

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA  
PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO  
CON IMPIANTO DI ACCUMULO NEL TERRITORIO COMUNALE DI  
FOGGIA IN LOC. SPRECACENERE (FG)  
POTENZA NOMINALE 36 MW

**PROGETTO DEFINITIVO - SIA**

PROGETTAZIONE E SIA

ing. Fabio PACCAPELO

ing. Andrea ANGELINI

ing. Antonella Laura GIORDANO

ing. Francesca SACCAROLA

COLLABORATORI

dr.ssa Anastasia AGNOLI

ing. Giulia MONTRONE

STUDI SPECIALISTICI

IMPIANTI ELETTRICI

ing. Roberto DI MONTE

GEOLOGIA

geol. Matteo DI CARLO

ACUSTICA

ing. Sabrina SCARAMUZZI

NATURA E BIODIVERSITÀ

dr. Luigi Raffaele LUPO

STUDIO PEDO-AGRONOMICO

dr.ssa Lucia PESOLA

ARCHEOLOGIA

dr.ssa archeol. Domenica CARRASSO

INTERVENTI DI COMPENSAZIONE E VALORIZZAZIONE

arch. Gaetano FORNARELLI

arch. Andrea GIUFFRIDA

**PD.R. ELABORATI DESCRITTIVI**

**R.4 Relazione geologica, morfologica e idrogeologica**

REV. DATA DESCRIZIONE

REV.	DATA	DESCRIZIONE



## INDICE

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E COORDINATE	3
3	SCHEMA TETTONICO DELL'AREA MEDITERRANEA	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	7
5	GEOLOGIA PARTICOLAREGGIATA DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO	13
6	UBICAZIONE TOMOGRAFIE SISMICHE	14
7	CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO	16
8	CLASSIFICAZIONE SISMICA	19
9	ZONIZZAZIONE SISMOGENETICA	21
9.1.	RISPOSTA SISMICA LOCALE	25
10	COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	32
10.1.	CATEGORIE TOPOGRAFICHE	32
11	CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	33
12	AMBIENTE IDRICO SUPERFICIALE E PROFONDO	36
12.1.	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROLOGICO GENERALE	38
12.2.	MODALITÀ DI ATTRAVERSAMENTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO	40
12.3.	VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) - PERICOLOSITÀ IDRAULICA	41
12.4.	VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) - PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	42
13	CONCLUSIONI	46
14	ELENCO ALLEGATI	48



## 1 PREMESSA

La Società SANTA RITA ENERGIA **S.R.L** ha commissionato al sottoscritto il presente studio di compatibilità geologica, idrogeomorfologica e sismica, inerente il "Progetto per la realizzazione di un Parco Eolico, costituito da n. **5 Aerogeneratori** della potenza complessiva di **36 MW** siti in agro del comune di **Foggia** ed opere connesse ivi compresa la **Sottostazione di Trasformazione Elettrica** sita in località **PALMORI** in agro del comune di **Lucera** (FG).

Scopo dello studio è quello di stabilire la natura litologica dei terreni affioranti nell'area in studio per risalire al loro prevedibile comportamento in dipendenza dei fattori geomorfologici, stratigrafici, tettonici, idrogeologici e geomeccanici, A tale scopo è stato eseguito un rilevamento geologico dell'area oggetto di studio, che ha consentito di tracciare un quadro generale della variabilità litologica dei terreni e dei fenomeni macroscopici connessi con le modificazioni e le alterazioni del suolo con finalità geomorfologiche e geomeccaniche applicative, come previsto dalla normativa vigente.

Il presente studio geologico, è stato redatto in ottemperanza alle leggi vigenti ed in particolare a:

- **Legge 64/74**
- **DM 11/03/1988** "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 e delle opere di fondazione" e successive modifiche ed integrazioni
- **D.M LL.PP.** del 24/01/1986 "Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche"
- **D.M. LL.PP.** del 14/01/2008 (G.U n. 29 del 04/02/2008)
- **Circolare** del 02/02/2009 n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- **D.M. 17/01/2018** pubblicato sul S.O. - G.U 20 febbraio 2018 n. 42 "Norme tecniche per le costruzioni"
- **Raccomandazioni dell'AGI in merito alle indagini geognostiche in situ ed alle indagini geotecniche di laboratorio**
- **Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) emanato dall'Autorità di Bacino della Puglia.**

Stando alla cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'AdB Puglia, le aree di sedime delle fondazioni degli aerogeneratori non rientrano in aree soggette a vincolo sia dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, che dal punto di vista della pericolosità idraulica. Come da cartografia allegata, scaricata dall'Autorità di Bacino della Puglia, nessuno dei 7 Aerogeneratori ricade in aree vincolate.

**La Caratterizzazione e la Modellazione Geologica del Sito** è stata eseguita con la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, della pericolosità geologica del territorio. In considerazione degli interventi da realizzare e della complessità del contesto geologico sono state eseguite specifiche indagini finalizzate alla documentata ricostruzione del "**modello geologico**". I metodi e i risultati delle indagini verranno esaurientemente esposti e commentati in questa Relazione Geologica. Sono stati effettuati numerosi sopralluoghi nella zona interessata e si è portato a termine il seguente piano di lavoro:



Ricerca bibliografica di pubblicazioni e studi di carattere geologico effettuati nell'area d'interesse, in particolare sono state utilizzate le indagini geognostiche eseguite per il PUG di Lucera di cui il sottoscritto è stato uno dei tre redattori

Rilevamento geologico e geomorfologico di un'area sufficientemente ampia e delle zone specificatamente interessate dalle opere di progetto;

Raccolta di indagini geognostiche precedentemente eseguite ed altre informazioni e dati provenienti da precedenti studi di carattere geologico-geotecnico-sismico-idrogeologico e idraulico ricadenti nell'area oggetto d'intervento ed in aree attigue.

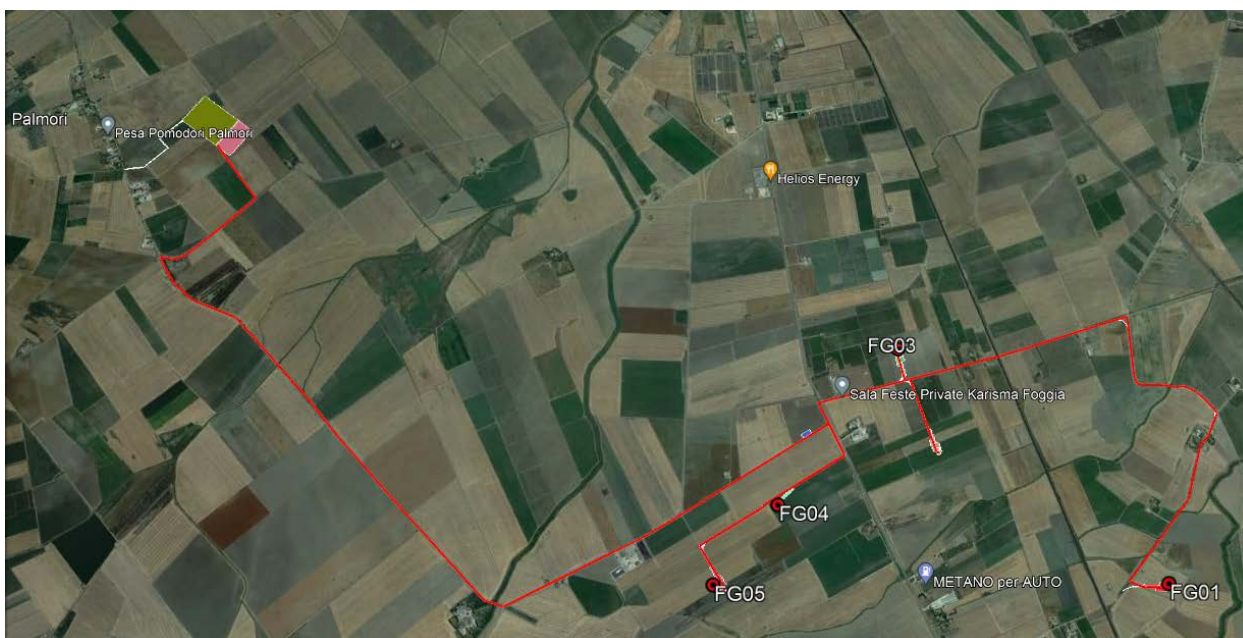
Sono state eseguite 3 tomografie sismiche e 3 MASW

Obiettivo dello studio è stato quello di fornire un quadro di riferimento geologico e tecnico dei terreni affioranti nell'area esaminata al fine di una congrua valutazione delle caratteristiche geostrutturali per le conseguenti scelte progettuali.



