

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO DENOMINATO "GR LUCERA"
CON POTENZA FOTOVOLTAICA DI 51,22 MWp
ACCUMULO ELETTROCHIMICO DI 14 MW**

REGIONE PUGLIA

PROVINCIA di FOGGIA

COMUNE di LUCERA

OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN NEI COMUNI DI LUCERA E TROIA

PROGETTO DEFINITIVO

Tav.:

Titolo:

R19

**Studio Compatibilità Geologica e
Geotecnica**

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

QAF1CF7_CompatibilitàGeologica_19

Progettazione:

Committente:



Dott. Ing. Fabio CALCARELLA

Via B. Ravenna, 14 - 73100 Lecce
Mob. +39 340 9243575
fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu



GREENERGY RINNOVABILI 9 S.r.l.

Gruppo GREENERGY RENOVBLES SA
Via Borgonovo, 9 - 20121 - MILANO
grr9srl@gmail.com - grr9srl@legalmail.it
P. IVA 11892580967 - REA MI-22630177

Dott. Geol. Gianluca SELLERI

Via Francesco Lo RE, 6
73100 - LECCE
Tel: +39 3929534082
E-mail: geologogianlucaselleri@gmail.com



Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Settembre 2023	Prima emissione	GS	FC	GREENERGY s.r.l.

Comune di Lucera

Provincia di Foggia

Impianto Agrivoltaico GR LUCERA

Studio di Compatibilità Geologica e Geotecnica

Il Tecnico

Dott. Geol. Gianluca Selleri



Lecce, settembre 2023

1 – PREMESSA

Il presente “Studio di Compatibilità geologica e geotecnica” è stato condotto a corredo del progetto dell’impianto agrivoltaico da realizzarsi in un’area ubicata a circa 9,0 km a Sud dell’abitato di Lucera (FG), estesa su 3 lotti di terreno disposti intorno a Masseria Montaratro. L’area di impianto sarà collegata alla SSAT ricadente in comune di Troia, in località Monte Taverna – Monsignore, in prossimità della SP n. 124 attraverso un cavidotto che seguendo la viabilità esistente attraverserà il territorio del comune di Lucera e di Troia.

La società proponente è Grenergy Rinnovabili 9 srl (anche denominata GRR9) con sede in Via Borgonuovo 9 – 20121 – Milano. La società è iscritta nella Sezione Ordinaria della Camera di Commercio Industria Agricoltura ed Artigianato di Milano, con numero REA MI- 22630177, C.F. e P.IVA N. 11892580967 e fa parte del gruppo Grenergy Renewables SA, con sede legale a Madrid, che opera in tutto il mondo nel campo delle energie rinnovabili.

Le attività principali del gruppo sono lo sviluppo, la progettazione, la realizzazione e l’esercizio di impianti fotovoltaici, eolici e di accumulo dell’energia.

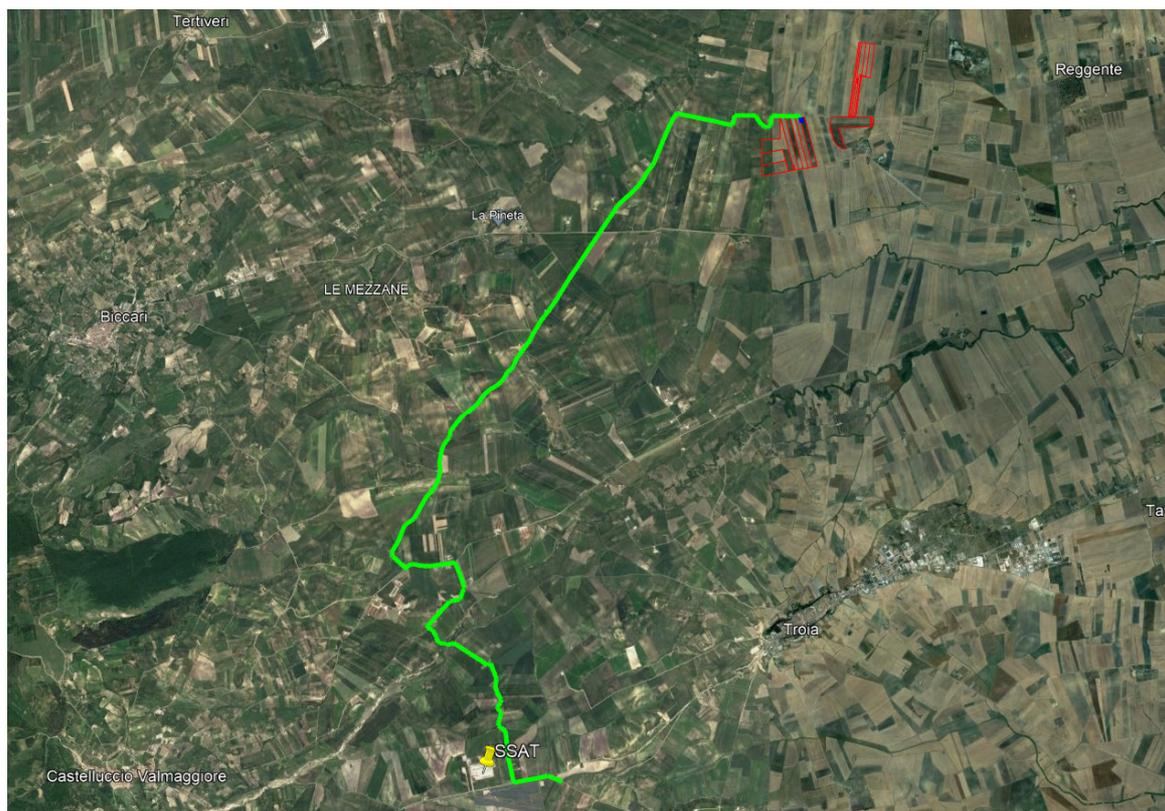


Fig. 1.1 – Inquadramento su immagine satellitare Google Heart dell’area vasta in cui ricadono gli interventi di progetto

Sia le aree di impianto che quelle attraversate dal cavidotto rispetto al vigente PAI sono estesamente tipizzate come PG1 (Fig. 1.2), pertanto, sono sottoposte alla disciplina dell'ART. 15 delle NTA del PAI - Aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1) che prevede che qui si possano realizzare tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché essi garantiscano la sicurezza, non determinino condizioni di instabilità e non modifichino negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze. Al comma 1 del suddetto articolo inoltre è previsto che, in funzione della valutazione del rischio associato alla realizzazione degli interventi, sia redatto uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che analizzi compiutamente gli effetti sulla stabilità dell'area interessata. A tale proposito si rileva che la Regione Puglia con L.R del 19 luglio 2013 n. 19 ("Norme in materia di riordino degli organismi collegiali operanti a livello tecnico-amministrativo e consultivo e di semplificazione dei procedimenti amministrativi") ha delegato agli uffici tecnici comunali la competenza in merito all'espressione del parere limitatamente agli interventi di cui:

- a. al comma 6 dell'articolo 6 delle NTA del PAI;
- b. al comma 1, lettere e), f), g), h), i), dell'articolo 7 delle NTA del PAI;
- c. al comma 1, lettere e), f), g), h), i), dell'articolo 8 delle NTA del PAI;
- d. al comma 1 dell'articolo 9 delle NTA del PAI;
- e. al comma 1, lettere d), e), f,) dell'articolo 13 delle NTA del PAI;
- f. al comma 1, lettera a), dell'articolo 14 delle NTA del PAI;
- g. al comma 1 dell'articolo 15 delle NTA del PAI,

Tra questi, al punto g, rientrano gli interventi previsti in progetto.

In ragione di quanto richiesto dalla normativa vigente e sopra discusso, è stato redatto il presente Studio di Compatibilità geologica e geotecnica che è stato sviluppato attraverso:

- una accurata ricerca bibliografica,
- la consultazione dei piani vigenti,
- l'esecuzione di un dettagliato rilevamento geologico-stratigrafico e geomorfologico in campo,
- l'esecuzione di una campagna di indagini geofisiche (consistita nella esecuzione di n. 7 indagini MASW distribuite come riportato nella successiva figura 1.3).

Tutto ciò ha consentito di inquadrare sotto l'aspetto geologico-stratigrafico, strutturale, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico il sito di interesse e quindi definirne un modello

geologico e geotecnico sulla base del quale si è poi proceduto, con l'utilizzo di software dedicati, a verificare la stabilità dei versanti interessati dagli interventi di progetto



Fig. 1.2 – Stralcio del PAI vigente

Il quadro normativo di riferimento sulla base del quale sono state articolate e svolte le attività che compongono lo studio geologico ed è stata redatta la presente Relazione Geologica è rappresentato essenzialmente da:

- D.M. 11/3/88 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce; la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- NTC 2018;
- NTA del PAI.

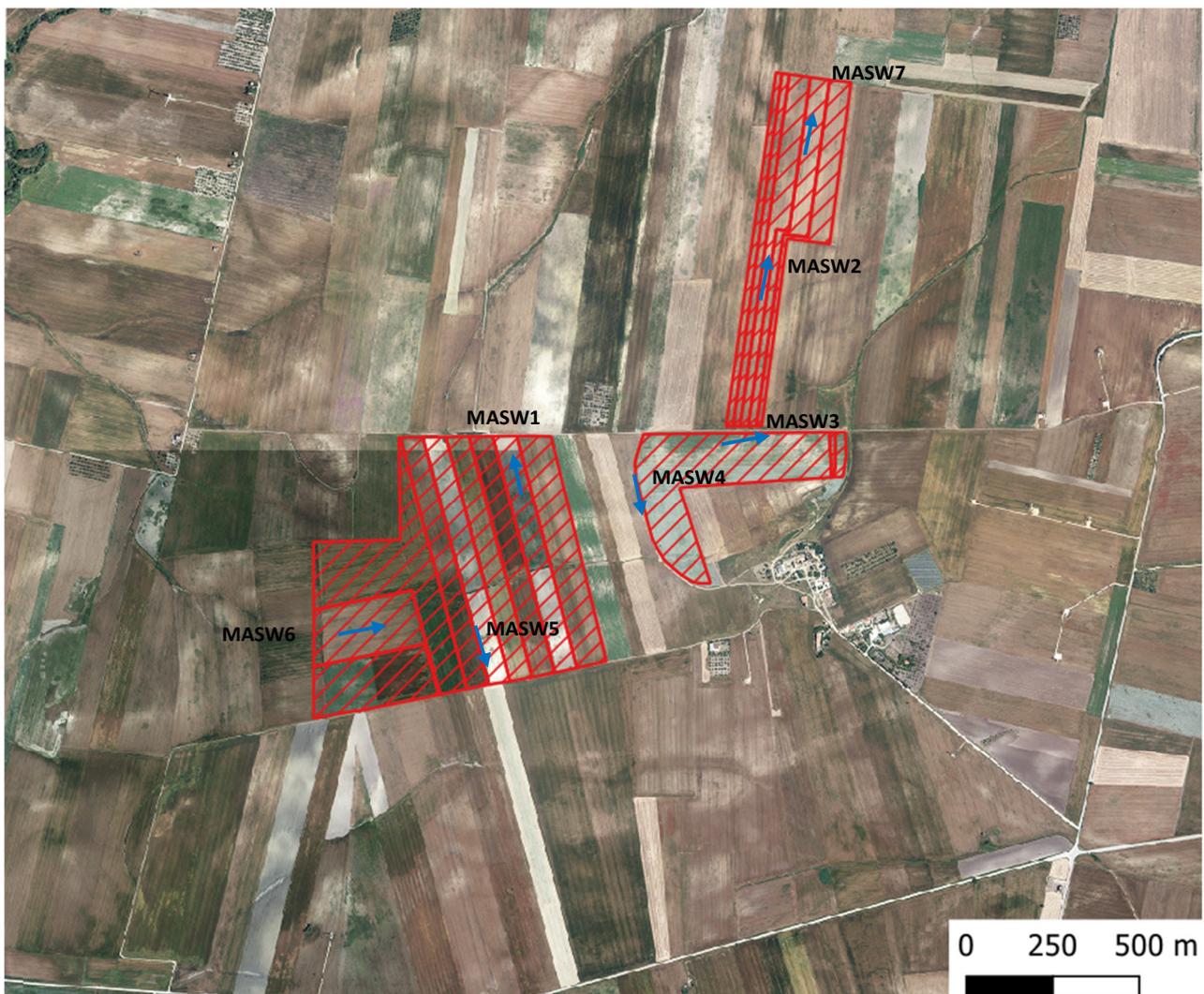


Fig. 1.3 – Ubicazione delle indagini MASW eseguite nel mese di marzo 2023

2 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E DESCRIZIONE DEI CARATTERI GEOMORFOLOGICI ED IDROGRAFICI DELL'AREA IN CUI RICADONO GLI INTEREVENTI DI PROGETTO (IMPIANTO E CAVIDOTTO)

L'area di impianto ricade a cavallo delle sezioni 407161 e 407162 della CTR in scala 1:10000 e si trova a circa 9,0 km a Sud di Lucera (FG) e 6.8 km a Nord di Troia (FG) e dunque è prossima al confine comunale tra questi 2 centri urbani ed alla SS n 160.

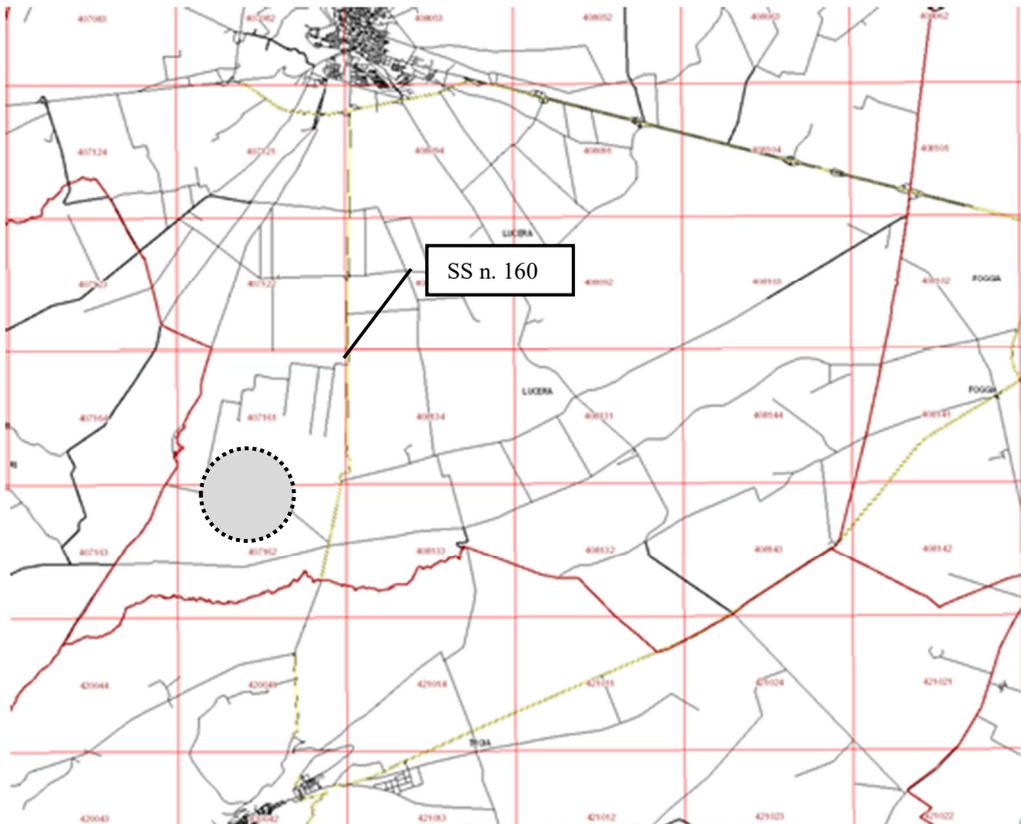


Fig. 2.1 – Inquadramento del sito di impianto (cerchio grigio) sulla cartografia CTR

Essa interessa vari terreni riportati in catasto al Foglio 111, particelle 397, 398, 407, 408, 409 ed al Foglio 149, particelle 4, 5, 51, 262, 263, 264, 266, 267, 268, 269, 270, attualmente utilizzati a seminativo che si estendono altimetricamente tra 284 m e 210 m slm (Fig. 2.2).

Ricade nel bacino idrografico del Torrente Vulgano (o anche Bulgano), un piccolo corso d'acqua della lunghezza complessiva di circa 50 km che nasce lungo i versanti nord-occidentali del monte Cornacchia e del monte Saraceno (le due vette più alte della Puglia, tra Biccari e Roseto Valfortore), discende i monti Dauni e attraversa parte del tavoliere per sfociare nel torrente Salsola (un affluente del Candelaro) tra Foggia e San Severo.

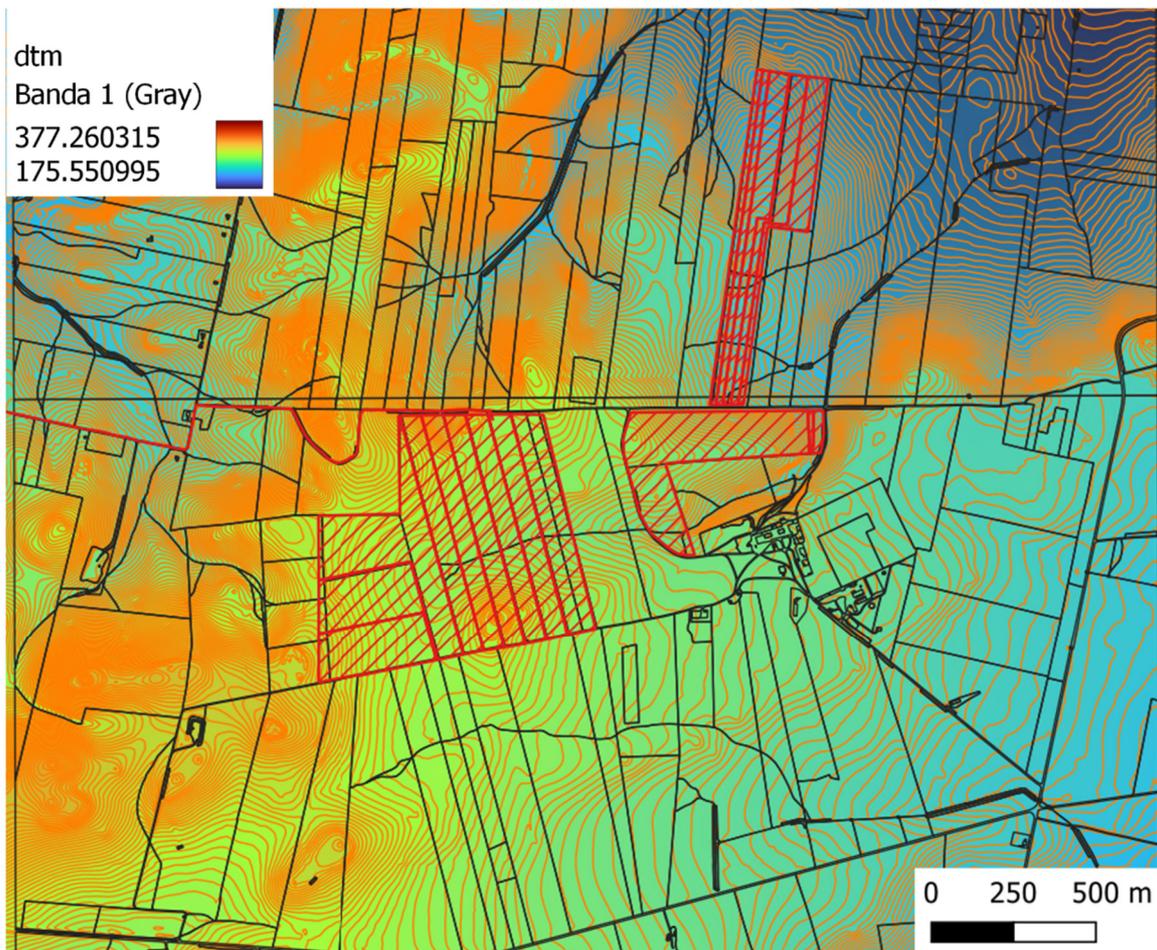


Fig. 2.2 – Caratteri altimetrici estratti dal DTM Puglia (le isoipse hanno equidistanza di 1 m)

Anche la parte più settentrionale del cavidotto ricade in questo bacino idrografico; diversamente, gran parte di quest'ultimo e la SSAT individuata per il collegamento alla rete elettrica nazionale insistono nel bacino del più significativo Torrente Celone. Lungo circa 70 km questo corso d'acqua nasce alle pendici del monte San Vito presso Faeto, lambisce le falde meridionali del monte Cornacchia, percorre quindi la stretta valle compresa tra Celle di San Vito e Castelluccio Valmaggiore, passa presso Troia e, ricevendo le acque di vari affluenti attraversa il Tavoliere poco a nord di Foggia per sfociare infine nel fiume Candelaro in agro di San Marco in Lamis.

