



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Mitigazione dei rischi naturali per la sicurezza e la mobilità
nelle aree montane del Mezzogiorno*

VULNERABILITA' SISMICA DI UNA GALLERIA DELLA SS BASENTANA

Componenti del Gruppo: Gaetano Elia*, Gaetano Falcone*, Annamaria di Lernia*, Giampiero D'Ecclesiis**, Ciro Mallardo**, Angela Perrone***, Francesco Cafaro*

*DICATECh - Politecnico di Bari

**ANAS S.p.A - Struttura Territoriale Basilicata

***CNR-IMAA

22-23 Giugno 2023 – Potenza



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Ministero dell'Università
e della Ricerca*



Estratto da: Secondo convegno annuale del progetto MITIGO - 22-23 Giugno 2023 - Sommari degli interventi e presentazioni

© 2023 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9791281551008



Pubblicazione realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it

Caso di studio: galleria Alvaro (Ferrandina Scalo, MT)

In questa relazione si riportano:

- ✓inquadramento morfologico, geologico, della pericolosità da frana e sismica;
- ✓i risultati dello studio di letteratura che ha permesso di definire un modello preliminare di sottosuolo che include le geometrie sepolte rappresentative del corpo di frana principale e la validazione numerica di tale modello di sottosuolo;
- ✓l'interpretazione dei risultati di prove geoelettriche e di misure di rumore ambientale realizzate nell'ambito del progetto MITIGO per la caratterizzazione del deposito;
- ✓i risultati di simulazioni numeriche tridimensionali (3D) di risposta sismica locale dell'aerea del comune di Ferrandina prossima alla galleria Alvaro;
- ✓i risultati di analisi preliminari 3D di interazione dinamica terreno-galleria.

Caso di studio: galleria Alvaro (Ferrandina Scalo, MT)

La galleria Alvaro è situata lungo la SS 407 Basentana, in prossimità dello scalo ferroviario di Ferrandina, e consente di superare il versante di Costa del Canneto. È una galleria naturale, costruita nel 1969-70 a doppia canna, ciascuna rettilinea, con arco rovescio e lunghezza di circa 700m, con due corsie per ogni canna.

La galleria è stata, nel tempo, interessata da fenomeni di dissesto del piano viabile che hanno comportato considerevoli e ripetuti interventi di consolidamento.

Un rilievo del 1988 evidenziava lesioni e fessurazioni per lo più trasversali in calotta e lesioni longitudinali orizzontali sui fianchi, una notevole deformazione del piano viario e dell'arco rovescio alle progressive 275m e 450m (Melidoro et al., 1996).



Caso di studio: galleria Alvaro (Ferrandina Scalo, MT)

La galleria Alvaro è situata lungo la SS 407 Basentana, in prossimità dello scalo ferroviario di Ferrandina, e consente di superare il versante di Costa del Canneto. È una galleria naturale, costruita nel 1969-70 a doppia canna, ciascuna rettilinea, con arco rovescio e lunghezza di circa 700m, con due corsie per ogni canna.

All'inizio degli anni '90, per risolvere importanti deformazioni del piano viabile delle due canne della galleria, furono predisposti interventi di consolidamento che interessarono prevalentemente un rafforzamento del rivestimento, con l'ausilio di malte reoplastiche, ed un rafforzamento fondale dei piedritti con l'ausilio di micropali variamente orientati e di lunghezza variabile (Relazione ANAS, 2014).



Danni in galleria sinistra (direzione Potenza)

Lesioni su cordoli 2007

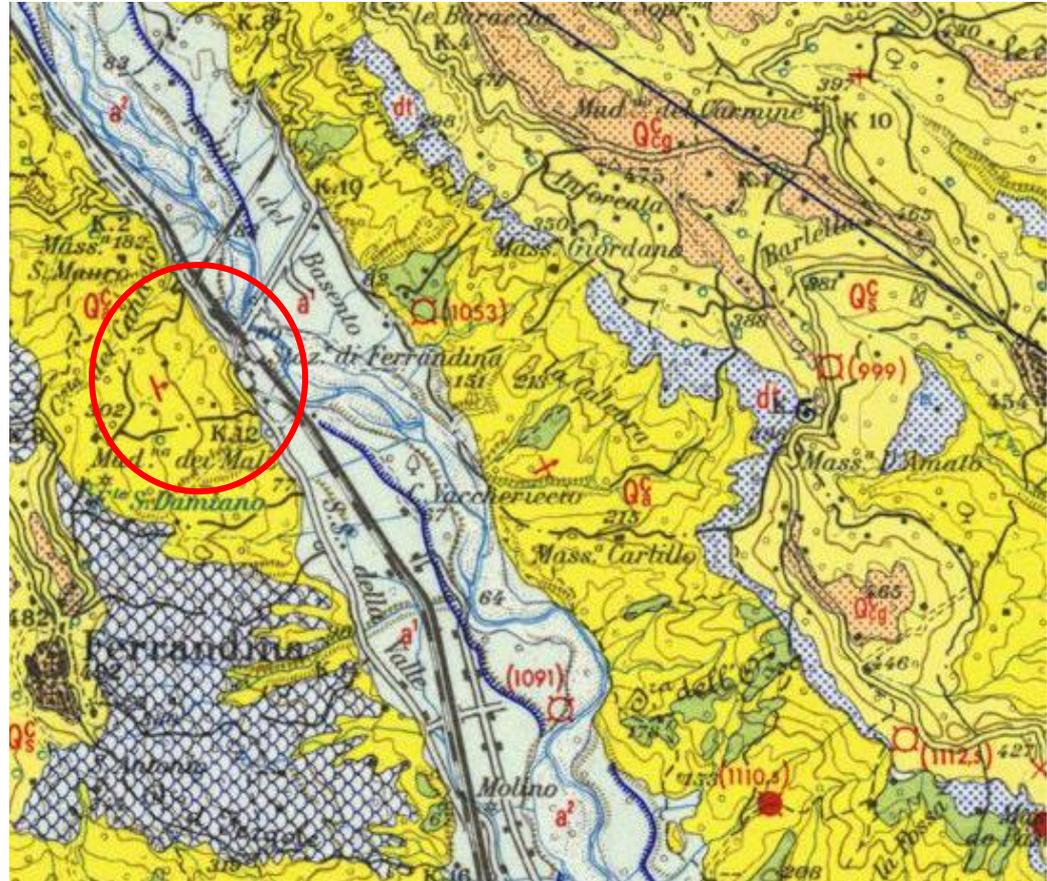


Lesioni su cordoli 2012



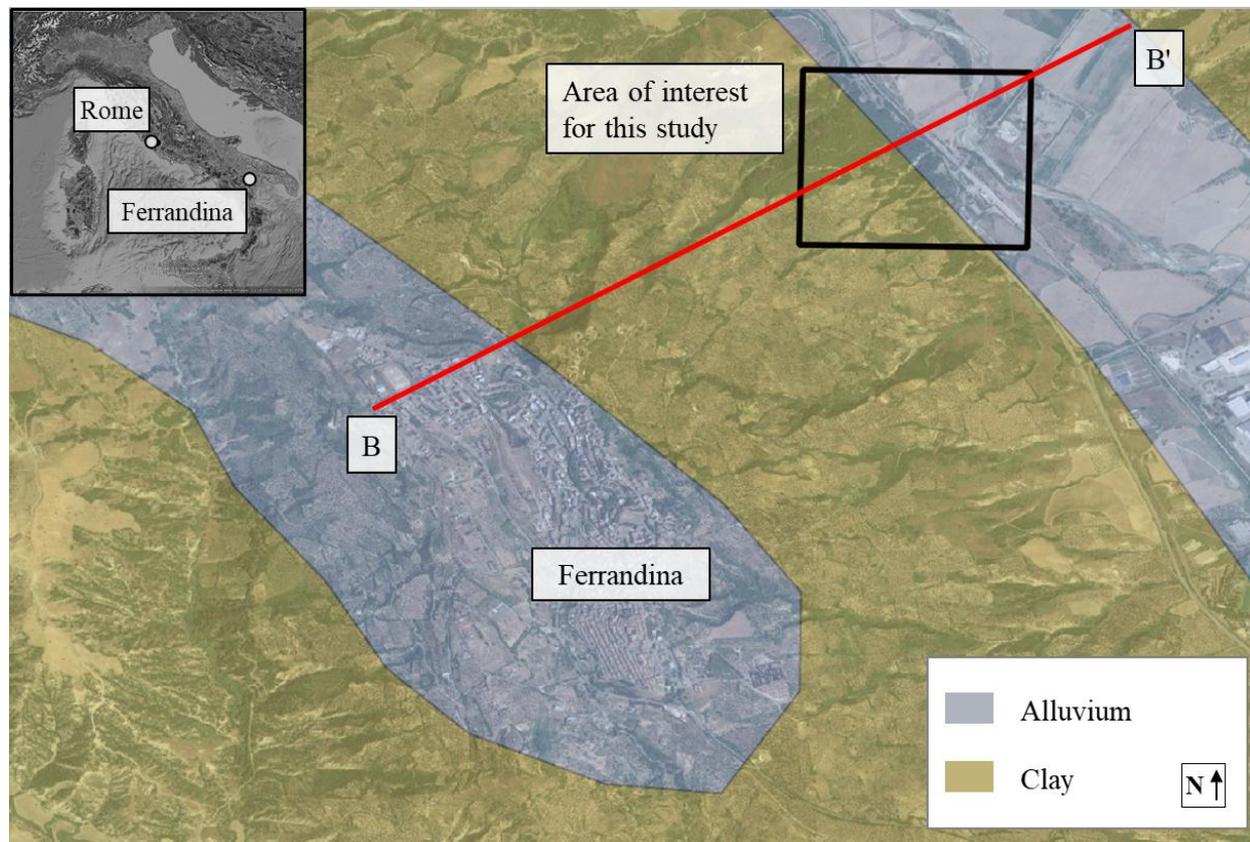
A partire dall'inverno 2007 si sono manifestate delle iniziali lesioni sul cordolo situato sul lato valle della zona d'imbocco della canna sede Potenza, a cui ha fatto seguito, sul finire dell'inverno 2012, la dislocazione lungo le superfici di neoformazione, con una spiccata rotazione verso valle del cordolo ed una successiva deformazione del piano viabile della corsia di marcia a poche decine di metri dall'imbocco, che ha reso indispensabile dapprima la parzializzazione e successivamente la chiusura totale al traffico dell'intera carreggiata (Relazione ANAS, 2014).

Inquadramento morfologico, geologico, della pericolosità da frana e sismica



Foglio 201 della Carta Geologica d'Italia - Miglionico

Inquadramento morfologico, geologico, della pericolosità da frana e sismica



Carta geolitologica

(Portale cartografico nazionale:

<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-wms/>)

Raccolta dei dati pregressi

La successione litologica affiorante appartiene al ciclo bradanico, costituito dalle Argille Subappenniniche grigio-azzurre che passano verso l'alto gradualmente a sabbie, sabbie limose ed ai conglomerati di ambiente costiero che costituiscono la placca sommitale del rilievo (con spessore massimo di 90m) sulla quale poggia l'abitato di Ferrandina (Melidoro et al., 1996).

La tabella riporta i valori medi delle caratteristiche geotecniche delle argille grigio-azzurre di località vicine all'area in esame, ovvero dell'abitato di Ferrandina, del versante opposto del fiume Basento e dell'abitato di Pisticci (Melidoro et al., 1996).

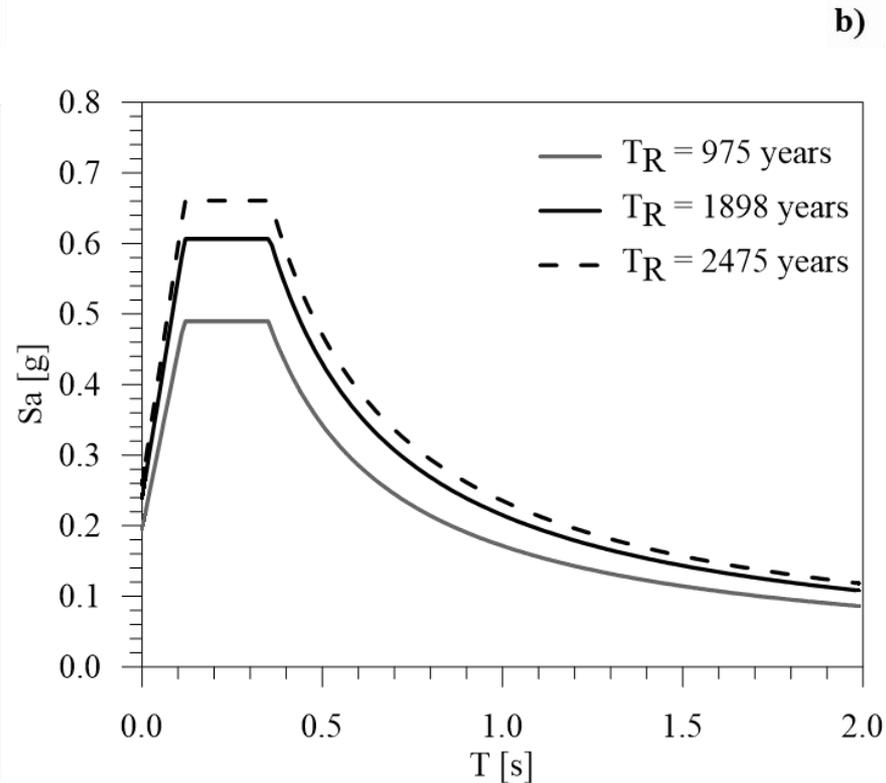
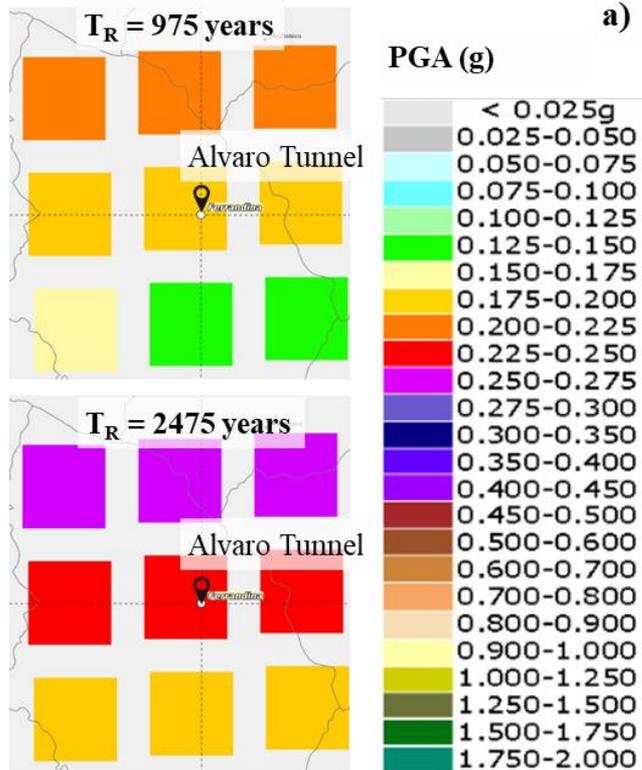
TABELLA 1 - Caratteristiche geotecniche medie delle Argille Subappenniniche

Average values of the geotechnical characteristics of the blue-grey Subappennine Clays.