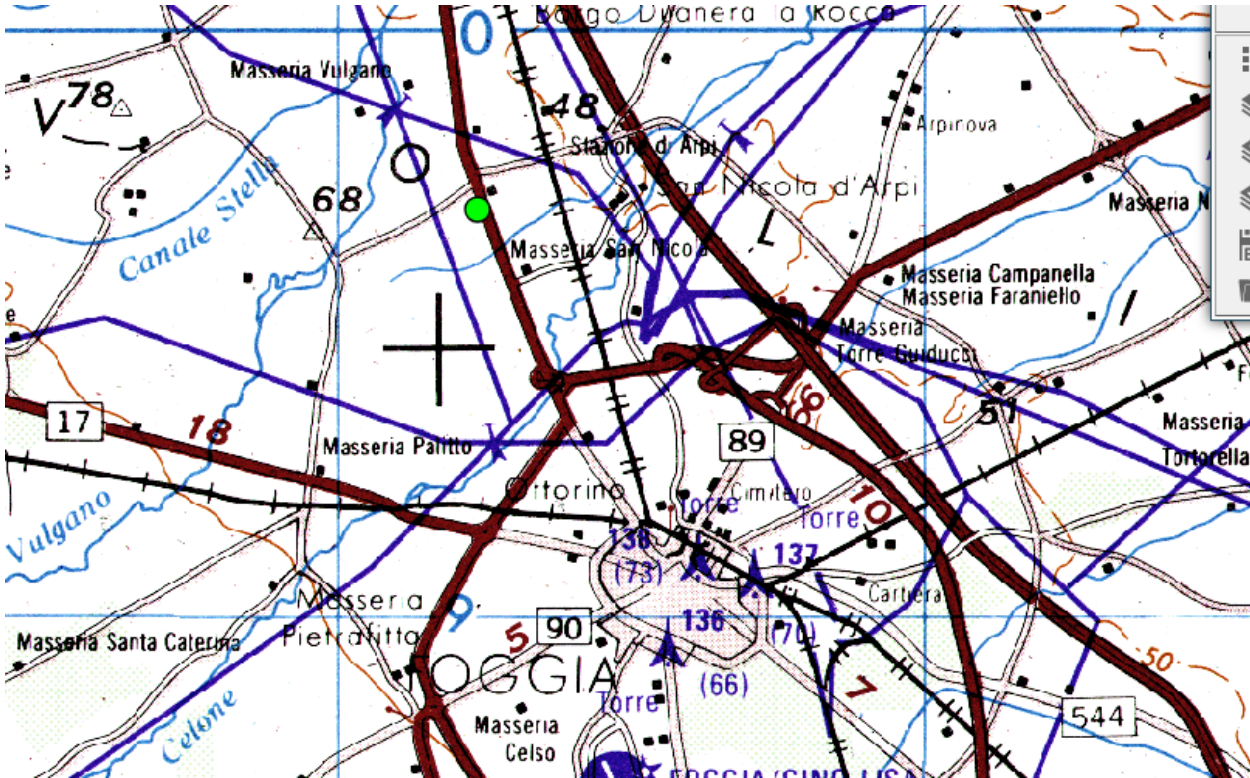
## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E COORDINATE

WTG	WGS84 (fuso33)	
	EST	NORD
<b>FG01</b>	544.436,14	4.595.712,83
<b>FG02</b>	542.973,65	4.596.674,82
<b>FG03</b>	542.761,10	4.597.401,72
<b>FG04</b>	541.841,54	4.596.339,33
<b>FG05</b>	541.436,62	4.595.823,92
<b>SSE</b>	537.859,89	4.599.165,30

