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 3,5261 0,0403 0,0146 0,2913 Verificata  
 SARMA\_II(1979)..... 3,5255 0,8293 0,0145 0,2913 Verificata  
 BORSELLI(2016)..... 3,5254 0,1242 0,0147 0,2913 Verificata

NOTE di Calcolo:-----

[0]--> Fs<1.0 oppure non convergenza calcolo

[1]--> Fs>50

[2]--> Kc=0.0 per FS<1.0

[3]--> Kc=0.0 per Fs>50

[4]--> Calcolo Kc senza convergenza

[5]--> Calcolo Kc non attivato

MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)

Kc: Coefficiente simico orizzontale critico, per avere Fs=1.0. (Sarma,1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCENDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) - METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO

.....||----- S(cm) per Amax(g) ATTESA IN SITO-||

METODO DI CALCOLO.....Kc.....Sr...0.1g...0.2g...0.4g....0.6g...0.8g...1.0g  
 JANBU\_RIGOROSO(1973)..... 0,2838 1,029 0,001 0,001 0,131 0,799 1,698 2,682  
 SPENCER(1973)..... 0,2913 1,029 0,001 0,001 0,109 0,736 1,600 2,553  
 SARMA\_I(1973)..... 0,2913 1,029 0,001 0,001 0,109 0,736 1,600 2,553  
 MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 0,2913 1,029 0,001 0,001 0,109 0,736 1,600 2,553  
 CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 0,2913 1,029 0,001 0,001 0,109 0,736 1,600 2,553  
 SARMA\_II(1979)..... 0,2913 1,029 0,001 0,001 0,109 0,736 1,600 2,553  
 BORSELLI(2016)..... 0,2913 1,029 0,001 0,001 0,109 0,736 1,600 2,553

# DATI RELATIVI ALLA SUPERFICIE SINGOLA INDICATA - METODO DI CALCOLO : JANBU RIGOROSO  
 (Janbu, 1973)

| X(m)    | Y(m)    | #Superficie N.1 - #FS_minimo | #Fattore di sicurezza(FS)= 3.4558 | #Lambda= 1.0000 |
|---------|---------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 167.380 | 205.656 |                              |                                   |                 |
| 198.408 | 204.327 |                              |                                   |                 |
| 228.792 | 206.985 |                              |                                   |                 |
| 243.858 | 208.303 |                              |                                   |                 |
| 262.528 | 209.937 |                              |                                   |                 |
| 283.142 | 211.740 |                              |                                   |                 |
| 311.463 | 214.218 |                              |                                   |                 |
| 334.105 | 216.570 |                              |                                   |                 |
| 356.566 | 218.904 |                              |                                   |                 |
| 375.961 | 220.919 |                              |                                   |                 |
| 386.863 | 222.052 |                              |                                   |                 |
| 402.622 | 223.689 |                              |                                   |                 |
| 422.167 | 226.917 |                              |                                   |                 |
| 440.300 | 229.911 |                              |                                   |                 |
| 451.650 | 231.785 |                              |                                   |                 |
| 459.183 | 233.873 |                              |                                   |                 |
| 459.183 | 235.878 |                              |                                   |                 |

Coefficiente Sismico Critico (Kh) per ottenere FS=1.0 ---> Khcrit=0.28375

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----

# DATI RELATIVI ALLA SUPERFICIE SINGOLA INDICATA \*

# Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.200

|        |       |           |           |                |         |
|--------|-------|-----------|-----------|----------------|---------|
| Sup N. | FS    | FTR(kN/m) | FTA(kN/m) | Bilancio(kN/m) | ESITO   |
| 1      | 3.456 | 14644.3   | 4237.7    | 9559.1         | Surplus |

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 9559.1

Note: FTR --> Forza totale Resistente lungo la superficie di scivolamento

FTA --> Forza totale Agente lungo la superficie di scivolamento

IMPORTANTE! : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN  
per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata,  
ovvero in kN/m

-----  
TABELLA PARAMETRI CONCI DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

| X       | dx    | alpha | W      | ru   | U     | phi'  | (c',Cu) |
|---------|-------|-------|--------|------|-------|-------|---------|
| (m)     | (m)   | ( )   | (kN/m) | (-)  | (kPa) | ( )   | (kPa)   |
| 167.380 | 2.721 | -2.45 | 14.75  | 0.00 | 0.00  | 21.00 | 17.00   |
| 170.101 | 2.721 | -2.45 | 44.26  | 0.00 | 0.00  | 21.00 | 17.00   |
| 172.822 | 2.721 | -2.45 | 73.77  | 0.00 | 0.00  | 21.00 | 17.00   |
| 175.542 | 2.562 | -2.45 | 96.46  | 0.00 | 0.00  | 21.00 | 17.00   |
| 178.104 | 2.721 | -2.45 | 131.77 | 0.07 | 4.51  | 21.00 | 17.00   |
| 180.825 | 2.721 | -2.45 | 162.69 | 0.12 | 8.29  | 21.00 | 17.00   |
| 183.546 | 2.721 | -2.45 | 193.60 | 0.16 | 13.38 | 21.00 | 17.00   |
| 186.266 | 2.721 | -2.45 | 224.51 | 0.19 | 18.01 | 21.00 | 17.00   |
| 188.987 | 2.721 | -2.45 | 255.43 | 0.22 | 21.89 | 21.00 | 17.00   |
| 191.708 | 2.721 | -2.45 | 286.34 | 0.25 | 25.47 | 21.00 | 17.00   |
| 194.429 | 2.441 | -2.45 | 283.27 | 0.27 | 28.62 | 21.00 | 17.00   |
| 196.870 | 0.220 | -2.45 | 26.72  | 0.28 | 30.95 | 21.00 | 17.00   |
| 197.090 | 1.318 | -2.45 | 163.33 | 0.28 | 31.13 | 21.00 | 17.00   |
| 198.408 | 2.721 | 5.00  | 343.66 | 0.28 | 32.13 | 21.00 | 17.00   |
| 201.129 | 2.721 | 5.00  | 345.53 | 0.29 | 33.92 | 21.00 | 17.00   |
| 203.850 | 2.721 | 5.00  | 347.41 | 0.29 | 35.40 | 21.00 | 17.00   |
| 206.570 | 2.721 | 5.00  | 349.29 | 0.30 | 36.58 | 21.00 | 17.00   |
| 209.291 | 2.721 | 5.00  | 351.17 | 0.30 | 37.48 | 21.00 | 17.00   |
| 212.012 | 2.721 | 5.00  | 353.05 | 0.30 | 38.19 | 21.00 | 17.00   |
| 214.732 | 2.721 | 5.00  | 354.93 | 0.30 | 38.77 | 21.00 | 17.00   |
| 217.453 | 2.721 | 5.00  | 356.81 | 0.30 | 39.17 | 21.00 | 17.00   |
| 220.174 | 0.756 | 5.00  | 99.50  | 0.30 | 39.48 | 21.00 | 17.00   |
| 220.930 | 2.721 | 5.00  | 359.21 | 0.30 | 39.56 | 21.00 | 17.00   |
| 223.651 | 2.721 | 5.00  | 361.09 | 0.30 | 39.86 | 21.00 | 17.00   |
| 226.371 | 2.421 | 5.00  | 322.88 | 0.30 | 40.16 | 21.00 | 17.00   |
| 228.792 | 2.721 | 5.00  | 364.64 | 0.30 | 40.44 | 21.00 | 17.00   |
| 231.513 | 2.721 | 5.00  | 366.52 | 0.30 | 40.75 | 21.00 | 17.00   |
| 234.234 | 2.721 | 5.00  | 368.40 | 0.31 | 41.07 | 21.00 | 17.00   |
| 236.954 | 2.721 | 5.00  | 370.27 | 0.31 | 41.39 | 21.00 | 17.00   |
| 239.675 | 2.721 | 5.00  | 372.15 | 0.31 | 41.71 | 21.00 | 17.00   |
| 242.396 | 1.462 | 5.00  | 200.78 | 0.31 | 42.00 | 21.00 | 17.00   |