	Guerricchio e Melidoro 1979 (1)	Cotecchia 1985 (2)	Del Prete et alii 1993 (3)
Gs	2.71	2.74	-
γ (kN/m ³)	20	20.1	21
γ_d (kN/m ³)	17	17.4	18
w (%)	22	19	19
e (%)	0.622	0.544	0.525
S (%)	97	95	98
< 0.002 m	35	45	58
0.002m < % <0.06m	45	31	30
0.06m < % <2mm	10	24	12
LL (%)	37	45	50
LP (%)	21	19	21
IP (%)	16	26	29
A	0.48	0.57	0.52
resistenza di picco			
c'_p (kPa)	24	20	60
ϕ'_p (°)	25	17	21
resistenza residua			
c'_r (kPa)	0	-	0
ϕ'_r (°)	15	-	13

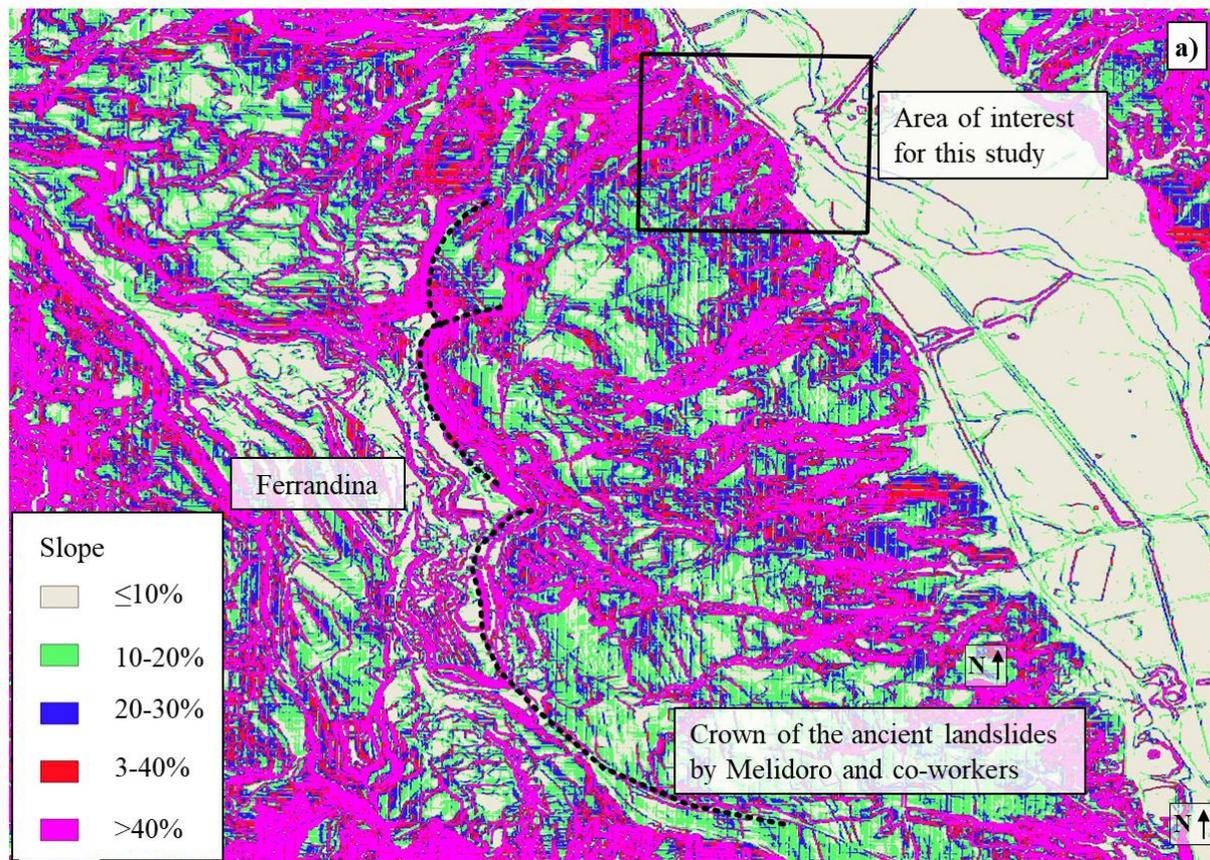
Località: 1) abitato di Pisticci; 2) versante sinistro del fiume Basento nella galleria ferroviaria Matera-Ferrandina; 3) abitato di Ferrandina.
 Locations: 1) Pisticci town; 2) left slope of the Basento River into the Matera-Ferrandina railway tunnel; 3) Ferrandina town.

Inquadramento morfologico, geologico, della pericolosità da frana e sismica

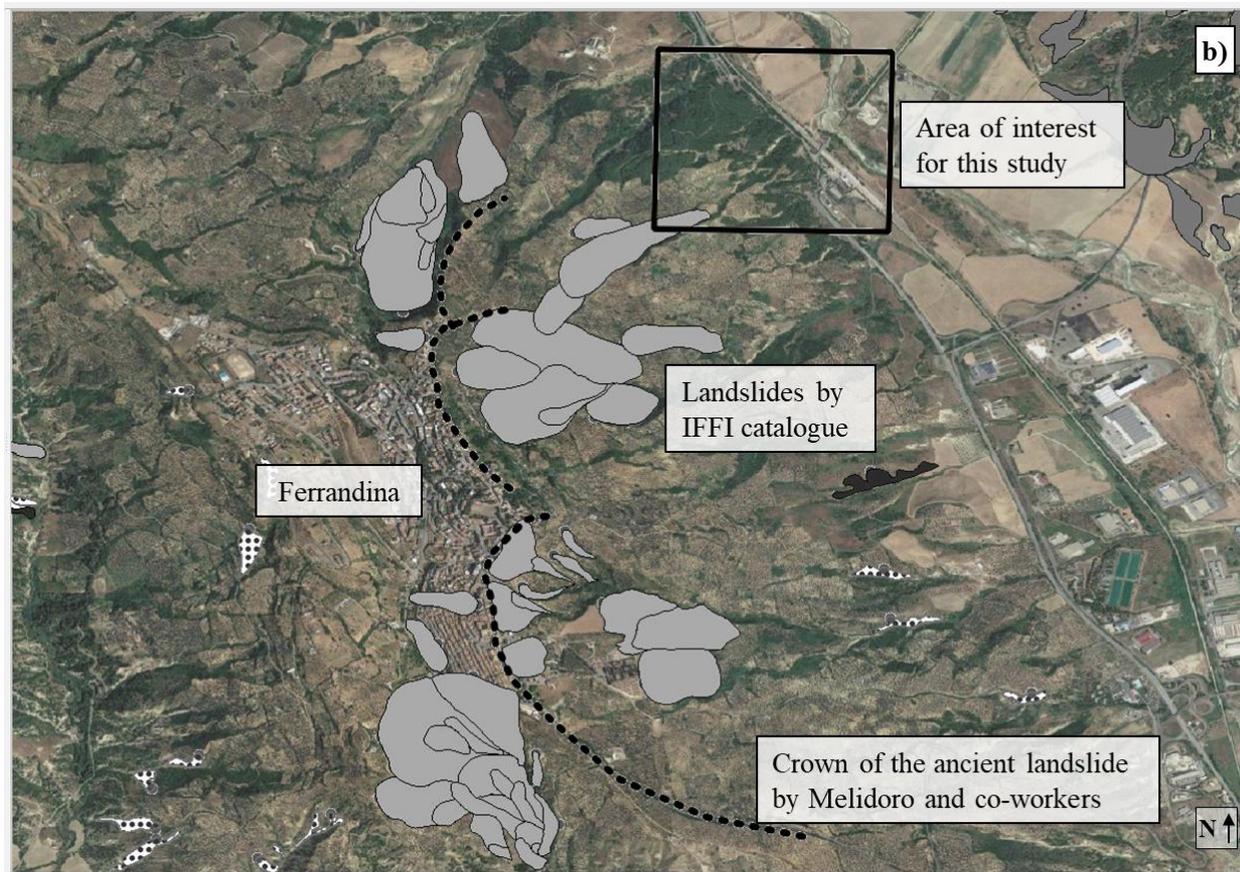


Pericolosità sismica di riferimento (INGV: <https://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Inquadramento morfologico, geologico, della pericolosità da frana e sismica



Inquadramento morfologico, geologico, della pericolosità da frana e sismica



Raccolta dei dati pregressi

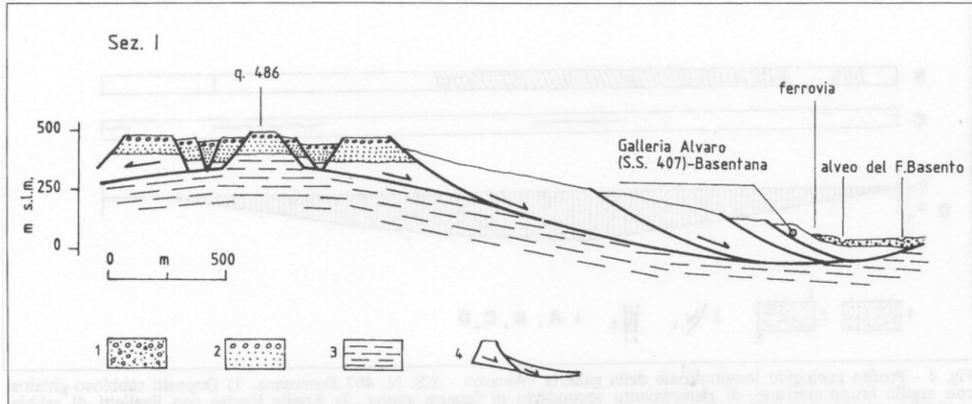


Fig. 3 - Sezione geomorfologica delle grandi frane sul versante orientale del rilievo dell'abitato di Ferrandina (MT). 1) Depositi alluvionali attuali e recenti. 2) Conglomerati e sabbie, Siciliano. 3) Argille grigio-azzurre (Argille Subappenniniche). Pleistocene inferiore. 4) Corpi di frana: spandimenti laterali in alto e scorrimenti nella parte medio-bassa.

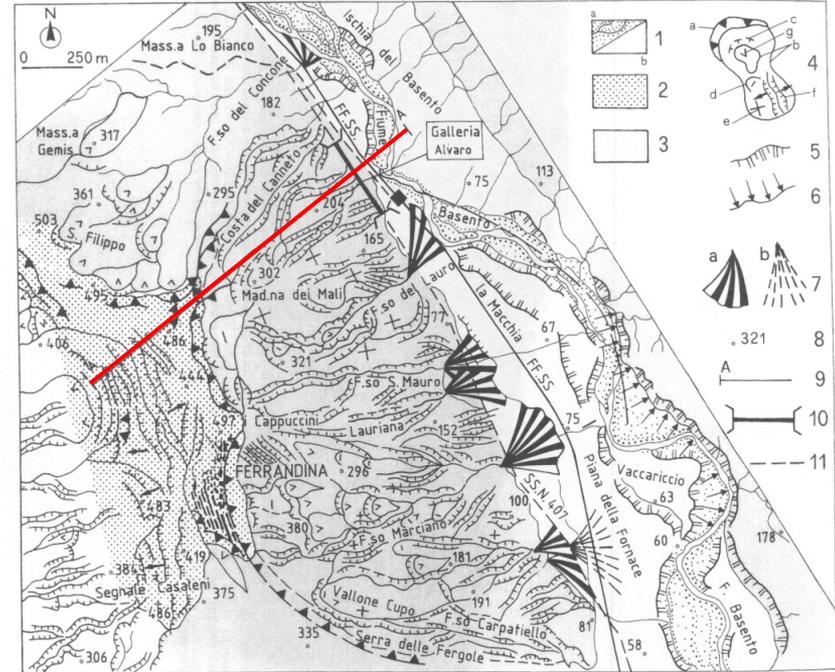
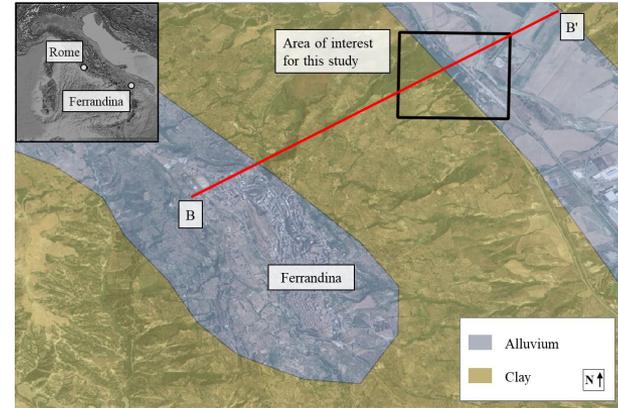