L'area di impianto è interessata da alcune modeste linee di impluvio riportate anche sulla CRT in scala 1:10000 che costituiscono le aste di ordine gerarchico più basso della rete idrografica cartografata del Torrente Vulgano (Fig. 2.3).

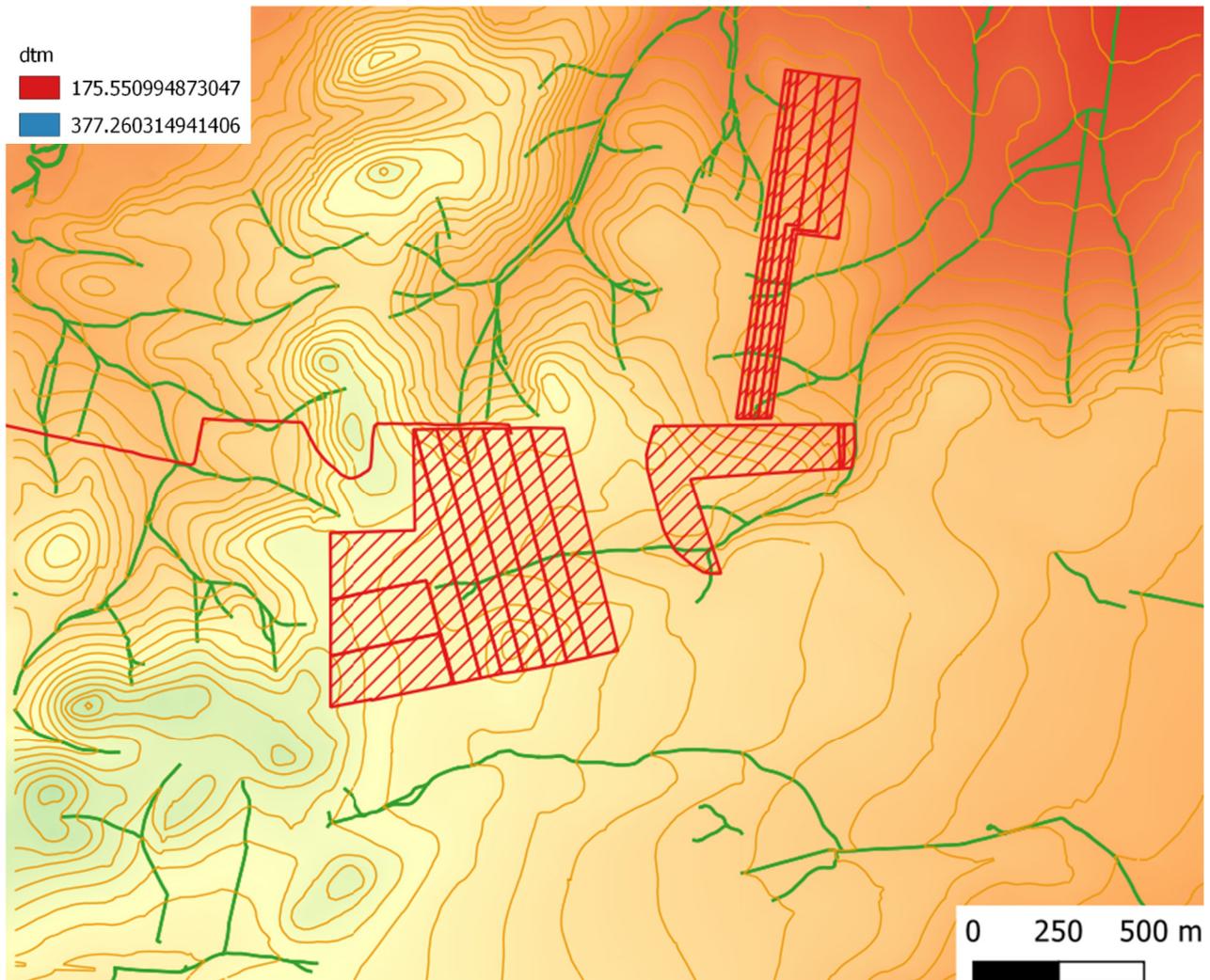


Fig. 2.3 – Dettaglio della rete idrografica estratta dalla CTR in corrispondenza delle aree di impianto

Le principali tra queste sono anche riportate nella Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia redatta dall'ex AdB della Puglia (oggi confluito nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Italia meridionale) e classificate come "corso d'acqua" oltreché sulle tavolette IGM. Stralci di queste cartografie sono riportati nelle successive figure 2.4 e 2.5.

Una più dettagliata rappresentazione dell'assetto idrografico del sito di impianto è descritta nelle successive Fig. 2.6 e 2.7 dove sono riportati vari stralci cartografici degli output della analisi idrologica eseguita attraverso il DTM Puglia con il modulo "Channel Network and Drainage Basins" di SAGAGIS. La scala di falsi colori della figura 2.6 descrive la rete idrografica ed esprime anche la sua gerarchizzazione secondo l'ordine di Strahler.

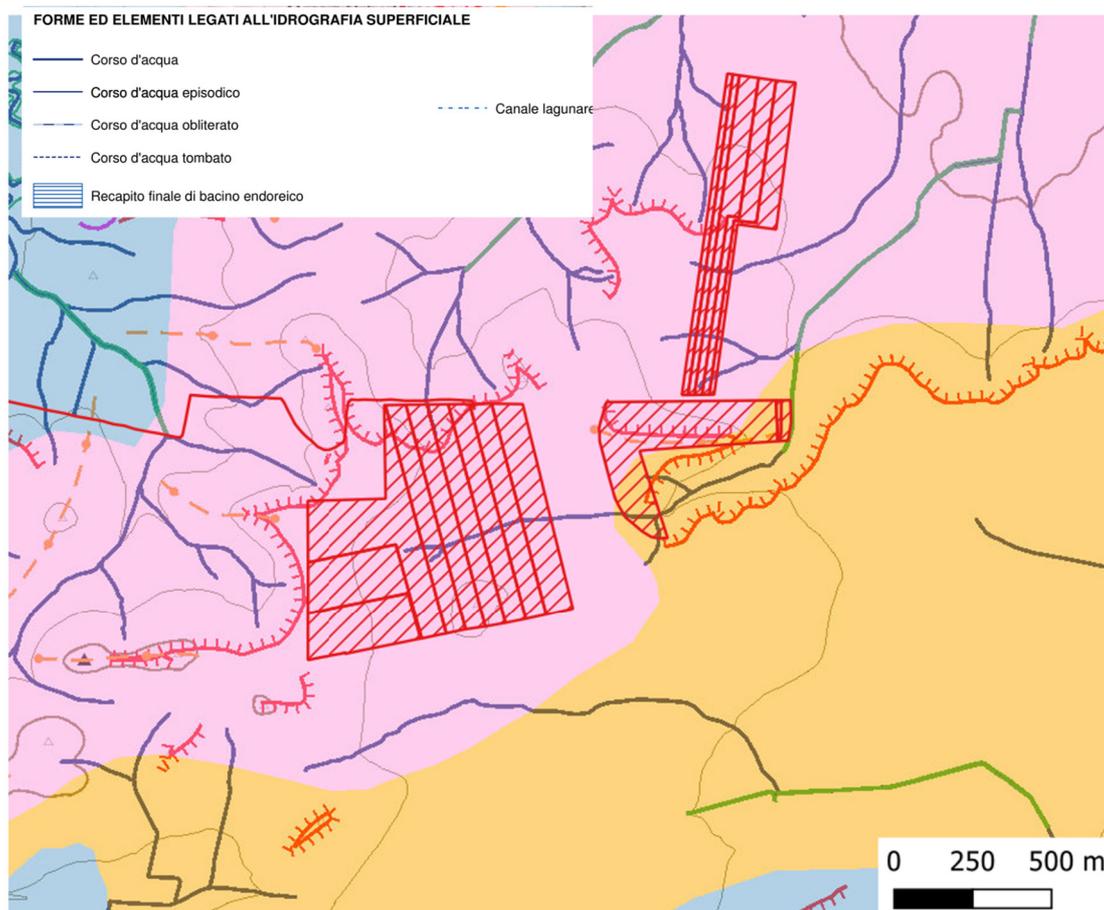


Fig. 2.4 – Stralcio della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia

In figura 2.7 invece sono perimetrati i sottobacini idrografici del torrente Vulgano che interessano direttamente i siti di impianto. Dalla figura 2.6 si evince chiaramente che i siti di impianto, al netto delle aree interessate dalle aste principali della rete idrografica riportate anche sulla CTR, sono caratterizzati da un deflusso scarsamente concentrato, tipico delle aree distali dal fondo valle e di displuvio. Questo è in effetti il contesto geomorfologico del sito di impianto che insiste su un contrafforte morfologico piatto, delimitato da versanti di origine fluviale, risultante dalla incisione da parte delle acque incanalate e parziale frammentazione di un preesistente terrazzo marino (di cui nell'area vasta si riconoscono vari lembi intorno a 270 – 290 m di quota e anche tratti della antica ripa di abrasione a cui era connesso, avente il piede poco sotto i 300 m di quota). Le aree di impianto si trovano prevalentemente sulla superficie piatta del contrafforte morfologico e subordinatamente in un contesto di versante fluviale debolmente inclinato (porzione settentrionale del lotto A e porzione orientale del lotto B). Tale contesto è evidente consultando la figura 2.8 che esprime la pendenza della superficie

topografica. Essa, in corrispondenza dei siti di indagine si mantiene prevalentemente compresa entro 2° ; solo poco estese aree hanno pendenza compresa tra 2° e 7° mentre porzioni ancora più limitate raggiungo pendenza massima di 16° .

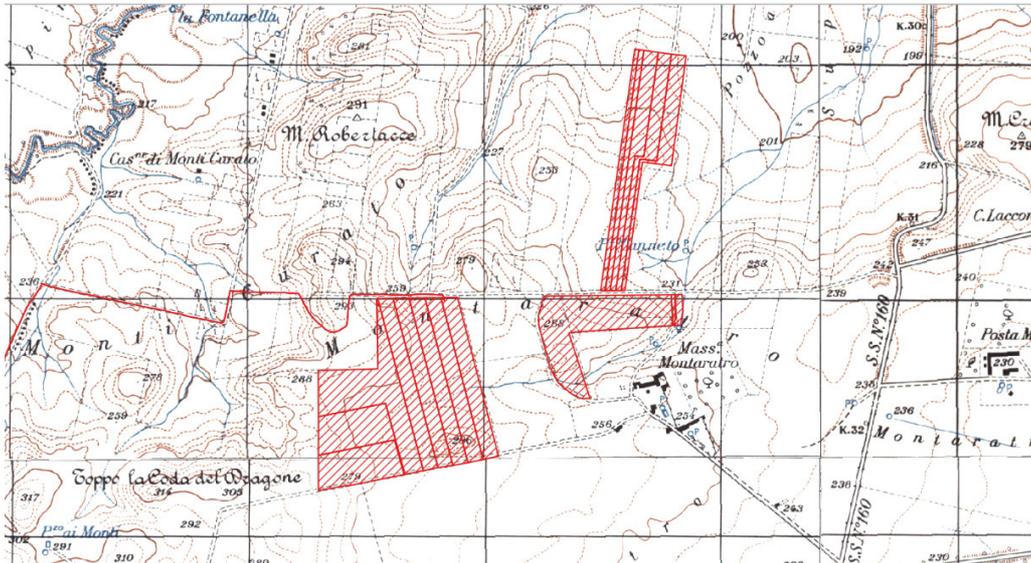


Fig. 2.5 – Stralcio della Cartografia IGM in scala 1:25000

L'esposizione di queste superfici (Fig. 2.9) è prevalentemente verso i quadranti orientali (coerentemente con il contesto geomorfologico del sito che è quello di un lembo di un terrazzo marino che, ovviamente, era inclinato verso il mare) e subordinatamente verso i quadranti occidentali (esclusivamente le aree ricadenti nel contesto morfologico di versante).

Relativamente al cavidotto di progetto si rileva che esso è lungo poco più di 15 km e presenta due ramificazioni; il suo percorso è sempre coincidente con la viabilità esistente. Esso attraverserà un territorio collinare caratterizzato da lievi pendenze (Fig. 2.10) il cui assetto geomorfologico è prevalentemente di versante fluviale in genere poco acclive; subordinatamente il cavidotto attraversa aree di fondo valle e di terrazzo relitto.

Il tracciato è compreso altimetricamente tra le quote 237 m e 437 m (Fig. 2.11) e taglia diverse linee di impluvio e valli fluviali ricadenti nei bacini idrografici dei torrenti Vulgano e Celone (Fig. 2.12). Ovviamente, correndo lungo la viabilità esistente, il cavidotto ha un impatto irrilevante sull'assetto idrografico ed idraulico dei territori che attraversa.

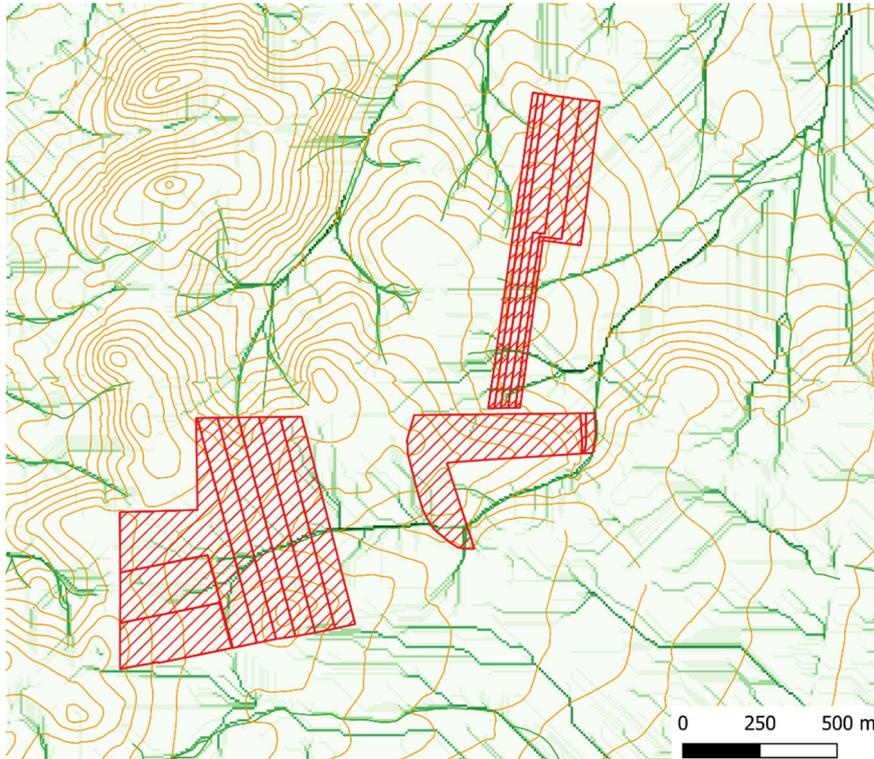


Fig. 2.6 – Organizzazione della rete idrografica dal DTM Puglia (le isopse hanno equidistanza di 5 m)