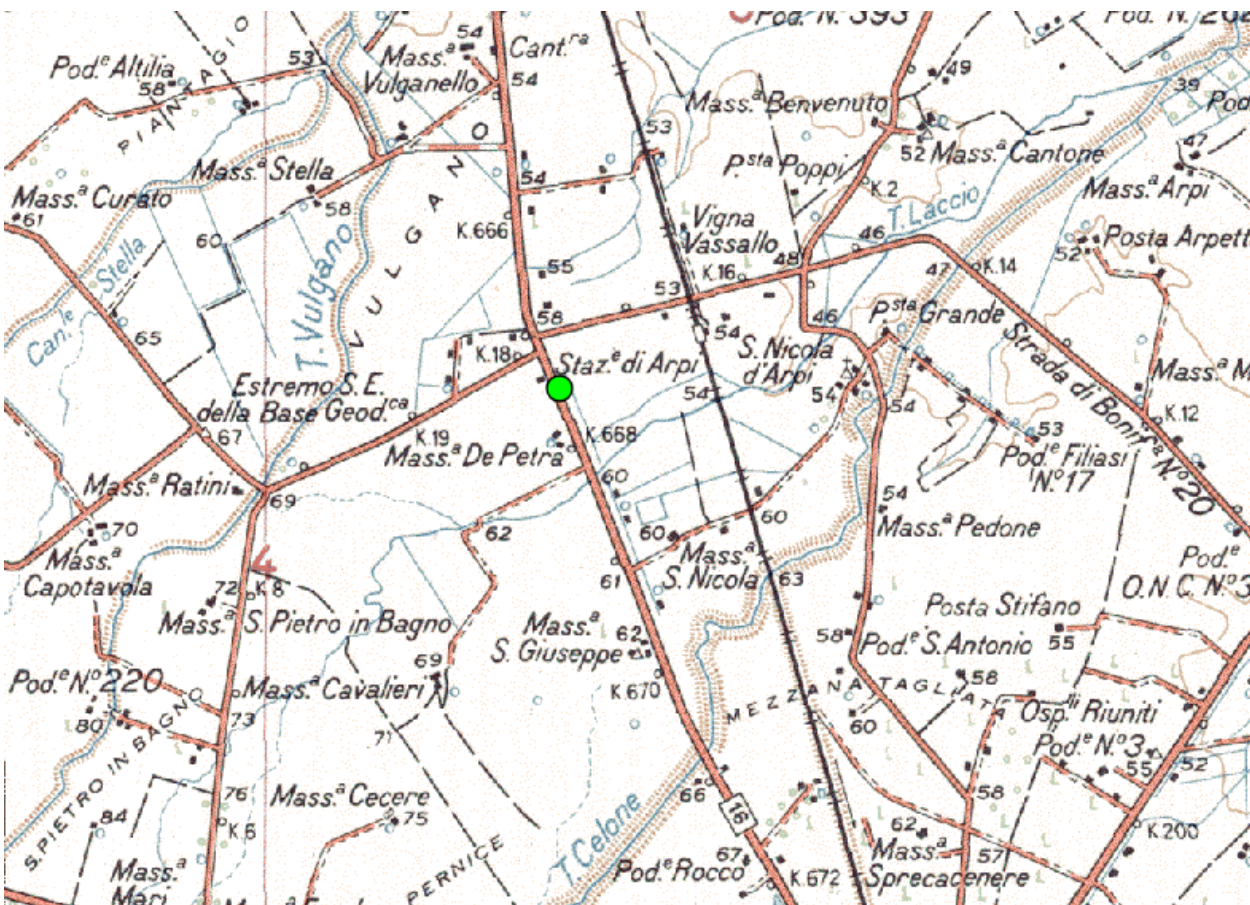


*Localizzazione Area Impianto*





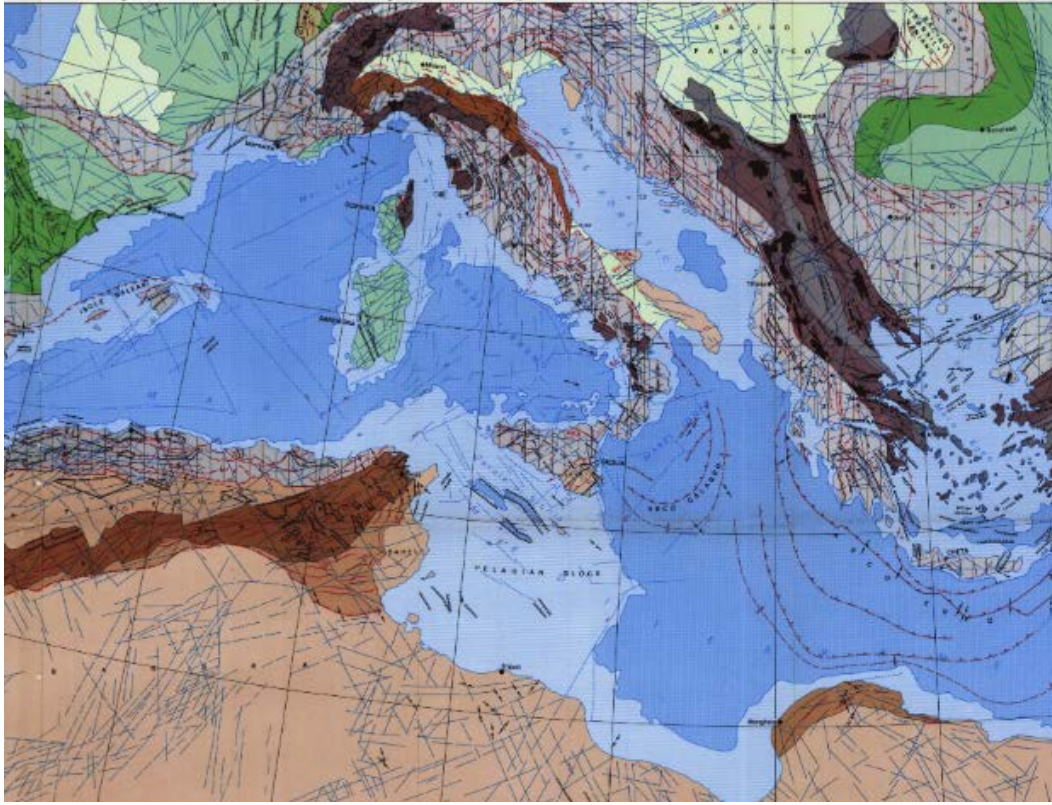
Localizzazione Area Impianto su base IGM 1:250.000



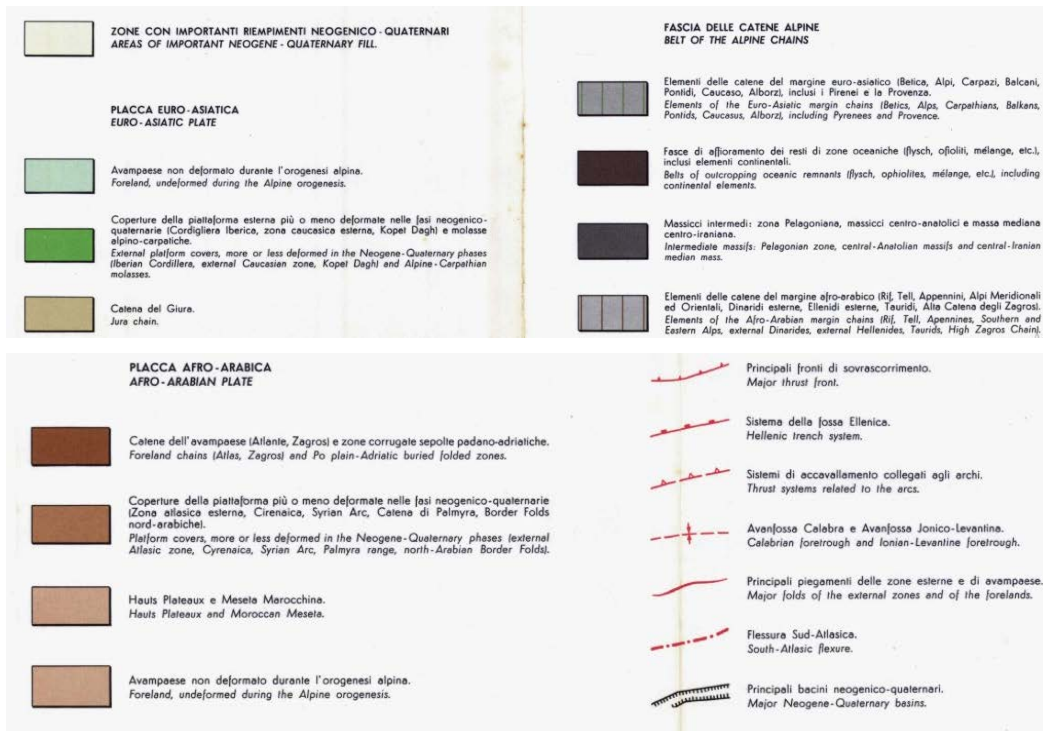
Localizzazione Area Impianto su base IGM 1:100.000



### 3 SCHEMA TETTONICO DELL'AREA MEDITERRANEA



Schema Tettonico area Mediterranea da Boccaletti M. & Danieli P. 1982



Legenda Schema Tettonico Area Mediterranea da Boccaletti M. & Danieli P. 1982



La genesi della Catena dell'Appennino Meridionale inizia nell'Oligocene Superiore-Miocene e deriva dall'evoluzione del margine continentale passivo mesozoico e dalla sua inversione in margine attivo durante la subduzione della placca Adriatica verso ovest. La tettonica compressiva è stata quindi la causa dell'impilamento delle diverse unità di derivazione differente e della geometria a pieghe e sovrascorrimenti (fold-and-thrust belt) est-vergente che la catena possiede attualmente. La struttura profonda dell'Appennino meridionale è definita, come ben noto, da un sistema duplex sepolto di carbonati mesozoico-terziari derivanti dal margine interno della Piattaforma Apula ricoperto da un sistema di falde di provenienza occidentale. Il sistema di falde comprende unità di piattaforma, scarpata e bacino la cui ricostruzione palinspastica è tuttora oggetto di discussione. Un recente riprocessamento della linea CROP-04 mostra che la superficie di scorrimento basale del cuneo tettonico raggiunge una profondità superiore ai 20 chilometri in corrispondenza della costa tirrenica. L'assetto geometrico generale della catena è complicato da numerosi sovrascorrimenti fuori sequenza e dallo sviluppo di sistemi duplex all'interno delle coltri di tetto (in particolare potenti catoste antiformali di embrici lagonegresi). La propagazione della deformazione è avvenuta in maniera non cilindrica, per cui segmenti di catena adiacenti, deformati nello stesso intervallo temporale, possono mostrare geometrie fortemente diverse risultanti dalle diverse traiettorie delle superfici di scorrimento. Lo studio dei depositi pliocenico-quadernari discordanti sulle coltri di ricoprimento, lo studio dei coevi depositi di avanfossa nel sottosuolo bradanico e l'analisi delle strutture tettoniche in catena hanno portato alla costruzione di un nuovo modello sulle relazioni tra tettonica e sedimentazione che descrive l'evoluzione cinematica dell'Appennino meridionale come un processo di raccorciamento continuo e non come un susseguirsi di fasi di trasporto e fasi di quiescenza tettonica. L'attivazione di superfici di scorrimento fuori sequenza è stata responsabile sia di forti raccorciamenti all'interno del cuneo tettonico (es. generazione dei duplex all'interno delle unità di tetto) sia di cambiamenti della struttura generale della catena, con passaggio da sistemi ad embrici a sistemi di tipo duplex dove il cuneo delle falde occupa una vasta porzione della depressione di avanfossa. La propagazione delle superfici di scorrimento verso l'avampaese, invece, è stata responsabile sia di passaggi da sistemi duplex a sistemi ad embrici sia della progressiva deformazione dell'avampaese con conseguente incorporazione di nuove strutture nel duplex carbonatico profondo. La complessità dell'assetto geometrico e la complessità dell'evoluzione cinematica spiegano, almeno in parte, le diversità esistenti nelle ricostruzioni palinspastiche proposte in letteratura.