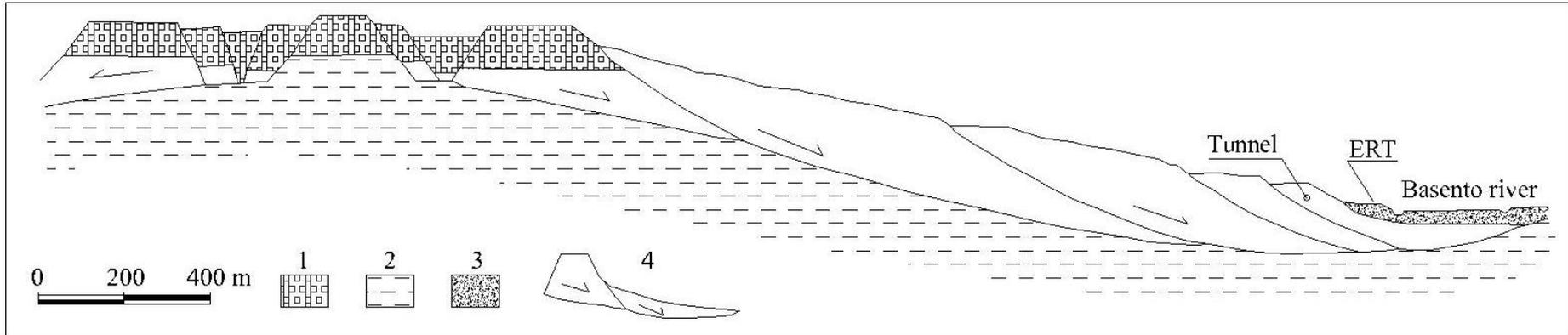
Fig. 2 - Carta geologica e geomorfologica dei fenomeni franosi sul versante orientale dell'abitato di Ferrandina (MT). 1) Depositi alluvionali del fiume Basento: a) attuali e b) recenti. 2) Sabbie gialle con intercalazioni argillose e depositi conglomeratici costieri, Siciliano. 3) Argille limose, marnose, grigio-azzurre o giallastre per alterazione, con sottili livelli sabbiosi di ambiente emipelagico (Argille Subappenniniche). Emiliano. 4) Frana: a) scarpata di rottura principale; b) limite di corpo di frana; c) scarpata di rottura secondaria; d) depressione; e) rigonfiamento; f) trincea e fosso impostato in rotture; g) scoscendimento. 5) Scarpata di erosione di sponda fluviale. 6) Spostamento laterale d'alveo con erosione sulla sponda opposta. 7) Cono di deiezione: a) antico; b) attuale. 8) Quota sul l.m.m (m). 9) Traccia di sezione geologica. 10) Galleria stradale Alvaro. 11) Strada.

Melidoro G, Guerricchio S, Melidoro NL (1996). *Comportamento di una galleria stradale al piede di un grande corpo di frana antica. Geologia Applicata e Idrogeologia*, 31:365–371.

Raccolta dei dati pregressi

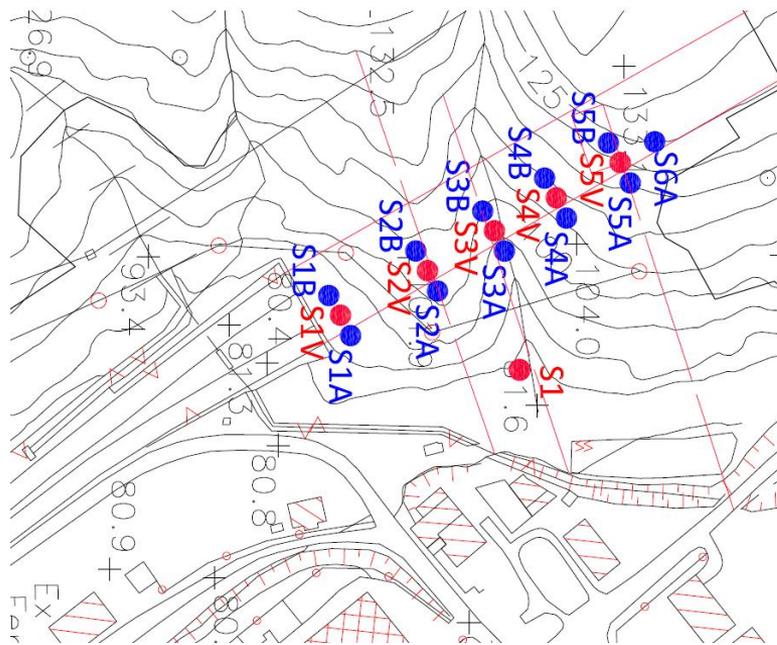


Melidoro G, Guerricchio S, Melidoro NL (1996). *Comportamento di una galleria stradale al piede di un grande corpo di frana antica*. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 31:365–371.

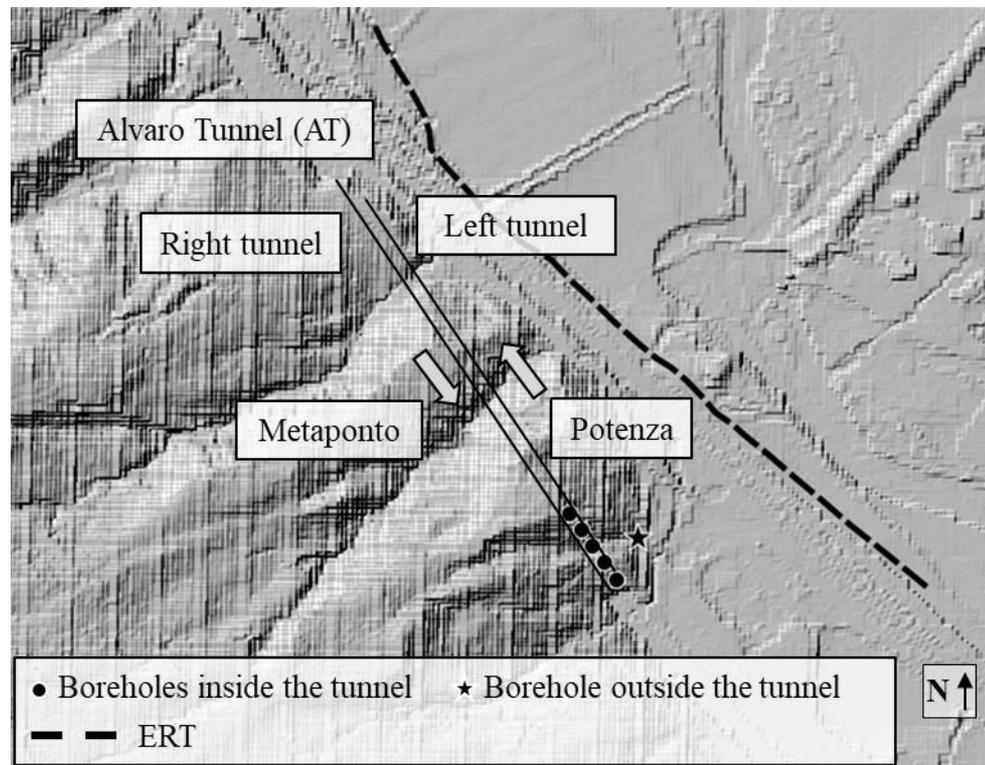


1) sand and conglomerate, 2) blue-grey clay, 3) alluvial material, 4) sliding body.

Raccolta dei dati pregressi



Indagini in sito
(ANAS, 2014)



Raccolta dei dati pregressi

- 1 sondaggio verticale (profondità 25m) realizzato esternamente alla canna sx verso il Basento;
- 5 sondaggi verticali (profondità 10m) realizzati nella canna sx;
- 5 sondaggi sub-orizzontali (lunghezza 10m) realizzati nella canna sx a partire dai piedritti verso il Basento;
- 5 sondaggi sub-orizzontali (lunghezza 8m) realizzati nella canna sx a partire da piedritti verso monte;
- 5 pozzetti geognostici esplorativi ubicati sul marciapiede di destra della canna sx alle medesime progressive dei sondaggi interni alla stessa canna sx;
- Prove di laboratorio su 16 campioni indisturbati;
- 4 prove pressiometriche Menard;
- georadar in galleria (entrambe le canne);
- 6 prove con martinetti piatti ubicati in corrispondenza di due delle cinque sezioni investigate e disposti sui piedritti ed in chiave;
- 9 prove di resistenza a compressione sul cls.

Indagini ANAS 2014 in galleria sinistra (direzione Potenza)

Postazione
sondaggio S1



Postazione Sondaggio S1

0 - 5 m



Cassetta n°1 - profondità da m 0,00 a m 5,00

5 - 10 m



Cassetta n°2 - profondità da m 5,00 a m 10,00

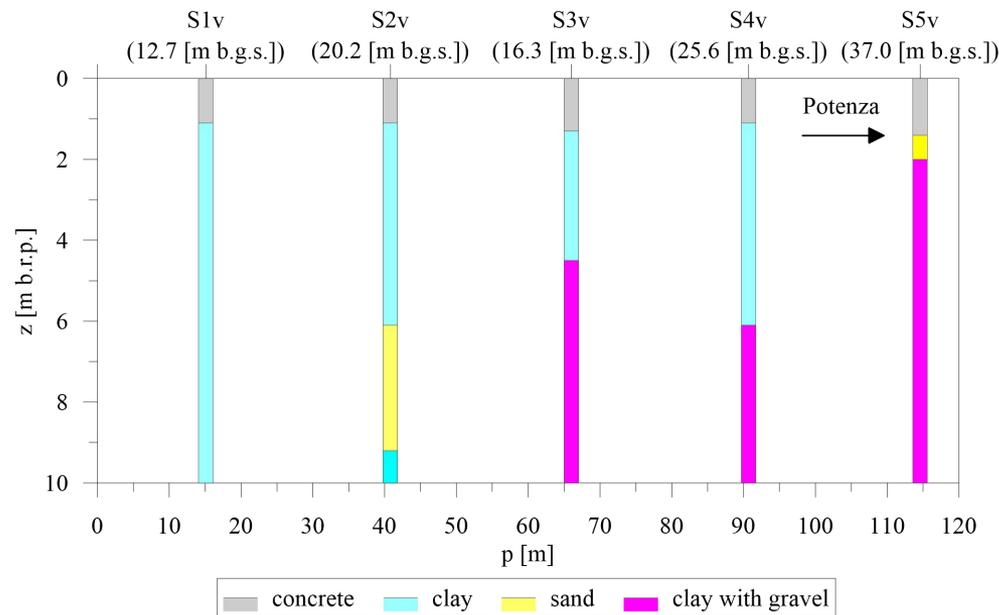
20 - 25 m



Cassetta n°5 - profondità da m 20,00 a m 25,00

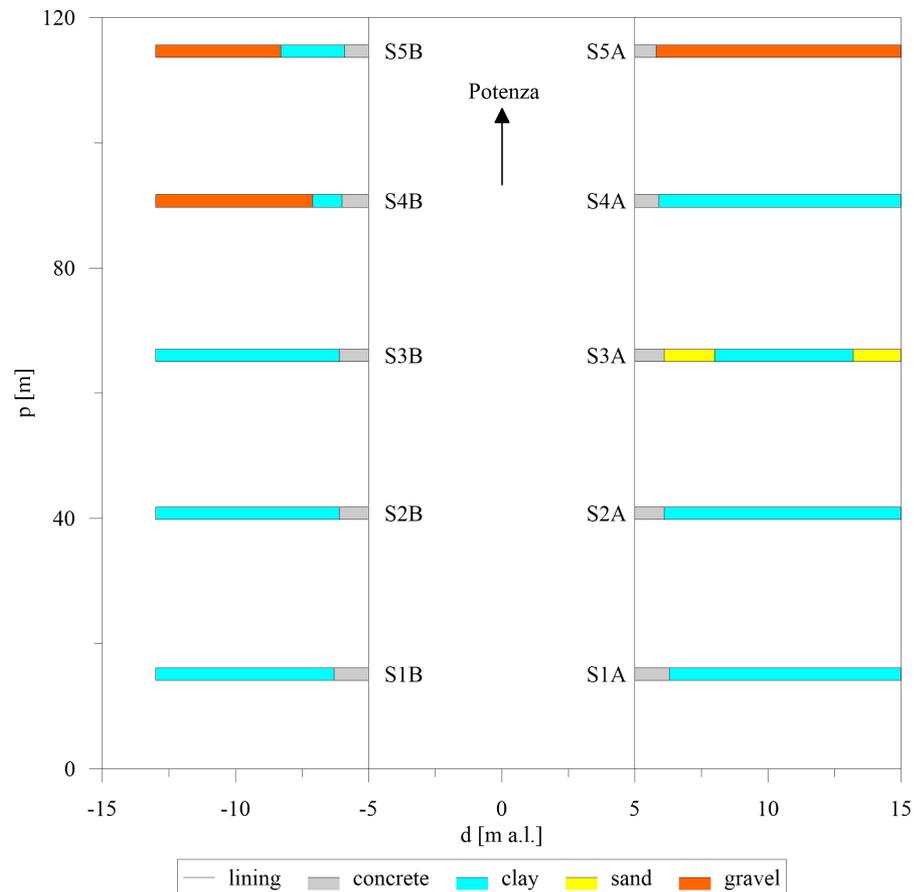
Indagini ANAS 2014 in galleria sinistra (direzione Potenza)