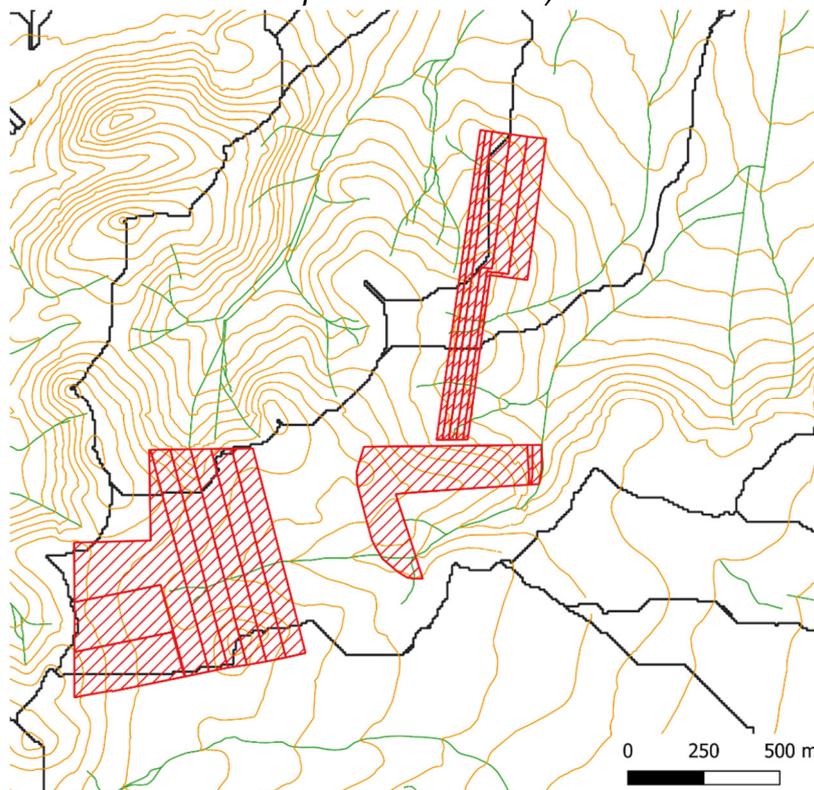


Fig. 2.7 – Sottobacini idrografici in cui ricadono le aree di impianto

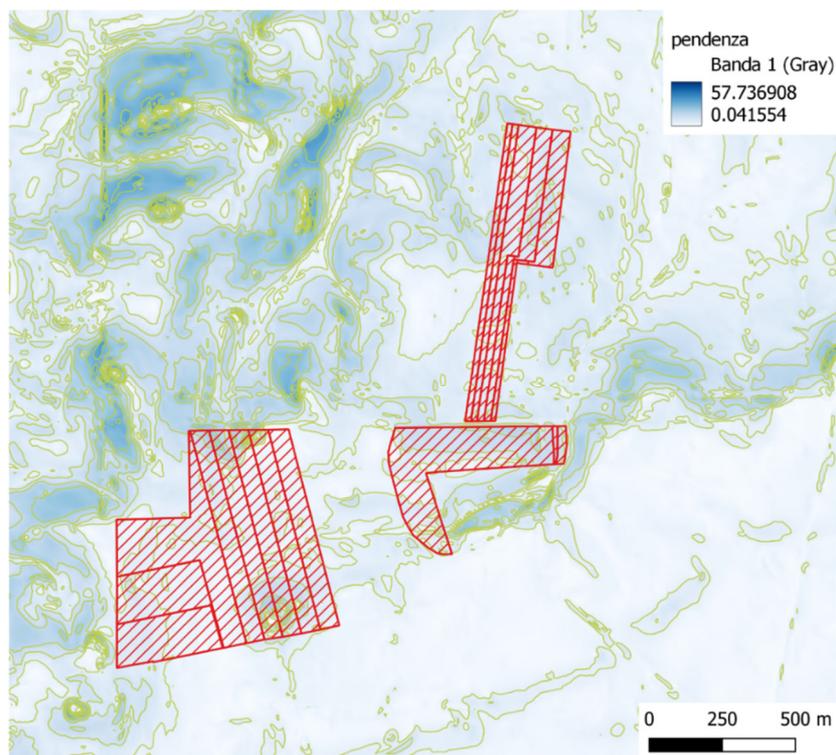


Fig. 2.8 – Carta delle pendenze

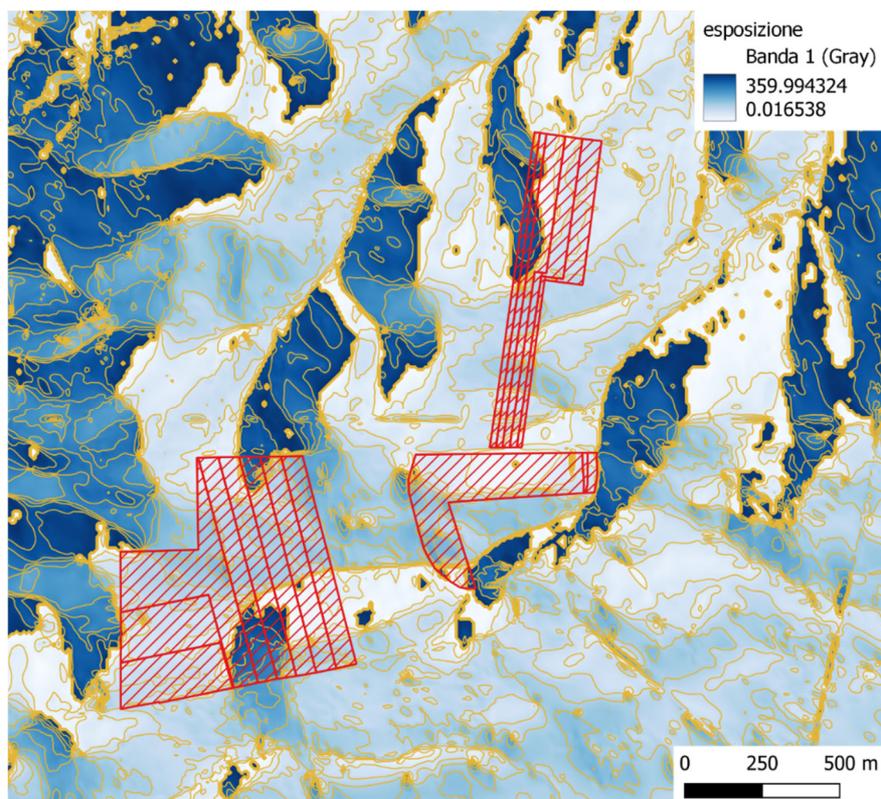


Fig. 2.9 – Carta della esposizione dei versanti

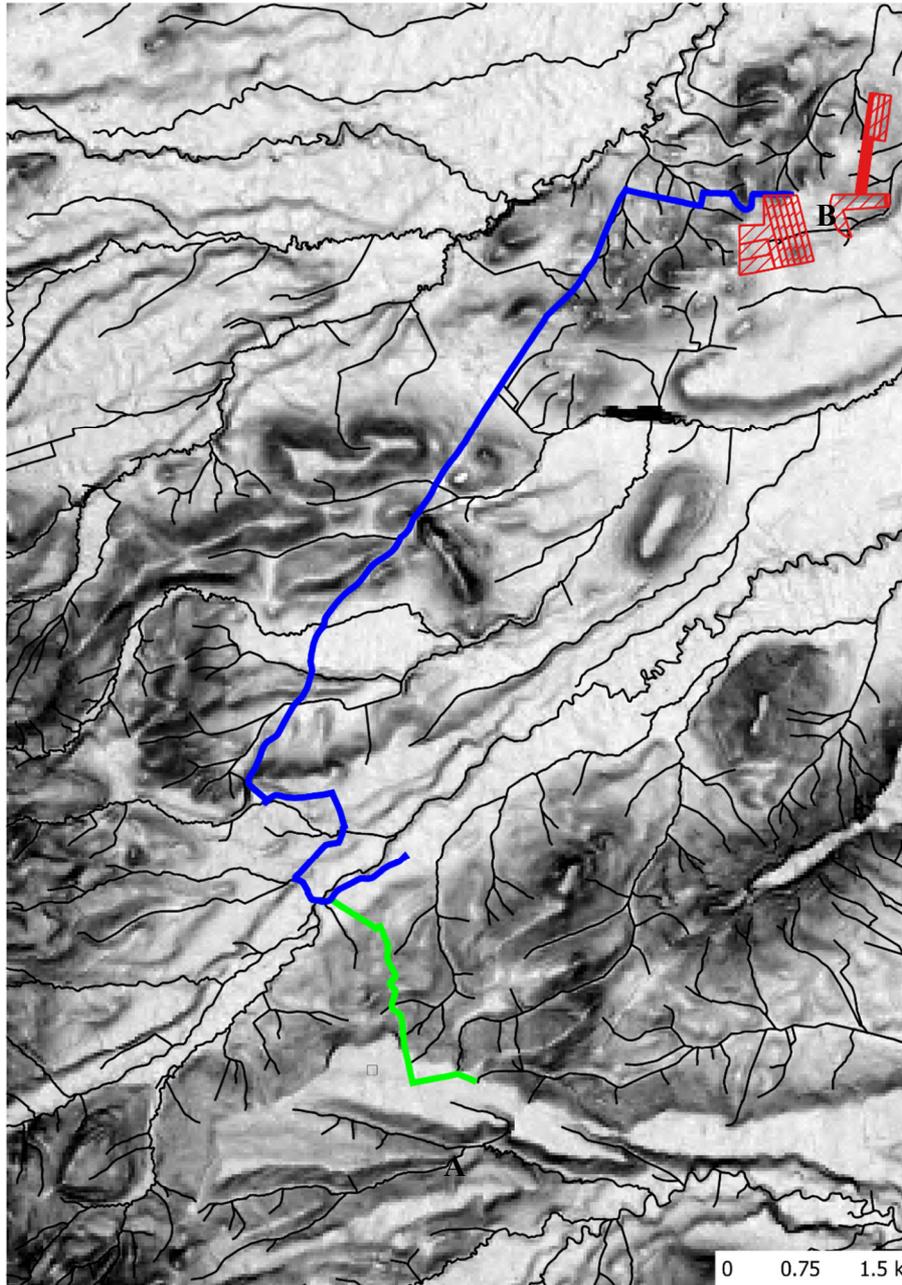


Fig. 2.10 – Carta delle pendenze del territorio attraversato dal cavidotto



Fig 2.11 – Profilo altimetrico lungo il tracciato del cavidotto

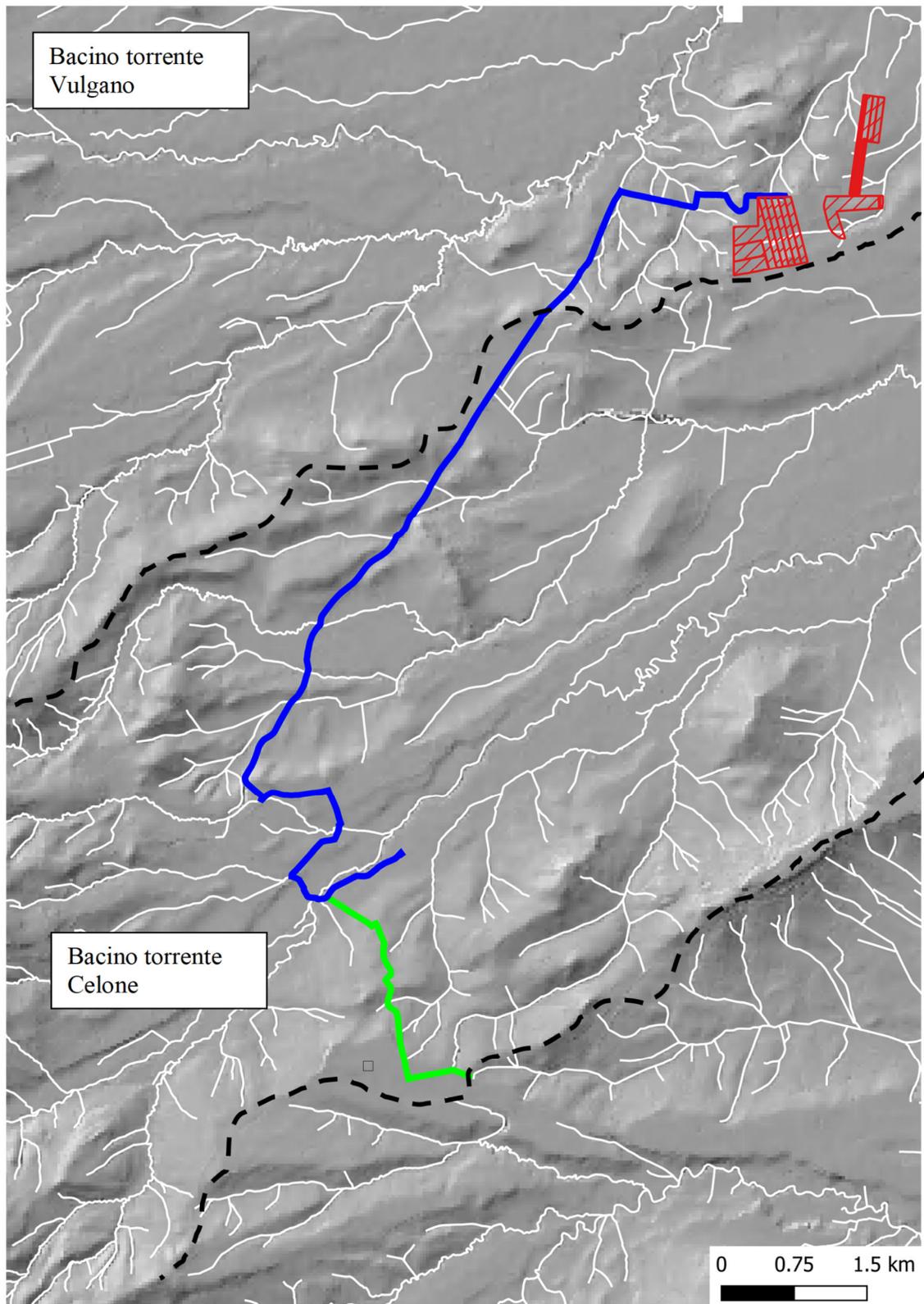


Fig. 2.12 – Assetto idrografico del territorio attraversato dal cavidotto

3 - CARATTERI GEOLOGICO-STRUTTURALI E STRATIGRAFICI

Sotto il profilo strutturale e tettonico si rileva che i siti di interesse (impianto, cavidotto e stazione elettrica) ricadono tutti nel settore di avanfossa dell'Appennino meridionale molto prossimo al margine catena – avanfossa (Fig. 3.1) e risulta quindi interessato da prevalenti strutture normali e trascorrenti ad alto angolo, riferibili alle fasi di sollevamento plio-pleistocenico di tale dominio strutturale (Ciaranfi et al. 1983; Ricchetti et al. 1988; Doglioni et al. 1994; Gambini & Tozzi 1996; Spalluto & Moretti 2006).

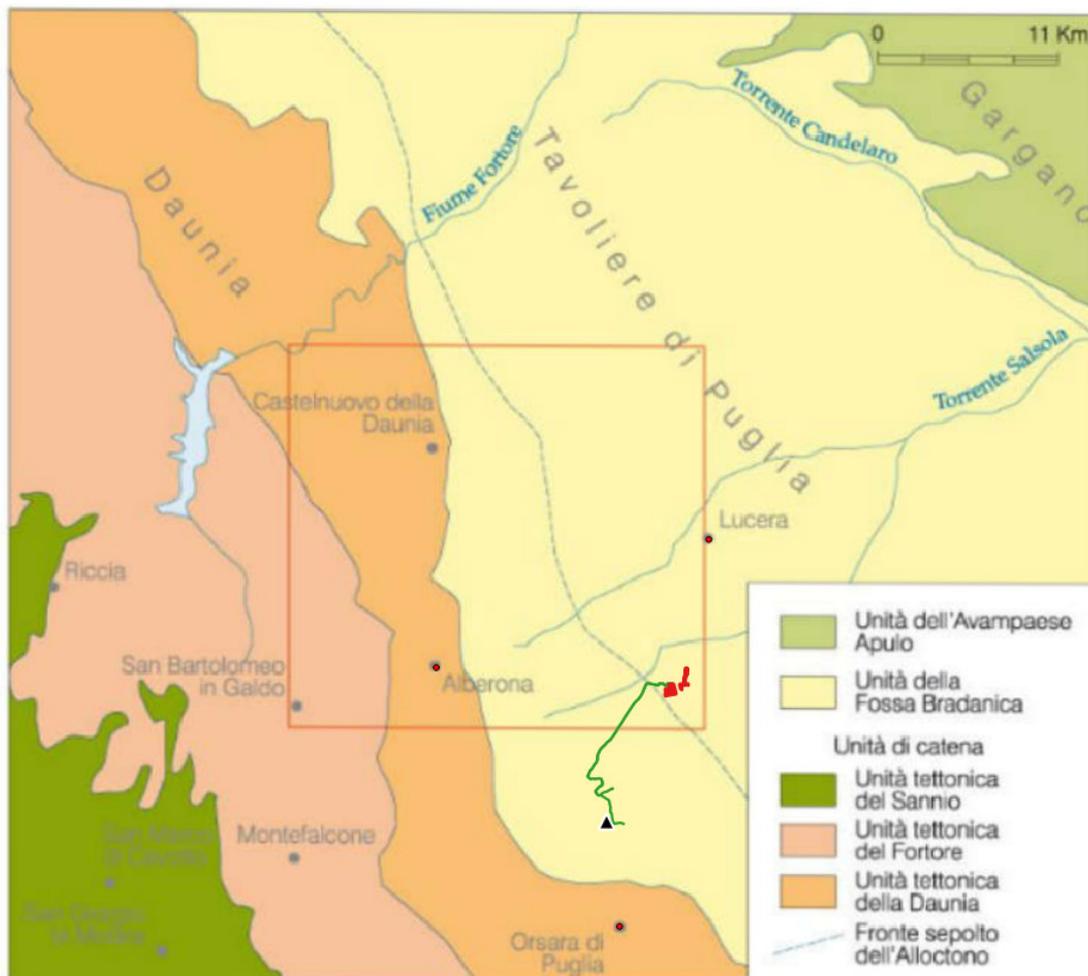


Fig. 3.1 – Schema geologico e tettonico delle aree in cui ricadono l'impianto ed il cavidotto di progetto e la SSAT

In questo settore passa il fronte sepolto dell'alloctono sotto cui affonda l'avampaese pugliese (che immediatamente ad Est presenta ancora una struttura sepolta a Horst e Graben - fig. 3.2 - originata da un sistema di faglie appenniniche parallele alla faglia marginale del Gargano e che "muore" verso sud su una struttura di importanza regionale nota come Faglia dell'Ofanto

che contribuisce alla formazione di un gradino notevole tra le ultime propaggini Nord-occidentali delle Murge ed il basamento mesozoico sepolto del Tavoliere - Fig. 3.2).

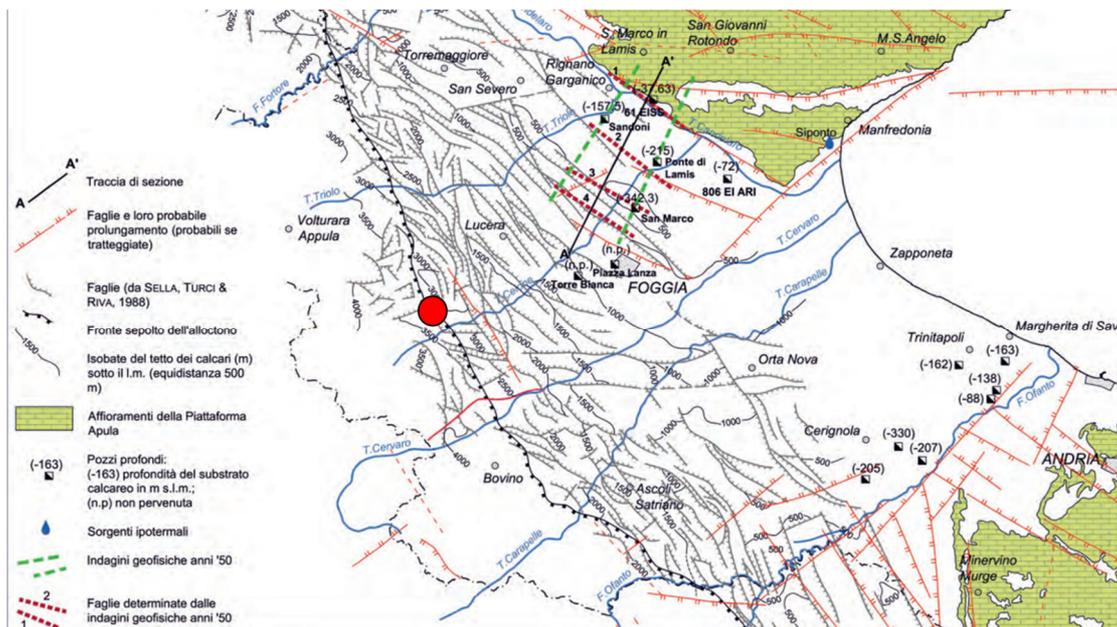


Fig. 3.2 – Schema tettonico del Tavoliere

Il sottosuolo delle aree di interesse è dunque costituito da una successione di terreni prevalentemente argillosi riferibili al complesso geologico della Fossa Bradanica, di età compresa tra il Pliocene medio e il Pleistocene e dello spessore complessivo di circa 1600 m, sovrapposta parzialmente alle unità dell'avampaese apulo e parzialmente alle falde sepolte della catena appenninica (Fig. 3.3).

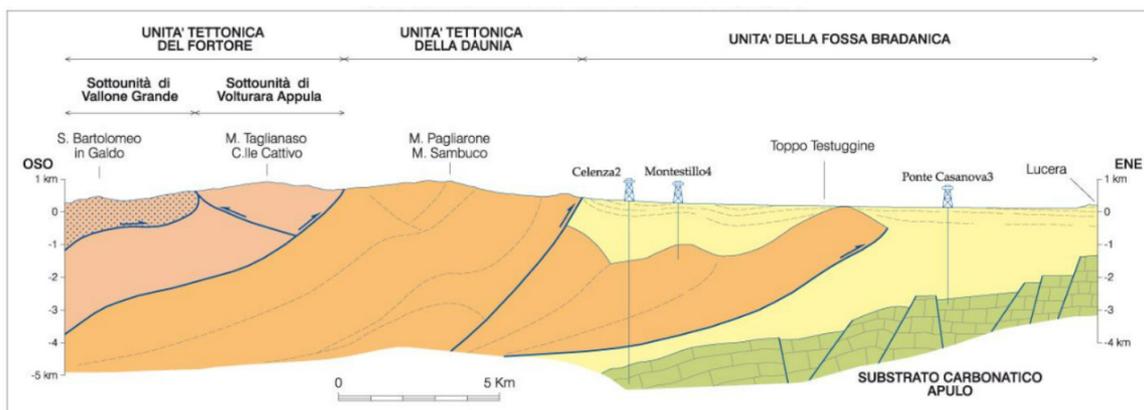


Fig. 3.3 – Schema dei rapporti tra le unità tettoniche

Questa successione è rappresentata principalmente dalla formazione delle "Argille subappennine", costituite da silt argillosi e marne argillose, a stratificazione poco evidente e

con intercalazioni di sottili strati di sabbia medio fine. Questi terreni si sono accumulati in un ambiente deposizionale che si è evoluto dalla scarpata superiore (parte bassa della successione) alla piattaforma (parte sommitale). Si tratta di terreni in generale poco permeabili. All'unità argillosa è sovrapposto un modesto spessore di depositi alluvionali più grossolani, prevalentemente sabbioso – ghiaiosi, di età pleistocenica-olocenica e riferibile ad un contesto geologico di piana costiera solcata da numerosi corsi d'acqua provenienti dall'adiacente settore di catena in sollevamento (Appennino meridionale).

Questi corsi d'acqua, incidendo la piana costiera hanno originato ampie vallate fluviali in cui hanno depositato sedimenti alluvionali prettamente continentali di età recente ed attuale.

Sulla base del rilevamento condotto è possibile affermare che nei limiti delle aree di interesse le argille del substrato, profondamente alterate, affiorano prevalentemente lungo i versanti fluviali mentre sulle superfici alte terrazzate si rinvencono i materiali sabbioso -ciottolosi riferibili ai terrazzi antichi del Pleistocene – Olocene e nei fondovalle i sottili depositi alluvionali ghiaioso – sabbiosi attuali prettamente continentali.