|         |       |      |        |      |       |       |       |
|---------|-------|------|--------|------|-------|-------|-------|
| 243.858 | 2.721 | 5.00 | 375.04 | 0.31 | 42.15 | 21.00 | 17.00 |
| 246.579 | 2.721 | 5.00 | 376.92 | 0.31 | 42.45 | 21.00 | 17.00 |
| 249.299 | 2.721 | 5.00 | 378.80 | 0.31 | 42.75 | 21.00 | 17.00 |
| 252.020 | 2.721 | 5.00 | 380.68 | 0.31 | 43.06 | 21.00 | 17.00 |
| 254.741 | 2.721 | 5.00 | 382.56 | 0.31 | 43.37 | 21.00 | 17.00 |
| 257.461 | 2.721 | 5.00 | 384.44 | 0.31 | 43.68 | 21.00 | 17.00 |
| 260.182 | 2.346 | 5.00 | 332.96 | 0.31 | 44.00 | 21.00 | 17.00 |
| 262.528 | 2.721 | 5.00 | 387.94 | 0.31 | 44.27 | 21.00 | 17.00 |
| 265.248 | 2.721 | 5.00 | 389.81 | 0.31 | 44.58 | 21.00 | 17.00 |
| 267.969 | 2.721 | 5.00 | 391.69 | 0.31 | 44.90 | 21.00 | 17.00 |
| 270.690 | 2.721 | 5.00 | 393.57 | 0.31 | 45.21 | 21.00 | 17.00 |
| 273.411 | 2.721 | 5.00 | 395.45 | 0.32 | 45.52 | 21.00 | 17.00 |
| 276.131 | 2.721 | 5.00 | 397.33 | 0.32 | 45.82 | 21.00 | 17.00 |
| 278.852 | 2.721 | 5.00 | 399.21 | 0.32 | 46.12 | 21.00 | 17.00 |
| 281.573 | 1.570 | 5.00 | 231.16 | 0.32 | 46.41 | 21.00 | 17.00 |
| 283.142 | 2.721 | 5.00 | 402.17 | 0.32 | 46.58 | 21.00 | 17.00 |
| 285.863 | 2.721 | 5.00 | 404.05 | 0.32 | 46.87 | 21.00 | 17.00 |
| 288.584 | 2.721 | 5.00 | 405.93 | 0.32 | 47.17 | 21.00 | 17.00 |
| 291.304 | 2.721 | 5.00 | 407.81 | 0.32 | 47.47 | 21.00 | 17.00 |
| 294.025 | 2.721 | 5.00 | 409.69 | 0.32 | 47.78 | 21.00 | 17.00 |
| 296.746 | 2.721 | 5.00 | 411.57 | 0.32 | 48.10 | 21.00 | 17.00 |
| 299.466 | 2.721 | 5.00 | 413.44 | 0.32 | 48.39 | 21.00 | 17.00 |
| 302.187 | 2.721 | 5.00 | 415.32 | 0.32 | 48.65 | 21.00 | 17.00 |
| 304.908 | 2.721 | 5.00 | 417.20 | 0.32 | 48.85 | 21.00 | 17.00 |
| 307.628 | 2.721 | 5.00 | 419.08 | 0.32 | 49.01 | 21.00 | 17.00 |
| 310.349 | 1.114 | 5.00 | 172.07 | 0.32 | 49.12 | 21.00 | 17.00 |
| 311.463 | 2.721 | 5.93 | 420.38 | 0.32 | 49.14 | 21.00 | 17.00 |
| 314.183 | 2.721 | 5.93 | 419.57 | 0.32 | 49.17 | 21.00 | 17.00 |
| 316.904 | 2.721 | 5.93 | 418.76 | 0.32 | 49.14 | 21.00 | 17.00 |
| 319.625 | 2.721 | 5.93 | 417.95 | 0.32 | 49.07 | 21.00 | 17.00 |
| 322.345 | 2.721 | 5.93 | 417.13 | 0.32 | 48.97 | 21.00 | 17.00 |
| 325.066 | 2.721 | 5.93 | 416.32 | 0.32 | 48.85 | 21.00 | 17.00 |
| 327.787 | 2.721 | 5.93 | 415.51 | 0.32 | 48.72 | 21.00 | 17.00 |
| 330.507 | 2.721 | 5.93 | 414.70 | 0.32 | 48.60 | 21.00 | 17.00 |
| 333.228 | 0.877 | 5.93 | 133.54 | 0.32 | 48.49 | 21.00 | 17.00 |
| 334.105 | 2.721 | 5.93 | 413.62 | 0.32 | 48.46 | 21.00 | 17.00 |
| 336.826 | 0.024 | 5.93 | 3.64   | 0.32 | 48.35 | 21.00 | 17.00 |
| 336.850 | 2.721 | 5.93 | 412.80 | 0.32 | 48.35 | 21.00 | 17.00 |
| 339.571 | 2.721 | 5.93 | 411.99 | 0.32 | 48.23 | 21.00 | 17.00 |
| 342.291 | 2.721 | 5.93 | 411.18 | 0.32 | 48.10 | 21.00 | 17.00 |
| 345.012 | 2.721 | 5.93 | 410.36 | 0.32 | 47.97 | 21.00 | 17.00 |
| 347.733 | 2.721 | 5.93 | 409.55 | 0.32 | 47.83 | 21.00 | 17.00 |
| 350.453 | 2.721 | 5.93 | 408.74 | 0.32 | 47.68 | 21.00 | 17.00 |
| 353.174 | 2.721 | 5.93 | 407.93 | 0.32 | 47.54 | 21.00 | 17.00 |
| 355.895 | 0.671 | 5.93 | 100.48 | 0.32 | 47.41 | 21.00 | 17.00 |
| 356.566 | 2.721 | 5.93 | 406.91 | 0.32 | 47.38 | 21.00 | 17.00 |
| 359.286 | 2.721 | 5.93 | 406.10 | 0.32 | 47.25 | 21.00 | 17.00 |

|         |       |       |        |      |       |       |       |
|---------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|
| 362.007 | 2.721 | 5.93  | 405.29 | 0.32 | 47.11 | 21.00 | 17.00 |
| 364.728 | 2.721 | 5.93  | 404.48 | 0.32 | 46.98 | 21.00 | 17.00 |
| 367.449 | 2.721 | 5.93  | 403.66 | 0.32 | 46.84 | 21.00 | 17.00 |
| 370.169 | 2.721 | 5.93  | 402.85 | 0.32 | 46.70 | 21.00 | 17.00 |
| 372.890 | 2.721 | 5.93  | 402.04 | 0.32 | 46.55 | 21.00 | 17.00 |
| 375.611 | 0.351 | 5.93  | 51.75  | 0.32 | 46.42 | 21.00 | 17.00 |
| 375.961 | 2.721 | 5.93  | 401.12 | 0.32 | 46.41 | 21.00 | 17.00 |
| 378.682 | 2.721 | 5.93  | 400.31 | 0.32 | 46.28 | 21.00 | 17.00 |
| 381.403 | 2.721 | 5.93  | 399.50 | 0.32 | 46.15 | 21.00 | 17.00 |
| 384.123 | 2.721 | 5.93  | 398.68 | 0.32 | 45.99 | 21.00 | 17.00 |
| 386.844 | 0.019 | 5.93  | 2.76   | 0.32 | 45.81 | 21.00 | 17.00 |
| 386.863 | 2.721 | 5.93  | 397.86 | 0.32 | 45.81 | 21.00 | 17.00 |
| 389.584 | 2.721 | 5.93  | 397.05 | 0.32 | 45.59 | 21.00 | 17.00 |
| 392.304 | 2.721 | 5.93  | 396.24 | 0.32 | 45.30 | 21.00 | 17.00 |
| 395.025 | 2.721 | 5.93  | 395.43 | 0.31 | 44.92 | 21.00 | 17.00 |
| 397.746 | 1.264 | 5.93  | 183.49 | 0.31 | 44.46 | 21.00 | 17.00 |
| 399.010 | 0.110 | 5.93  | 15.96  | 0.31 | 44.18 | 21.00 | 17.00 |
| 399.120 | 2.721 | 5.93  | 394.17 | 0.31 | 44.16 | 21.00 | 17.00 |
| 401.841 | 0.781 | 5.93  | 112.98 | 0.31 | 43.36 | 21.00 | 17.00 |
| 402.622 | 2.721 | 9.38  | 388.01 | 0.31 | 43.07 | 21.00 | 17.00 |
| 405.342 | 2.721 | 9.38  | 377.08 | 0.31 | 41.78 | 21.00 | 17.00 |
| 408.063 | 2.721 | 9.38  | 366.16 | 0.30 | 40.31 | 21.00 | 17.00 |
| 410.784 | 2.721 | 9.38  | 355.23 | 0.30 | 38.71 | 21.00 | 17.00 |
| 413.504 | 2.721 | 9.38  | 344.30 | 0.29 | 37.01 | 21.00 | 17.00 |
| 416.225 | 2.721 | 9.38  | 333.37 | 0.29 | 35.21 | 21.00 | 17.00 |
| 418.946 | 0.184 | 9.38  | 22.17  | 0.29 | 33.58 | 21.00 | 17.00 |
| 419.130 | 2.721 | 9.38  | 321.71 | 0.28 | 33.47 | 21.00 | 17.00 |
| 421.851 | 0.316 | 9.38  | 36.65  | 0.28 | 31.96 | 21.00 | 17.00 |
| 422.167 | 2.721 | 9.38  | 309.51 | 0.28 | 31.78 | 21.00 | 17.00 |
| 424.887 | 2.721 | 9.38  | 298.58 | 0.27 | 30.21 | 21.00 | 17.00 |
| 427.608 | 2.721 | 9.38  | 287.66 | 0.27 | 28.53 | 21.00 | 17.00 |
| 430.329 | 2.721 | 9.38  | 276.73 | 0.26 | 26.74 | 21.00 | 17.00 |
| 433.049 | 2.721 | 9.38  | 265.80 | 0.25 | 24.83 | 21.00 | 17.00 |
| 435.770 | 2.721 | 9.38  | 254.88 | 0.24 | 22.60 | 21.00 | 17.00 |
| 438.491 | 1.810 | 9.38  | 163.47 | 0.23 | 20.34 | 21.00 | 17.00 |
| 440.300 | 2.721 | 9.38  | 236.68 | 0.22 | 18.99 | 21.00 | 17.00 |
| 443.021 | 2.721 | 9.38  | 225.75 | 0.21 | 17.15 | 21.00 | 17.00 |
| 445.742 | 2.721 | 9.38  | 214.83 | 0.20 | 15.24 | 21.00 | 17.00 |
| 448.462 | 2.721 | 9.38  | 203.90 | 0.18 | 13.14 | 21.00 | 17.00 |
| 451.183 | 0.467 | 9.38  | 33.88  | 0.17 | 11.23 | 21.00 | 17.00 |
| 451.650 | 2.721 | 15.49 | 181.91 | 0.16 | 10.88 | 21.00 | 17.00 |
| 454.371 | 2.721 | 15.49 | 152.60 | 0.11 | 6.05  | 21.00 | 17.00 |
| 457.091 | 2.092 | 15.49 | 97.41  | 0.04 | 1.83  | 21.00 | 17.00 |

#### LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
dx(m) : Larghezza concio  
alpha( ) : Angolo pendenza base concio

$W(kN/m)$  : Forza peso concio  
 $ru(-)$  : Coefficiente locale pressione interstiziale  
 $U(kPa)$  : Pressione totale dei pori base concio  
 $\phi'(\text{°})$  : Angolo di attrito efficace base concio  
 $c'/Cu(kPa)$  : Coesione efficace o Resistenza al taglio in condizioni non drenate

---

TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

| X                | ht              | yt                | yt'   | E(x)              | T(x)   | E'                 | rho(x)            | FS_qFEM | FS_p-qPATH |
|------------------|-----------------|-------------------|-------|-------------------|--------|--------------------|-------------------|---------|------------|
| (m)              | (m)             | (m)               | (--)  | (kN/m)            | (kN/m) | (kN)               | (--)              | (--)    | (--)       |
| 167.380<br>0.160 | 0.000<br>11.327 | 205.656<br>10.402 | 0.020 | 0.0000000000E+000 |        | 0.0000000000E+000  | 3.3957271440E+000 |         |            |
| 170.101<br>0.160 | 0.169<br>11.327 | 205.708<br>10.402 | 0.020 | 8.6721574120E+000 |        | -5.5662753819E-001 | 2.9792401039E+000 |         |            |
| 172.822<br>0.234 | 0.340<br>9.935  | 205.762<br>12.748 | 0.020 | 1.6211182360E+001 |        | -1.7444432994E+000 | 4.1340285213E+000 |         |            |
| 175.542<br>0.287 | 0.509<br>10.784 | 205.815<br>12.469 | 0.019 | 2.7379224704E+001 |        | -3.4132845703E+000 | 5.8291447771E+000 |         |            |
| 178.104<br>0.311 | 0.667<br>12.594 | 205.863<br>10.830 | 0.019 | 4.3021422270E+001 |        | -5.1157484548E+000 | 6.9726618351E+000 |         |            |
| 180.825<br>0.286 | 0.836<br>14.135 | 205.916<br>9.132  | 0.021 | 6.7192307884E+001 |        | -6.9505808949E+000 | 7.6419162506E+000 |         |            |
| 183.546<br>0.226 | 1.015<br>14.612 | 205.979<br>7.656  | 0.024 | 1.0178240254E+002 |        | -8.6109641104E+000 | 7.8901000806E+000 |         |            |
| 186.266<br>0.193 | 1.197<br>14.373 | 206.044<br>6.600  | 0.024 | 1.3465496363E+002 |        | -7.9017972803E+000 | 7.9061722436E+000 |         |            |
| 188.987<br>0.176 | 1.379<br>14.151 | 206.110<br>5.725  | 0.026 | 1.6226097618E+002 |        | -6.8795858449E+000 | 7.9682760565E+000 |         |            |
| 191.708<br>0.164 | 1.570<br>13.609 | 206.184<br>5.005  | 0.029 | 1.8847059333E+002 |        | -4.8400425764E+000 | 7.8515008343E+000 |         |            |
| 194.429<br>0.159 | 1.771<br>12.792 | 206.268<br>4.490  | 0.033 | 2.1247778183E+002 |        | -1.7625358403E+000 | 7.5877497809E+000 |         |            |
| 196.870<br>0.160 | 1.962<br>11.908 | 206.355<br>4.218  | 0.036 | 2.3154128136E+002 |        | 1.8806411968E+000  | 7.2692843319E+000 |         |            |
| 197.090<br>0.160 | 1.981<br>11.821 | 206.364<br>4.205  | 0.042 | 2.3305405446E+002 |        | 2.2873913036E+000  | 7.2367940614E+000 |         |            |
| 198.408<br>0.164 | 2.093<br>11.301 | 206.420<br>4.132  | 0.049 | 2.4197517236E+002 |        | 5.0842149540E+000  | 7.0372977078E+000 |         |            |
| 201.129<br>0.179 | 1.998<br>10.162 | 206.563<br>4.065  | 0.061 | 2.5954163369E+002 |        | 1.0828922694E+001  | 6.5684711680E+000 |         |            |
| 203.850<br>0.205 | 1.948<br>8.977  | 206.751<br>4.093  | 0.075 | 2.7609838815E+002 |        | 1.6702919961E+001  | 6.0077990729E+000 |         |            |
| 206.570<br>0.242 | 1.928<br>7.855  | 206.970<br>4.189  | 0.084 | 2.9099864869E+002 |        | 2.2276726430E+001  | 5.3995263523E+000 |         |            |
| 209.291<br>0.295 | 1.931<br>6.863  | 207.210<br>4.333  | 0.092 | 3.0411161384E+002 |        | 2.7281063598E+001  | 4.7783032029E+000 |         |            |
| 212.012<br>0.370 | 1.955<br>6.004  | 207.473<br>4.514  | 0.099 | 3.1577165981E+002 |        | 3.1562722613E+001  | 4.1560890850E+000 |         |            |
| 214.732<br>0.470 | 1.995<br>5.275  | 207.750<br>4.714  | 0.097 | 3.2615004476E+002 |        | 3.4919388849E+001  | 3.5553589339E+000 |         |            |

|                  |                |                  |       |                   |                   |                   |
|------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 217.453<br>0.548 | 2.008<br>4.811 | 208.001<br>4.895 | 0.088 | 3.3369247669E+002 | 3.6337255355E+001 | 3.0802706961E+000 |
| 220.174<br>0.585 | 1.998<br>4.515 | 208.230<br>5.053 | 0.083 | 3.3927158831E+002 | 3.6994885035E+001 | 2.7153270252E+000 |
| 220.930<br>0.591 | 1.991<br>4.453 | 208.288<br>5.090 | 0.082 | 3.4056821879E+002 | 3.7150600457E+001 | 2.6320893064E+000 |
| 223.651<br>0.608 | 1.980<br>4.257 | 208.516<br>5.218 | 0.087 | 3.4528543499E+002 | 3.7782500960E+001 | 2.3523112699E+000 |
| 226.371<br>0.619 | 1.986<br>4.105 | 208.760<br>5.327 | 0.091 | 3.4992085996E+002 | 3.8365911629E+001 | 2.1172439990E+000 |
| 228.792<br>0.624 | 1.996<br>4.000 | 208.981<br>5.405 | 0.092 | 3.5391485497E+002 | 3.8841775664E+001 | 1.9478824777E+000 |
| 231.513<br>0.628 | 2.011<br>3.907 | 209.234<br>5.471 | 0.094 | 3.5832131066E+002 | 3.9364505893E+001 | 1.7972672080E+000 |
| 234.234<br>0.630 | 2.029<br>3.834 | 209.491<br>5.518 | 0.095 | 3.6269511765E+002 | 3.9890718166E+001 | 1.6802225888E+000 |
| 236.954<br>0.633 | 2.052<br>3.775 | 209.751<br>5.548 | 0.096 | 3.6706489016E+002 | 4.0383595064E+001 | 1.5883488082E+000 |
| 239.675<br>0.635 | 2.074<br>3.729 | 210.011<br>5.566 | 0.092 | 3.7135823241E+002 | 4.0775931160E+001 | 1.5165125995E+000 |
| 242.396<br>0.637 | 2.074<br>3.699 | 210.249<br>5.568 | 0.086 | 3.7518049991E+002 | 4.1049630799E+001 | 1.4697488095E+000 |
| 243.858<br>0.638 | 2.070<br>3.686 | 210.373<br>5.566 | 0.088 | 3.7713384879E+002 | 4.1222857993E+001 | 1.4499005364E+000 |
| 246.579<br>0.640 | 2.075<br>3.666 | 210.616<br>5.555 | 0.089 | 3.8090483677E+002 | 4.1628681828E+001 | 1.4160934413E+000 |
| 249.299<br>0.642 | 2.079<br>3.651 | 210.859<br>5.537 | 0.090 | 3.8459488661E+002 | 4.2085028342E+001 | 1.3875538831E+000 |
| 252.020<br>0.644 | 2.087<br>3.638 | 211.105<br>5.514 | 0.091 | 3.8826776134E+002 | 4.2604214249E+001 | 1.3612721199E+000 |
| 254.741<br>0.647 | 2.099<br>3.628 | 211.354<br>5.485 | 0.092 | 3.9192852053E+002 | 4.3170244809E+001 | 1.3357111623E+000 |
| 257.461<br>0.649 | 2.113<br>3.619 | 211.607<br>5.450 | 0.094 | 3.9558078525E+002 | 4.3760742208E+001 | 1.3097030408E+000 |
| 260.182<br>0.651 | 2.131<br>3.611 | 211.863<br>5.411 | 0.094 | 3.9922569488E+002 | 4.4321213141E+001 | 1.2822270116E+000 |
| 262.528<br>0.652 | 2.148<br>3.605 | 212.085<br>5.375 | 0.093 | 4.0231935137E+002 | 4.4711562147E+001 | 1.2568229065E+000 |
| 265.248<br>0.652 | 2.161<br>3.598 | 212.336<br>5.330 | 0.093 | 4.0574378652E+002 | 4.5027178112E+001 | 1.2254157268E+000 |
| 267.969<br>0.652 | 2.180<br>3.593 | 212.593<br>5.282 | 0.094 | 4.0914986711E+002 | 4.5237462807E+001 | 1.1908059556E+000 |
| 270.690<br>0.651 | 2.196<br>3.587 | 212.847<br>5.233 | 0.093 | 4.1242472618E+002 | 4.5351773964E+001 | 1.1543257087E+000 |
| 273.411<br>0.650 | 2.209<br>3.582 | 213.098<br>5.183 | 0.092 | 4.1556640471E+002 | 4.5417596143E+001 | 1.1160262186E+000 |
| 276.131<br>0.649 | 2.218<br>3.577 | 213.345<br>5.131 | 0.091 | 4.1857718640E+002 | 4.5499843934E+001 | 1.0756799561E+000 |
| 278.852<br>0.649 | 2.225<br>3.571 | 213.590<br>5.076 | 0.089 | 4.2146464402E+002 | 4.5659925233E+001 | 1.0324650123E+000 |
| 281.573<br>0.649 | 2.224<br>3.564 | 213.827<br>5.017 | 0.087 | 4.2417603571E+002 | 4.5937418746E+001 | 9.8573157978E-001 |