Postazione
sondaggio verticale a
circa 20m da imbocco

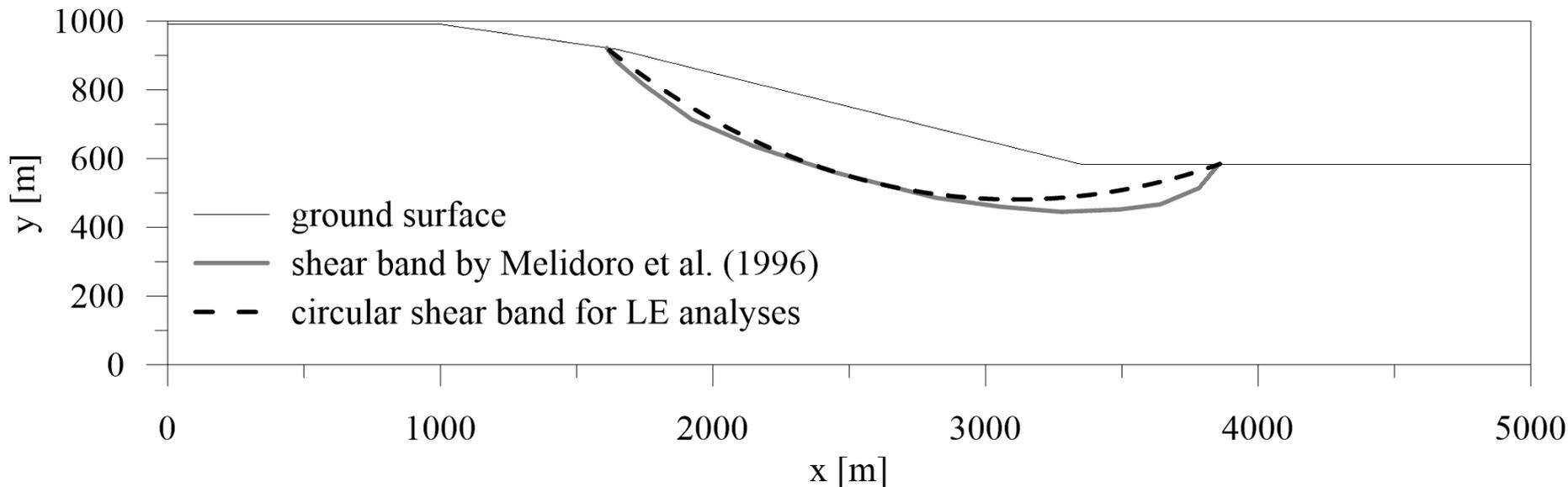


Indagini ANAS 2014 in galleria sinistra (direzione Potenza)

Postazione sondaggio
orizzontale (verso Basento)
a circa 120m da imbocco



Analisi di stabilità preliminari

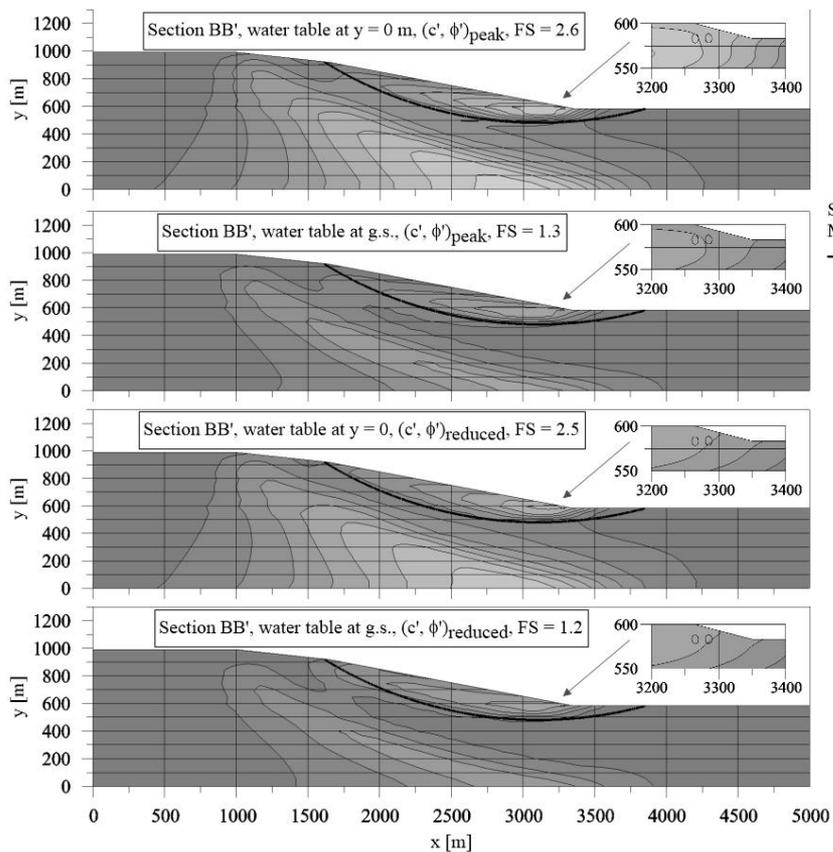


$\left\{ \begin{array}{l} c' = 22.6 \text{ kPa} \\ \phi' = 25.1^\circ \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} c' = 0.0 \text{ kPa} \\ \phi' = 25.1^\circ \end{array} \right.$	Falda al piano campagna (p.c.)
		Falda assente

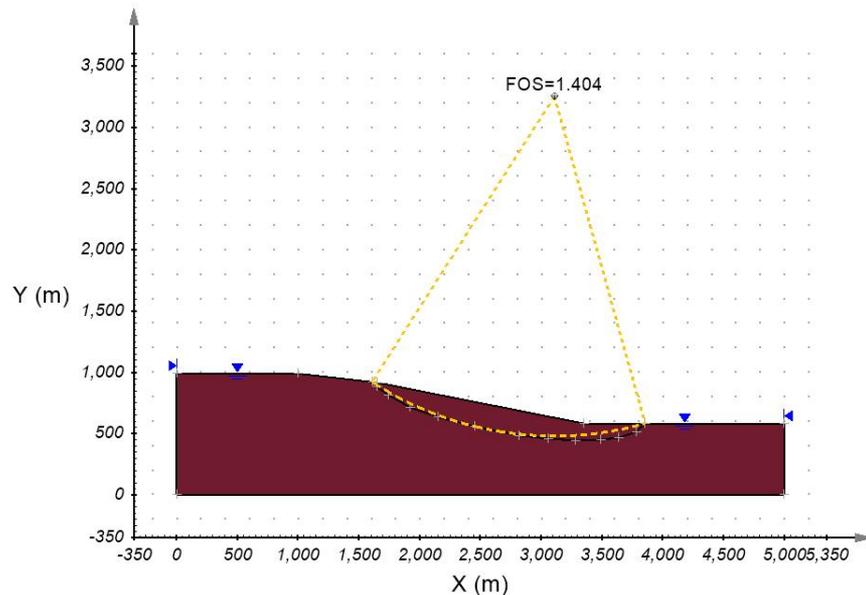


4 scenari

Analisi di stabilità preliminari *c-φ'* reduction PLAXIS 2D



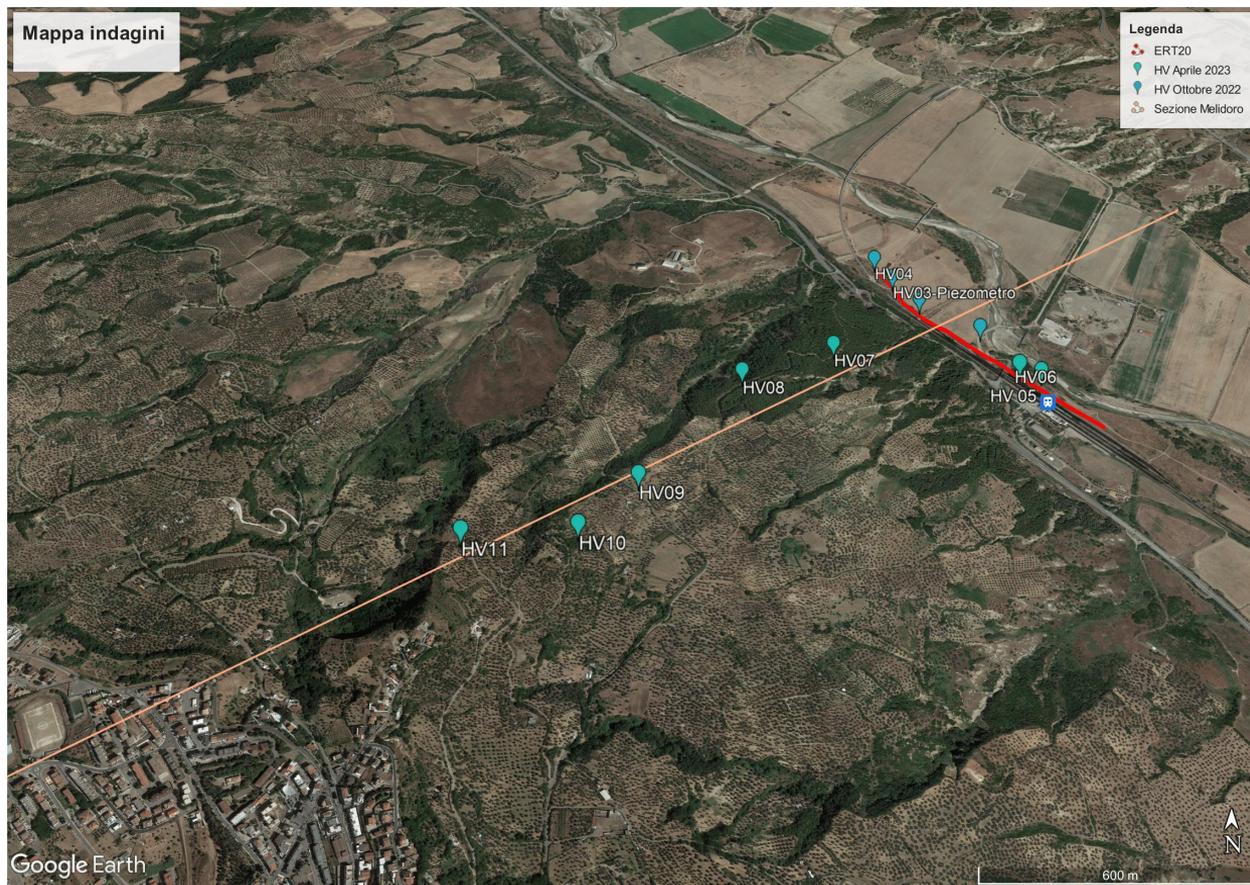
Analisi di stabilità preliminari Equilibrio limite (PLAXIS LE, GEOSLOPE)



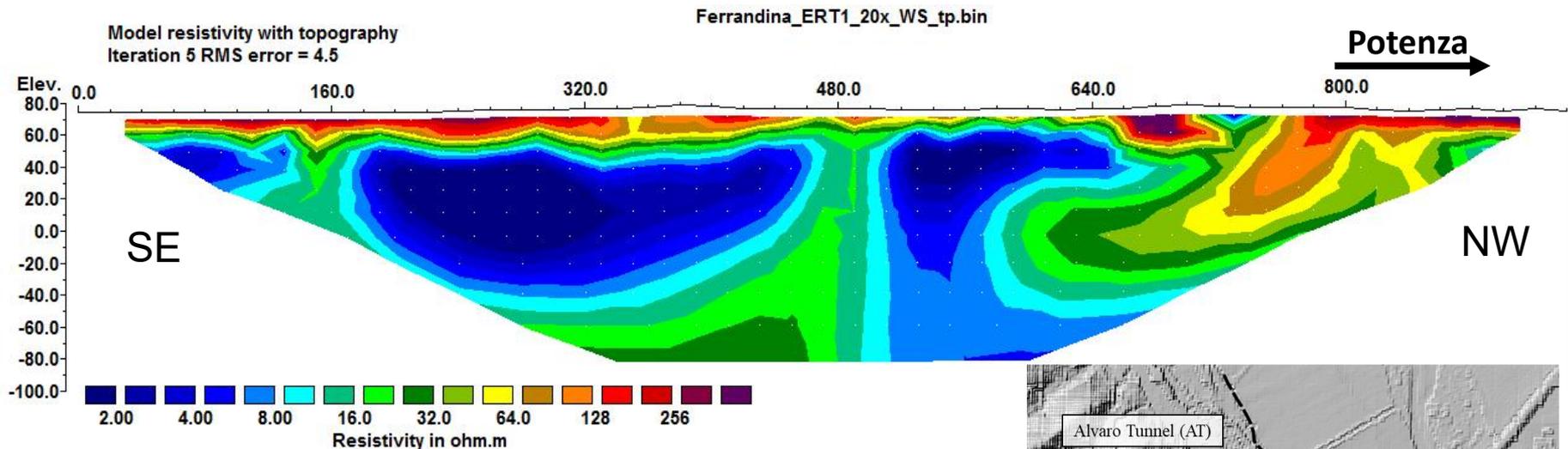
Analisi di stabilità preliminari: risultati

Analysis	Shear band	c'	ϕ'	Water table	FS
[-]	[-]	[kPa]	[°]	[-]	[-]
LE	circular	22.6	25.1	base (y = 0)	2.88
FE	-	22.6	25.1	base (y = 0)	2.63
LE	circular	0.01	25.1	base (y = 0)	2.82
FE	-	0.01	25.1	base (y = 0)	2.51
LE	circular	22.6	25.1	g.s.	1.46
FE	-	22.6	25.1	g.s.	1.28
LE	circular	0.01	25.1	g.s.	1.40
FE	-	0.01	25.1	g.s.	1.24

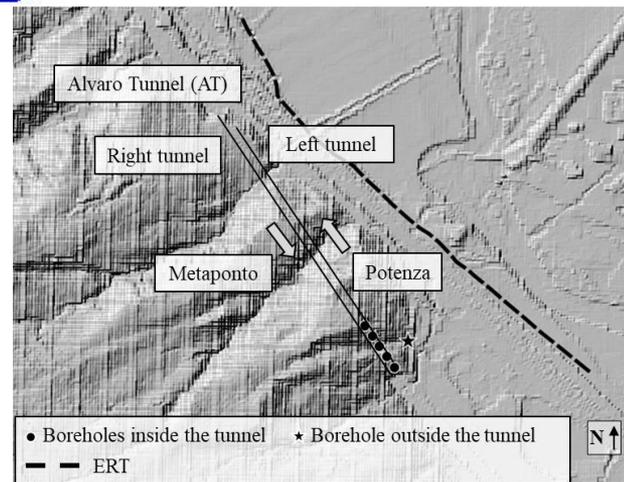
Nuove indagini non invasive (misure geoelettriche e di rumore ambientale)



Nuove indagini non invasive (misure geoelettriche e di rumore ambientale)



Campagna indagini CNR-IMAA (2022/23)