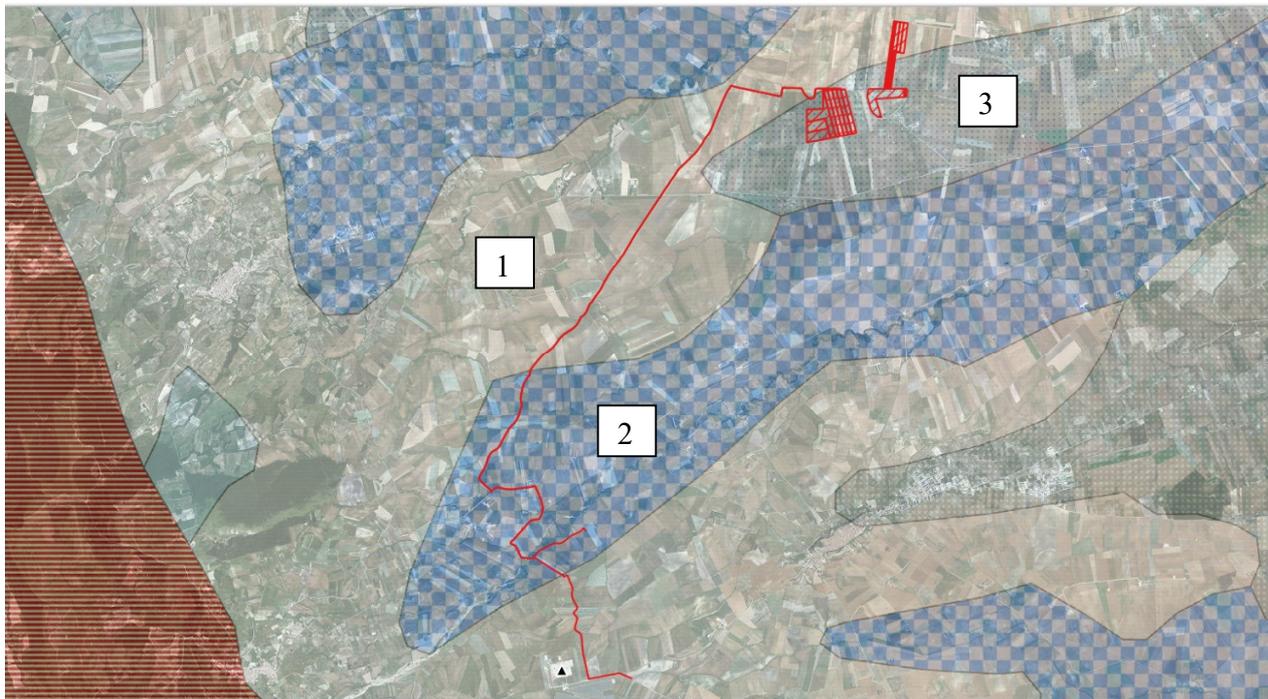


Fig. 3.4 – Stralcio della Carta geolitologica in scala 1:100000 (dal Portale Cartografico Nazionale). 1) argille del substrato Plio-Pleistocenico; 2) alluvioni terrazzate antiche di composizione sabbioso-ciottolosa non consolidate; 3) alluvioni recenti di composizione sabbioso ciottolosa non consolidate

Con riferimento specifico ai siti di impianto si rileva che, come anche riportato sulla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50000, essi ricadono integralmente in un'area dove affiorano le

do qui presenti solo sottilissime e discontinue coperture
ite.

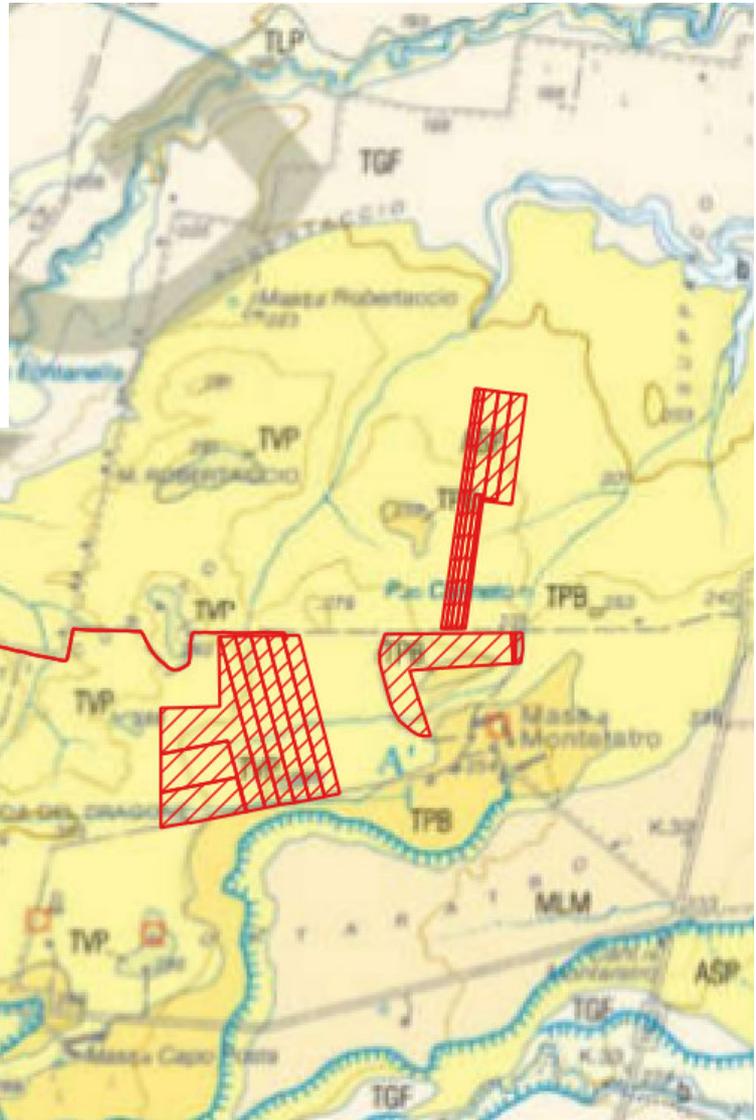
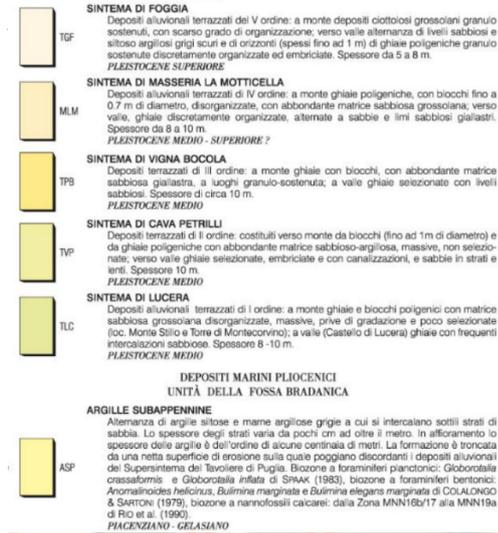


Fig. 3.5 – Stralcio della Carta geologica d'Italia in scala 1:50000 (Progetto CARG) dei siti di impianto

4 – CARATTERI IDROGEOLOGICI ED IMPATTO SULLA CIRCOLAZIONE IDROGEOLOGICA DELLE OPERE DI PROGETTO

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio sono condizionate dalla natura litologica delle formazioni presenti, dal loro grado di permeabilità ed infine dalle pendenze del rilievo.

Nell'area in cui ricade il sito, sulla base di dati bibliografici (Maggiore et al., 1996), è possibile distinguere dall'alto verso il basso, escludendo l'acquifero carsico fessurato, due unità acquifere:

- l'acquifero poroso superficiale
- l'acquifero poroso profondo

Acquifero poroso profondo

E' costituito dai diversi livelli sabbiosi intercalati nella formazione plio-pleistocenica delle "Argille subappennine". I livelli acquiferi sono costituiti da corpi discontinui di forma lenticolare, localizzati a profondità variabili tra i 150 m e i 3000 m dal piano campagna, il cui spessore non supera le poche decine di metri. Nelle lenti più profonde, si rinvencono acque connate, associate a idrocarburi, che si caratterizzano per i valori piuttosto elevati della temperatura (22-26°C) e per la ricorrente presenza di H₂S. La falda è ovunque in pressione e presenta quasi sempre caratteri di artesianità. La produttività dei livelli idrici, pur essendo variabile da luogo a luogo, risulta sempre molto bassa con portate di pochi litri al secondo.

Acquifero poroso superficiale

Corrisponde agli interstrati sabbioso-ghiaiosi dei depositi marini e continentali di età Pleistocene superiore-Olocene che ricoprono con notevole continuità laterale le sottostanti argille. Più dettagliatamente, le stratigrafie dei numerosi pozzi per acqua realizzati in zona, evidenziano l'esistenza di una successione di terreni sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, permeabili ed acquiferi, intercalati da livelli limo-argillosi a minore permeabilità.

Questi, tuttavia, non costituiscono orizzonti separati ma idraulicamente interconnessi e danno luogo ad un unico sistema acquifero. In linea generale, si può affermare che i sedimenti più permeabili prevalgono nella zona di monte mentre, procedendo verso la costa, si fanno più frequenti ed aumentano di spessore le intercalazioni limoso-sabbiose che svolgono il ruolo di acquitardo. Essendo le modalità di deflusso della falda fortemente influenzate da tali caratteristiche, risulta che l'acqua circola in condizioni freatiche nella fascia pedemontana ed

in pressione nella zona medio-bassa, assumendo localmente il carattere di artesianità (Cotecchia, 1956). Nell'alimentazione della falda superficiale, un contributo importante, oltre che dalle precipitazioni, proviene dai corsi d'acqua

In corrispondenza del sito di progetto non è presente la falda superficiale.

In conclusione, è possibile affermare sotto il profilo idrogeologico che tutti gli interventi previsti, per la loro natura e consistenza, non hanno alcun impatto sui corpi idrici sotterranei.

5 – SISMICITA'

Le caratteristiche di sismicità dell'ambito territoriale in cui ricade il sito di progetto sono da porre in relazione con il complesso assetto strutturale dei settori più esterni della catena appenninica e della fascia di transizione tra i domini di avanfossa e quelli di avampaese (Del Gaudio et al. 2007; Pino et al. 2008). Nell'area sono stati condotti numerosi studi che hanno fornito un'accurata interpretazione dei diversi terremoti storici verificatisi in questo settore di territorio, individuando le strutture sismogenetiche responsabili e le loro caratteristiche principali (Frepoli & Amato 2000; Venisti et al. 2004; Del Gaudio et al. 2007; Pierri et al. 2008; Pino et al. 2008). Gli eventi sismici più forti sono avvenuti in corrispondenza dei settori di catena, lungo faglie normali ad asse circa NW-SE dovute al cuneo di mantello in risalita al di sotto dell'orogene appenninico (Frepoli & Amato 2000). In corrispondenza dei settori di avampaese, invece, i principali terremoti storici presentano una intensità decisamente inferiore ai precedenti e risultano connessi, in buona sostanza, a faglie distensive e trascorrenti orientate circa E—W (Pierri et al. 2008).

La consultazione del database DISS, relativo alle potenziali sorgenti sismogenetiche con magnitudo maggiore di 5.5, mostra che l'area vasta in cui ricade il sito di progetto risulta interessata dalla presenza di numerose potenziali faglie sismogenetiche (Fig. 5.1). La più vicina tra queste è la fascia di sorgenti composite ITCSSO4 Castelluccio dei Sauri-Trani (profondità stimata 11.0-22.5 Km, magnitudo massima 6.3, Slip rate 0.1-0.5 min/anno), che include la sorgente individuale ITISOSZ Ascoli Satriano (profondità stimata 13.0—21.3 Km, magnitudo massima 6.0, ultimo evento 17 luglio 1361)

Relativamente alla vigente zonazione sismogenetica del territorio nazionale ZS9 (Meletti & Valensise 2004), si rileva che il sito ricade tra la Zona 925 Ofanto, in cui sono attesi terremoti piuttosto profondi ($P = 12-20$ km) e di elevata magnitudo ($M_{max} = 6.83$), riconducibili a meccanismi di fagliazione prevalentemente trascorrenti e la Zona 924, orientata circa E-W nella quale è collocata tutta la sismicità dell'area garganica e che include la faglia di Mattinata, generalmente ritenuta attiva e con una cinematica simile a quella del terremoto del 2002 (Fig. 5.2).

In ultimo si rileva che il database del progetto ITHACA (Italy HAZARD from CAPable faults) riporta la presenza di vari elementi tettonici attivi a distanza di alcuni km dal sito di interesse che potenzialmente possono creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche (Fig. 5.3).

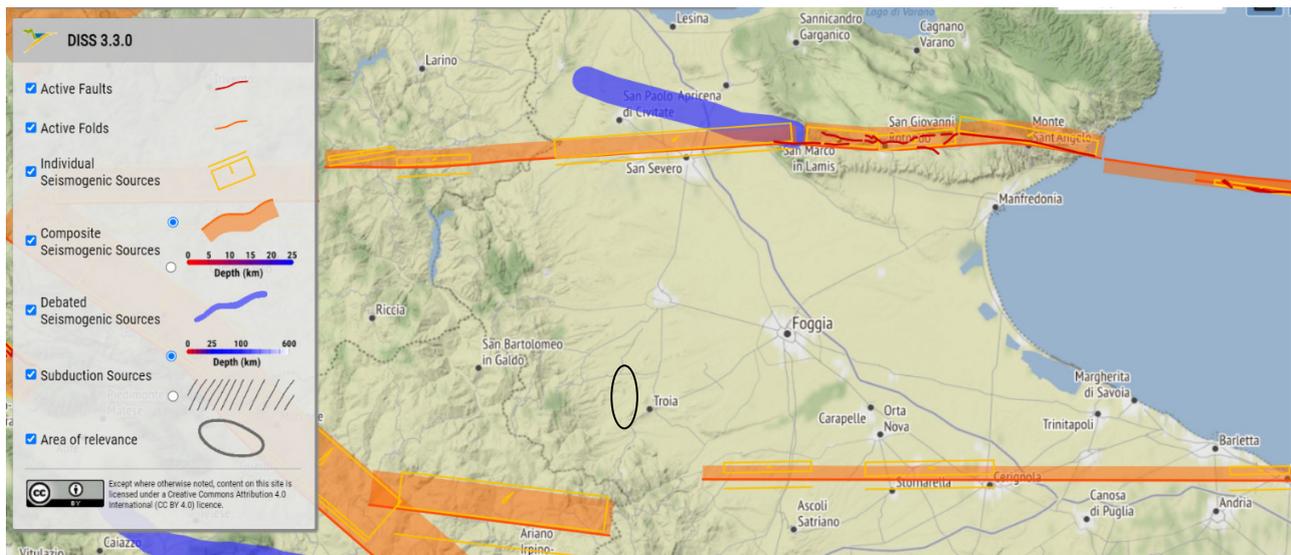


Fig. 5.1 – Localizzazioni delle potenziali sorgenti di terremoti con $M > 5,5$ prossime al sito di interesse (Database of Individual Seismogenetic Sources)

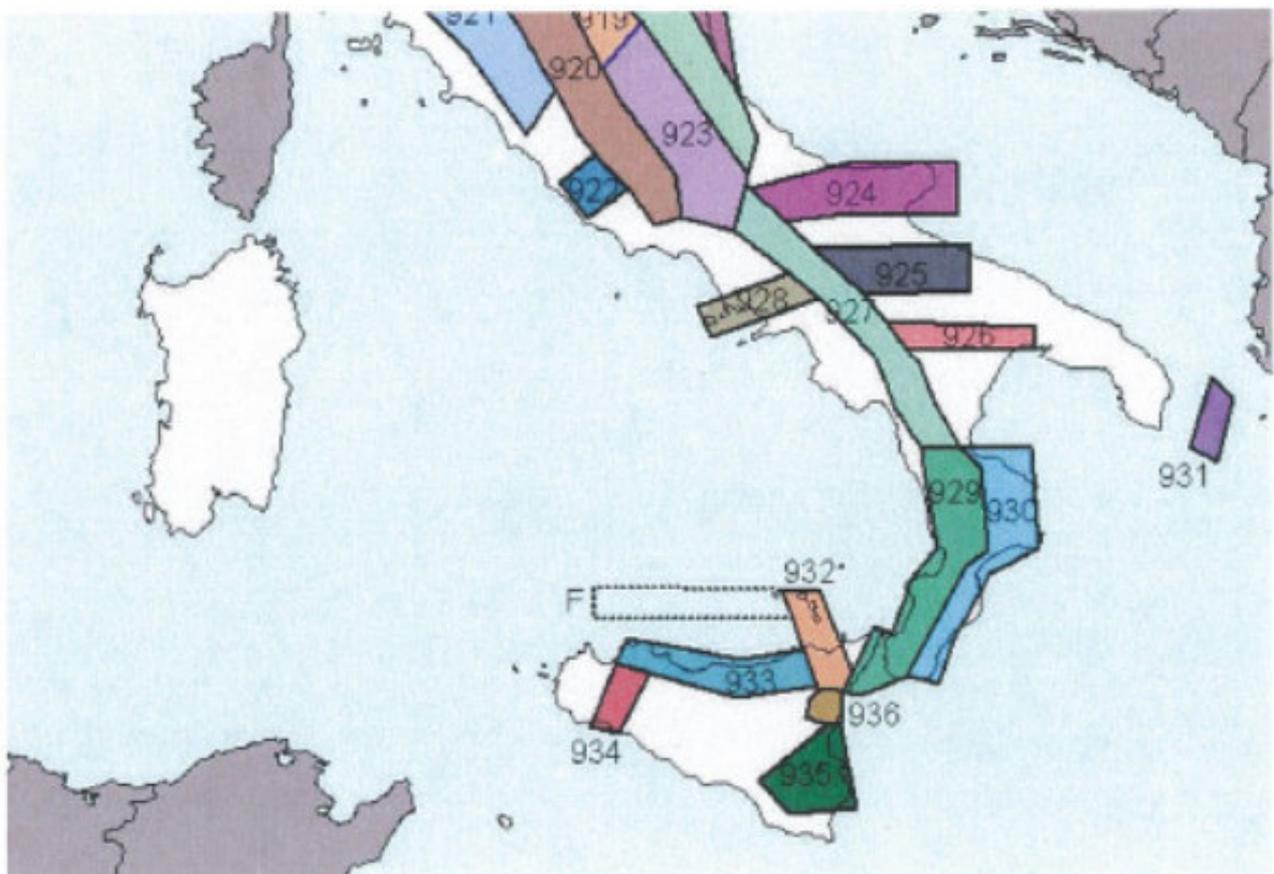
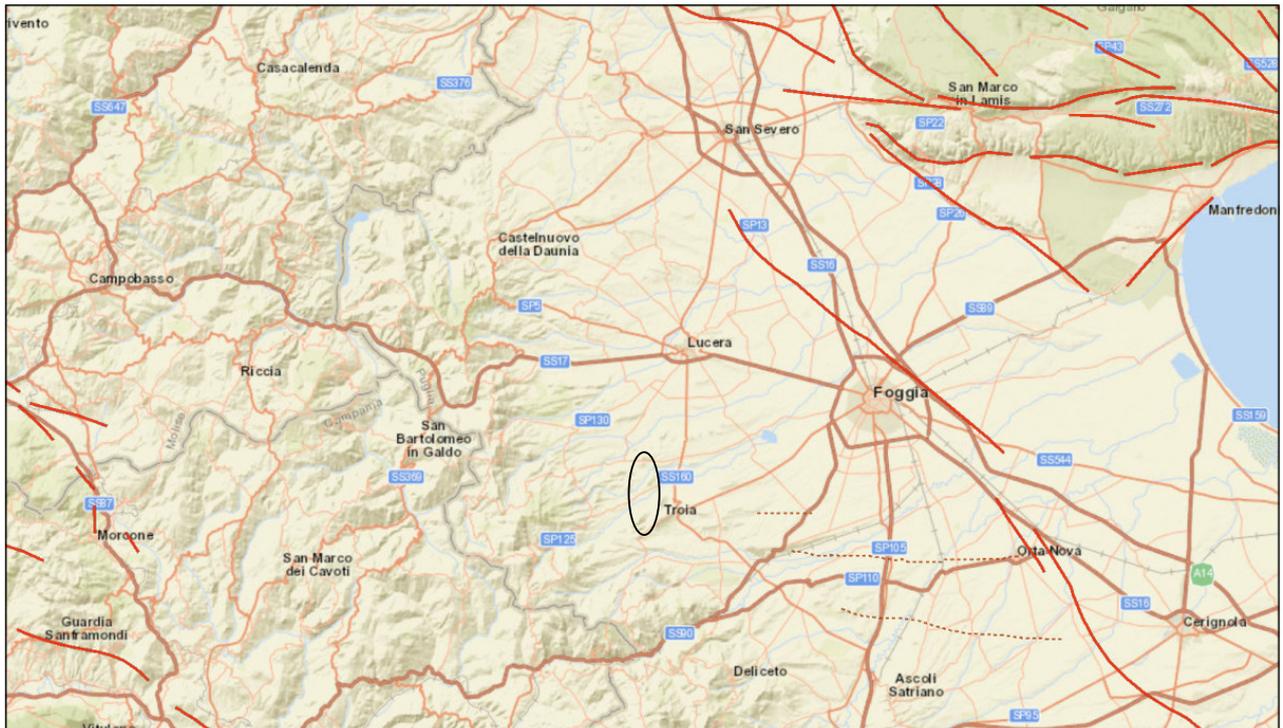


Fig. 5.2 – Stralcio della zonazione sismogenica ZS9



March 23, 2023

Kinematics — Normal Fault - - Reverse Fault
 ··· Unknown ··· Oblique Fault - - Strike Slip

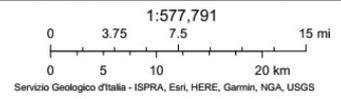


Fig. 5.3 – Stralcio cartografico con le faglie capaci

6 – PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Il territorio in cui ricadono le opere di progetto è caratterizzato per gran parte della sua estensione da un assetto geomorfologico di versante fluviale intagliato in rocce tenere e dunque di facile erodibilità.