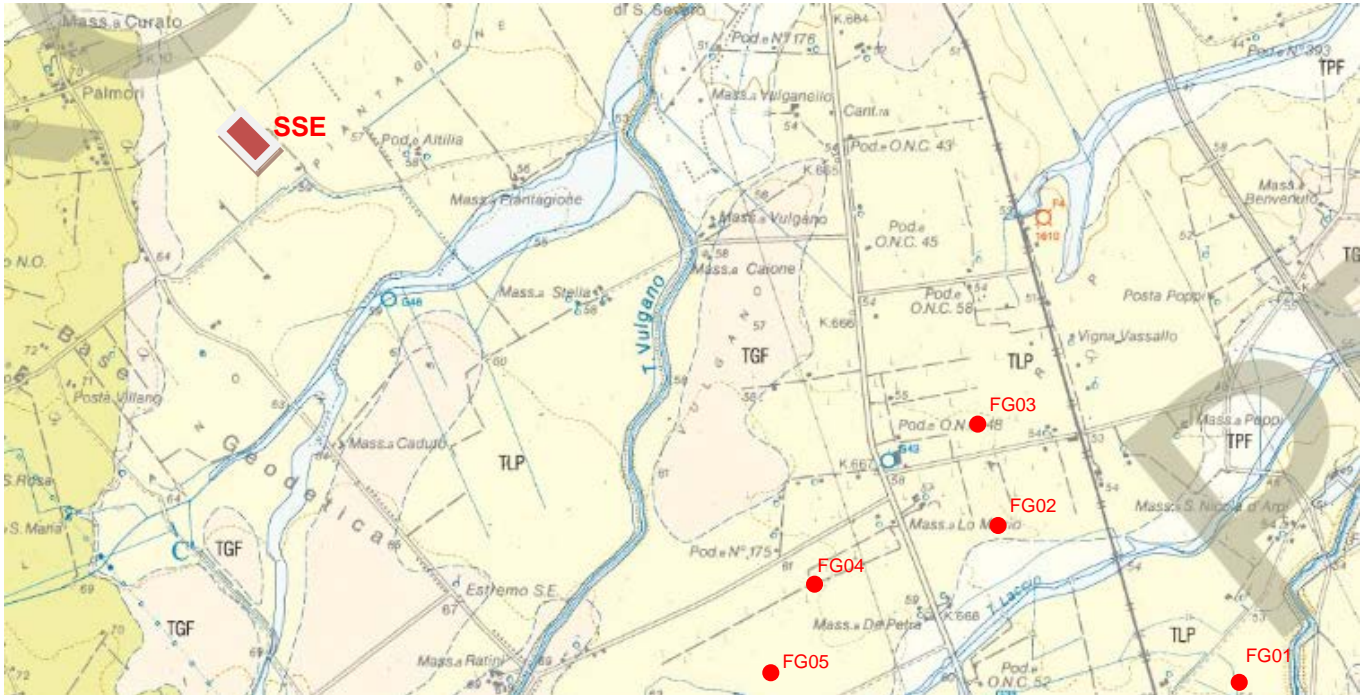


## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE



Gli aerogeneratori e parte del cavidotto insistono nel comune di Foggia in località Spreacacenero, mentre la SSE e la restante parte del cavidotto insistono nel comune di Lucera in località Palmori e ricadeono entrambe nella parte nord occidentale del **Foglio 408** "FOGGIA" della Carta Geologica 1:50.000.





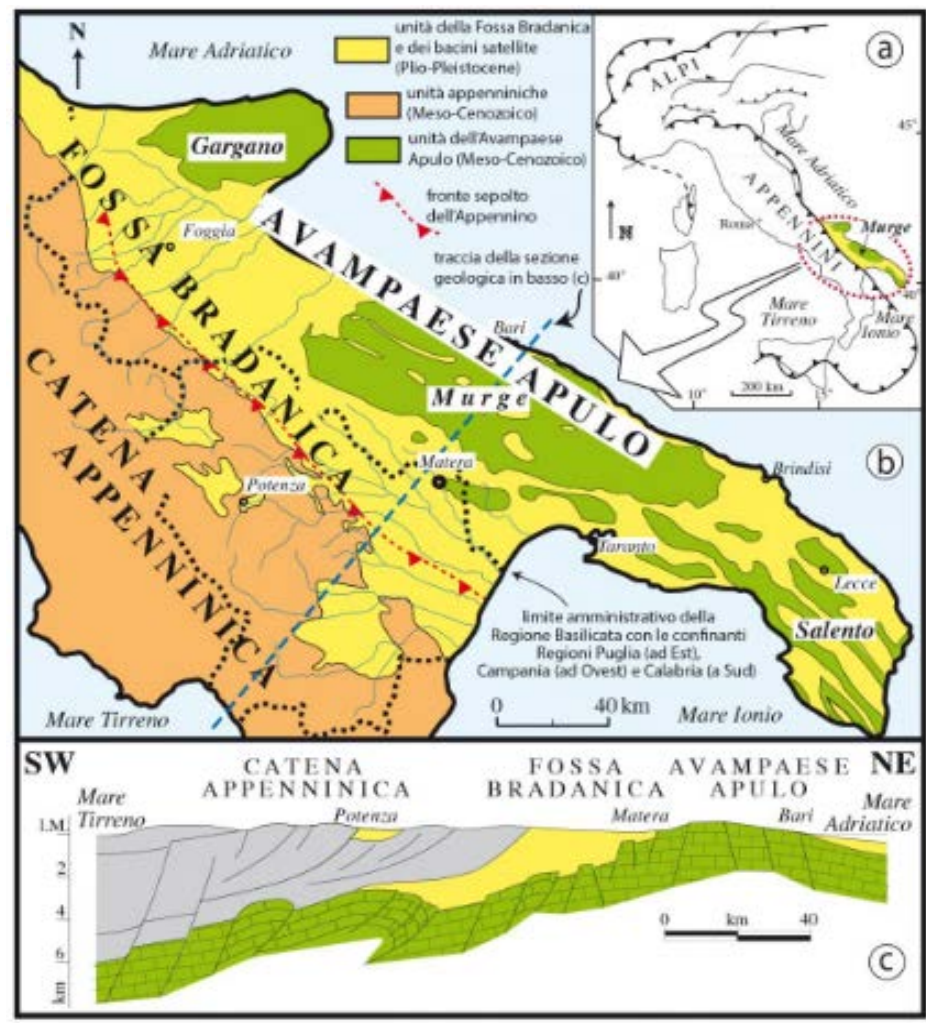
Inquadramento carta geologica Foglio 408