Nuove indagini non invasive (misure geoelettriche e di rumore ambientale)

$$h \simeq \frac{\langle V_s \rangle}{4f_0} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$V_s(z) \simeq V_0 \cdot (1+z)^x \quad \text{Eq. (2)}$$

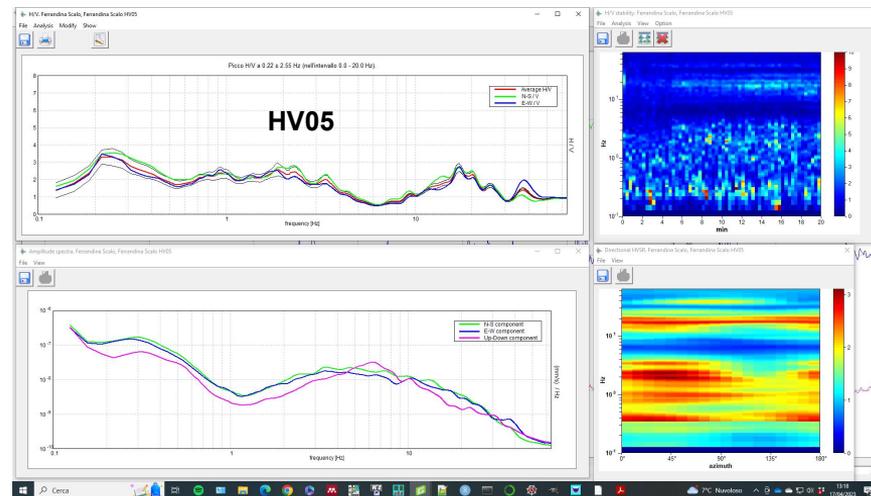
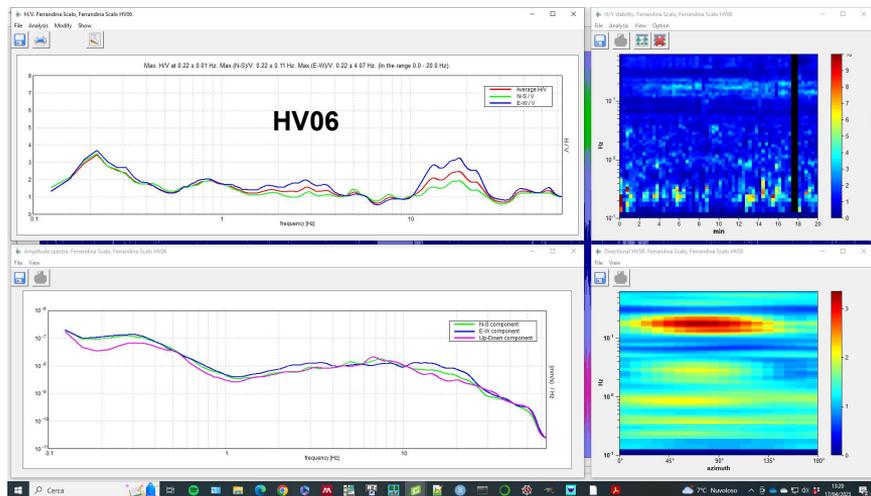


$$h \simeq \left[\frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \quad \text{Eq. (3)}$$

Table 1 - Approximate summary relationship between HVSR peak frequency (f_0) and impedance contrast depth (h), deduced by Eq. (3)

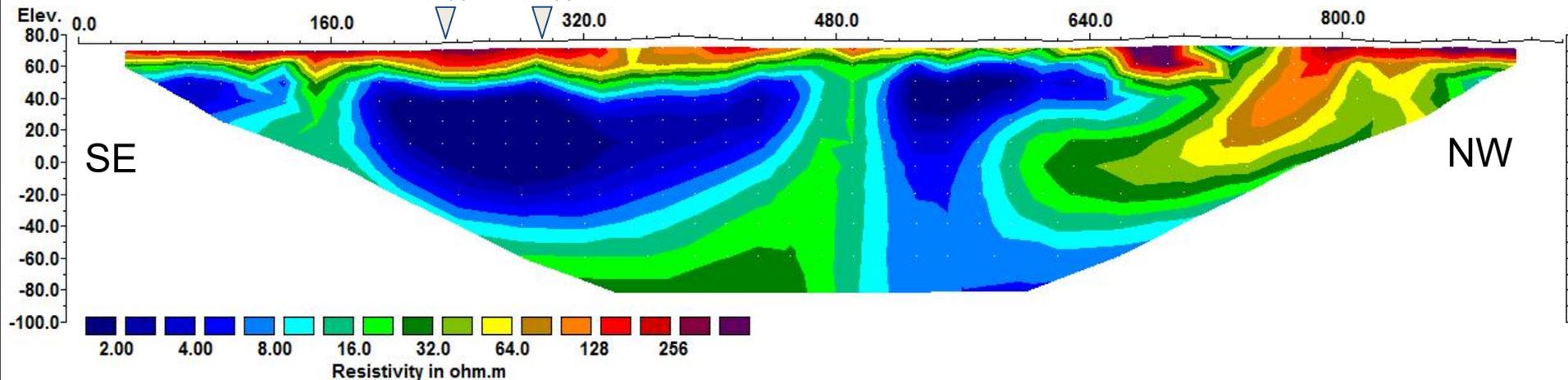
f_0 (Hz)	h (m)
< 1	> 100
1 ÷ 2	50 ÷ 100
2 ÷ 3	30 ÷ 50
3 ÷ 5	20 ÷ 30
5 ÷ 8	10 ÷ 20
8 ÷ 20	5 ÷ 10
> 20	< 5

Albarello D et al. (2011). The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the April 6, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 52(3):513–538.



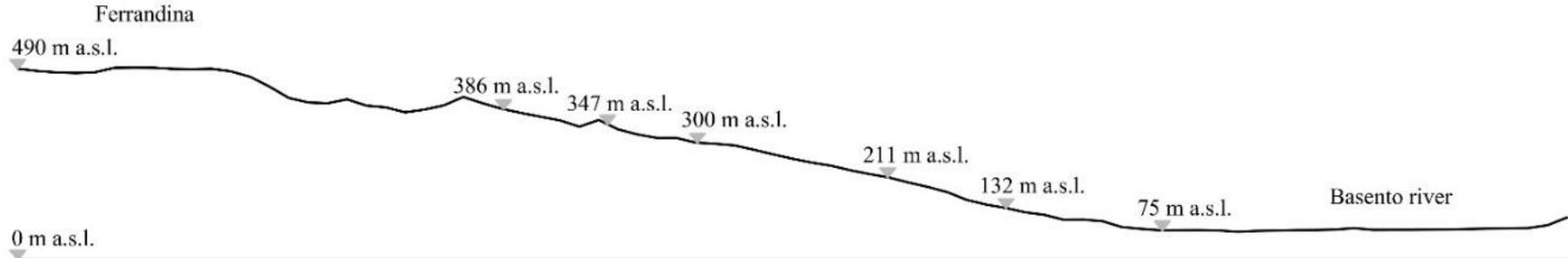
HV06

HV05

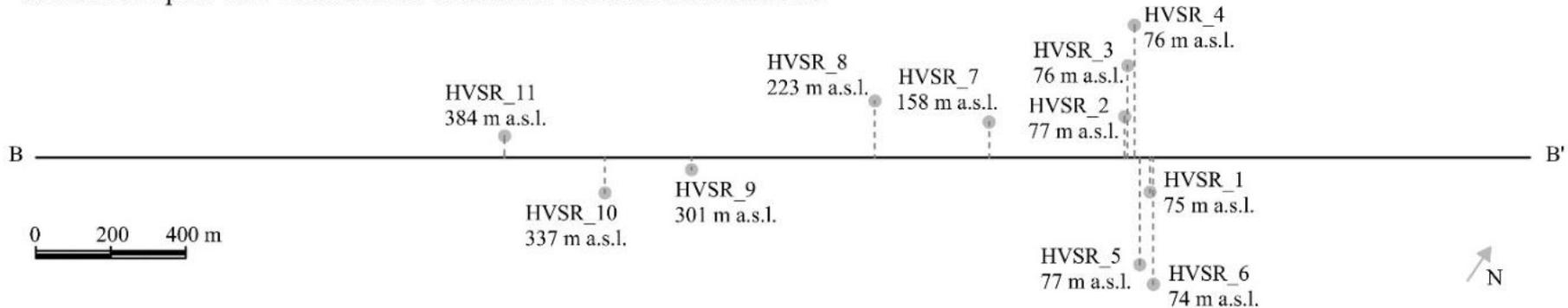


Nuove indagini non invasive (misure geoelettriche e di rumore ambientale)

Section BB': ground surface



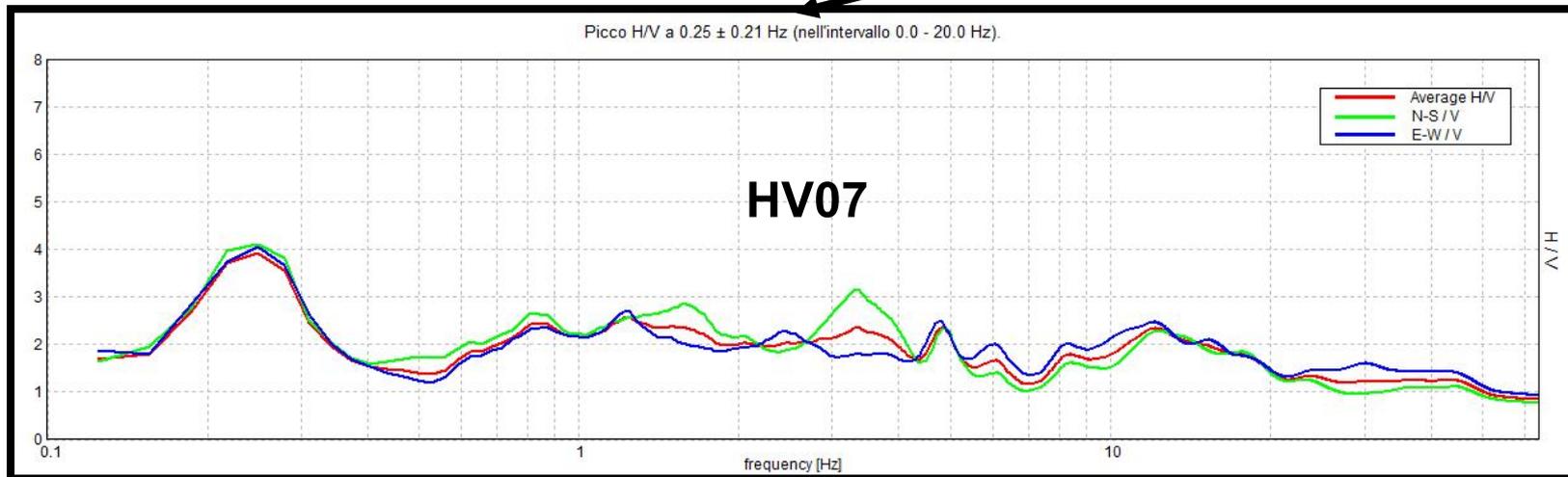
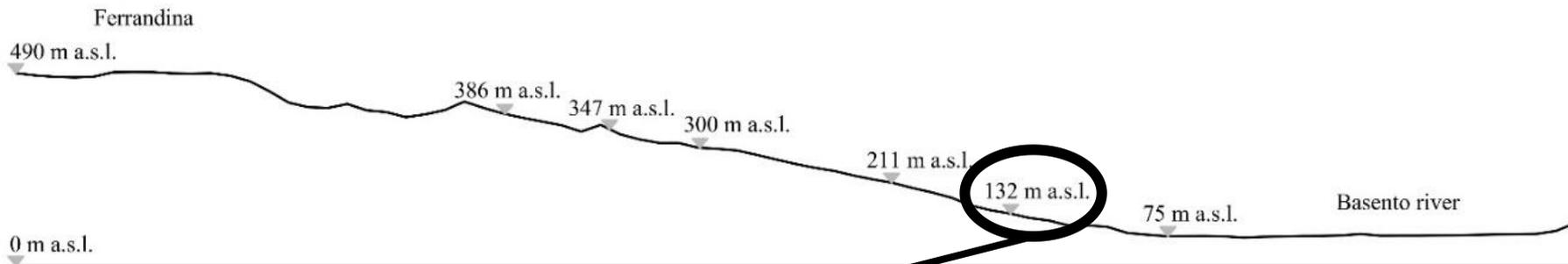
Section BB': plan view with location of ambient vibration measurements



Campagna indagini CNR-IMAA (2022/23)

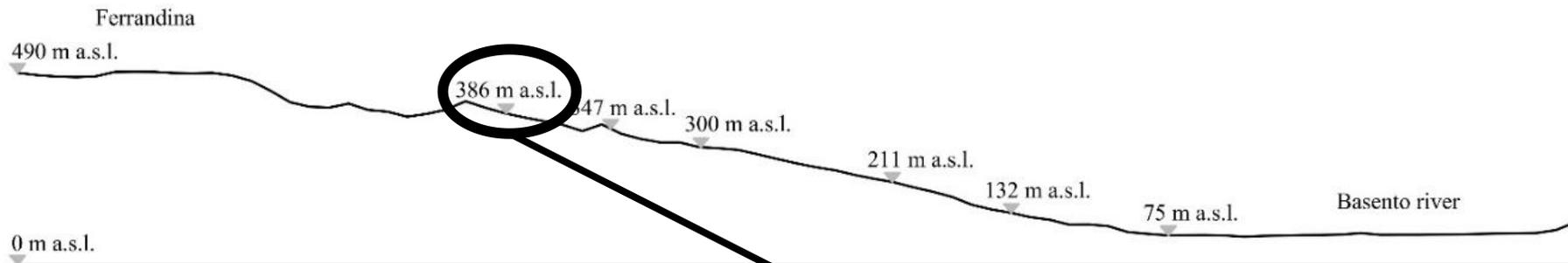
Nuove indagini non invasive (misure geoelettriche e di rumore ambientale)