Tale carattere determina una propensione di questo territorio al verificarsi di dissesti gravitativi, frequentemente direttamente dipendenti dal grado di imbibizione dei sedimenti affioranti e quindi direttamente innescati dalle precipitazioni. Si tratta in genere di colamenti e movimenti in massa poco profondi. Tale aspetto della dinamica geomorfologica propria di questo territorio è stato opportunamente rilevato dalla Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale che ha proceduto a cartografare ampi settori classificati a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1). In una di queste perimetrazioni ricadono le aree di impianto mentre il tracciato del cavidotto taglia più volte aree a pericolosità geomorfologica PG1.

In ragione di tale assetto trova applicazione l'ARTICOLO 15 delle NTA del PAI vigente - Aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1). In tale articolo si prescrive che nelle aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1) sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze. Per tutti gli interventi ammissibili, tuttavia, è richiesta, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che ne analizzi compiutamente gli effetti sulla stabilità dell'area interessata. A tale proposito si rileva che la Regione Puglia con L.R del 19 luglio 2013 n. 19 ("Norme in materia di riordino degli organismi collegiali operanti a livello tecnico-amministrativo e consultivo e di semplificazione dei procedimenti amministrativi") ha delegato agli uffici tecnici comunali la competenza in merito all'espressione del parere limitatamente agli interventi di cui:

- a. al comma 6 dell'articolo 6 delle NTA del PAI;
- b. al comma 1, lettere e), f), g), h), i), dell'articolo 7 delle NTA del PAI;
- c. al comma 1, lettere e), f), g), h), i), dell'articolo 8 delle NTA del PAI;
- d. al comma 1 dell'articolo 9 delle NTA del PAI;
- e. al comma 1, lettere d), e), f,) dell'articolo 13 delle NTA del PAI;
- f. al comma 1, lettera a), dell'articolo 14 delle NTA del PAI;
- g. al comma 1 dell'articolo 15 delle NTA del PAI,

Tra questi, al punto g, rientrano gli interventi previsti in progetto.

7 - INDAGINE STRUMENTALE

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine geofisica non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s . Il metodo sfrutta il fenomeno della dispersione delle onde di superficie (Reyleigh e Love); queste vengono registrate durante la loro propagazione lungo lo stendimento di geofoni e sono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno. La teoria del metodo parte dalla considerazione che 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. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere sfruttata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali ed in particolare per la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s). Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare una proprietà critica per molti studi geotecnici: la rigidità superficiale. L'intero processo di indagine comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali, la costruzione di una curva di dispersione (sul grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza), l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s . Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore mentre l'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente.

Le elaborazioni effettuate hanno permesso di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e attraverso il quale è possibile procedere al calcolo di V_s eq o V_s30 nel rispetto della normativa nazionale di riferimento.

Le indagini sismiche MASW sono state realizzate con un sismografo multicanale digitale modulare DOREMI della SARA ELECTRONICS INSTRUMENTS a 24 bit con 102 canali attivi avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- No. of Bits 24 (144dB dynamic range)
- A/D Converter Type: SAR 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 Ω
- Common Mode Rejection: > 80 dB
- Low Pass Filter: DC-400 Hz
- Filtri (IIR o 0 Phase): Low pass, High pass, notch and customizable
- Low pass, High pass, notch and customizable
- Max Sampling Lag Between Ch.: <30 ppm
- Max Error Between Trigger Ch.: < 0.2 us
- Ch. Memory: 128000 bytes
- Maximum Samples: 40000
- Sampling Rates: 200 Hz to 20000 Hz
- Maximum Connectable Channels: 255
- Power Consumption: \approx 0.3 W per Ch.
- Instrument Chain Max Length: 1000 m
- Memory Status (OK / Vdc)
- Baud Rate: 115200/230400, N, 8,1

Ogni canale di tale strumentazione è di per sé un piccolo sismografo ed è collegato in una microrete facile da trasportare; i vari canali, insieme, costituiscono un sistema completamente modulare che può funzionare permettendo di utilizzare anche solo i canali effettivamente necessari.

Con questa strumentazione la digitalizzazione del segnale è vicinissima al geofono, pertanto, in questo modo è abbattuta la quasi totalità dei disturbi, specialmente quelli elettromagnetici. La trasmissione in digitale inoltre elimina il problema della perdita di dati e il crosstalk non si verifica lungo il cavo.

In campo sono stati utilizzati da 12 a 17 canali e geofoni verticali da 4.5Hz ad alto guadagno m ed è stata quindi registrata la componente ZVF Rayleigh. L'energizzazione è stata realizzata

con una mazza da 10 kg ed una piastra in duralluminio; per aumentare il rapporto segnale rumore per ogni punto di energizzazione sono state effettuate da 5 a 10.

La fase di acquisizione dei dati è stata gestita con il software GEOEXPLORER fornito da SARA ELECTRONICS INSTRUMENTS mentre la qualità del dato è stata verificata con il software HS QUALITY CHECK (HS-QC) commercializzato da Eliosoft

Le indagini MASW sono state elaborate con il software WINMASW Academy. Questo software consente l'analisi congiunta di dati sismici al fine di ricavare il profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio), quindi anche il parametro Vs30 e la Vs equivalente richiesti dalla normativa di riferimento (Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC)

La versione Academy implementa soluzioni altamente innovative e avanzate che consentono la ricostruzione precisa del modello del sottosuolo secondo metodi multicanale attivi e passivi, nonché secondo una vastissima serie di approcci e strumenti in grado di gestire qualsiasi tipo di analisi e problema. Le principali caratteristiche di questo software sono:

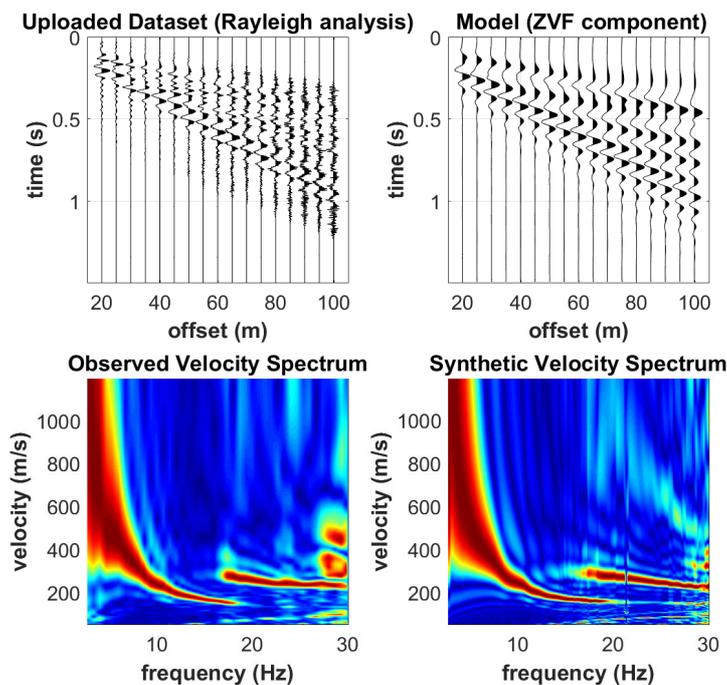
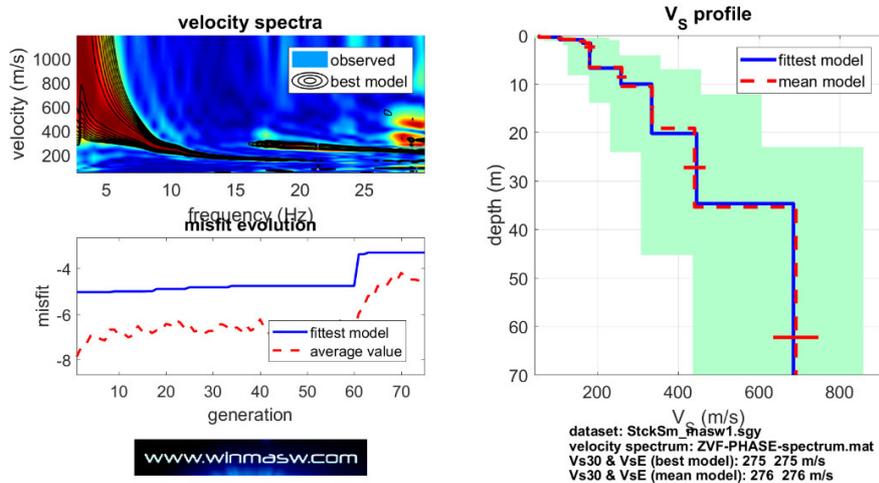
- analisi MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) in onde di Rayleigh e Love (anche congiuntamente) secondo tre possibili modalità: curve di dispersione modali, effettive e FVS (Full Velocity Spectrum)
- analisi attenuazione onde di Rayleigh per determinazione fattori di qualità QS
- metodo ESAC per array bidimensionali
- analisi ReMi (Refraction Microtremors)
- analisi velocità di gruppo tramite MFA (Multiple Filter Analysis) sia per onde di Rayleigh che Love
- analisi congiunta velocità di fase e gruppo
- analisi dati HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) per determinazione periodo di risonanza di sito
- modellazione rapporto spettrale H/V (Nakamura)
- determinazione Vs equivalente (Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17 gennaio 2018)
- determinazione Vs30
- filtraggio (passa-basso, passa-alto, passa-banda)
- analisi spettrale e spettrogrammi

- tool per la modellazione dei tempi delle onde rifratte (1D) considerando anche canali a bassa velocità (sia per onde SH che P)
- strumento per la somma di 2 (o più) stese per simulare acquisizioni con numero di canali doppio (triplo ecc.)
- calcolo moduli elastici
- sismogrammi sintetici (modal summation)
- inversione dello spettro di velocità (da dati MASW o MFA) tramite approccio Full Velocity Spectrum (FVS)
- tool per il vertical stack
- tool per la creazione di sezioni 2D
- tool per la selezione/filtraggio di specifici modi - anche "nascosti" (per analisi MASW)
- tool per congiungere diverse acquisizioni eseguite con diversi offset con terna (cioè un singolo geofono triassiale) triggerabile a creare dataset multicanale per analisi MASW in onde di Rayleigh (componenti radiale e verticale) e Love
- computo delle curve di dispersione apparenti (o effettive) da utilizzare nelle indagini ESAC
- inversione dei dati (anche congiuntamente all'HVSR) senza alcuna valutazione dei modi
- rispetto alle release precedenti, minori tempi di calcolo nell'approccio FVS
- tool TCEMCD per gestire dati multi-canale "misti" acquisiti in modalità passiva
- calcolo e analisi/inversione della superficie (frequency-offset) RPM (Rayleigh-wave Particle Motion)
- tool per il filtraggio di dataset multipli
- tool per confrontare ("compare 2 datasets") due datasets nel dominio del tempo e delle frequenze (utile in svariate situazioni come, ad esempio, nell'analisi time lapse, ecc.)
- possibilità di assemblare assieme spettri MASW ed ESAC
- gestione dati MASW non-equispaziati con doppia modalità di calcolo dello spettro della velocità di fase
- strumento analisi back scattering

A valle di questa premessa si passa ora all'analisi dei dati rilevati osservando che gli spettri $v - f$ relativi alla componente ZVF Rayleigh una volta ripuliti dalle onde di volume mostrano in generale un segnale ben definito sulla base del quale si potrebbe anche procedere al piccaggio

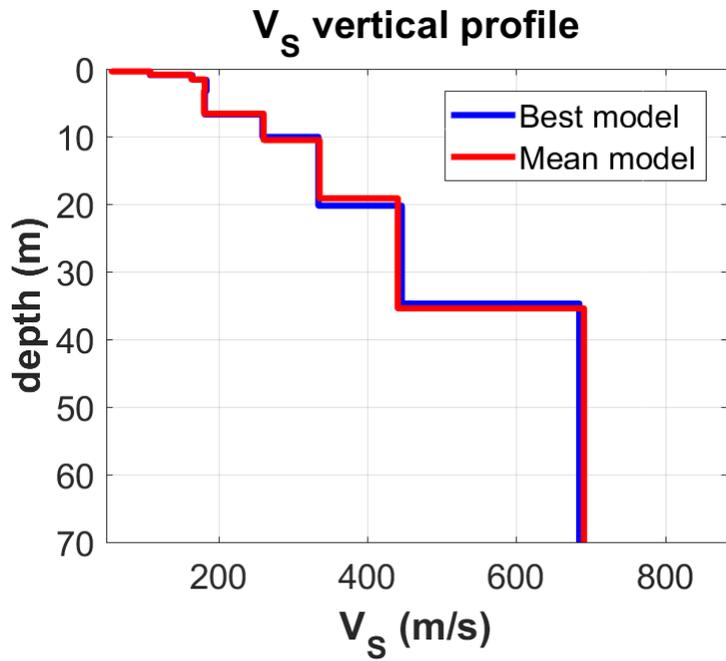
delle curve modali sperimentali con lo scopo di eseguire la classica elaborazione per inversione. Tuttavia, per ovviare alla perniciosità insita in questa tecnica (che prevede appunto l'estrazione, attraverso il picking, delle presunte curve di dispersione sperimentali e la successiva inversione delle stesse), si è proceduto alla modellazione diretta con la tecnica FVS che prevede la sovrapposizione tra lo spettro di velocità relativo al dato osservato ed una serie di spettri sintetici relativi a plausibili modelli di sottosuolo (ovviando alla incertezza della attribuzione di un segnale ad uno specifico modo di vibrazione).

Si riportano di seguito i grafici relativi alle elaborazioni svolte ed i modelli di sottosuolo ottenuti.
 MASW1

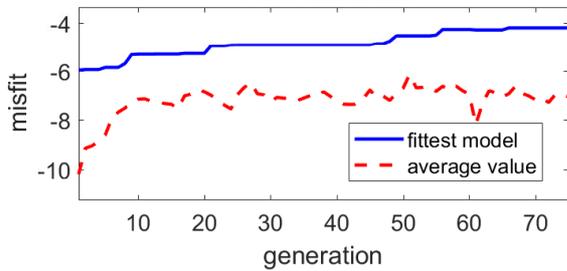
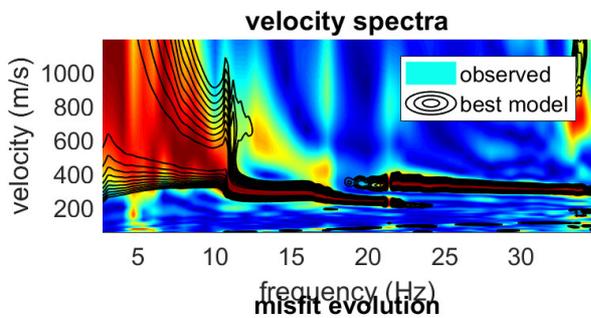


best model

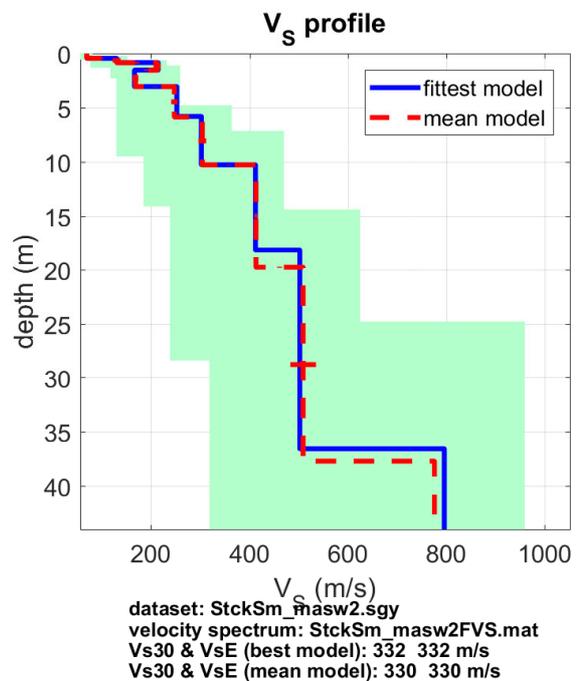
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	57	0.3792	0.3792
2	108	0.5381	0.9173
3	165	0.7011	1.6184
4	184	1.6668	3.2853
5	182	3.4734	6.7587
6	259	3.3103	10.0690
7	335	10.1640	20.2330
8	446	14.4764	34.7094
9	685	51.3243	86.0337
10	2688	0	0



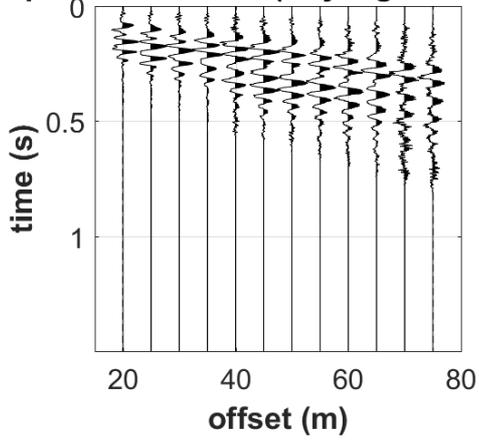
MASW2



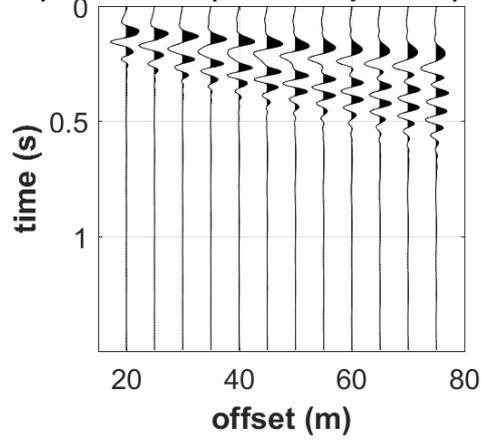
www.winmasw.com



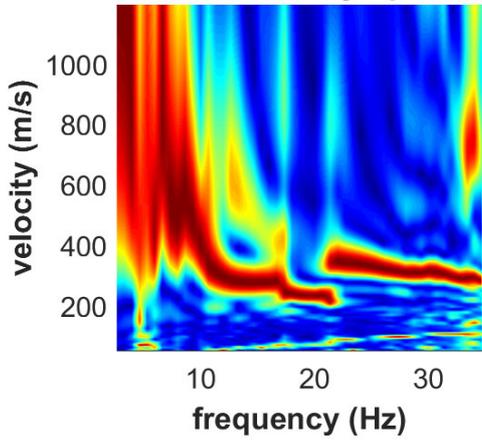
Uploaded Dataset (Rayleigh analysis)