<p><b>Depositi alluvionali attuali</b>                  Ghiaie, sabbie degli alvei attuali; le aree di esondazione sono occupate da strati decimetrici con sabbie a gradazione diretta, laminare e con al tetto sottili livelli argillosi.  <i>PLEISTOCENE SUPERIORE?- OLOCENE</i></p>	<p><b>SISTEMA DI CAVA PETRILLI</b>                  Depositi alluvionali terrazzati del II ordine costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche a tessitura grano-sostenuta e matrice sabbiosa e da sabbie debolmente stratificate. Localmente sono state osservate sottili lenti sabbioso-argillose di colore rossastro (paleosol?). Depositi di conoidi distale e piana <i>braided</i> nel settore occidentale passanti ad est a depositi di piana alluvionale e di aree marginali di esondazione. Poggia con limite inconfine sulle argille subappennine. Lo spessore massimo è di circa 10 m.  <i>PLEISTOCENE MEDIO</i></p>
<p><b>SISTEMA DI MOTTA DEL LUPO</b>                  Depositi alluvionali terrazzati del VI ordine costituiti da sabbie fini alternate a peliti sottilmente stratificate. Sono riferibili ad aree di piana alluvionale o ad aree di esondazione. Poggia in erosione sulle argille subappennine e sui sistemi più antichi. Lo spessore varia da pochi metri ad un massimo di 10 m.  <i>PLEISTOCENE SUPERIORE</i></p>	<p><b>SISTEMA DI LUCERA</b>                  Depositi terrazzati del I ordine che comprendono due subsistemi affioranti sui rilievi più elevati del settore occidentale del Foglio. Il limite inferiore è di tipo discordante ed erosivo, mentre quello superiore corrisponde alla superficie di inizio del modellamento delle attuali valli alluvionali.  <i>CALABRIANO?- PLEISTOCENE MEDIO</i></p>
<p><b>SISTEMA DI FOGGIA</b>                  Depositi alluvionali terrazzati del V ordine costituiti da silt argillosi sottilmente laminati con intercalazioni di sabbie siltose gradate e laminare (depositi di piana di inondazione). Nel sottosuolo a diverse profondità si rinvencono conglomerati poligenici ed eterometrici in corpi di spessore variabile da circa un metro a circa 5-6 m intercalati a silt argillosi nerastri laminati che contengono a luoghi ciottoli isolati e gasteropodi continentali (TGF). In corrispondenza dell'abitato di Foggia i conglomerati affiorano in una estesa area (TGF<sub>r</sub>). Depositi di trascinamento e/o di piena calante e piane di esondazione. Poggia in erosione sulle argille subappennine e sui sistemi più antichi. Lo spessore complessivo dell'unità, ricavato dall'analisi di numerosi pozzi per la ricerca di acqua, varia da 10-15 m a 40 m.  <i>PLEISTOCENE MEDIO?- PLEISTOCENE SUPERIORE</i></p>	<p><b>ARGILLE SUBAPPENNINE</b>                  Silt argillosi e marne siltose grigie a stratificazione poco evidente, con intercalazioni di argille siltose e, verso l'alto, di sottili strati di sabbia medio-fine. Gli spessori osservabili variano da alcuni metri a circa 50 m nei fronti di cava. Per la porzione medio bassa della successione, l'ambiente deposizionale indicato dalle macrofaune è la scarpata superiore; per la parte sommitale, è la piattaforma. Il contenuto micropaleontologico, generalmente abbondante e diversificato con numerose forme rimaneggiate, indica il Pleistocene inferiore basale. Le microfane a foraminiferi sono riferibili alla Zona a <i>Bulimina elegans marginata</i>; quelle a nanofossili calcarei rappresentate da "small" <i>Gephyrocapsa</i> indicano la Zona MN19a.  <i>CALABRIANO</i></p>
	<p><b>UNITÀ PLEISTOCENICHE DELLA FOSSA BRADANICA</b></p>

Legenda carta geologica

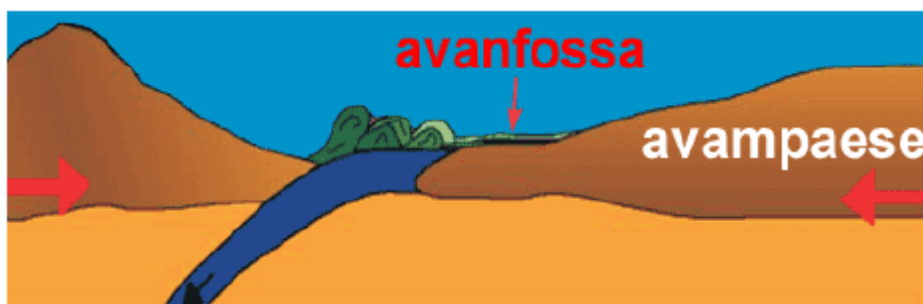
L'area in studio, ricade nella parte centro settentrionale del Tavoliere delle Puglie, delimitato a Nord dal torrente Candelaro, ad Est dall'Avampaese Apulo ( Promontorio del Gargano) a Sud dal Fiume Ofanto e ad Ovest dalla catena sud-appenninica. Il Tavoliere (Avanfossa Adriatica) è da ritenersi il naturale proseguimento verso Nord-Ovest della Fossa Bradanica.





Schema Tettonico

Al fine di considerare in un contesto regionale più ampio le unità presenti, è opportuno ricordare che la catena appenninica, strutturatasi sostanzialmente nel corso dell'Oligocene-Miocene, riflette le deformazioni subite dal margine occidentale della Placca Apula in subduzione verso Ovest, a seguito della convergenza Africa-Europa.



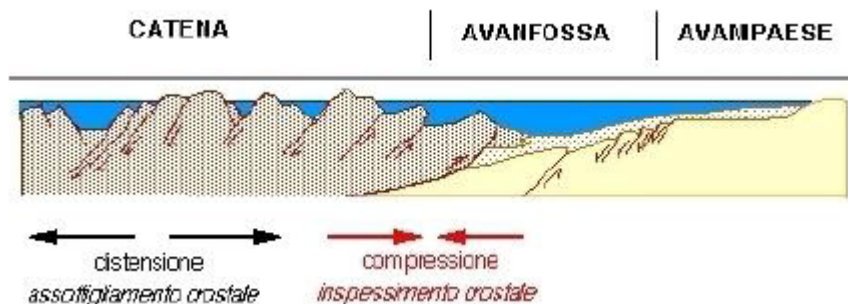
Subduzione placca africana-placca europea

Tale edificio orogenico costituisce l'ossatura della penisola italiana di cui l'Appennino meridionale fa parte.

Nel sistema sud-orogenico da Est verso Ovest si distinguono tre domini strutturali sovrapposti.



L'avampaese, rappresentato in affioramento dal blocco apulo-garganico, si estende dall'Adriatico fino all'avanfossa proseguendo verso Ovest sotto i thrust appenninici. È costituito da una successione autoctona formata prevalentemente da carbonati di età meso-cenozoica (Unità dell'Avampaese) sui quali sovrascorrono le unità alloctone della catena appenninica, costituite essenzialmente da depositi mesozoici-terziari sia di bacino di margine passivo che di avanfossa. Infine, interposta tra l'area di catena e l'area di avampaese è presente l'area di avanfossa plio-quadernaria (Unità della Fossa Bradanica).



La piattaforma apula, che in questo sistema costituisce l'avampaese, in un sistema orogenetico è la regione più stabile. L'avampaese, infatti, è la regione che si estende ai margini di una catena montuosa e verso la quale avanzano le falde di ricoprimento. In altre parole, la catena, sotto la spinta di forze orizzontali, si sposta verso l'avampaese che rimane un baluardo costituito da formazioni rocciose autoctone, in questo avanzare verso l'avampaese, il materiale roccioso che costituisce la catena montuosa in via di formazione, si piega, si frattura, le rocce si avallano, per cui rocce più antiche si vengono a trovare al di sopra di rocce più recenti (falde di ricoprimento)

Per meglio capire i concetti di seguito espressi si rende necessario un inquadramento geologico di carattere regionale.

L'area in studio occupa la parte centro settentrionale del Tavoliere, corrispondente al settore nord-occidentale dell'avanfossa della catena appenninica e l'avampaese garganico.

Ad Est il limite tra Tavoliere e Gargano è contrassegnato da un'importante dislocazione tettonica, corrispondente, all'incirca, con il corso del torrente Candelaro, che mette a contatto i depositi terrigeni plio-pleistocenici dell'avanfossa con le rocce carbonatiche dell'avampaese.

Questa ha dato luogo ad un sistema di faglie subverticali a direzione appenninica NO-SE accompagnato da due altri sistemi secondari di cui uno normale al precedente NE-SO e l'altro dei due in direzione Est-Ovest.

Di tutta la struttura geologica che costituisce l'ossatura dell'Italia meridionale, il promontorio del Gargano costituisce una caratteristica subunità geologica e morfologica della Piattaforma Carbonatica Apulo-Garganica, nettamente separata dalle basse pianure del Tavoliere da una ben individuata linea di faglia, decorrente da NW a SE lungo il corso del **torrente Candelaro**.