|                  |                |                  |       |                   |                   |                    |
|------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 283.142<br>0.650 | 2.222<br>3.559 | 213.962<br>4.981 | 0.087 | 4.2568717493E+002 | 4.6163445115E+001 | 9.5597193151E-001  |
| 285.863<br>0.652 | 2.221<br>3.550 | 214.199<br>4.912 | 0.088 | 4.2827339128E+002 | 4.6651752106E+001 | 8.9640351160E-001  |
| 288.584<br>0.654 | 2.224<br>3.538 | 214.440<br>4.835 | 0.089 | 4.3081643213E+002 | 4.7213159279E+001 | 8.2405451367E-001  |
| 291.304<br>0.657 | 2.232<br>3.525 | 214.686<br>4.750 | 0.093 | 4.3328873089E+002 | 4.7800219743E+001 | 7.3562678191E-001  |
| 294.025<br>0.659 | 2.256<br>3.507 | 214.948<br>4.652 | 0.098 | 4.3571190377E+002 | 4.8316511437E+001 | 6.1977698503E-001  |
| 296.746<br>0.662 | 2.287<br>3.487 | 215.217<br>4.548 | 0.099 | 4.3794288681E+002 | 4.8689904921E+001 | 4.8104359201E-001  |
| 299.466<br>0.665 | 2.317<br>3.464 | 215.485<br>4.443 | 0.097 | 4.3983743151E+002 | 4.8952684590E+001 | 3.2506016350E-001  |
| 302.187<br>0.668 | 2.338<br>3.441 | 215.744<br>4.343 | 0.093 | 4.4122163810E+002 | 4.9174309717E+001 | 1.5755251833E-001  |
| 304.908<br>0.672 | 2.348<br>3.418 | 215.993<br>4.250 | 0.091 | 4.4198734689E+002 | 4.9452552148E+001 | -1.6031299087E-002 |
| 307.628<br>0.676 | 2.355<br>3.394 | 216.238<br>4.163 | 0.090 | 4.4213030490E+002 | 4.9842024783E+001 | -1.9343083630E-001 |
| 310.349<br>0.679 | 2.360<br>3.372 | 216.480<br>4.083 | 0.088 | 4.4160995169E+002 | 5.0326909114E+001 | -3.6876247141E-001 |
| 311.463<br>0.681 | 2.359<br>3.364 | 216.577<br>4.053 | 0.090 | 4.4119749663E+002 | 5.0570162782E+001 | -4.3705078242E-001 |
| 314.183<br>0.685 | 2.325<br>3.343 | 216.825<br>3.982 | 0.096 | 4.3962127559E+002 | 5.1235325932E+001 | -6.0455959898E-001 |
| 316.904<br>0.687 | 2.317<br>3.323 | 217.100<br>3.913 | 0.106 | 4.3711725664E+002 | 5.1740396661E+001 | -7.6925351983E-001 |
| 319.625<br>0.689 | 2.335<br>3.305 | 217.401<br>3.846 | 0.113 | 4.3371378725E+002 | 5.1860867205E+001 | -9.2384032435E-001 |
| 322.345<br>0.688 | 2.365<br>3.289 | 217.714<br>3.784 | 0.113 | 4.2971466356E+002 | 5.1530699752E+001 | -1.0588688625E+000 |
| 325.066<br>0.686 | 2.384<br>3.276 | 218.015<br>3.730 | 0.109 | 4.2557371774E+002 | 5.0881054898E+001 | -1.1681086114E+000 |
| 327.787<br>0.683 | 2.391<br>3.266 | 218.305<br>3.684 | 0.103 | 4.2140903694E+002 | 5.0026576360E+001 | -1.2540861344E+000 |
| 330.507<br>0.680 | 2.379<br>3.258 | 218.575<br>3.644 | 0.094 | 4.1742672687E+002 | 4.9088617935E+001 | -1.3168864239E+000 |
| 333.228<br>0.678 | 2.338<br>3.252 | 218.818<br>3.611 | 0.087 | 4.1380330827E+002 | 4.8257616736E+001 | -1.3576388116E+000 |
| 334.105<br>0.678 | 2.319<br>3.250 | 218.890<br>3.601 | 0.085 | 4.1271842865E+002 | 4.8059979195E+001 | -1.3676039997E+000 |
| 336.826<br>0.677 | 2.269<br>3.244 | 219.122<br>3.569 | 0.085 | 4.0924860399E+002 | 4.7699997204E+001 | -1.3951881799E+000 |
| 336.850<br>0.677 | 2.268<br>3.244 | 219.124<br>3.569 | 0.093 | 4.0921947170E+002 | 4.7698761194E+001 | -1.3953979529E+000 |
| 339.571<br>0.679 | 2.239<br>3.237 | 219.378<br>3.530 | 0.096 | 4.0539172119E+002 | 4.7652208857E+001 | -1.4192710983E+000 |
| 342.291<br>0.682 | 2.227<br>3.228 | 219.648<br>3.485 | 0.101 | 4.0129583071E+002 | 4.7752326151E+001 | -1.4407094230E+000 |
| 345.012<br>0.687 | 2.225<br>3.219 | 219.928<br>3.433 | 0.105 | 3.9704230310E+002 | 4.7940430554E+001 | -1.4598119305E+000 |

|                  |                |                  |       |                   |                   |                    |
|------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 347.733<br>0.692 | 2.231<br>3.209 | 220.218<br>3.374 | 0.108 | 3.9262192138E+002 | 4.8130496776E+001 | -1.4764814982E+000 |
| 350.453<br>0.697 | 2.249<br>3.198 | 220.518<br>3.309 | 0.111 | 3.8803292913E+002 | 4.8219647289E+001 | -1.4901556682E+000 |
| 353.174<br>0.701 | 2.267<br>3.187 | 220.819<br>3.238 | 0.107 | 3.8341933391E+002 | 4.8112978771E+001 | -1.4995515499E+000 |
| 355.895<br>0.704 | 2.265<br>3.177 | 221.100<br>3.168 | 0.100 | 3.7914907486E+002 | 4.7801923250E+001 | -1.5031667490E+000 |
| 356.566<br>0.705 | 2.254<br>3.175 | 221.158<br>3.153 | 0.099 | 3.7826302644E+002 | 4.7715285000E+001 | -1.5029293739E+000 |
| 359.286<br>0.705 | 2.249<br>3.166 | 221.435<br>3.080 | 0.103 | 3.7412036396E+002 | 4.7285280283E+001 | -1.4993647134E+000 |
| 362.007<br>0.704 | 2.251<br>3.159 | 221.720<br>3.005 | 0.104 | 3.6991498061E+002 | 4.6753855894E+001 | -1.4938074256E+000 |
| 364.728<br>0.702 | 2.251<br>3.152 | 222.003<br>2.930 | 0.104 | 3.6578137699E+002 | 4.6196198058E+001 | -1.4891292143E+000 |
| 367.449<br>0.699 | 2.250<br>3.146 | 222.285<br>2.857 | 0.107 | 3.6171937467E+002 | 4.5678879754E+001 | -1.4890527276E+000 |
| 370.169<br>0.695 | 2.269<br>3.140 | 222.586<br>2.782 | 0.111 | 3.5744263658E+002 | 4.5155776949E+001 | -1.5042081488E+000 |
| 372.890<br>0.691 | 2.288<br>3.133 | 222.888<br>2.709 | 0.107 | 3.5321227021E+002 | 4.4590527040E+001 | -1.5367044004E+000 |
| 375.611<br>0.687 | 2.287<br>3.125 | 223.169<br>2.644 | 0.102 | 3.4931407503E+002 | 4.4013099593E+001 | -1.5883126945E+000 |
| 375.961<br>0.687 | 2.281<br>3.124 | 223.200<br>2.637 | 0.093 | 3.4889324325E+002 | 4.3946424644E+001 | -1.5960639117E+000 |
| 378.682<br>0.684 | 2.252<br>3.114 | 223.454<br>2.582 | 0.097 | 3.4540351171E+002 | 4.3512015755E+001 | -1.6803654604E+000 |
| 381.403<br>0.682 | 2.241<br>3.097 | 223.726<br>2.526 | 0.103 | 3.4156612282E+002 | 4.3073962610E+001 | -1.8173510062E+000 |
| 384.123<br>0.680 | 2.248<br>3.072 | 224.015<br>2.469 | 0.107 | 3.3727160860E+002 | 4.2576872624E+001 | -2.0154589472E+000 |
| 386.844<br>0.681 | 2.256<br>3.039 | 224.306<br>2.414 | 0.107 | 3.3257037636E+002 | 4.2174262881E+001 | -2.2659308845E+000 |
| 386.863<br>0.681 | 2.256<br>3.039 | 224.308<br>2.414 | 0.103 | 3.3254068130E+002 | 4.2171568572E+001 | -2.2676102426E+000 |
| 389.584<br>0.683 | 2.255<br>2.999 | 224.589<br>2.365 | 0.104 | 3.2750436691E+002 | 4.1865241846E+001 | -2.5562917764E+000 |
| 392.304<br>0.686 | 2.254<br>2.953 | 224.871<br>2.319 | 0.103 | 3.2181181869E+002 | 4.1676026899E+001 | -2.8774216390E+000 |
| 395.025<br>0.691 | 2.248<br>2.903 | 225.148<br>2.277 | 0.098 | 3.1535889599E+002 | 4.1564484683E+001 | -3.2167367815E+000 |
| 397.746<br>0.697 | 2.220<br>2.851 | 225.402<br>2.244 | 0.094 | 3.0829136493E+002 | 4.1520643391E+001 | -3.5462971279E+000 |
| 399.010<br>0.701 | 2.210<br>2.825 | 225.524<br>2.229 | 0.096 | 3.0442725316E+002 | 4.1519992674E+001 | -3.7014215671E+000 |
| 399.120<br>0.701 | 2.209<br>2.823 | 225.535<br>2.228 | 0.105 | 3.0408171858E+002 | 4.1524499110E+001 | -3.7149004705E+000 |
| 401.841<br>0.710 | 2.214<br>2.763 | 225.822<br>2.199 | 0.109 | 2.9374728721E+002 | 4.1534378632E+001 | -4.0612176213E+000 |
| 402.622<br>0.713 | 2.227<br>2.744 | 225.916<br>2.190 | 0.133 | 2.9011308393E+002 | 4.1493938918E+001 | -4.1671673246E+000 |