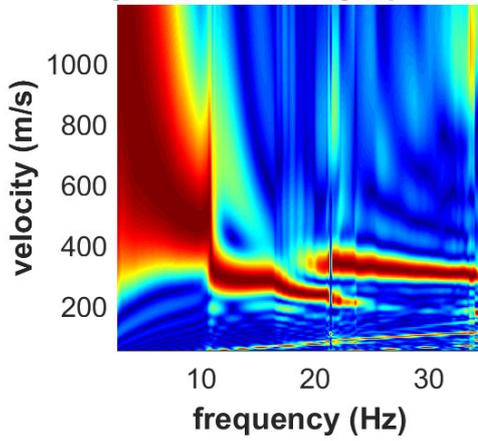
Model (ZVF component)



Observed Velocity Spectrum



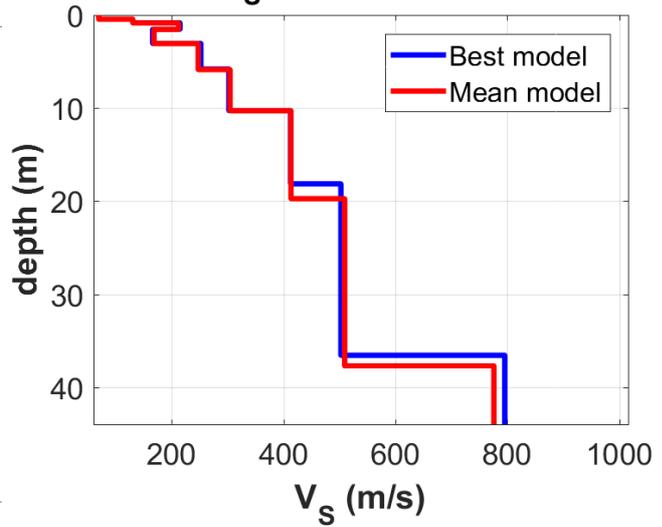
Synthetic Velocity Spectrum



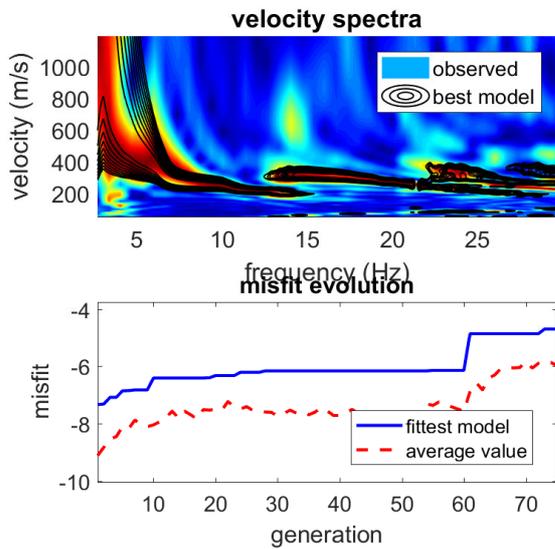
best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	69	0.4565	0.4565
2	130	0.3871	0.8435
3	214	0.6937	1.5372
4	166	1.5256	3.0628
5	252	2.7547	5.8175
6	302	4.4613	10.2788
7	412	7.8695	18.1483
8	502	18.4310	36.5792
9	796	55.3405	91.9198
10	2350	0	0

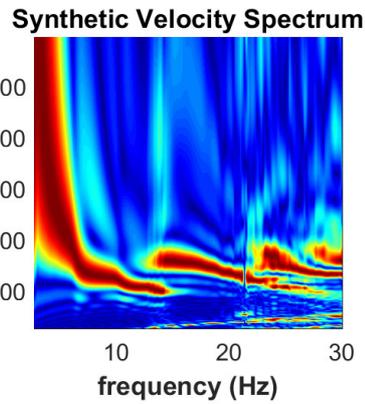
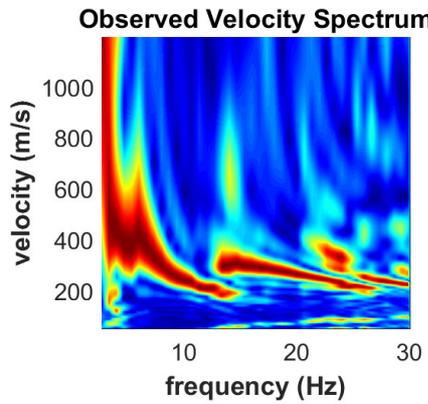
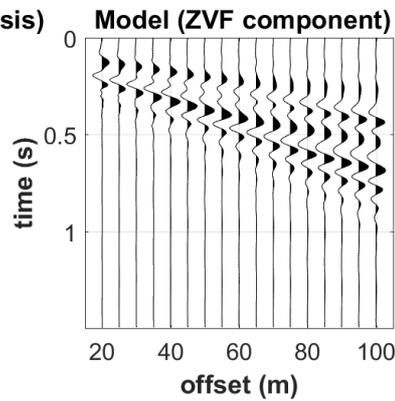
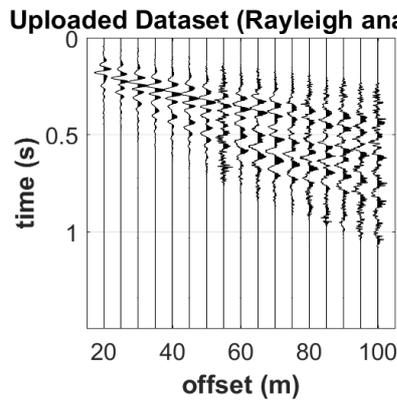
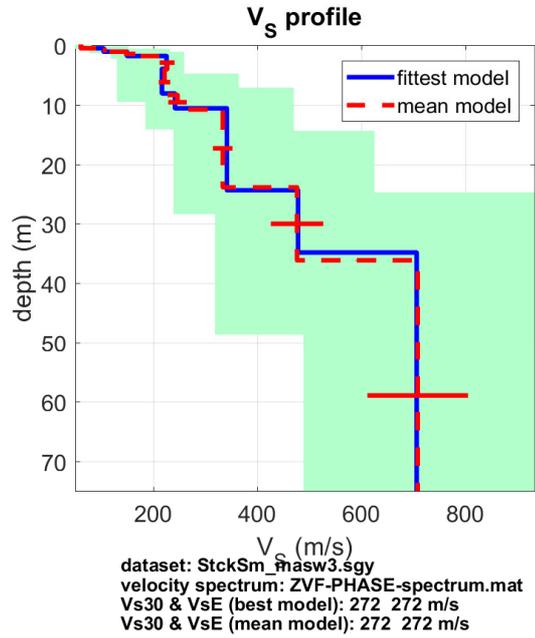
V_S vertical profile



MASW3

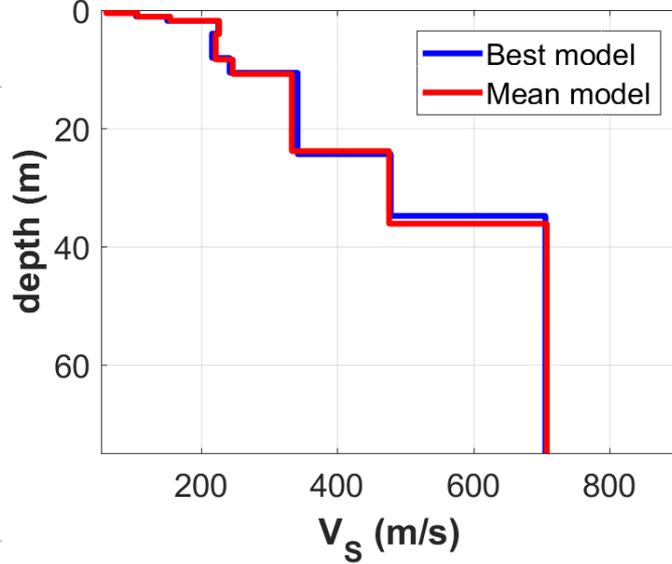


www.winmasw.com

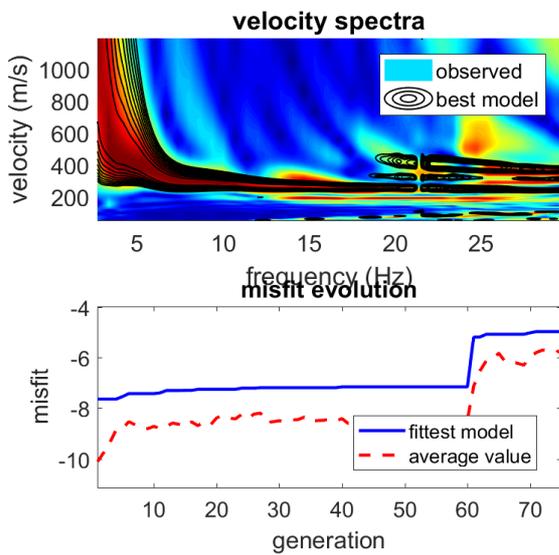


V_S vertical profile

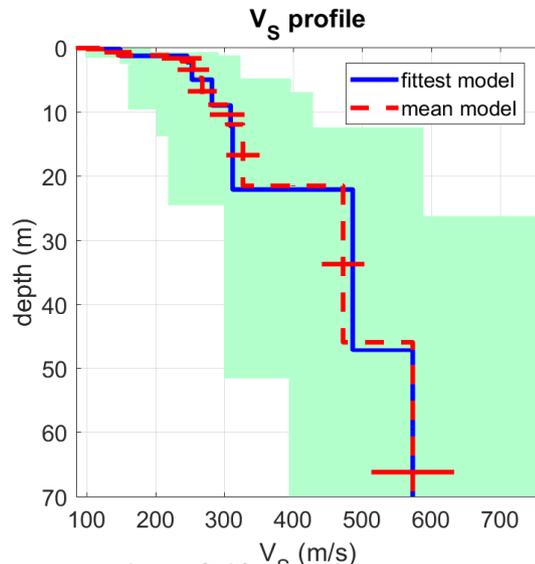
best model			
layer	V _s (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	61	0.5334	0.5334
2	104	0.5722	1.1056
3	149	0.7213	1.8268
4	225	2.1649	3.9917
5	216	4.1234	8.1152
6	241	2.4942	10.6093
7	341	13.7797	24.3890
8	478	10.4460	34.8350
9	706	47.7780	82.6131
10	2368	0	0



MASW4

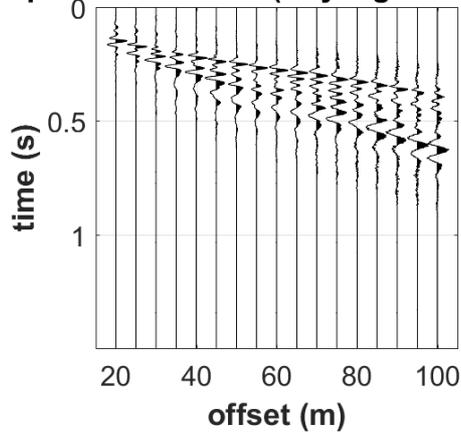


www.winmasw.com

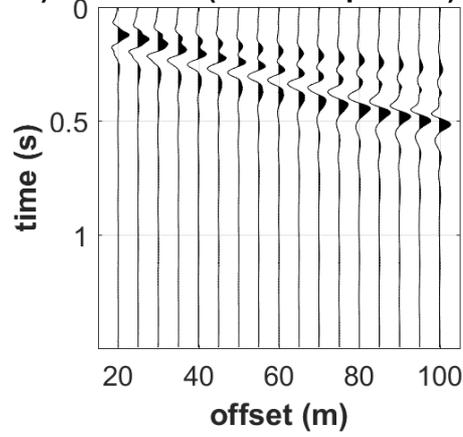


dataset: StckSm_masw4.sgy
 velocity spectrum: ZVF-PHASE-spectrum.mat
 Vs30 & VsE (best model): 310 310 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 312 312 m/s

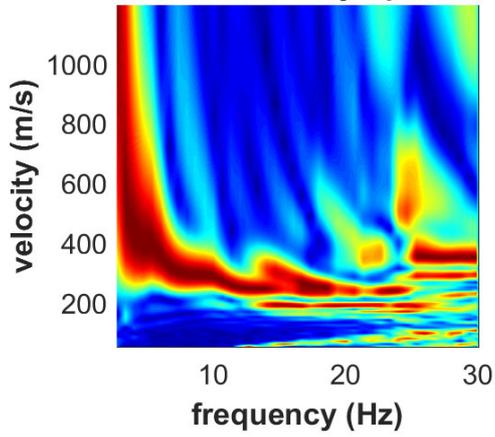
Uploaded Dataset (Rayleigh analysis)



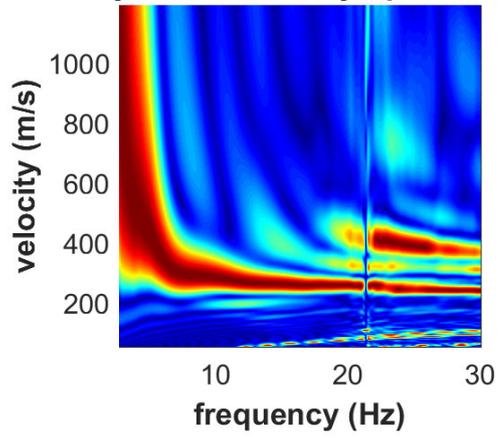
Model (ZVF component)



Observed Velocity Spectrum



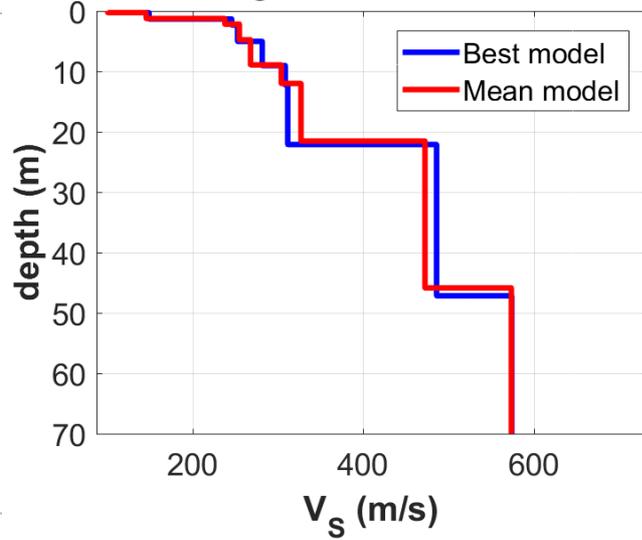
Synthetic Velocity Spectrum



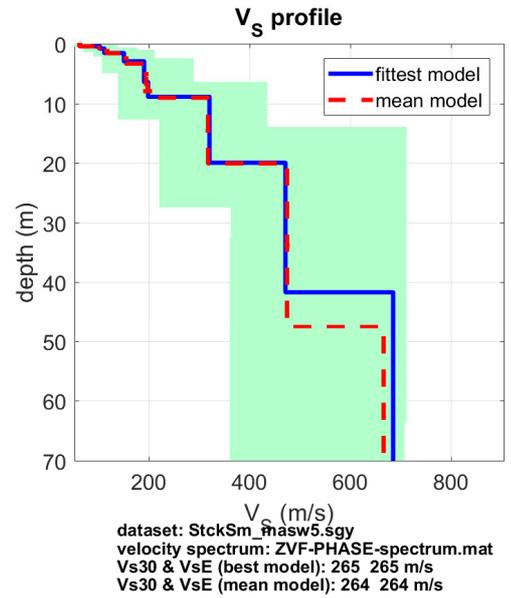
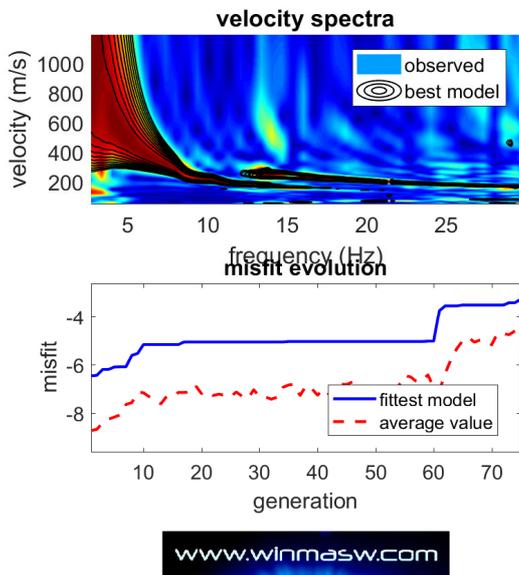
best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	106	0.2763	0.2763
2	149	1.0567	1.3330
3	246	0.9851	2.3182
4	253	2.7145	5.0327
5	282	4.0077	9.0404
6	309	3.2124	12.2527
7	312	9.8654	22.1181
8	486	25.0506	47.1687
9	573	38.6076	85.7763
10	1989	0	0

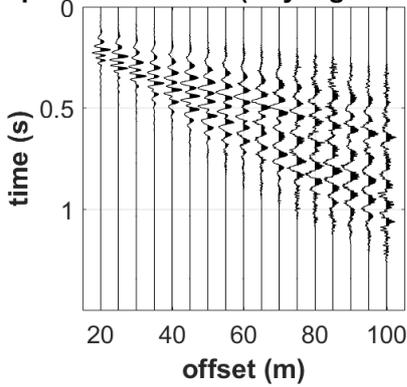
V_S vertical profile



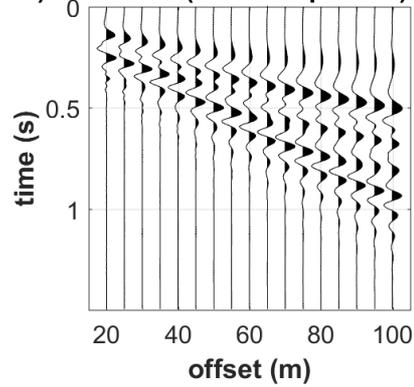
MASW5



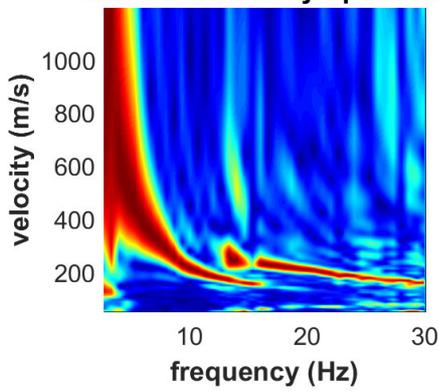
Uploaded Dataset (Rayleigh analysis)



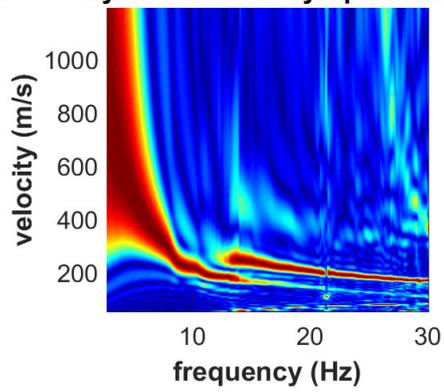
Model (ZVF component)