Le masse calcaree e dolomitiche che ne costituiscono l'ossatura, ascrivibili a cicli sedimentari che vanno dal Giurassico al Cretacico, sono generalmente ben stratificate, attraversate da un fitto reticolo di faglie e fratture e notevolmente interessate dal fenomeno carsico.

Esse hanno uno spessore pari a 4000 m e poggiano su rocce evaporitiche del Trias, a loro volta sovrapposte ad arenarie tipo "Verrucano", poggianti sul basamento cristallino, posto a circa 8-10 Km di profondità [MARTINIS e PAVAN,1967].



Il Gargano come innanzi accennato rappresenta un *Horst*, appartenente all'avampaese adriatico, interessato da una piega a grande raggio di curvatura legata probabilmente al raccorciamento appenninico e/o successivamente deformatosi a seguito di possibili scorrimenti "superficiali" verso SE ed E con rotazioni antiorarie, prodotti dallo "scollamento" delle formazioni evaporitiche triassiche su un corpo vulcanico [GUERRICCHIO, 1996], individuato dall'AGIP mediante indagini aeromagnetiche [CASSANO et al., 1986], esistente a circa 6 Km al di sotto del livello marino.

I principali lineamenti tettonici, riconosciuti da osservazioni di campagna, dall'interpretazione di immagini da satellite Landsat, dall'esame di fotografie aeree e da dati ottenuti con prospezioni sismiche ad alta risoluzione, sono rappresentati da sistemi di faglie dirette, trascorrenti e inverse di direzione NW-SE (appenninica), ENE-WSW (antiappenninica) in parte trascorrenti, oltre a un sistema a direzione E-W (garganica), anch'esso trascorrente. Il sistema di faglie a direzione NW-SE è predominante nella zona centrale del promontorio, oltre alla struttura di tipo diretto che lo borda nel lato sudoccidentale, mettendo bruscamente a contatto, con una ripida scarpata, le rocce carbonatiche del Gargano con i depositi plio-pleistocenici del Tavoliere (Faglia del Candelaro).

Ad Ovest, invece, il limite è costituito dai terreni appenninici appartenenti alla Formazione della Daunia, costituita da una serie di falde di ricoprimento con vergenza adriatica, relative a più fasi tettoniche compressive mioceniche e plioceniche. La Formazione della Daunia costituisce la porzione esterna della catena appenninica, al confine appulo-molisano, essa poggia con contatto tettonico sui terreni plio-pleistocenici dell'avanfossa, in altre zone la Formazione della Daunia viene ricoperta trasgressivamente dai terreni del ciclo pliocenico che sono caratteristici dei coevi flysch del bacino lagonegrese-molisano. Il bacino apulo risulta coinvolto dalla tettonica appenninica dopo il Pliocene inferiore; infatti le coltri che provengono da questo bacino si accavallano in genere sul Pliocene inferiore, mentre al loro fronte sovrastano talvolta anche sedimenti più recenti.

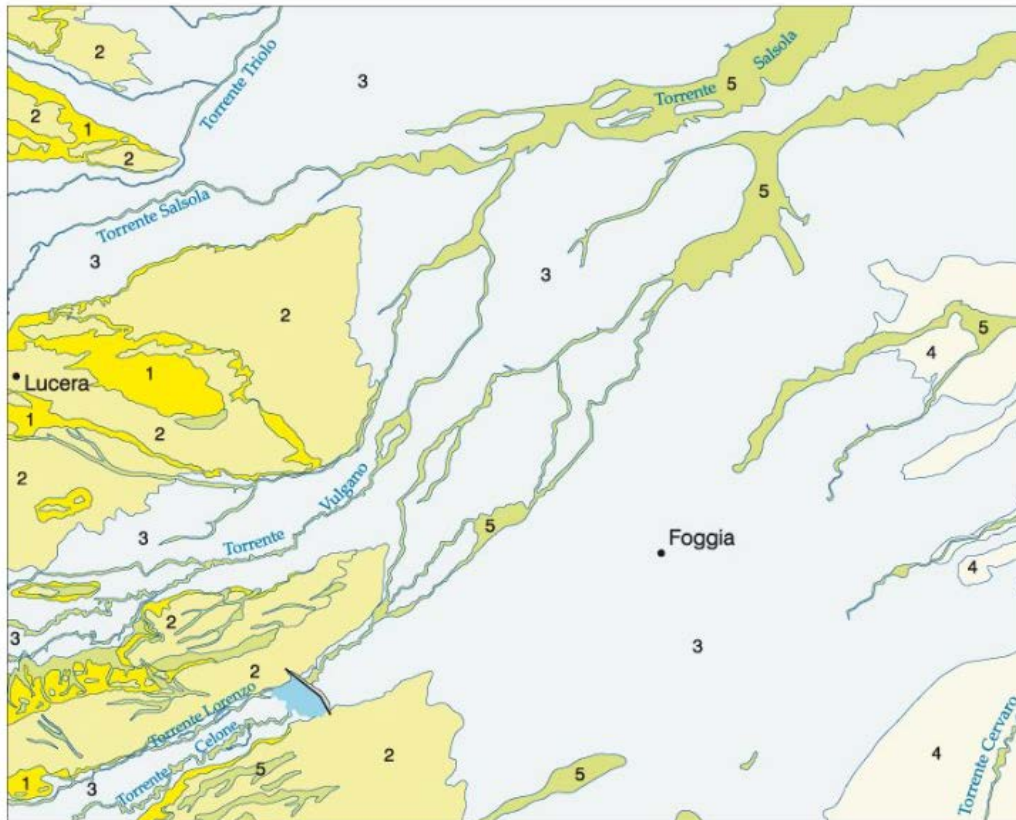
Il fronte sepolto dei terreni appenninici si rinviene intercalato tettonicamente nella parte occidentale della successione argillosa plio-pleistocenica. Quest'ultima poggia su un substrato carbonatico di età pre-pliocenica. La profondità del substrato carbonatico aumenta da Est verso Ovest, raggiungendo nella parte occidentale la profondità di circa 4000-5000 metri) mentre verso Nord-Est il substrato miocenico si rinviene ad una profondità molto inferiore di circa 300. In particolare i terreni affioranti nell'area in studio sono tutti di origine sedimentaria, del tipo alluvionale, trattasi di sabbie limose, limi, argille sabbiose provenienti essenzialmente dall'erosione dei sedimenti plio-pleistocenici, a questo materiale si intercalano lenti di ciottoli grossolani di provenienza appenninica e garganica.

Sottostante a questi sedimenti si rinviene il substrato argilloso delle argille grigio-azzurre plioceniche.



**SCHEMA STRATIGRAFICO**

Scala 1:200.000

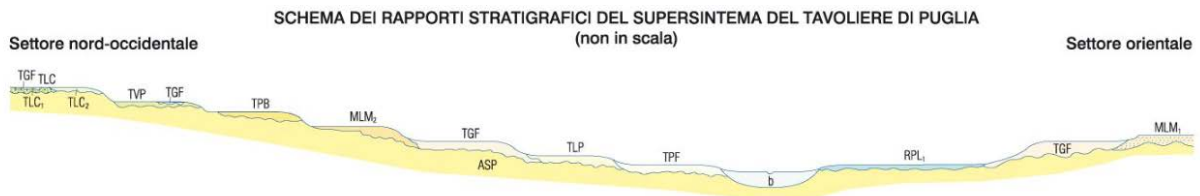


**5** Depositi alluvionali, colluviali, prodotti eluviali e detrito di versante  
 Pleistocene superiore - Olocene

**Supersistema del Tavoliere di Puglia**

- 4** Sintema del Pleistocene superiore - Olocene?
- 3** Sintemi del Pleistocene medio? - Pleistocene superiore
- 2** Sintemi del Pleistocene inferiore? - medio
- 1** Argille subappennine - Pleistocene inferiore