|         |       |         |       |                   |                   |                    |
|---------|-------|---------|-------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 405.342 | 2.149 | 226.288 | 0.137 | 2.7472833467E+002 | 4.0889140005E+001 | -4.5369538694E+000 |
| 0.723   | 2.674 | 2.160   |       |                   |                   |                    |
| 408.063 | 2.074 | 226.661 | 0.140 | 2.5800327368E+002 | 3.9854250172E+001 | -4.8449452161E+000 |
| 0.733   | 2.610 | 2.135   |       |                   |                   |                    |
| 410.784 | 2.012 | 227.049 | 0.145 | 2.4010869372E+002 | 3.8441785240E+001 | -5.1087218013E+000 |
| 0.741   | 2.550 | 2.112   |       |                   |                   |                    |
| 413.504 | 1.963 | 227.449 | 0.149 | 2.2138153514E+002 | 3.6662493024E+001 | -5.3207411129E+000 |
| 0.747   | 2.497 | 2.089   |       |                   |                   |                    |
| 416.225 | 1.925 | 227.860 | 0.144 | 2.0219272414E+002 | 3.4525929527E+001 | -5.4772755534E+000 |
| 0.751   | 2.452 | 2.067   |       |                   |                   |                    |
| 418.946 | 1.845 | 228.230 | 0.135 | 1.8524843738E+002 | 3.2252744154E+001 | -5.5432719853E+000 |
| 0.750   | 2.423 | 2.047   |       |                   |                   |                    |
| 419.130 | 1.838 | 228.253 | 0.124 | 1.8421497735E+002 | 3.2103533876E+001 | -5.5447406899E+000 |
| 0.750   | 2.421 | 2.046   |       |                   |                   |                    |
| 421.851 | 1.726 | 228.590 | 0.124 | 1.6948766051E+002 | 2.9963734882E+001 | -5.5265065850E+000 |
| 0.745   | 2.407 | 2.027   |       |                   |                   |                    |
| 422.167 | 1.714 | 228.630 | 0.126 | 1.6782531375E+002 | 2.9719441628E+001 | -5.5178596325E+000 |
| 0.744   | 2.406 | 2.025   |       |                   |                   |                    |
| 424.887 | 1.607 | 228.973 | 0.129 | 1.5382379938E+002 | 2.7707597418E+001 | -5.4279341283E+000 |
| 0.734   | 2.402 | 2.003   |       |                   |                   |                    |
| 427.608 | 1.519 | 229.334 | 0.136 | 1.3974274504E+002 | 2.5688778700E+001 | -5.2949817418E+000 |
| 0.720   | 2.402 | 1.976   |       |                   |                   |                    |
| 430.329 | 1.451 | 229.715 | 0.144 | 1.2560867206E+002 | 2.3648244410E+001 | -5.1204886514E+000 |
| 0.701   | 2.406 | 1.946   |       |                   |                   |                    |
| 433.049 | 1.405 | 230.118 | 0.159 | 1.1143013117E+002 | 2.1570734033E+001 | -4.9046149256E+000 |
| 0.676   | 2.410 | 1.912   |       |                   |                   |                    |
| 435.770 | 1.420 | 230.583 | 0.170 | 9.6229484966E+001 | 1.9201925826E+001 | -4.6207175836E+000 |
| 0.637   | 2.409 | 1.874   |       |                   |                   |                    |
| 438.491 | 1.432 | 231.044 | 0.168 | 8.2034228367E+001 | 1.6867714165E+001 | -4.3386996155E+000 |
| 0.599   | 2.400 | 1.844   |       |                   |                   |                    |
| 440.300 | 1.435 | 231.346 | 0.150 | 7.3415717938E+001 | 1.5362851946E+001 | -4.1895975363E+000 |
| 0.573   | 2.398 | 1.822   |       |                   |                   |                    |
| 443.021 | 1.364 | 231.724 | 0.140 | 6.2738549993E+001 | 1.3359844887E+001 | -3.9589448302E+000 |
| 0.541   | 2.389 | 1.793   |       |                   |                   |                    |
| 445.742 | 1.299 | 232.109 | 0.145 | 5.2860506258E+001 | 1.1264058819E+001 | -3.7073825141E+000 |
| 0.506   | 2.370 | 1.771   |       |                   |                   |                    |
| 448.462 | 1.251 | 232.510 | 0.145 | 4.3961717977E+001 | 9.2916591322E+000 | -3.4694262349E+000 |
| 0.467   | 2.328 | 1.763   |       |                   |                   |                    |
| 451.183 | 1.191 | 232.899 | 0.137 | 3.6355066041E+001 | 7.8986623669E+000 | -3.3307622553E+000 |
| 0.433   | 2.257 | 1.787   |       |                   |                   |                    |
| 451.650 | 1.161 | 232.946 | 0.152 | 3.5479882954E+001 | 7.7828503632E+000 | -3.3425700646E+000 |
| 0.430   | 2.244 | 1.796   |       |                   |                   |                    |
| 454.371 | 0.844 | 233.384 | 0.208 | 2.7225688505E+001 | 7.0702487526E+000 | -3.8328411074E+000 |
| 0.426   | 2.111 | 2.034   |       |                   |                   |                    |
| 457.091 | 0.785 | 234.078 | 0.208 | 1.4092101099E+001 | 5.3052705836E+000 | -5.9064309449E+000 |
| 0.409   | 2.111 | 3.372   |       |                   |                   |                    |

#### LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio

ht(m) : Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio

$y_t(m)$  : coordinata Y linea di thrust  
 $y_t'(-)$  : gradiente pendenza locale linea di thrust  
 $E(x)(kN/m)$  : Forza Normale interconcio  
 $T(x)(kN/m)$  : Forza Tangenziale interconcio  
 $E'(kN)$  : derivata Forza normale interconcio  
 $Rho(x)(-)$  : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcio ZhU et al.(2003)  
 $FS_{qFEM}(x)(-)$  : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by qFEM  
 $FS_{p-qPATH}(x)(-)$  : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by p-qPATH Procedure