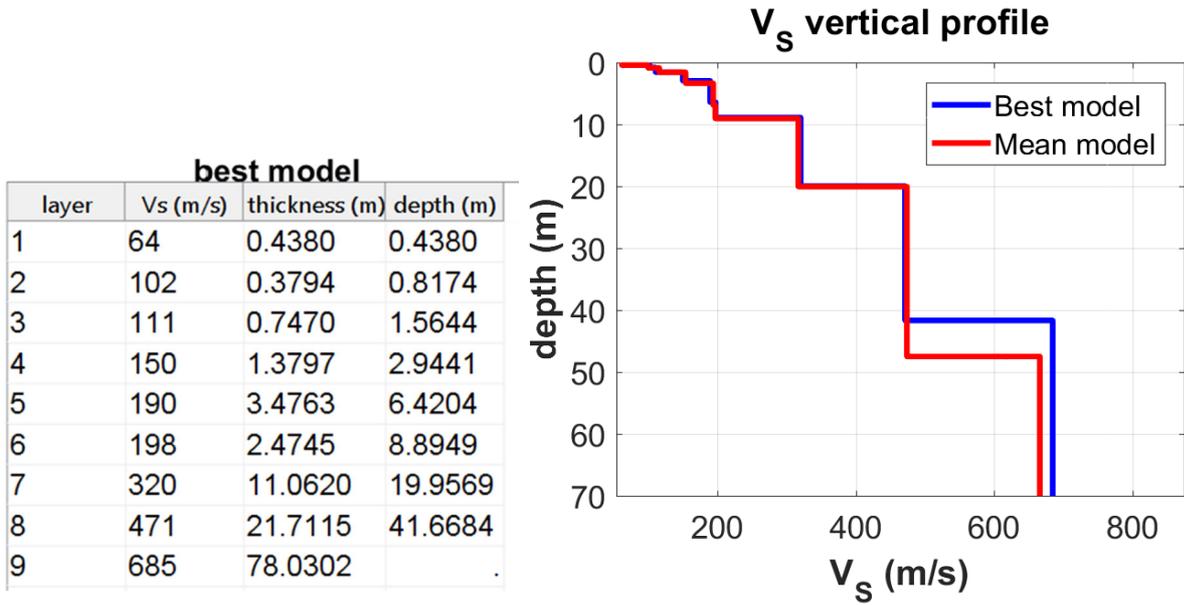


Observed Velocity Spectrum

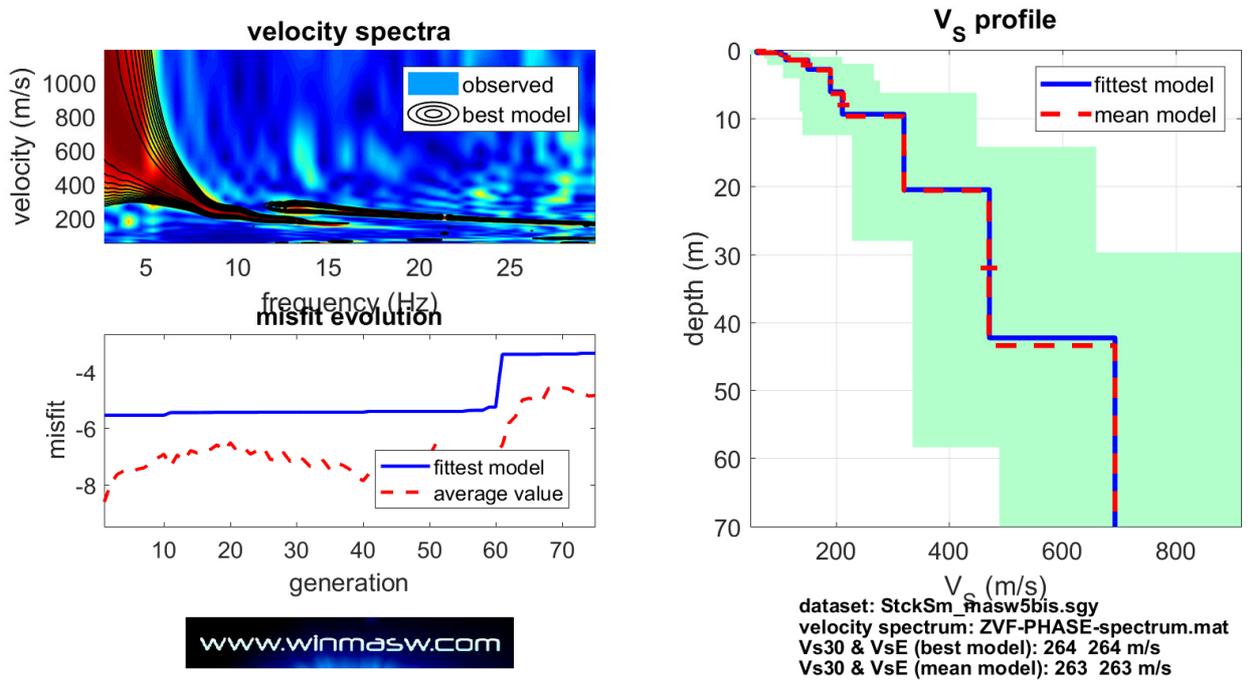


Synthetic Velocity Spectrum

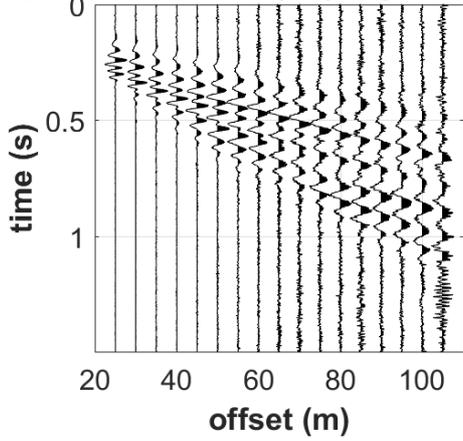




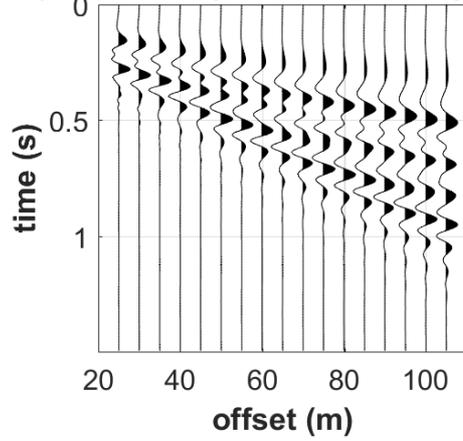
MASW6



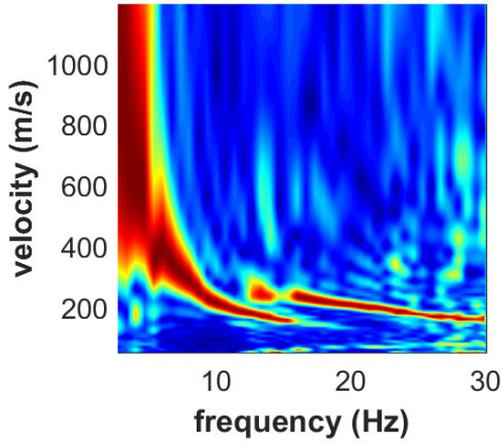
Uploaded Dataset (Rayleigh analysis)



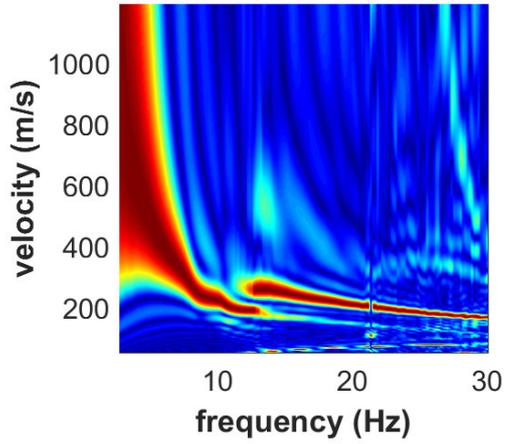
Model (ZVF component)



Observed Velocity Spectrum



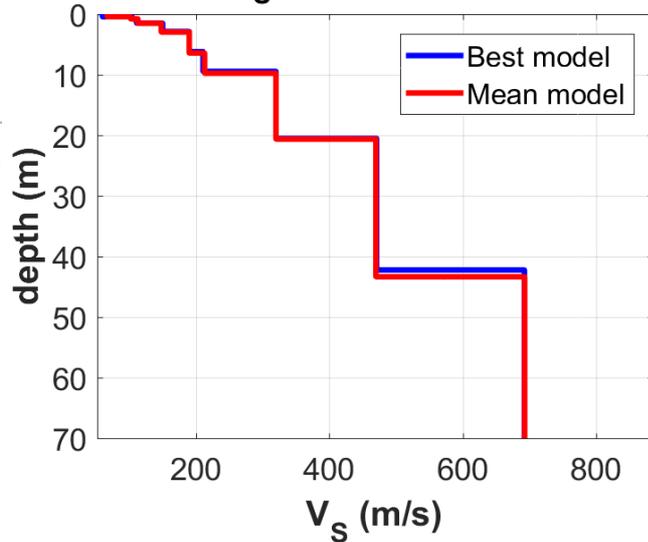
Synthetic Velocity Spectrum



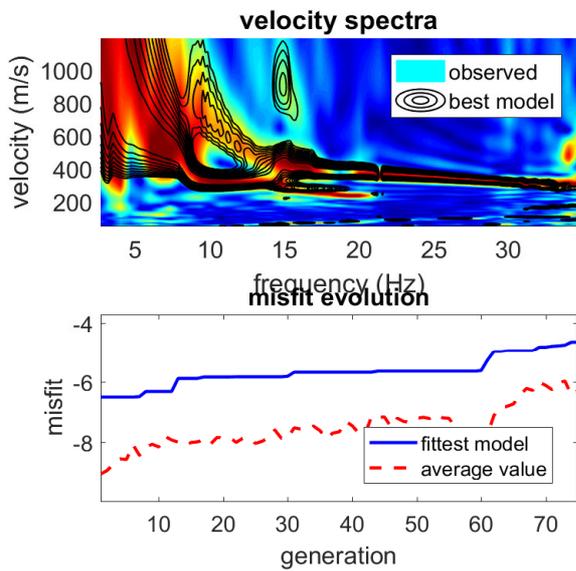
best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	60	0.4400	0.4400
2	104	0.3376	0.7776
3	111	0.7152	1.4929
4	150	1.3800	2.8729
5	190	3.2984	6.1712
6	211	3.2778	9.4490
7	320	11.0600	20.5090
8	471	21.7100	42.2190
9	693	74.3422	

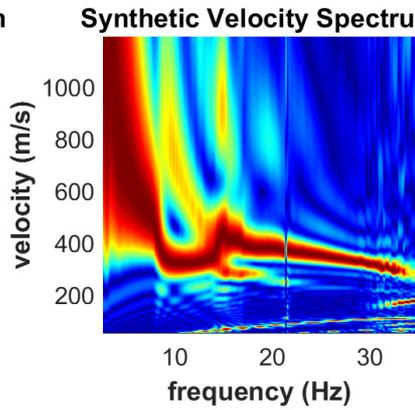
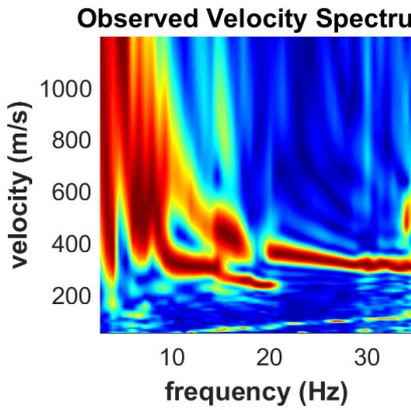
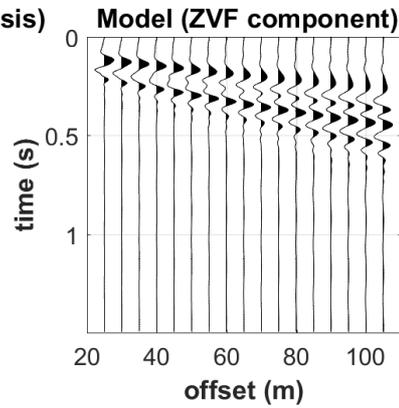
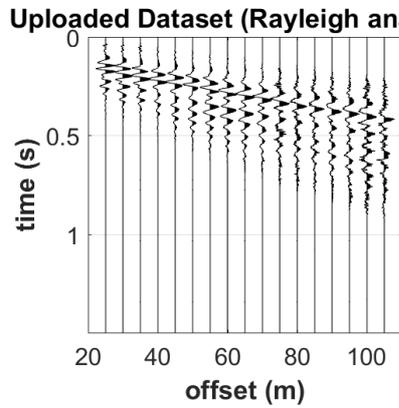
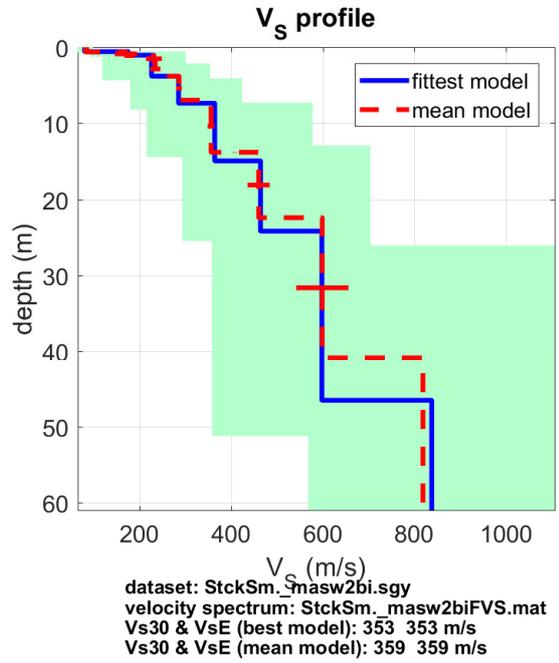
V_s vertical profile



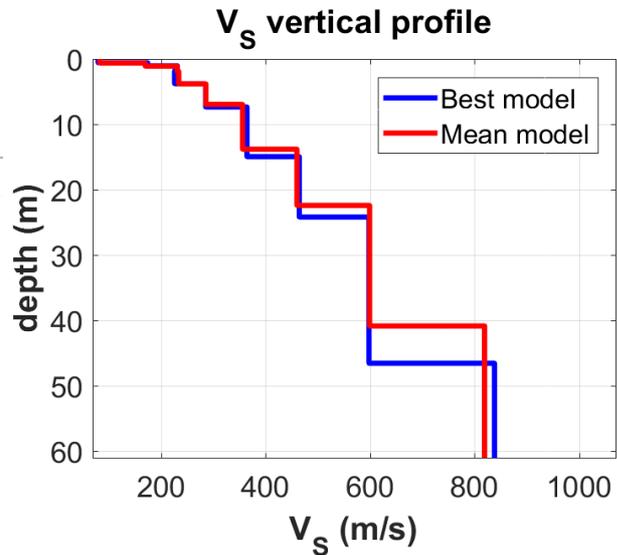
MASW7



www.winmasw.com



best model			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	80	0.5829	0.5829
2	175	0.4671	1.0499
3	231	0.7676	1.8175
4	226	1.9774	3.7949
5	285	3.5624	7.3573
6	364	7.5853	14.9425
7	464	9.2428	24.1853
8	598	22.3658	46.5511
9	838		



Tutti i modelli geofisici derivanti dalla elaborazione dei dati di campo sono coerenti tra loro; tale aspetto è indice della sostanziale omogeneità del substrato geologico nel perimetro delle aree di impianto. Qui, infatti, si rinvencono al di sotto di circa 0,5 m di terreno vegetale (strato superficiale con $V_s < 100$ m/s) materiali con V_s relativamente bassa (tipica di terreni argillosi alterati) che tuttavia cresce costantemente con la profondità denunciando un chiaro e costante incremento del loro grado di consistenza. Si osservi che V_s raggiunge valori di 250 m/s già a pochi metri dal p.c..

Non in tutti i sondaggi è stato riconosciuto il bedrock sismico; si evidenzia che esso si attesta sempre a profondità notevoli

8 - CATEGORIA DI SUOLO

Il DM 17 gennaio 2018 prescrive che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del D.M., si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al paragrafo 6.2.2 del D.M..

I valori di Vs sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30,00 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H = 30,00$ metri nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al paragrafo 3.2.3 delle norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Sulla base dei modelli di sottosuolo desunti dall'indagine geofisica di riferimento (MASW) è possibile sostanzialmente posizionare il tetto del bedrock ben oltre i 30 m dal p.c. per cui, considerando un piano di fondazione a circa -1 m dal p.c. e non significative le piccole inversioni di velocità rilevate lungo alcuni profili, per tutti i sondaggi si calcola $V_{S,eq}$ che è risultata pari:

MASW1	275 m/s
MASW2	332 m/s
MASW3	272 m/s
MASW4	310 m/s
MASW5	265 m/s
MASW6	264 m/s
MASW7	353 m/s

Si ottiene pertanto in tutti i casi una attribuzione alla Categoria 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.*

9 – MODELLO GEOTECNICO

Sulla base del modello di sottosuolo che emerge dal dato geofisico si possono individuare 3 unità geotecniche:

- Terreno vegetale
- Argille alterate
- Argille consistenti

Il terreno vegetale ha uno spessore medio di 0,5 m (al massimo 1 m) ed è rappresentato da materiali sciolti con V_s estremamente bassa e quindi con scarse proprietà geotecniche.

Lo strato di argille alterate è potente mediamente tra 4 e 6 m (anche se localmente raggiunge gli 8 m) ed è caratterizzato da valori di V_s pari mediamente a 150 – 200 m/s. Utilizzando le principali formule note in letteratura si ricava per questo livello geotecnico una coesione non drenata media (Ho et alii, 2008 e Levesques et alii, 2007) di circa 100 kPa, un angolo di attrito (Mayne. 2014) < di 30° ed un peso di volume (Mayne 2001) di circa 17 kN/mc; il coefficiente di Poisson può essere posto pari a 0,38

Il tetto dell'unità geotecnica denominata "argille consistenti" (si tratta comunque di un orizzonte alterato delle Argille subappennine) si rinviene tra 6 e 10 m dal p.c.. Questa unità è costituita da materiali del tutto simili ai sovrastanti che però hanno subito con minore intensità gli effetti della alterazione meccanica e chimica dovuti all'azione degli agenti erosivi esogeni. A questa unità, sulla base dei valori di V_s determinati ed utilizzando le principali formule note in letteratura è è possibile attribuire una coesione non drenata media (Ho et alii, 2008 e Levesques et alii, 2007) di 150 kPa, un angolo di attrito (Mayne. 2014) di $30-32^\circ$ ed un peso di volume (Mayne 2001) di circa 19 kN/mc. Il valore del coefficiente di Poisson può essere posto pari a 0,38.

	Terreno vegetale Spessore medio: 0.75 m Caratteri geotecnici: $V_s < 100$ m/s
	Argille alterate Spessore medio: 6.00 m Caratteri geotecnici: $150 \text{ m/s} < V_s < 200 \text{ m/s}$; $c_u = 100 \text{ kPa}$; $P_v = 17 \text{ kN/mc}$; $\gamma = 28^\circ$
	Argille consistenti Spessore medio: indefinito (substrato geotecnico) Caratteri geotecnici: $V_s > 250 \text{ m/s}$; $c_u = 150 \text{ kPa}$; $P_v = 19 \text{ kN/mc}$; $\gamma = 31^\circ$

Fig. 9.1 – Schema sintetico del modello geotecnico di sito

10 – VERIFICHE DI STABILITA' E CONCLUSIONI

Sulla base del modello geotecnico di sito descritto al precedente paragrafo si è proceduto a verificare la stabilità di diverse scarpate tipo ricadenti nell'area di progetto (Fig. 10.1).