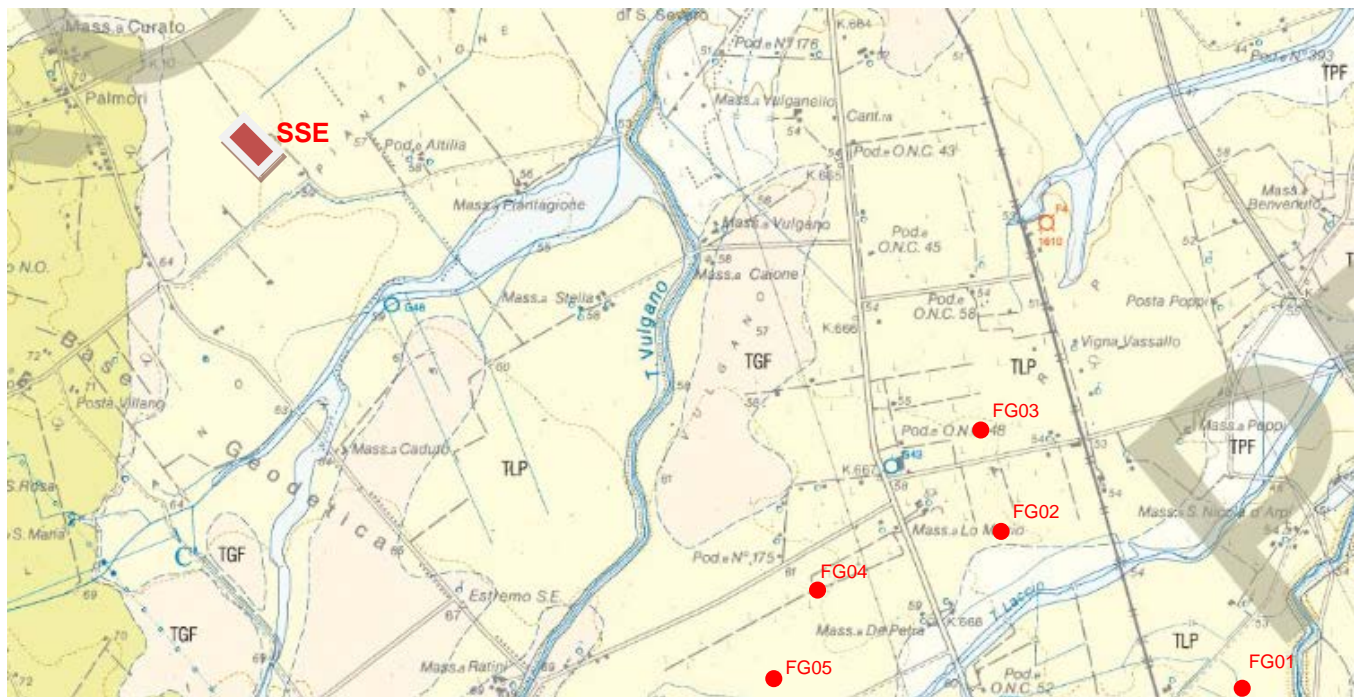
*Schema stratigrafico Foglio 408*



*Sezione geologica Foglio 408 identificativa dell'area di studio*



## 5 GEOLOGIA PARTICOLAREGGIATA DELLA ZONA OGGETTO DI STUDIO



*Inquadramento geologico di dettaglio*

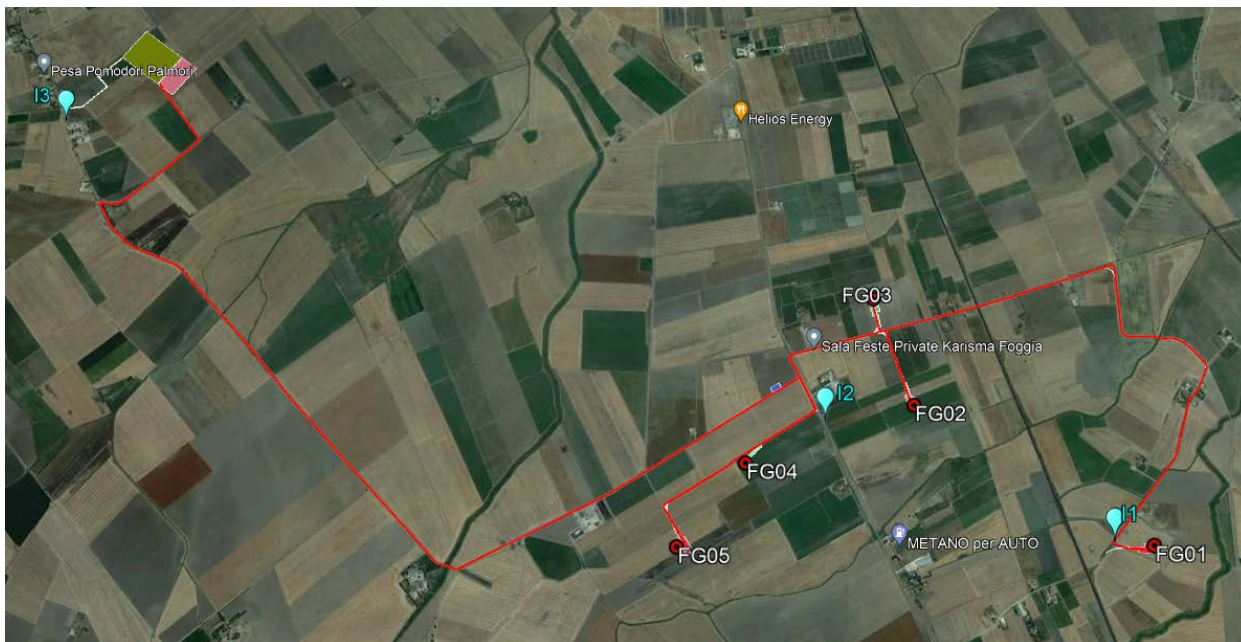
Gli **Aerogeneratori FG01 - FG02 - FG03 - FG04 - FG05** e l'**Area della SSE** ricadono sui terreni appartenenti al **SINTEMA DI MOTTA DEL LUPO (TLP)** costituiti da depositi alluvionali terrazzati, sabbie fini alternate a peliti sottilmente stratificate. Sono riferibili ad aree di piana alluvionale o ad aree di esondazione. Poggia in erosione direttamente sulle Argille Subappenniniche o sui sintemi alluvionali più antichi, lo spessore massimo rinvenuto nella zona è dell'ordine de 9-10 metri e si appoggia sulle argille Subappennine, che risulta essere il substrato dell'interro Tavoliere.

**Argille sabbiose e argille siltose grigio-azzurre, (ASP)** del Pliocene di genesi marina. Esse sono costituite da argille con limo di colore grigio-azzurro molto consistenti e di notevole spessore, a luoghi con intercalazioni sabbiose, in strati da pochi centimetri ad oltre un metro. I caratteri di facies sono indicativi di ambienti di piattaforma o di rampa.