TABELLA SFORZI DI TAGLIO DISTRIBUITI LUNGO SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

| X       | dx    | dl    | alpha  | TauStress | TauF   | TauStrength | TauS    |
|---------|-------|-------|--------|-----------|--------|-------------|---------|
| (m)     | (m)   | (m)   | ( )    | (kPa)     | (kN/m) | (kPa)       | (kN/m)  |
| 167.380 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -0.152    | -0.413 | 18.971      | 51.660  |
| 170.101 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -0.455    | -1.239 | 23.006      | 62.649  |
| 172.822 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -0.758    | -2.065 | 27.070      | 73.718  |
| 175.542 | 2.562 | 2.565 | -2.452 | -1.053    | -2.700 | 31.081      | 79.708  |
| 178.104 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -1.354    | -3.688 | 33.481      | 91.176  |
| 180.825 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -1.672    | -4.554 | 36.420      | 99.179  |
| 183.546 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -1.990    | -5.419 | 39.284      | 106.978 |
| 186.266 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -2.308    | -6.284 | 41.925      | 114.169 |
| 188.987 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -2.625    | -7.150 | 44.992      | 122.520 |
| 191.708 | 2.721 | 2.723 | -2.452 | -2.943    | -8.015 | 48.173      | 131.185 |
| 194.429 | 2.441 | 2.444 | -2.452 | -3.245    | -7.929 | 51.290      | 125.335 |
| 196.870 | 0.220 | 0.220 | -2.452 | -3.397    | -0.748 | 52.673      | 11.599  |
| 197.090 | 1.318 | 1.319 | -2.452 | -3.465    | -4.572 | 53.679      | 70.829  |
| 198.408 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 12.822    | 35.018 | 52.893      | 144.454 |
| 201.129 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 12.892    | 35.210 | 52.474      | 143.310 |
| 203.850 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 12.962    | 35.401 | 52.158      | 142.448 |
| 206.570 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.032    | 35.593 | 51.952      | 141.885 |
| 209.291 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.103    | 35.784 | 51.847      | 141.598 |
| 212.012 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.173    | 35.976 | 51.811      | 141.499 |
| 214.732 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.243    | 36.167 | 51.793      | 141.450 |
| 217.453 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.313    | 36.358 | 51.879      | 141.686 |
| 220.174 | 0.756 | 0.759 | 5.000  | 13.358    | 10.139 | 51.923      | 39.414  |
| 220.930 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.402    | 36.603 | 52.063      | 142.189 |
| 223.651 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.473    | 36.795 | 52.212      | 142.595 |
| 226.371 | 2.421 | 2.430 | 5.000  | 13.539    | 32.901 | 52.342      | 127.198 |
| 228.792 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.605    | 37.156 | 52.484      | 143.338 |
| 231.513 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.675    | 37.348 | 52.627      | 143.728 |
| 234.234 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.745    | 37.539 | 52.767      | 144.110 |
| 236.954 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.815    | 37.731 | 52.903      | 144.482 |
| 239.675 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.885    | 37.922 | 53.039      | 144.854 |
| 242.396 | 1.462 | 1.468 | 5.000  | 13.939    | 20.459 | 53.130      | 77.982  |
| 243.858 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 13.993    | 38.217 | 53.275      | 145.499 |
| 246.579 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 14.063    | 38.408 | 53.424      | 145.907 |
| 249.299 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 14.133    | 38.599 | 53.574      | 146.315 |
| 252.020 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 14.203    | 38.791 | 53.721      | 146.718 |
| 254.741 | 2.721 | 2.731 | 5.000  | 14.274    | 38.982 | 53.867      | 147.114 |

|         |       |       |       |        |        |        |         |
|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 257.461 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 14.344 | 39.174 | 54.008 | 147.501 |
| 260.182 | 2.346 | 2.355 | 5.000 | 14.409 | 33.928 | 54.128 | 127.452 |
| 262.528 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 14.474 | 39.530 | 54.264 | 148.198 |
| 265.248 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 14.544 | 39.722 | 54.404 | 148.583 |
| 267.969 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 14.614 | 39.913 | 54.543 | 148.961 |
| 270.690 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 14.685 | 40.105 | 54.684 | 149.346 |
| 273.411 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 14.755 | 40.296 | 54.829 | 149.742 |
| 276.131 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 14.825 | 40.488 | 54.977 | 150.147 |
| 278.852 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 14.895 | 40.679 | 55.128 | 150.559 |
| 281.573 | 1.570 | 1.576 | 5.000 | 14.950 | 23.555 | 55.227 | 87.013  |
| 283.142 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.005 | 40.981 | 55.373 | 151.228 |
| 285.863 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.076 | 41.172 | 55.526 | 151.646 |
| 288.584 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.146 | 41.364 | 55.676 | 152.055 |
| 291.304 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.216 | 41.555 | 55.821 | 152.451 |
| 294.025 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.286 | 41.747 | 55.958 | 152.827 |
| 296.746 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.356 | 41.938 | 56.097 | 153.206 |
| 299.466 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.426 | 42.130 | 56.245 | 153.611 |
| 302.187 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.496 | 42.321 | 56.412 | 154.067 |
| 304.908 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.566 | 42.513 | 56.599 | 154.577 |
| 307.628 | 2.721 | 2.731 | 5.000 | 15.636 | 42.704 | 56.804 | 155.136 |
| 310.349 | 1.114 | 1.118 | 5.000 | 15.686 | 17.533 | 56.951 | 63.660  |
| 311.463 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 18.144 | 49.630 | 56.730 | 155.174 |
| 314.183 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 18.109 | 49.534 | 56.605 | 154.835 |
| 316.904 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 18.074 | 49.438 | 56.498 | 154.542 |
| 319.625 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 18.039 | 49.342 | 56.409 | 154.296 |
| 322.345 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 18.004 | 49.246 | 56.333 | 154.089 |
| 325.066 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.969 | 49.150 | 56.264 | 153.900 |
| 327.787 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.934 | 49.054 | 56.198 | 153.720 |
| 330.507 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.899 | 48.959 | 56.132 | 153.540 |
| 333.228 | 0.877 | 0.882 | 5.931 | 17.875 | 15.766 | 56.101 | 49.481  |
| 334.105 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.852 | 48.832 | 56.042 | 153.293 |
| 336.826 | 0.024 | 0.024 | 5.931 | 17.834 | 0.429  | 56.028 | 1.348   |
| 336.850 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.817 | 48.735 | 55.972 | 153.103 |
| 339.571 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.782 | 48.639 | 55.906 | 152.922 |
| 342.291 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.747 | 48.543 | 55.843 | 152.749 |
| 345.012 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.712 | 48.447 | 55.781 | 152.579 |
| 347.733 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.677 | 48.351 | 55.720 | 152.413 |
| 350.453 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.641 | 48.255 | 55.660 | 152.249 |
| 353.174 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.606 | 48.159 | 55.600 | 152.086 |
| 355.895 | 0.671 | 0.675 | 5.931 | 17.585 | 11.862 | 55.581 | 37.494  |
| 356.566 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.563 | 48.040 | 55.520 | 151.867 |
| 359.286 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.528 | 47.944 | 55.457 | 151.693 |
| 362.007 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.493 | 47.848 | 55.396 | 151.526 |
| 364.728 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.457 | 47.752 | 55.335 | 151.359 |
| 367.449 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.422 | 47.656 | 55.273 | 151.190 |
| 370.169 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.387 | 47.560 | 55.214 | 151.030 |
| 372.890 | 2.721 | 2.735 | 5.931 | 17.352 | 47.464 | 55.156 | 150.870 |

|         |       |       |        |        |        |        |         |
|---------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 375.611 | 0.351 | 0.352 | 5.931  | 17.332 | 6.109  | 55.144 | 19.437  |
| 375.961 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.313 | 47.356 | 55.087 | 150.680 |
| 378.682 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.278 | 47.260 | 55.021 | 150.500 |
| 381.403 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.243 | 47.164 | 54.959 | 150.333 |
| 384.123 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.207 | 47.068 | 54.907 | 150.189 |
| 386.844 | 0.019 | 0.019 | 5.931  | 17.190 | 0.326  | 54.920 | 1.040   |
| 386.863 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.172 | 46.972 | 54.864 | 150.071 |
| 389.584 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.137 | 46.876 | 54.837 | 149.996 |
| 392.304 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.102 | 46.780 | 54.835 | 149.992 |
| 395.025 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.067 | 46.684 | 54.866 | 150.077 |
| 397.746 | 1.264 | 1.271 | 5.931  | 17.041 | 21.663 | 54.962 | 69.868  |
| 399.010 | 0.110 | 0.111 | 5.931  | 17.032 | 1.884  | 55.040 | 6.087   |
| 399.120 | 2.721 | 2.735 | 5.931  | 17.013 | 46.535 | 54.985 | 150.402 |
| 401.841 | 0.781 | 0.785 | 5.931  | 16.988 | 13.339 | 55.210 | 43.350  |
| 402.622 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 24.980 | 68.884 | 53.670 | 147.998 |
| 405.342 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 24.277 | 66.944 | 52.697 | 145.314 |
| 408.063 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 23.573 | 65.004 | 51.787 | 142.805 |
| 410.784 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 22.870 | 63.064 | 50.928 | 140.436 |
| 413.504 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 22.166 | 61.124 | 50.110 | 138.181 |
| 416.225 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 21.463 | 59.184 | 49.311 | 135.977 |
| 418.946 | 0.184 | 0.187 | 9.377  | 21.087 | 3.936  | 49.134 | 9.172   |
| 419.130 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 20.712 | 57.113 | 48.371 | 133.385 |
| 421.851 | 0.316 | 0.320 | 9.377  | 20.319 | 6.506  | 48.114 | 15.405  |
| 422.167 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 19.926 | 54.948 | 47.340 | 130.543 |
| 424.887 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 19.223 | 53.008 | 46.449 | 128.085 |
| 427.608 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 18.519 | 51.068 | 45.597 | 125.737 |
| 430.329 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 17.816 | 49.128 | 44.789 | 123.507 |
| 433.049 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 17.112 | 47.188 | 44.044 | 121.452 |
| 435.770 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 16.409 | 45.248 | 43.400 | 119.677 |
| 438.491 | 1.810 | 1.834 | 9.377  | 15.823 | 29.021 | 43.017 | 78.896  |
| 440.300 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 15.237 | 42.018 | 42.272 | 116.566 |
| 443.021 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 14.534 | 40.078 | 41.488 | 114.406 |
| 445.742 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 13.830 | 38.138 | 40.714 | 112.270 |
| 448.462 | 2.721 | 2.758 | 9.377  | 13.127 | 36.198 | 39.986 | 110.263 |
| 451.183 | 0.467 | 0.473 | 9.377  | 12.715 | 6.015  | 39.795 | 18.826  |
| 451.650 | 2.721 | 2.823 | 15.492 | 18.129 | 51.182 | 36.699 | 103.610 |
| 454.371 | 2.721 | 2.823 | 15.492 | 15.208 | 42.936 | 34.937 | 98.636  |
| 457.091 | 2.092 | 2.171 | 15.492 | 12.625 | 27.407 | 34.179 | 74.197  |

#### LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
dx(m) : Larghezza concio  
dl(m) : lunghezza base concio  
alpha( ) : Angolo pendenza base concio  
TauStress(kPa) : Sforzo di taglio su base concio  
TauF (kN/m) : Forza di taglio su base concio  
TauStrength(kPa) : Resistenza al taglio su base concio  
TauS (kN/m) : Forza resistente al taglio su base concio



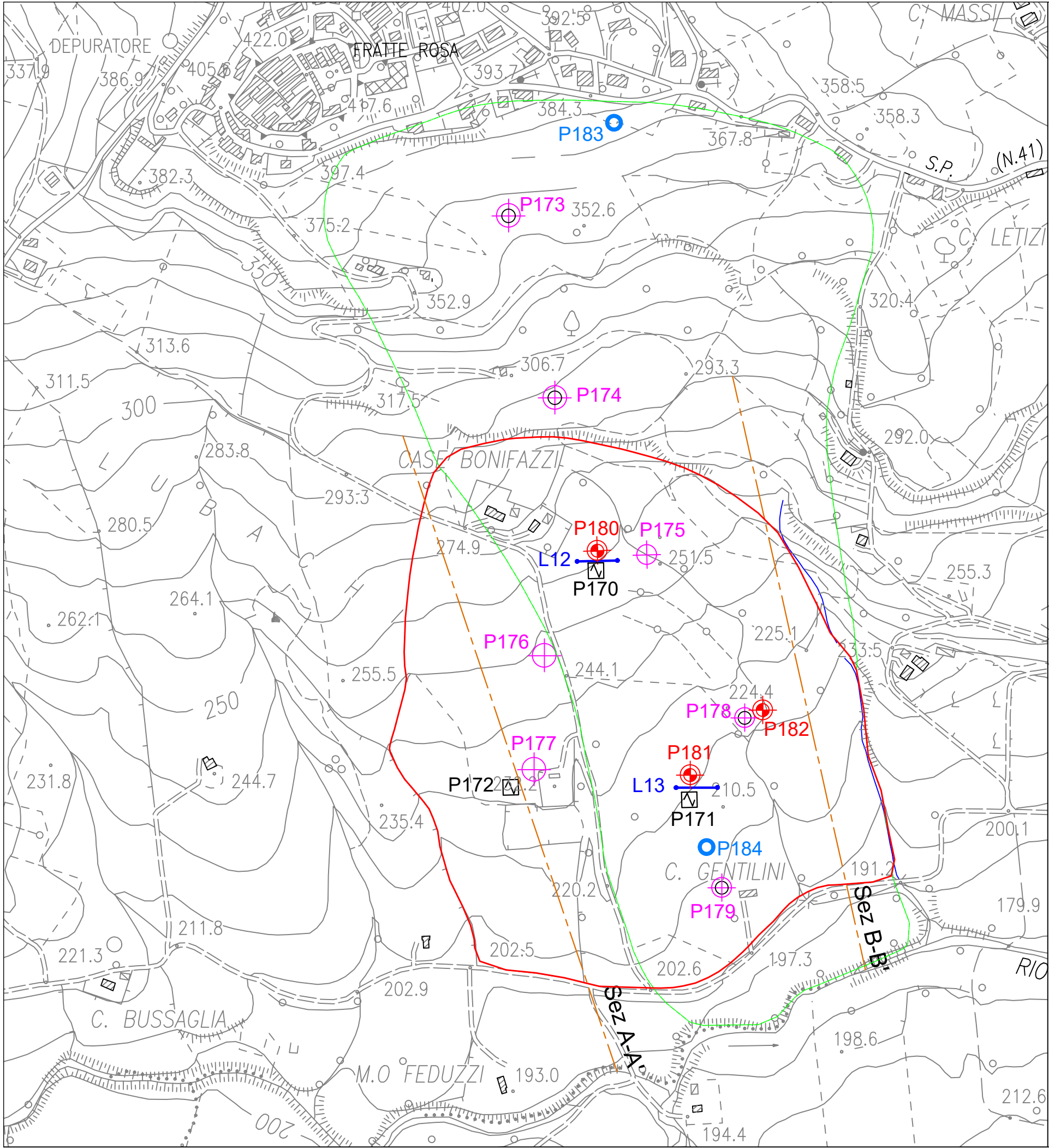
**REGIONE MARCHE  
COMUNE DI FRATTE ROSA (PU)**

**REALIZZAZIONE STUDI DI APPOFONDIMENTO DI LIVELLO 3  
SULLE AREE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE  
- ANNUALITÀ 2023**

**ELABORATI GRAFICI:**

- Tavola n°1 Carta delle indagini eseguite - scala 1:5.00 (A3)
- Tavola n°2 Carta geologica-geomorfologica - scala 1:5.00 (A3)
- Tavola n°3 Sezione litostratigrafica A-A' - scala 1:1.000 (A1)
- Tavola n°4 Sezione litostratigrafica B-B' - scala 1:1.000 (A1)





Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77  
OCDPC n.978/2023

PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA di III° LIVELLO, ANNUALITA' 2023

# MICROZONAZIONE SISMICA

Regione Marche  
Comune di Fratte Rosa

Studio di approfondimento di livello 3  
sulle aree di attenzione per instabilità di versante

Tavola n.1  
CARTA DELLA INDAGINI ESEGUITE

scala 1:5.000  
Coordinate geografiche: 331154 E; 4832376 N

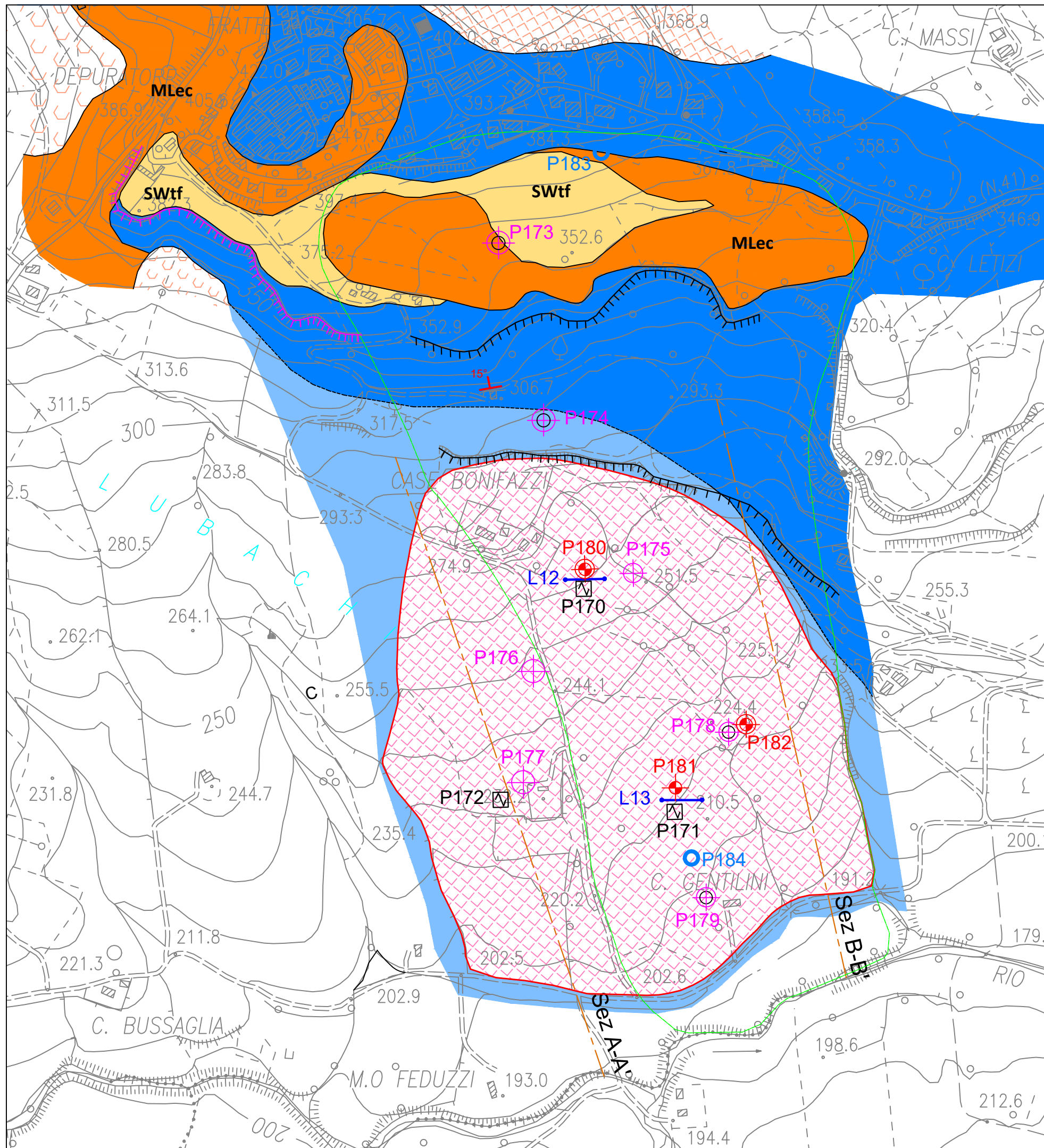
## LEGENDA

Indagini eseguite Luglio 2024\*

- Pn CPT - Prova penetrometria statica
- Pn CPT - Penetrometria statica, strumentata con piezometro
- Pn SG - Sondaggio a carotaggio continuo, che intercetta il substrato
- Pn HVRs - Stazione a microtremore a stazione singola
- Ln MASW
- Po Po - pozzo idrico censito
- A-A' Traccia di sezione
- Limite F-07-0678 P2 (P.A.I. Regione Marche)
- Perimetrazione del dissesto gravitativo in studio