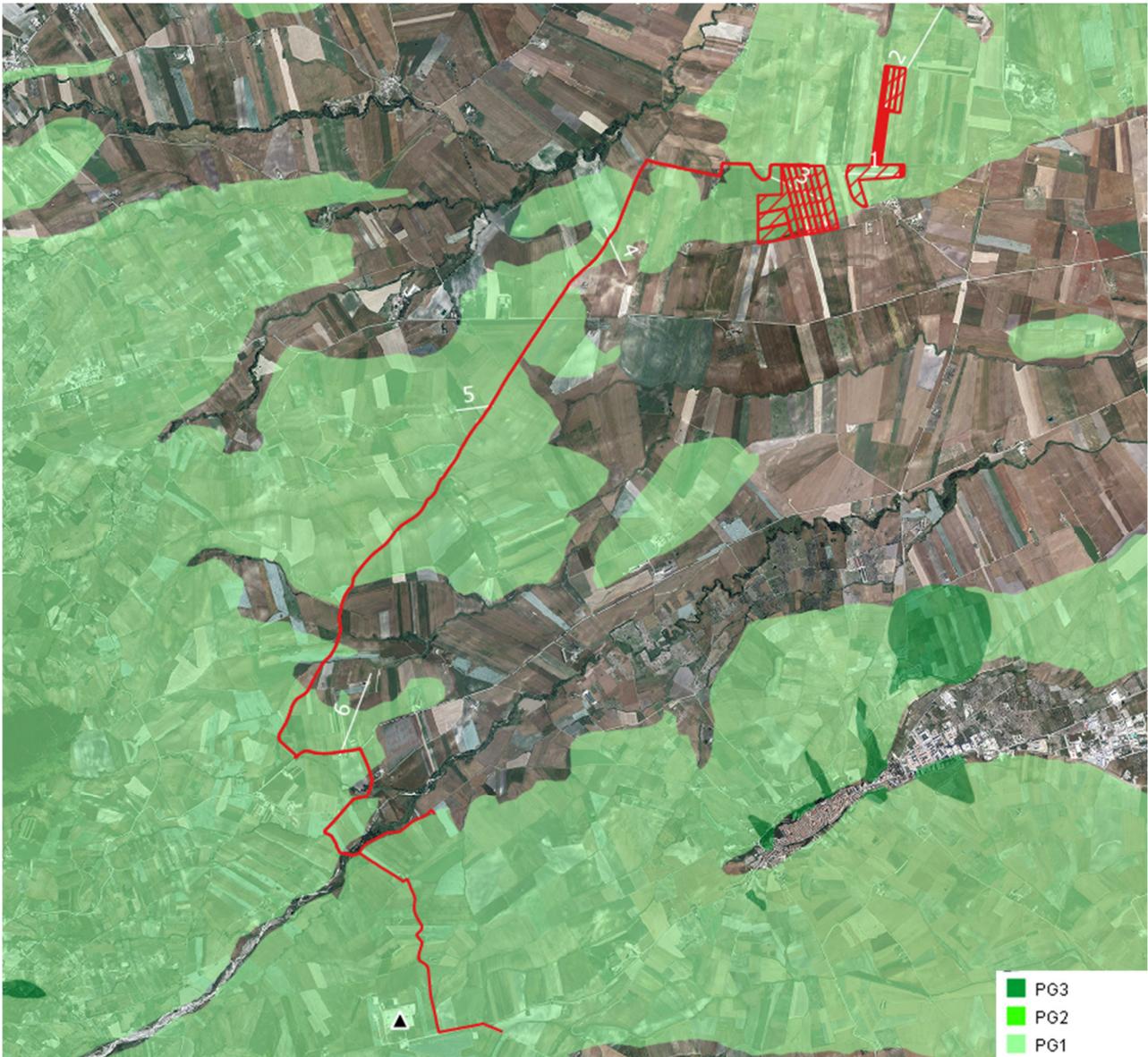


Fig. 10.1 – Scarpate oggetto di verifica di stabilità (su base cartografica DTM Puglia)

Poiché gli interventi di progetto non comportano modifiche morfologiche e scavi rilevanti si è ritenuto adeguato estrarre il profilo altimetrico delle scarpate oggetto di verifica dal DTM Puglia; infatti, il cavidotto sarà alloggiato in una piccola trincea profonda al massimo 1.00 m, collocata sempre sulla viabilità esistente (dunque gran parte dello scavo sarà realizzato nei materiali abbancati per la realizzazione della stessa strada) mentre i pannelli fotovoltaici saranno

sostenuti da una struttura con pali infissi nel terreno. In buona sostanza, dunque, il profilo altimetrico ante operam e post operam coincidono come anche l'assetto geometrico e stratigrafico dei terreni in cui è modellata la scarpata.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite con il software SLOPE distribuito da GEOSTRU. Slope esegue i calcoli per terreni sciolti o rocciosi con i metodi tradizionali della geotecnica (Equilibrio limite) ed il metodo ad Elementi Discreti con il quale è possibile determinare gli spostamenti del pendio ed esaminare la rottura progressiva. Esso esegue sia l'analisi statica che dinamica.

Le normative di calcolo supportate sono:

- Nuove Norme tecniche 2018, DECRETO 17 gennaio 2018
- Norme Tecniche per le Costruzioni, DM Infrastrutture 14.01.2008, pubblicato su Suppl. Ord. N. 30 alla G. U. 4 Febbraio 2008, n. 29
- Nuova Circolare delle Norme Tecniche per le Costruzioni, circolare 2.02.2009 n.617 del Cons. Sup. dei LL. PP. , pubblicata su Suppl. Ord. N. 27 alla G. U. 26 Febbraio 2009
- EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules, November 2004
- EN 1997-2 Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing , March 2007
- EN 1998-1 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, December 2004
- EN 1998-5 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects, November 2004

I metodi di analisi utilizzati per le verifiche sono:

- FELLENIUS (1936): Solo equilibrio delle forze;
- BISHOP (1955): Solo equilibrio delle forze; si trascurano le forze di interconco. Il fattore di sicurezza si ricava dall'equilibrio dei momenti rispetto al centro di rotazione;
- JANBU (1956): Metodo di BISHOP esteso alle superfici di forma generica;
- MORGENSTERN & PRICE (1965): Metodo rigoroso basato sull'equilibrio delle forze e dei momenti;
- SPENCER (1967): Equilibrio delle forze e dei momenti dei singoli conci;
- BELL (1968): Nuova procedura basata sulla distribuzione delle pressioni lungo la superficie di scorrimento;

- SARMA (1973): Il metodo soddisfa tutte le condizioni di equilibrio (orizzontale e verticale, momenti per ogni concio).
- DEM: Discrete Element Method for Slope Stability Analysis
- ZENG LIANG (2002)
- Back Analysis: Analisi a ritroso per il calcolo dei parametri geotecnici;
- Analisi isotropa
- Analisi dei pendii in roccia con Hoek e Bray

Il calcolo viene eseguito in condizioni STATICHE e SISMICHE. In condizioni sismiche i coefficienti sono importati automaticamente. Nello specifico la verifica è stata sviluppata in condizioni sismiche e con il metodo di Fellenius; il modello geotecnico di input è quello emerso dalle indagini geofisiche che vede la sovrapposizione nel sottosuolo delle seguenti 3 unità geotecniche: Terreno vegetale, Argille alterate, Argille consistenti. Le verifiche sono state sviluppate con riferimento allo SLC ed hanno restituito coefficienti di sicurezza superiori a 1,1. A valle di tale verifica si sottolinea, come considerazione generale relativa alla stabilità geomorfologica globale nell'area di intervento, che qui la pendenza dei versanti è sempre molto blanda ed inferiore all'angolo di attrito interno dei materiali che costituiscono il substrato geologico (argille alterate ed argille consistenti) e non è presente alcuna falda; pertanto le forze resistenti sono in generale maggiori di quelle che potrebbero innescare il movimento franoso e l'area può essere considerata nel complesso stabile.

Si riportano di seguito i listati di output del software slope relativi alle scarpate verificate.

Scarpata 1

Analisi di stabilità dei pendii con : FELLENIUS (1936)

Lat./Long.	41.442558/15.333515 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	83.48 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	233.97 m
Ascissa vertice destro superiore xs	642.17 m
Ordinata vertice destro superiore ys	293.41 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	50.0
Numero di celle lungo y	50.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.461	2.408	0.297
S.L.D.	50.0	0.579	2.519	0.33
S.L.V.	475.0	1.353	2.622	0.439
S.L.C.	975.0	1.716	2.624	0.484

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6915	0.2	0.0141	0.0071
S.L.D.	0.8685	0.2	0.0177	0.0089
S.L.V.	2.0064	0.24	0.0491	0.0246
S.L.C.	2.4444	0.24	0.0598	0.0299

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0598
Coefficiente azione sismica verticale	0.0299

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0 1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0 1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0	1	15	1650	1800	Terreno vegetale
2	1	1	28	1700	2100	Argilla o argilla limosa molle
3	1.5	1.5	31	1900	2300	Argilla o argilla limosa consistente

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1.24
Ascissa centro superficie	569.54 m
Ordinata centro superficie	265.47 m
Raggio superficie	23.06 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$x_c = 569.537 \quad y_c = 265.473 \quad R_c = 23.058 \quad F_s = 1.237$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.5	12.3	0.5	21.32	1.28	0.64	0.0	12.1	0.0	21.2	5.8
2	0.5	11.0	0.5	57.65	3.45	1.72	0.0	12.1	0.0	57.6	14.4
3	0.5	9.7	0.5	84.62	5.06	2.53	0.0	12.1	0.0	85.0	19.3
4	0.5	8.6	0.5	102.44	6.13	3.06	0.0	12.1	0.0	103.4	21.3

5	0.47	7.3	0.5	106.19	6.35	3.18	0.0	12.1	0.0	107.7	19.8
6	0.52	6.1	0.5	116.99	7.0	3.5	0.0	12.1	0.0	119.1	19.4
7	0.5	4.8	0.5	101.93	6.1	3.05	0.0	12.1	0.0	104.1	14.7
8	0.5	3.5	0.5	83.18	4.97	2.49	0.0	12.1	0.0	85.2	10.1
9	0.5	2.4	0.5	55.92	3.34	1.67	0.0	12.1	0.0	57.4	5.7
10	0.5	1.2	0.5	20.36	1.22	0.61	0.0	12.1	0.0	20.9	1.6

Scarpata 2

Analisi di stabilità dei pendii con : FELLENIUS (1936)

Lat./Long.	41.442558/15.333515 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	19.51 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	261.21 m
Ascissa vertice destro superiore xs	219.24 m
Ordinata vertice destro superiore ys	282.78 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	50.0
Numero di celle lungo y	50.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.461	2.408	0.297

S.L.D.	50.0	0.579	2.519	0.33
S.L.V.	475.0	1.353	2.622	0.439
S.L.C.	975.0	1.716	2.624	0.484

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6915	0.2	0.0141	0.0071
S.L.D.	0.8685	0.2	0.0177	0.0089
S.L.V.	2.0064	0.24	0.0491	0.0246
S.L.C.	2.4444	0.24	0.0598	0.0299

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0598
 Coefficiente azione sismica verticale 0.0299

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0
 Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25
 Coesione efficace 1.25
 Coesione non drenata 1.4
 Riduzione parametri geotecnici terreno Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0	1	15	1650	1800	Terreno vegetale	
2	1	1	28	1700	2100	Argilla o argilla limosa molle	
3	1.5	1.5	30	1900	2300	Argilla o argilla limosa media	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	4.8
Ascissa centro superficie	151.33 m
Ordinata centro superficie	282.78 m
Raggio superficie	62.97 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 151.334 \quad yc = 282.779 \quad Rc = 62.974 \quad Fs = 4.804$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.12	-80.4	0.7	74.25	4.44	2.22	0.0	12.1	0.0	17.1	-72.5
2	8.12	-69.5	23.2205468	512287.01	6143.51	1.2	24.8	0.085717.3	-188110.3		
3	8.12	-52.8	13.4405531	124250.761	2125.38	1.2	24.8	0.0272034.2	-308186.8		
4	8.12	-41.7	10.9526536	831486.9	15743.45	1.2	24.8	0.0425859.0	-326727.3		
5	8.12	-32.4	9.6608735	536402.381	8201.19	1.2	24.8	0.0549023.6	-295129.7		
6	8.12	-23.9	8.9664921	739762.321	9881.16	1.2	24.8	0.0642005.2	-233520.4		
7	8.12	-16.1	8.4701005	241920.112	0960.05	1.2	24.8	0.0705401.8	-153575.8		
8	8.12	-8.5	8.2720104	543062.252	1531.13	1.2	24.8	0.0739887.8	-63489.9		
9	8.12	-1.0	8.1723616	843272.282	1636.14	1.2	24.8	0.0745914.4	30156.8		
10	57.28	37.8	72.5400861	70239715.311	9857.6	1.2	24.8	0.03115254.0	2646275.0		

Scarpata 3

Analisi di stabilità dei pendii con : FELLENIUS (1936)

Lat./Long.	41.442558/15.333515 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	83.71 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	214.34 m

Ascissa vertice destro superiore xs	639.26 m
Ordinata vertice destro superiore ys	282.97 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	50.0
Numero di celle lungo y	50.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.461	2.408	0.297
S.L.D.	50.0	0.579	2.519	0.33
S.L.V.	475.0	1.353	2.622	0.439
S.L.C.	975.0	1.716	2.624	0.484

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6915	0.2	0.0141	0.0071
S.L.D.	0.8685	0.2	0.0177	0.0089
S.L.V.	2.0064	0.24	0.0491	0.0246
S.L.C.	2.4444	0.24	0.0598	0.0299

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0598
Coefficiente azione sismica verticale	0.0299

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coazione efficace	1.25
Coazione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coazione (kg/cm ²)	Coazione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0	1	15	1650	1800	Terreno vegetale	
2	1	1	28	1700	2100	Argilla o argilla limosa molle	
3	1.5	1.5	30	1900	2300	Argilla o argilla limosa media	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1.21
Ascissa centro superficie	617.04 m
Ordinata centro superficie	269.24 m
Raggio superficie	32.82 m

$$xc = 617.04 \quad yc = 269.24 \quad Rc = 32.82 \quad Fs = 1.212$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.5	10.8	0.5	24.04	1.44	0.72	0.0	12.1	0.0	24.0	5.9
2	0.5	9.9	0.5	66.08	3.95	1.98	0.0	12.1	0.0	66.4	15.2
3	0.5	9.0	0.5	101.1	6.05	3.02	0.0	12.1	0.0	101.9	21.8
4	0.38	8.2	0.4	95.71	5.72	2.86	0.0	12.1	0.0	96.8	19.3
5	0.63	7.3	0.6	166.88	9.98	4.99	0.0	12.1	0.0	169.2	31.1
6	0.5	6.3	0.5	123.53	7.39	3.69	0.0	12.1	0.0	125.6	21.0
7	0.5	5.4	0.5	107.39	6.42	3.21	0.0	12.1	0.0	109.5	16.6
8	0.5	4.6	0.5	85.04	5.09	2.54	0.0	12.1	0.0	86.9	11.8
9	0.5	3.7	0.5	55.68	3.33	1.66	0.0	12.1	0.0	57.0	6.9
10	0.5	2.8	0.5	20.35	1.22	0.61	0.0	12.1	0.0	20.9	2.2

Scarpata 4

Analisi di stabilità dei pendii con : FELLENIUS (1936)

Lat./Long.	41.414578/15.281183 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	332.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	280.68 m
Ascissa vertice destro superiore xs	379.18 m
Ordinata vertice destro superiore ys	304.26 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.461	2.394	0.302
S.L.D.	50.0	0.579	2.505	0.33
S.L.V.	475.0	1.363	2.633	0.447
S.L.C.	975.0	1.726	2.624	0.515

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

$$x_c = 373.28 \quad y_c = 300.136 \quad R_c = 6.735 \quad F_s = 4.355$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.67	-27.8	0.8	170.62	10.25	5.14	0.0	12.1	0.0	160.3	-70.4
2	0.39	-22.8	0.4	221.65	13.32	6.67	0.0	12.1	0.0	215.6	-73.7
3	0.96	-16.8	1.0	899.31	54.05	27.07	0.0	12.1	0.0	902.6	-207.8
4	0.67	-9.7	0.7	839.98	50.48	25.28	0.0	12.1	0.0	861.4	-91.6
5	0.67	-3.8	0.7	925.79	55.64	27.87	0.0	12.1	0.0	955.2	-6.0
6	0.67	1.9	0.7	935.65	56.23	28.16	0.0	12.1	0.0	961.5	86.9
7	0.67	7.7	0.7	871.69	52.39	26.24	0.0	12.1	0.0	882.8	168.5
8	0.67	13.4	0.7	730.2	43.89	21.98	0.0	12.1	0.0	721.4	212.3
9	0.67	19.4	0.7	507.39	30.49	15.27	0.0	12.1	0.0	482.8	197.5
10	0.67	25.8	0.7	195.01	11.72	5.87	0.0	12.1	0.0	175.8	95.3

Scarpata 5

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936)

Lat./Long.	41.399212/15.266452 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	347.62 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	346.03 m
Ascissa vertice destro superiore xs	1066.75 m
Ordinata vertice destro superiore ys	441.35 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie

		(kg/cm ²)	al taglio (°)	(Kg/m ³)	saturo (Kg/m ³)		
1	0	1	15	1650	1800	Terreno vegetale	
2	1	1	28	1700	2100	Argilla o argilla limosa molle	
3	1.5	1.5	30	1900	2300	Argilla o argilla limosa media	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	2.75
Ascissa centro superficie	383.57 m
Ordinata centro superficie	417.52 m
Raggio superficie	91.99 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 383.574 \quad yc = 417.518 \quad Rc = 91.991 \quad Fs = 2.754$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
-											
1	1.85	-88.0	52.3171556	56.310447	78	5232.47	1.2	24.8	0.016704	2-171078.5	
2	10.98	-63.7	24.81329153	080945	3940539.16	1.2	24.8	0.0679373	1-1155739.0		
3	10.98	-50.6	17.31626881	099077	0349619.86	1.2	24.8	0.01141257	0-1193744.0		
4	10.98	-40.7	14.51808085	0110112	455146.59	1.2	24.8	0.01484953	0-1094843.0		
5	10.98	-32.1	13.01949753	0118739	959467.46	1.2	24.8	0.01764809	0-936118.0		
6	10.98	-24.3	12.02060441	0125480	962843.46	1.2	24.8	0.01986454	0-734431.6		
7	10.98	-17.0	11.52130486	0129746	664979.82	1.2	24.8	0.02137509	0-498657.1		
8	10.98	-9.9	11.12164417	0131813	066014.71	1.2	24.8	0.02219673	0-244037.1		
9	10.98	-3.0	11.02167518	0132001	966109.3	1.2	24.8	0.02237487	016551.8		
10	91.37	45.7	130.914884970	0906494	4453991.5	1.2	24.8	0.0100578	011291500.0		

Scarpata 6

Analisi di stabilità dei pendii con : FELLENIUS (1936)

Lat./Long.	41.343247/15.260888 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	264.36 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	279.94 m
Ascissa vertice destro superiore xs	741.26 m
Ordinata vertice destro superiore ys	386.25 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	50.0
Numero di celle lungo y	50.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.471	2.404	0.292
S.L.D.	50.0	0.588	2.495	0.329
S.L.V.	475.0	1.481	2.582	0.443
S.L.C.	975.0	1.942	2.58	0.476

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]

S.L.O.	0.7065	0.2	0.0144	0.0072
S.L.D.	0.882	0.2	0.018	0.009
S.L.V.	2.1712	0.24	0.0531	0.0266
S.L.C.	2.706	0.24	0.0662	0.0331

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0662
 Coefficiente azione sismica verticale 0.0331

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0
 Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25
 Coesione efficace 1.25
 Coesione non drenata 1.4
 Riduzione parametri geotecnici terreno Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0	1	15	1650	1800	Terreno vegetale	
2	1	1	28	1700	2100	Argilla o argilla limosa molle	
3	1.5	1.5	30	1900	2300	Argilla o argilla limosa media	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato 1.23
 Ascissa centro superficie 426.5 m
 Ordinata centro superficie 384.12 m
 Raggio superficie 44.98 m

$$x_c = 426.504 \quad y_c = 384.12 \quad R_c = 44.979 \quad F_s = 1.226$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.47	18.2	0.5	39.58	2.62	1.31	0.0	12.1	0.0	38.0	14.9
2	1.24	17.1	1.3	305.3	20.21	10.11	0.0	12.1	0.0	295.6	108.9
3	0.85	15.7	0.9	294.06	19.47	9.73	0.0	12.1	0.0	287.2	98.2
4	0.85	14.6	0.9	334.04	22.11	11.06	0.0	12.1	0.0	328.4	105.4
5	0.85	13.4	0.9	349.25	23.12	11.56	0.0	12.1	0.0	345.6	103.6
6	0.85	12.3	0.9	339.64	22.48	11.24	0.0	12.1	0.0	338.0	94.4
7	0.85	11.2	0.9	305.82	20.25	10.12	0.0	12.1	0.0	306.0	79.3
8	0.85	10.1	0.9	247.91	16.41	8.21	0.0	12.1	0.0	249.3	59.7
9	0.85	9.0	0.9	166.14	11.0	5.5	0.0	12.1	0.0	167.8	36.9
10	0.85	7.9	0.9	61.11	4.05	2.02	0.0	12.1	0.0	62.0	12.4