Section BB': ground surface

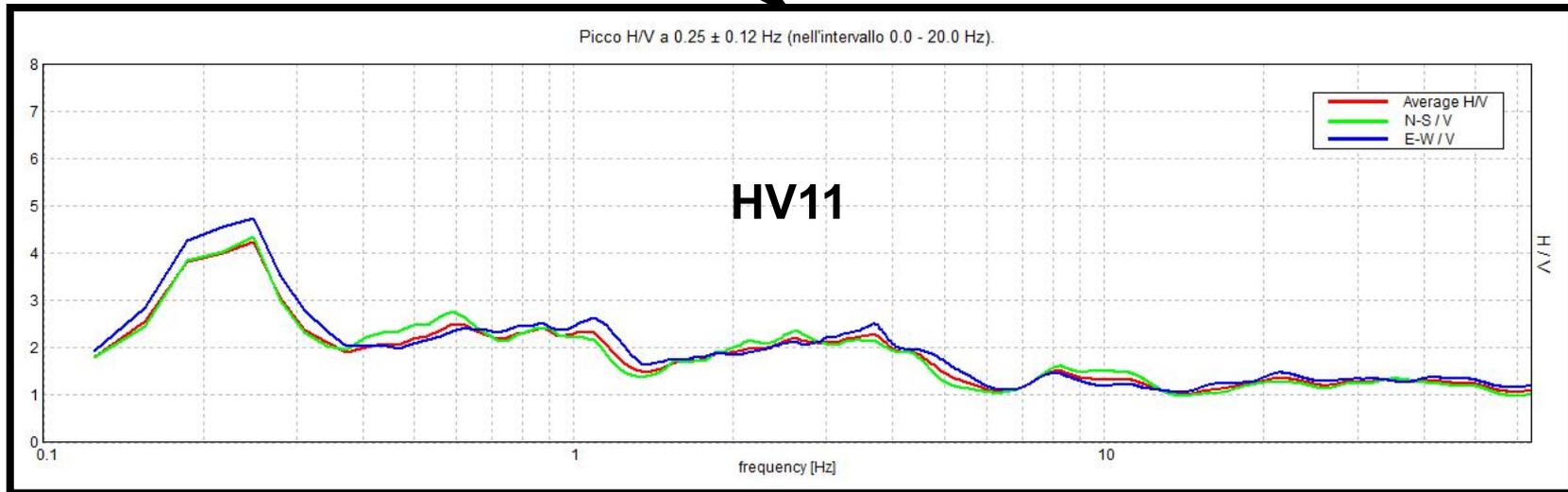


Nuove indagini non invasive (misure geoelettriche e di rumore ambientale)

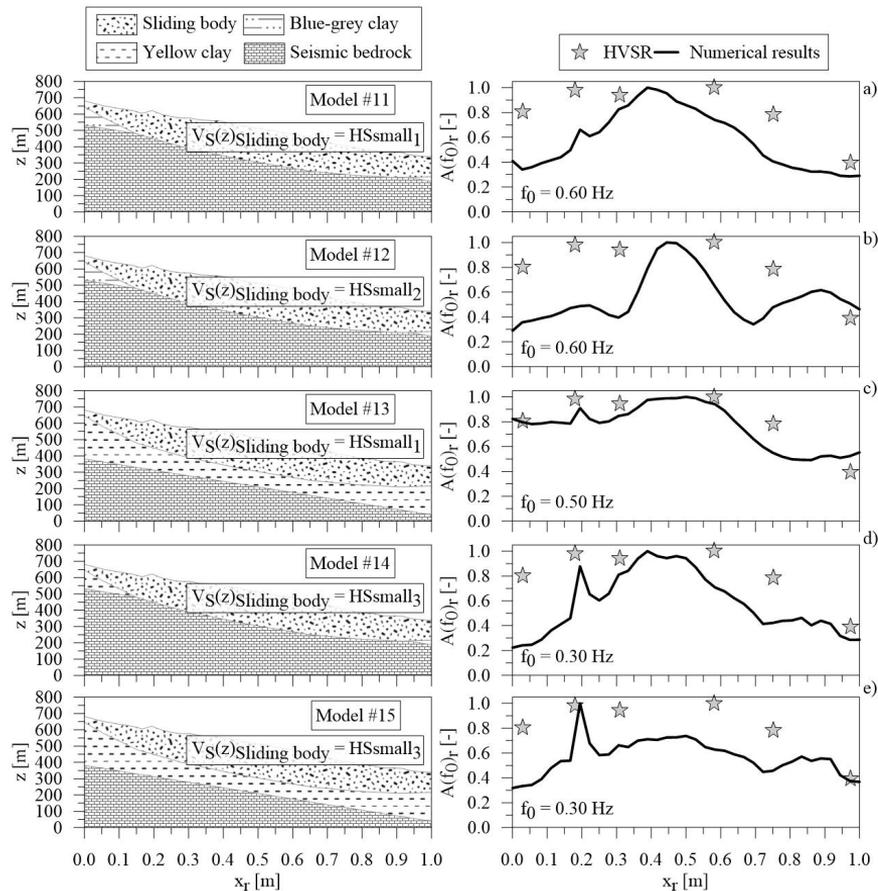
Section BB': ground surface



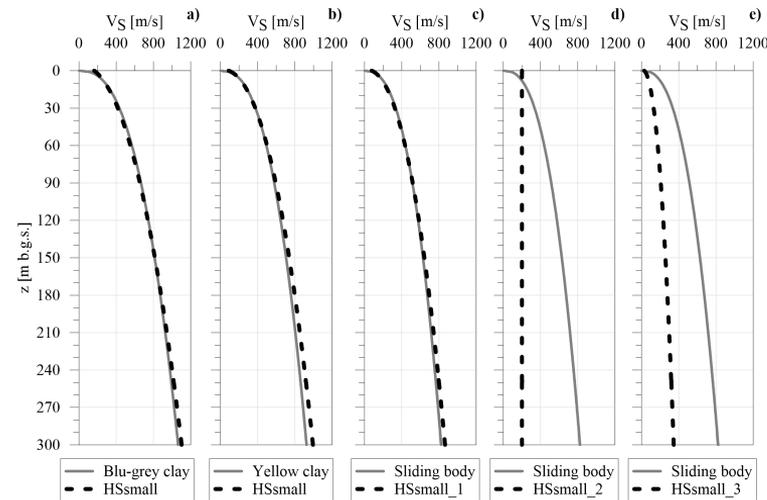
Picco H/V a 0.25 ± 0.12 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).



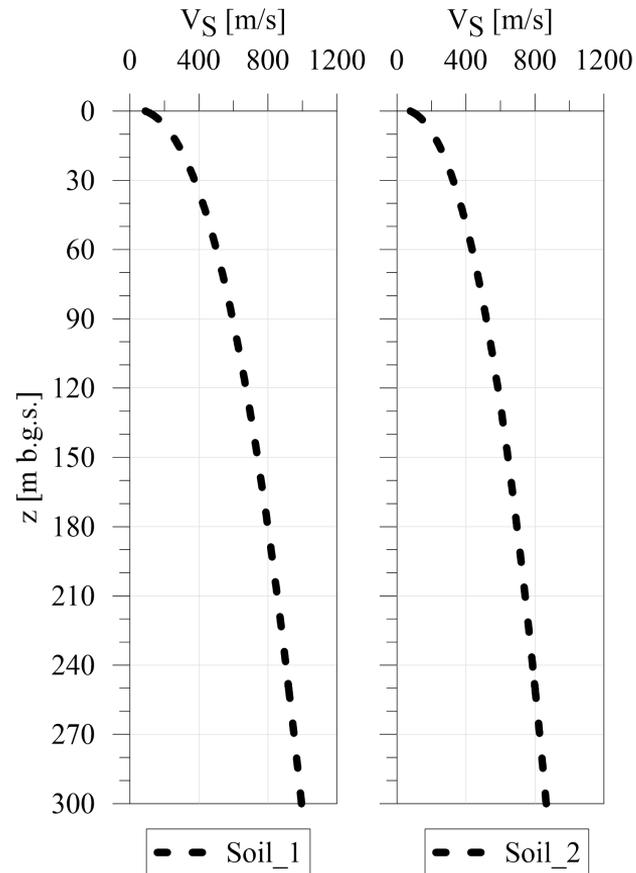
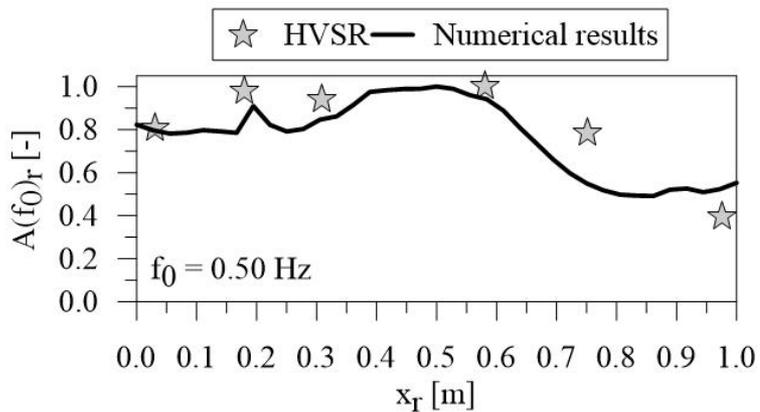
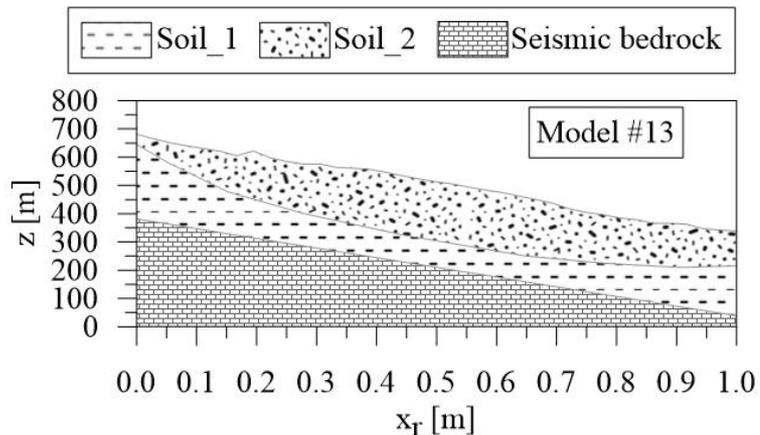
Modellazione numerica per la validazione del modello di sottosuolo preliminare



Il modello preliminare di sottosuolo che include le geometrie sepolte rappresentative del corpo di frana principale è stato validato attraverso un approccio parametrico confrontando i risultati numerici di analisi di risposta sismica locale 2D con input sismico di bassa intensità (PGA=0.01g) e le misure HVSr.



Modellazione numerica per la validazione del modello di sottosuolo preliminare



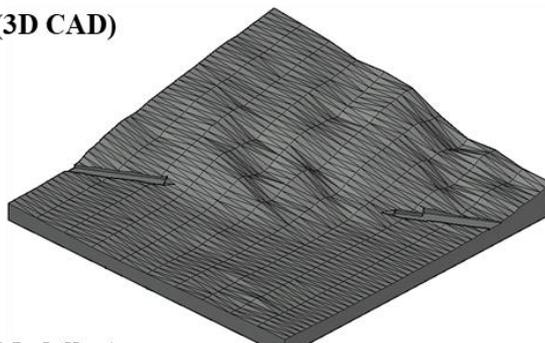
Valutazione preliminare delle sollecitazioni sismiche sul rivestimento

A partire dal DTM regionale, con dimensione di cella 5m, sono stati generati due modelli CAD.

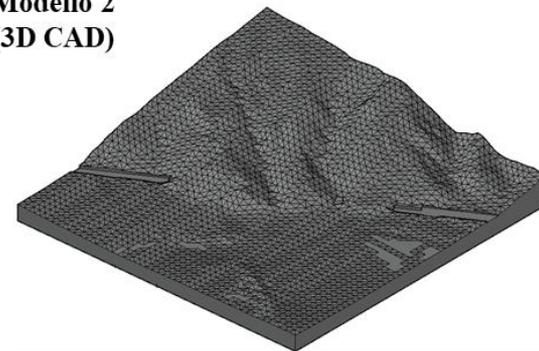
Il Modello 2 è più congruente con la topografia reale rispetto al Modello 1. Le *mesh* dei due modelli sono caratterizzate circa dallo stesso numero di elementi e di nodi e dimensione media degli elementi confrontabile.

Al fine di evidenziare esclusivamente l'accoppiamento dell'amplificazione topografica e stratigrafica in assenza di geometrie sepolte, i valori di V_s (400m/s) e di D (0.1%) sono stati considerati costanti con la profondità.