L12, P170 sono ubicati sulla stessa verticale di P180; L13, P171 sono ubicati sulla stessa verticale di P181; P178 è ubicato sulla stessa verticale di P182  
\* Non ci sono indagini precedenti nell'area di studio





Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77  
OCDPC n.978/2023  
PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA di III° LIVELLO, ANNUALITA' 2023

## MICROZONAZIONE SISMICA

Regione Marche  
Comune di Fratte Rosa

Studio di approfondimento di livello 3  
sulle aree di attenzione per instabilità di versante

**Tavola n.2**  
**CARTA GEOLOGICA GEOMORFOLOGICA**  
scala 1:5.000

### Legenda

#### Terreni di copertura

- Mlec** Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fine limose o argillose, limi inorganici di bassa plasticità. Origine deposizionale eluvio-colluviale. Coesivo da moderatamente consistente a consistente
- SWtf** Sabbie pulite ben assortite, sabbie ghiaiose. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo fluviale. Depositi poco addensati

#### Substrato geologico

- ALS** Alternanza di litotipi stratificato. Membro delle Arenarie di Borrello. Arenarie di colore giallastro con strati da medi a spessi. Successione Mio- Pleistocenica
- COS** Coesivo sovraconsolidato stratificato. Argille e argille siltose grigio-azzurre a stratificazione poco marcata. Successione Mio- Pleistocenica

#### Instabilità di versante

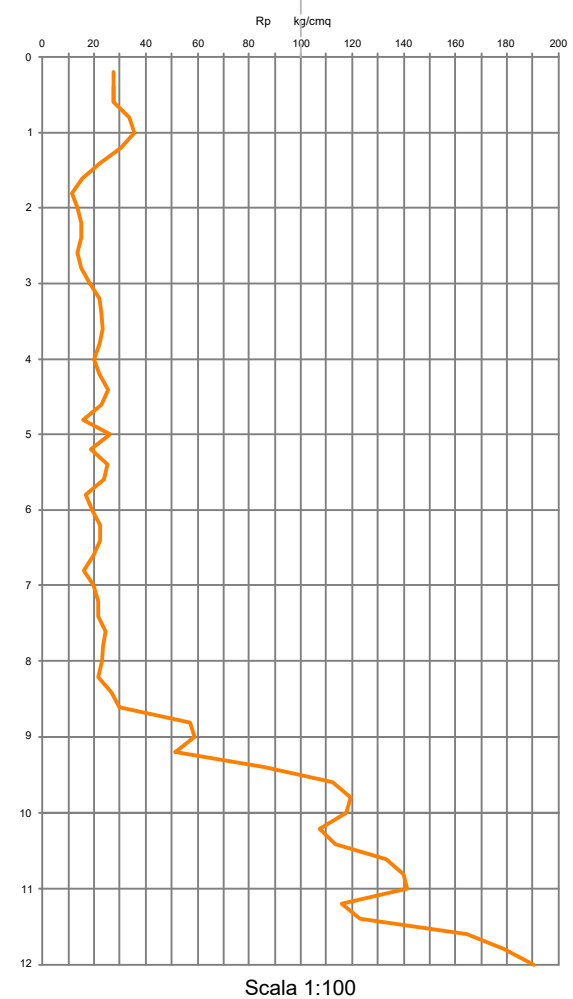
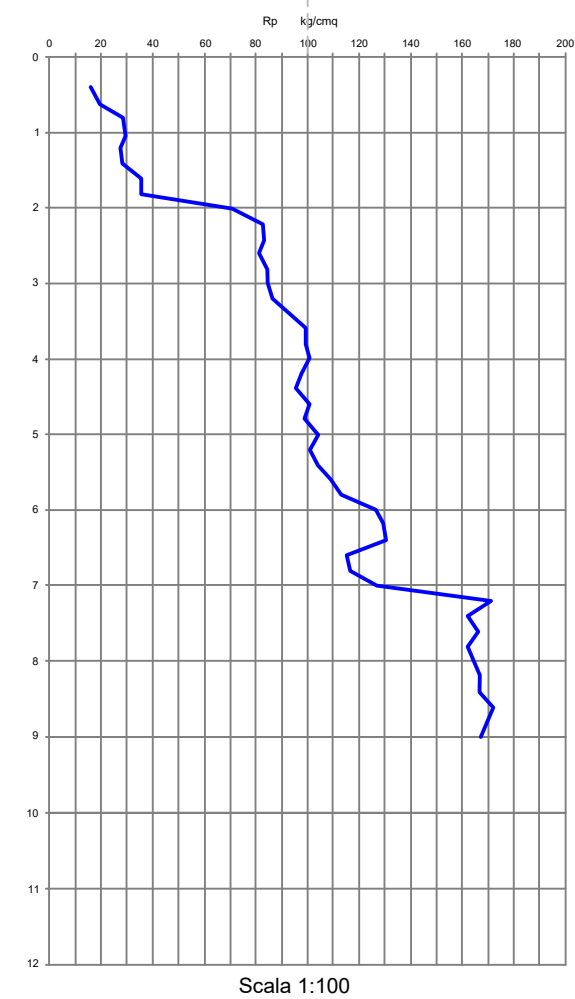
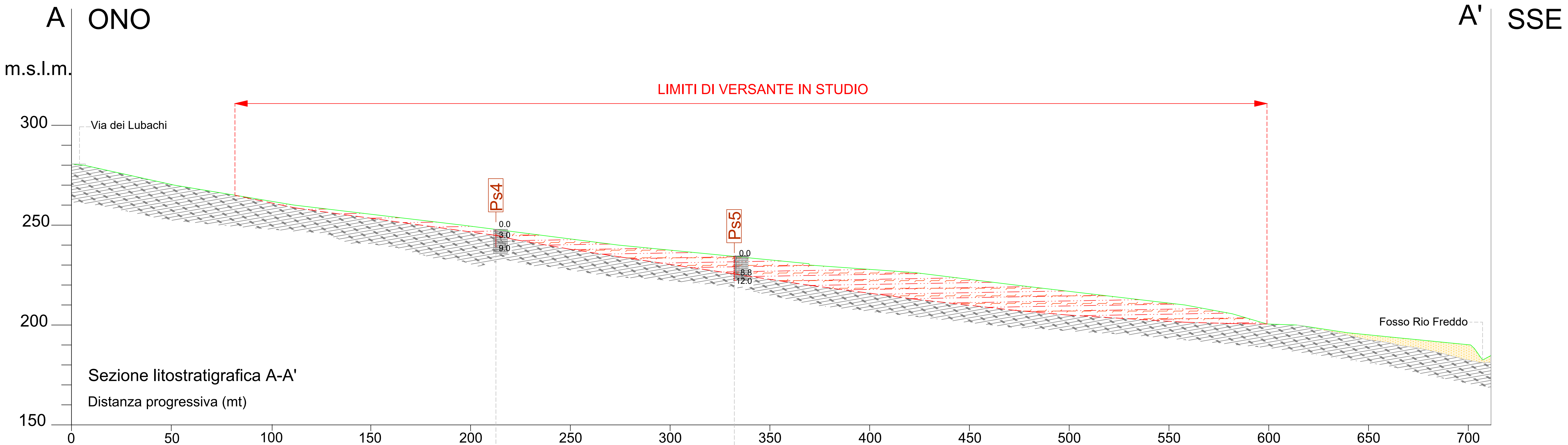
- Corpo di frana a scorrimento oggetto del presente lavoro. Stato di attività: quiescente
- Scorrimento. Stato di attività: quiescente
- Colata. Stato di attività: quiescente

- Pn CPT - Prova penetrometria statica
- Pn CPT - Penetrometria statica, strumentata con piezometro
- Pn SG - Sondaggio a carotaggio continuo, che intercetta il substrato
- Pn HVRS - Stazione a microtremore a stazione singola

Ln MASW

- Orlo di scarpata 10-20 m
- Orlo di scarpata >20 m
- Limite F-07-0678 P2 (P.A.I. Regione Marche)
- Pn Po - pozzo idrico censito
- A-A' Traccia di sezione
- 15° Giacitura degli strati





- Legenda
- Depositi continentali quaternari
- Zona di alterazione per frana
  - Deposito alluvionale terrazzato
- Successione Mio-Pleistocenica
- Argille e argille siltose grigio-azzurre a stratificazione poco marcata.
- Legenda indagini
- Ps5 Prova penetrometrica statica eseguita nell'ambito del presente lavoro
  - Superficie di scorrimento ipotizzata
  - Limiti stratigrafici correlati/ipotizzati

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77  
OCDPC n.978/2023  
PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA di III° LIVELLO, ANNUALITA' 2023

**MICROZONAZIONE SISMICA**

Regione Marche  
Comune di Fratte Rosa

Studio di approfondimento di livello 3  
sulle aree di attenzione per instabilità di versante

**Tavola n.3**  
**SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA A-A'**  
scala 1:1.000