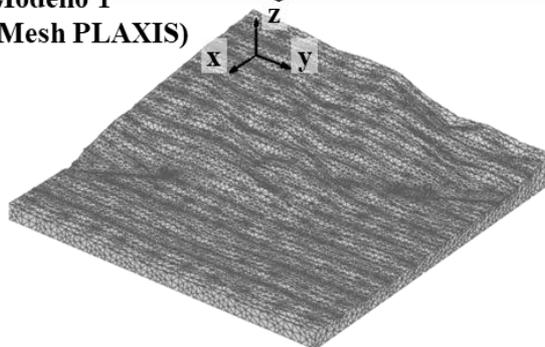
Modello 1
(3D CAD)



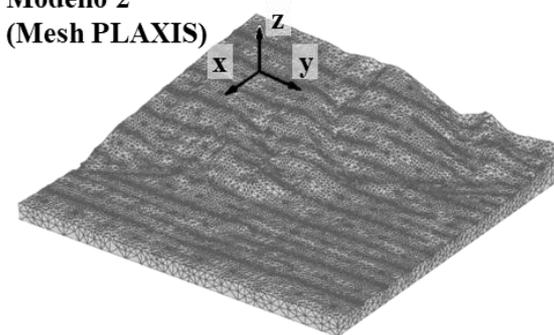
Modello 2
(3D CAD)



Modello 1
(Mesh PLAXIS)



Modello 2
(Mesh PLAXIS)

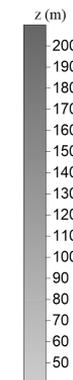
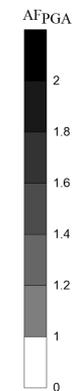
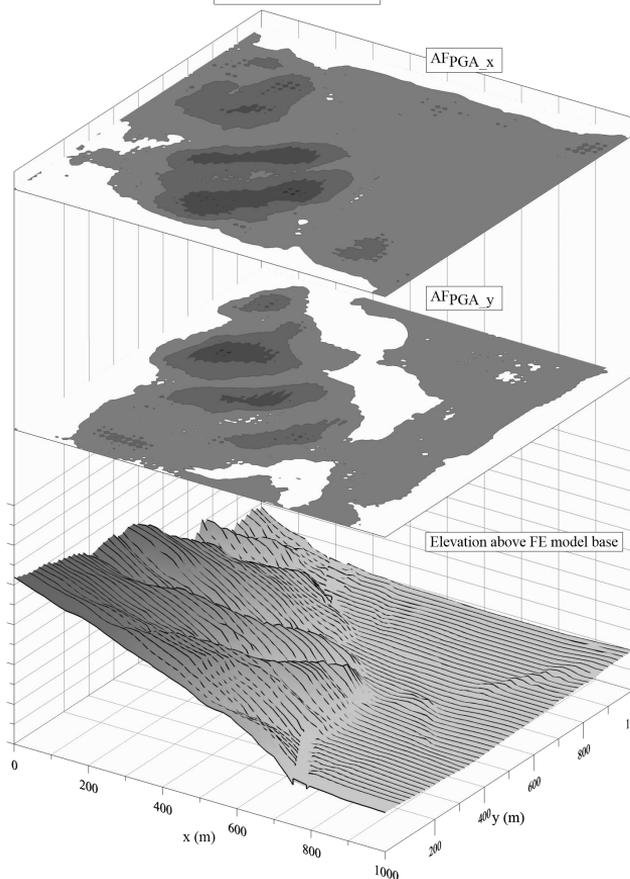
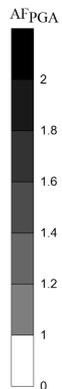
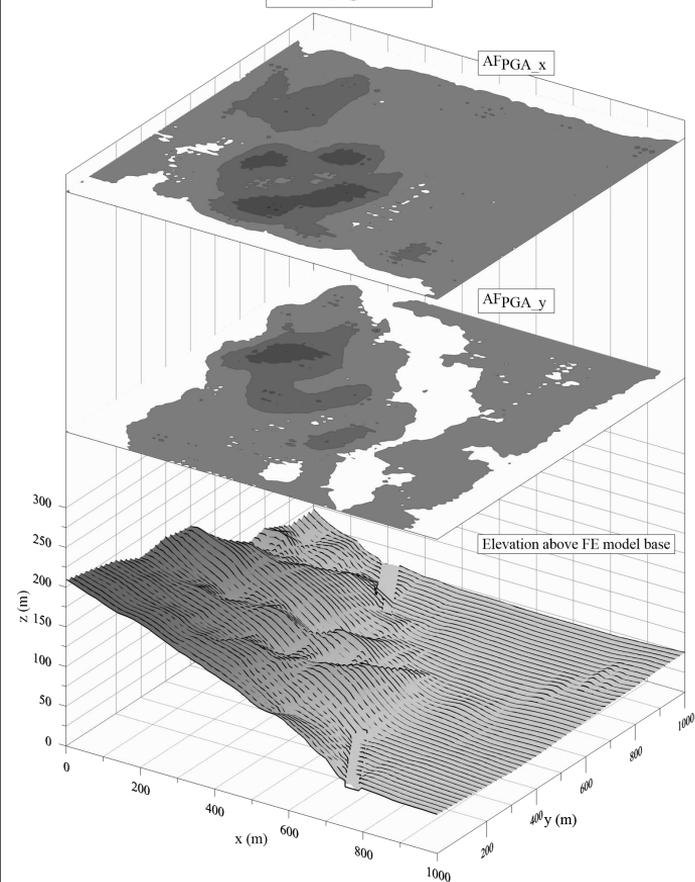


Bordi verticali: *free-field* + spostamenti orizz. pari a 0
Base: *compliant base*

Modellazione numerica preliminare per la valutazione degli effetti di sito

Modello 1, $V_S = 1000$ m/s

Modello 2, $V_S = 1000$ m/s



$$AF_{PGA} = \frac{PGA_{pc}}{PGA_{ref}}$$

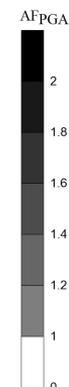
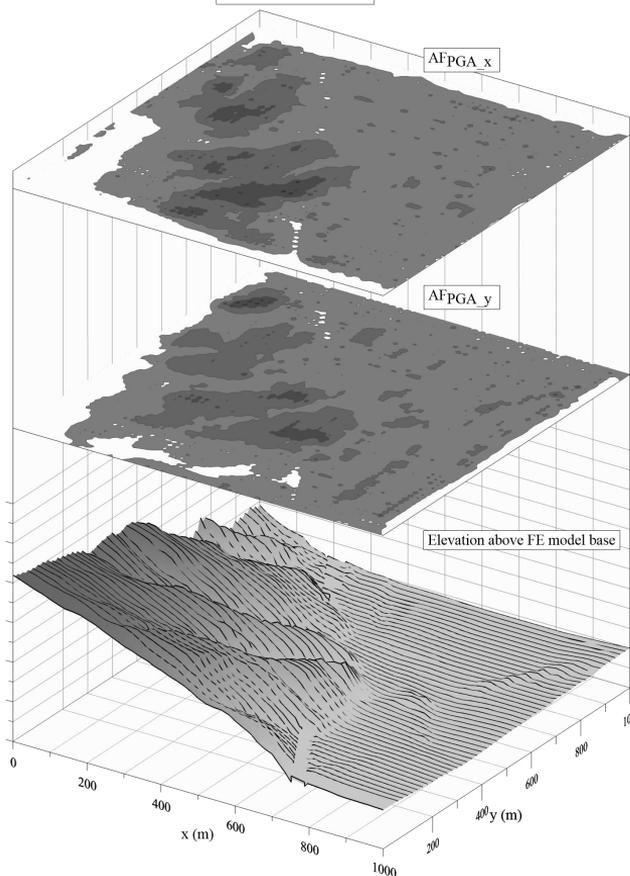
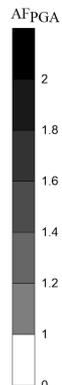
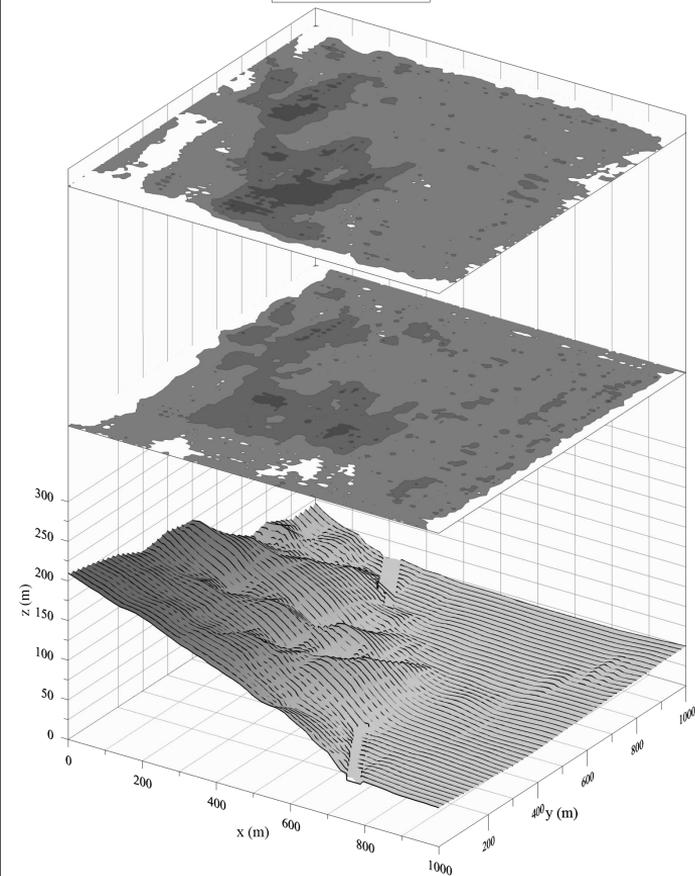
pc : piano
campagna

ref :
riferimento

Modellazione numerica preliminare per la valutazione degli effetti di sito

Modello 1, $V_S = 400$ m/s

Modello 2, $V_S = 400$ m/s

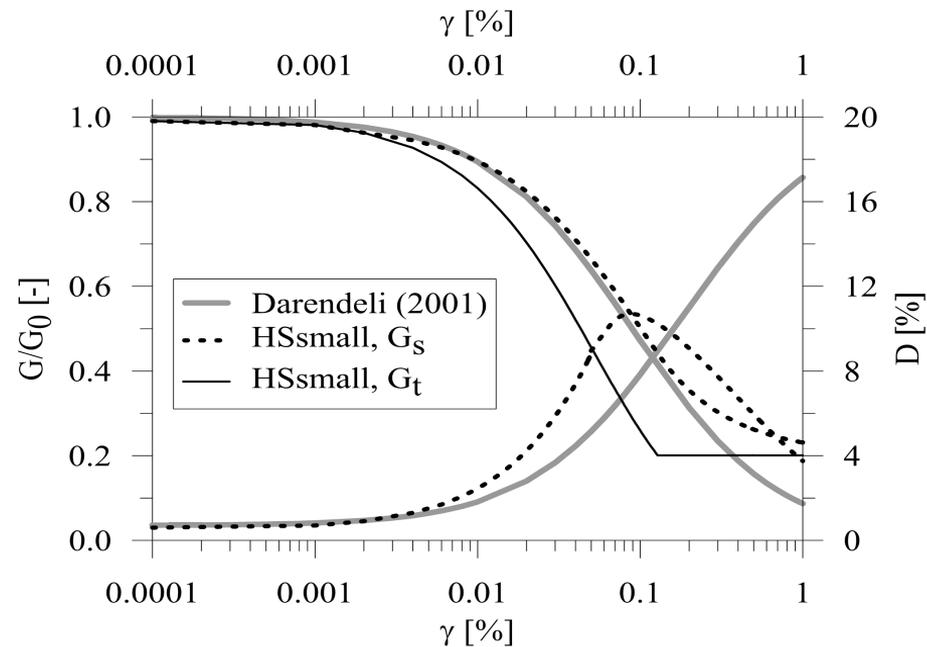
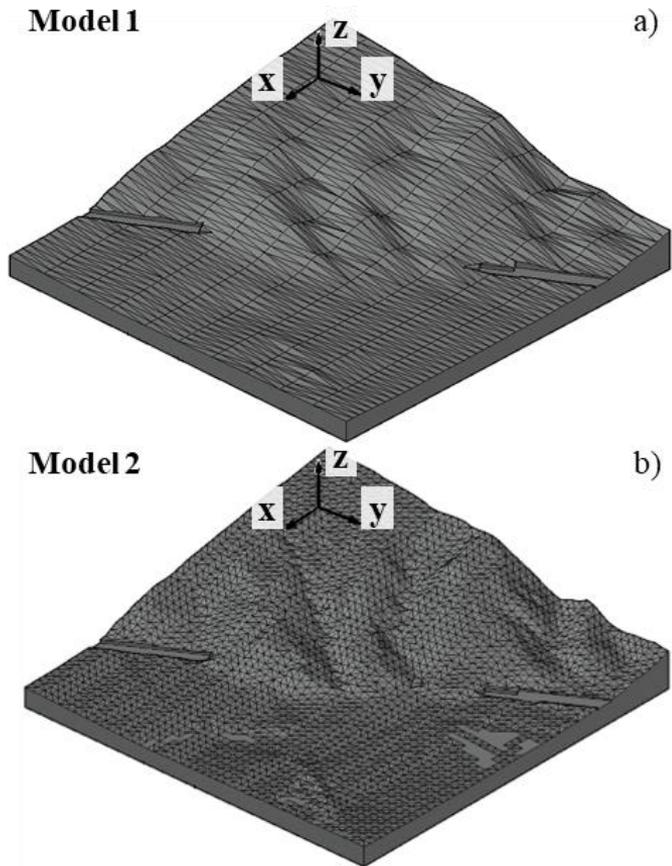


$$AF_{PGA} = \frac{PGA_{pc}}{PGA_{ref}}$$

pc : piano
campagna

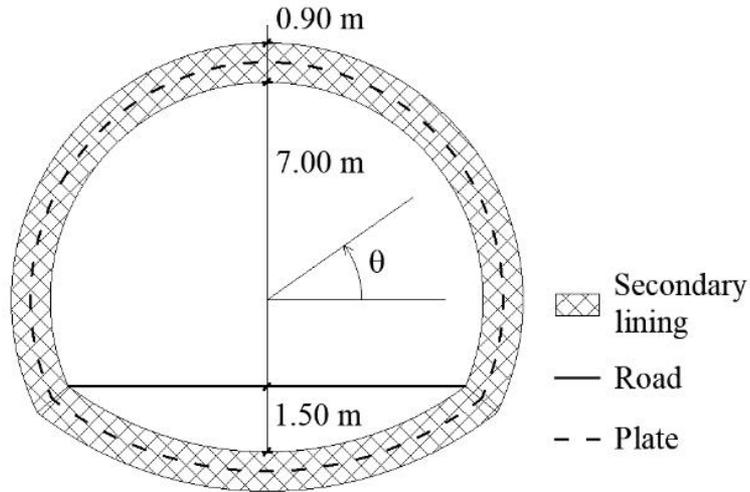
ref :
riferimento

Valutazione preliminare delle sollecitazioni sismiche sul rivestimento

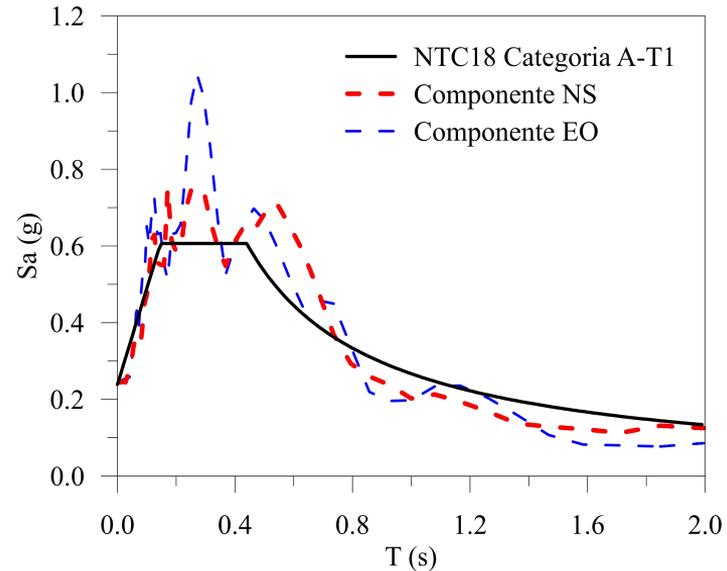


Per tener conto del comportamento nonlineare del terreno, è stato adottato il modello HSsmall (Schanz et al., 1999), $V_s=400\text{m/s}$ e $D=0.1\%$ costanti con la profondità

Valutazione preliminare delle sollecitazioni sismiche sul rivestimento



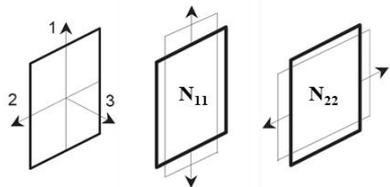
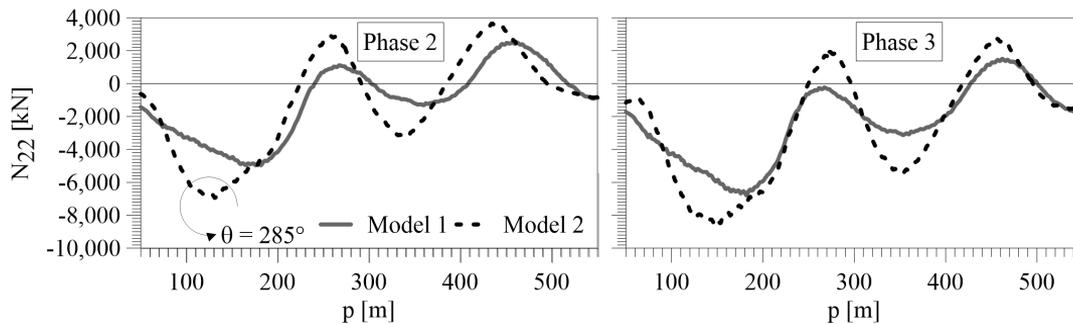
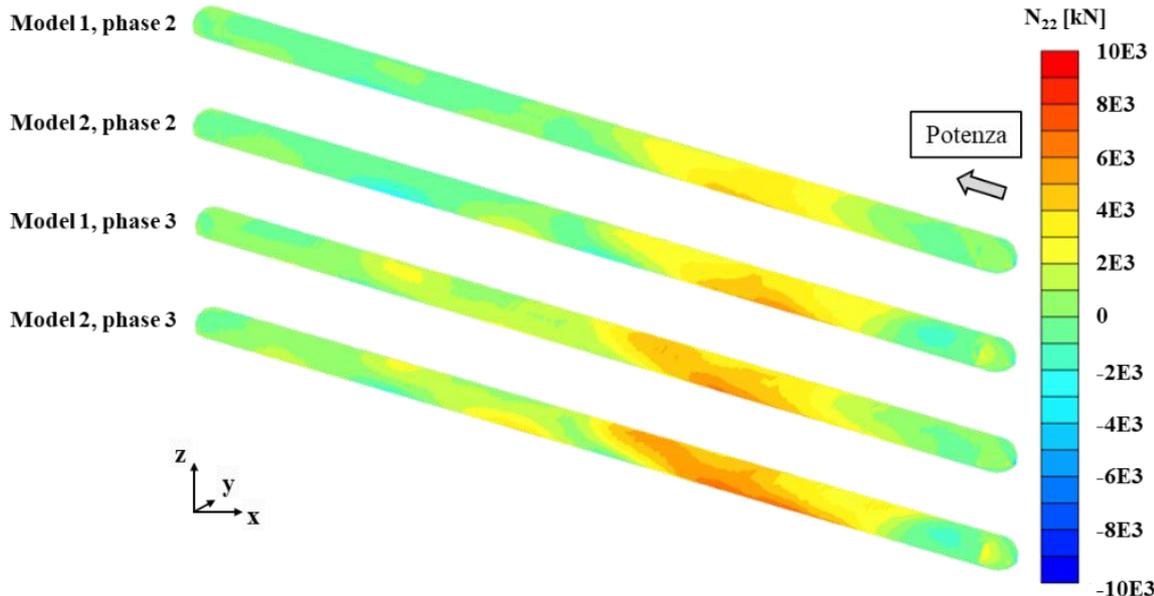
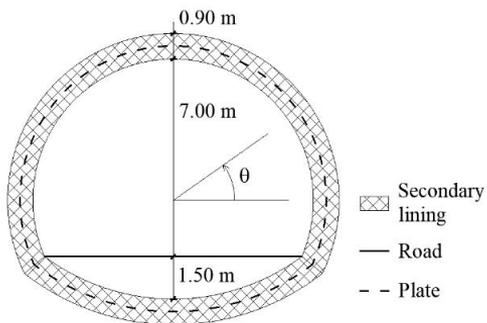
Il rivestimento in cls armato, di spessore pari a 90cm, è stato modellato attraverso elementi *plate* di materiale elastico e modulo di Young pari a 31.5GPa (cls C25/30)



Entrambe le componenti dell'input sismico (Umbria-Marche 14/10/1997), scalate a 0.24g, sono state applicate contemporaneamente alla base del modello numerico

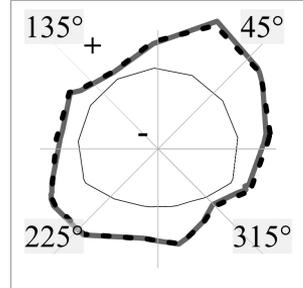
Valutazione preliminare delle sollecitazioni sismiche sul rivestimento

Phase 2 : prima del sisma
 Phase 3 : al termine del sisma

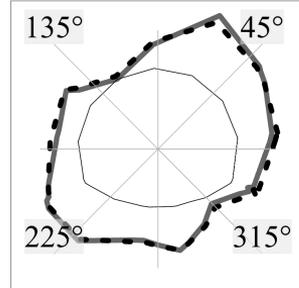


Valutazione preliminare delle sollecitazioni sismiche sul rivestimento

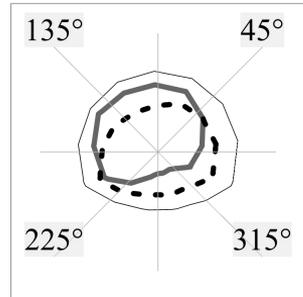
p = 79 m, N₁₁, phase 2



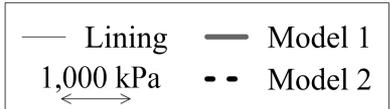
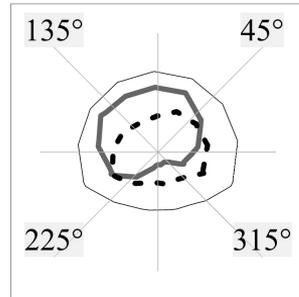
p = 79 m, N₁₁, phase 3



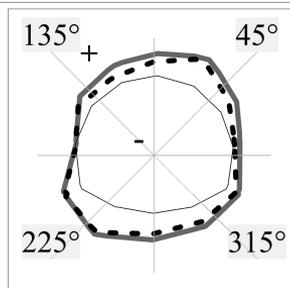
p = 79 m, N₂₂, phase 2



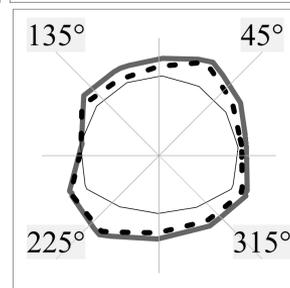
p = 79 m, N₂₂, phase 3



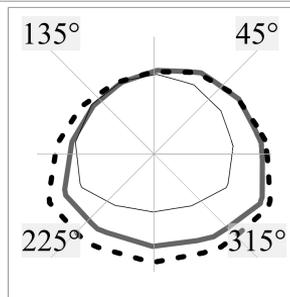
p = 463 m, N₁₁, phase 2



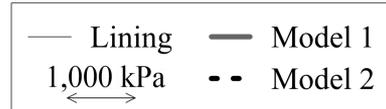
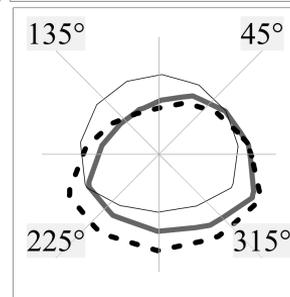
p = 463 m, N₁₁, phase 3



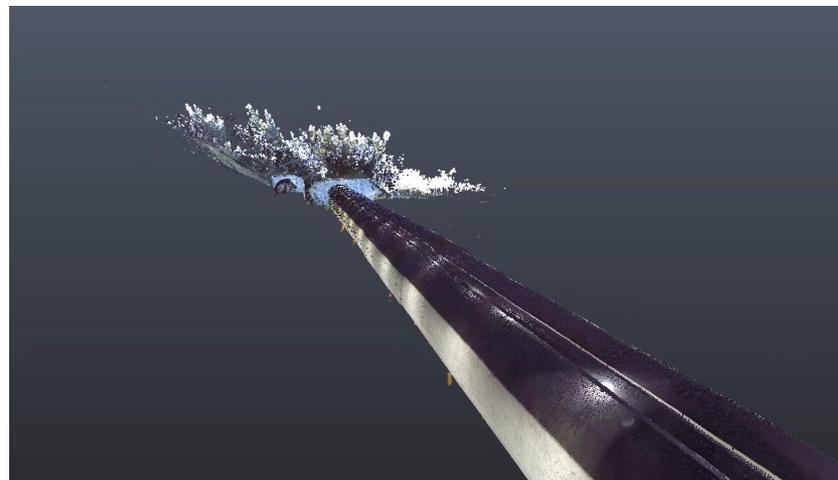
p = 463 m, N₂₂, phase 2



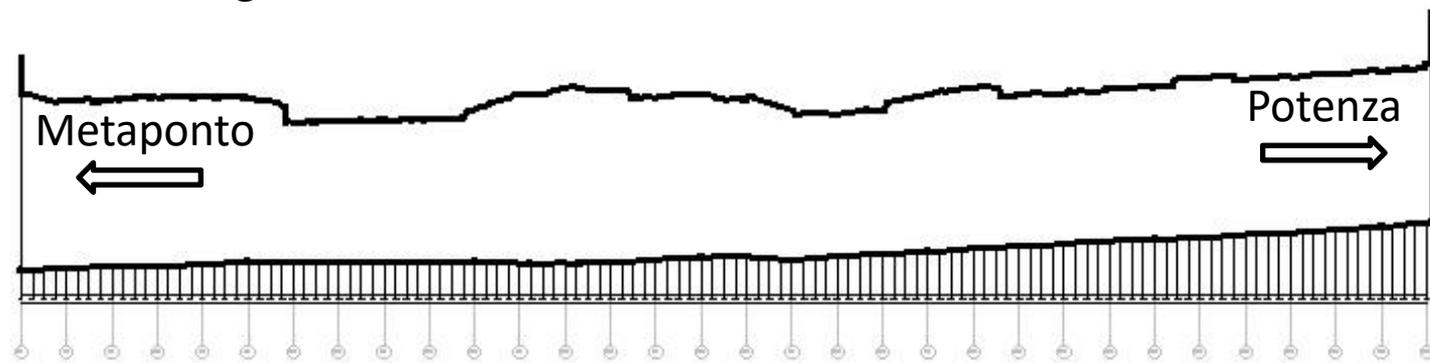
p = 463 m, N₂₂, phase 3



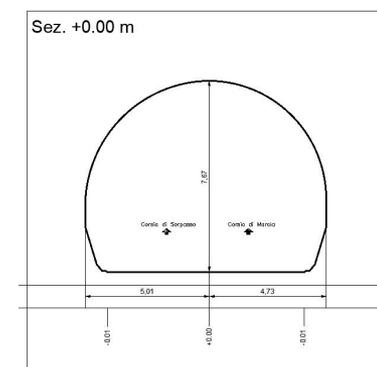
Rilievo laser-scanner Aprile 2023



Sezione longitudinale



Sezioni trasversali



What's next?

- Esecuzione del rilievo laser-scanner della canna destra (direzione Metaponto) e confronto con i risultati del rilievo georadar ANAS 2014
- Programmazione di indagini invasive (sondaggi profondi, inclinometri, piezometri...) per la definizione di un modello geotecnico di sottosuolo definitivo
- Modellazione numerica avanzata dell'interazione statica terreno-galleria
- Modellazione numerica avanzata dell'interazione dinamica terreno-galleria

Publicazioni PON MITIGO

- Falcone G., Elia G., Cafaro F. (2022), *Accoppiamento degli effetti topografici e stratigrafici sulla risposta sismica attraverso schemi 3d: analisi preliminari*, Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica (IARG 2022), Caserta, Italia.
- Falcone G., Elia G., Cafaro F., di Lernia A. (2023), *Preliminary assessment of the correlation between three-dimensional topography and lining forces induced by earthquakes on shallow tunnels*, Numerical Methods in Geotechnical Engineering (NUMGE 2023), London, UK.
- Falcone G., Elia G., di Lernia A. (2023), *Investigating the influence of a pre-existing shear band on the seismic response of ideal step-like slopes subjected to weak motions: preliminary results*, Geosciences, 13, 148.

Grazie per l'attenzione!