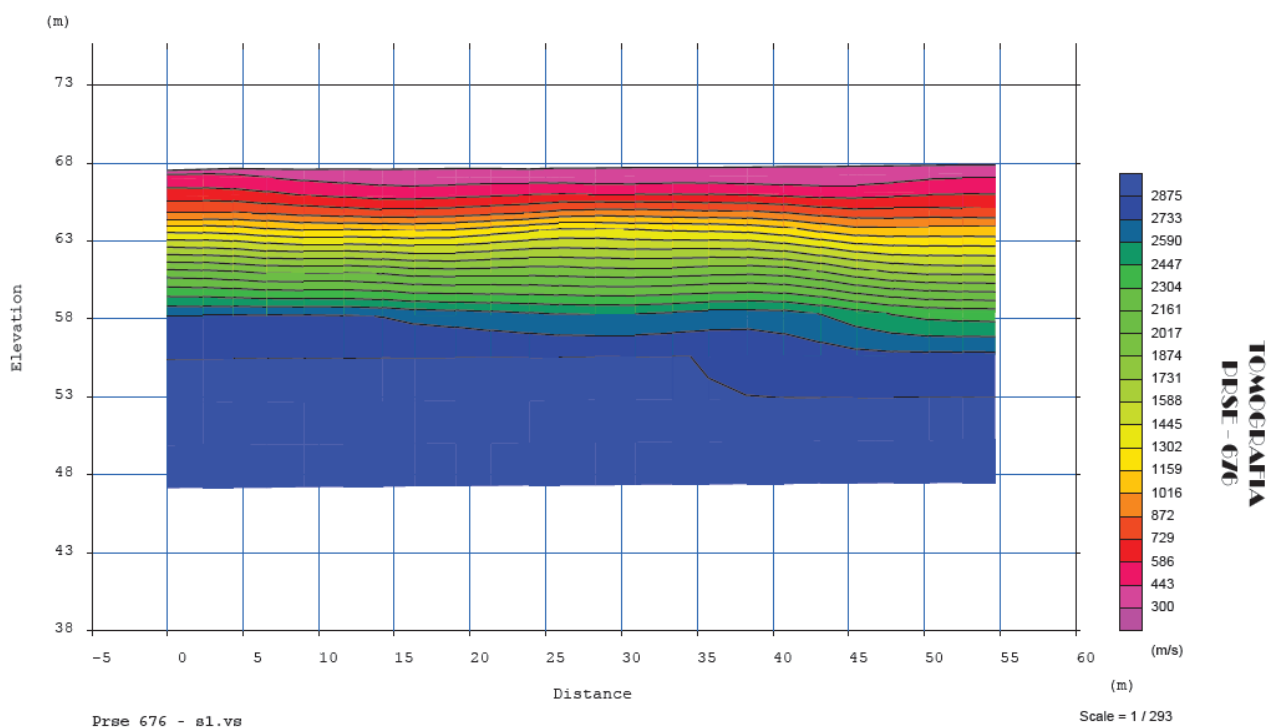
## 6 UBICAZIONE TOMOGRAFIE SISMICHE

Per la **modellazione geologica-geotecnica del substrato fondazionale** degli aerogeneratori, si è tenuto conto delle tomografie sismiche e Masw eseguite nell'area del Parco Eolico e anche di tutti i lavori e indagini eseguiti in terreni simili.



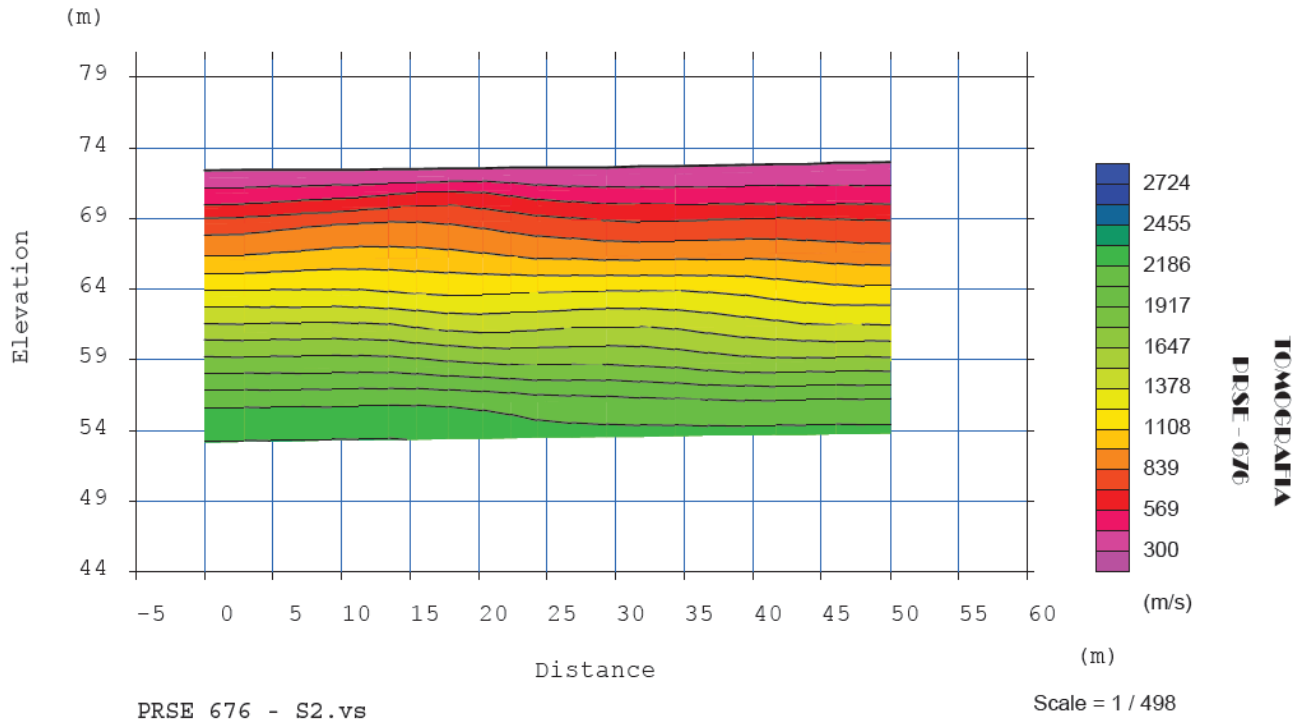
Ubicazione tomografie sismiche

### TOMOGRAFIA N. 1

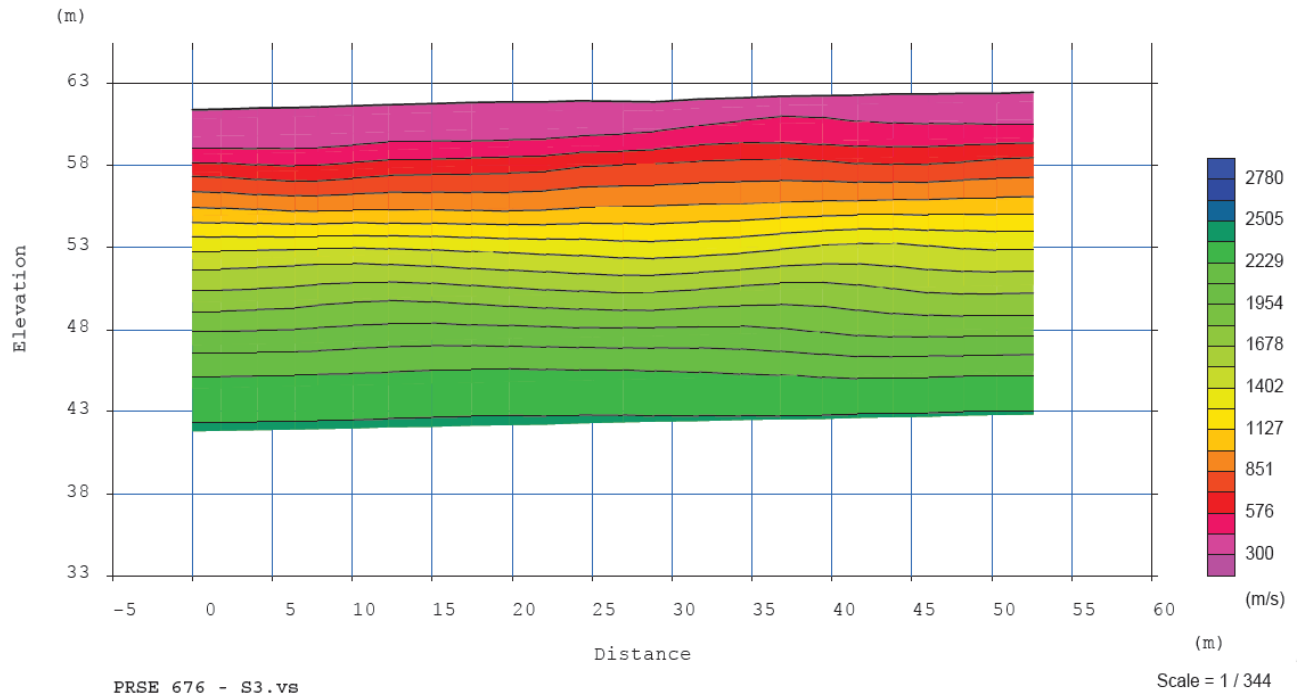




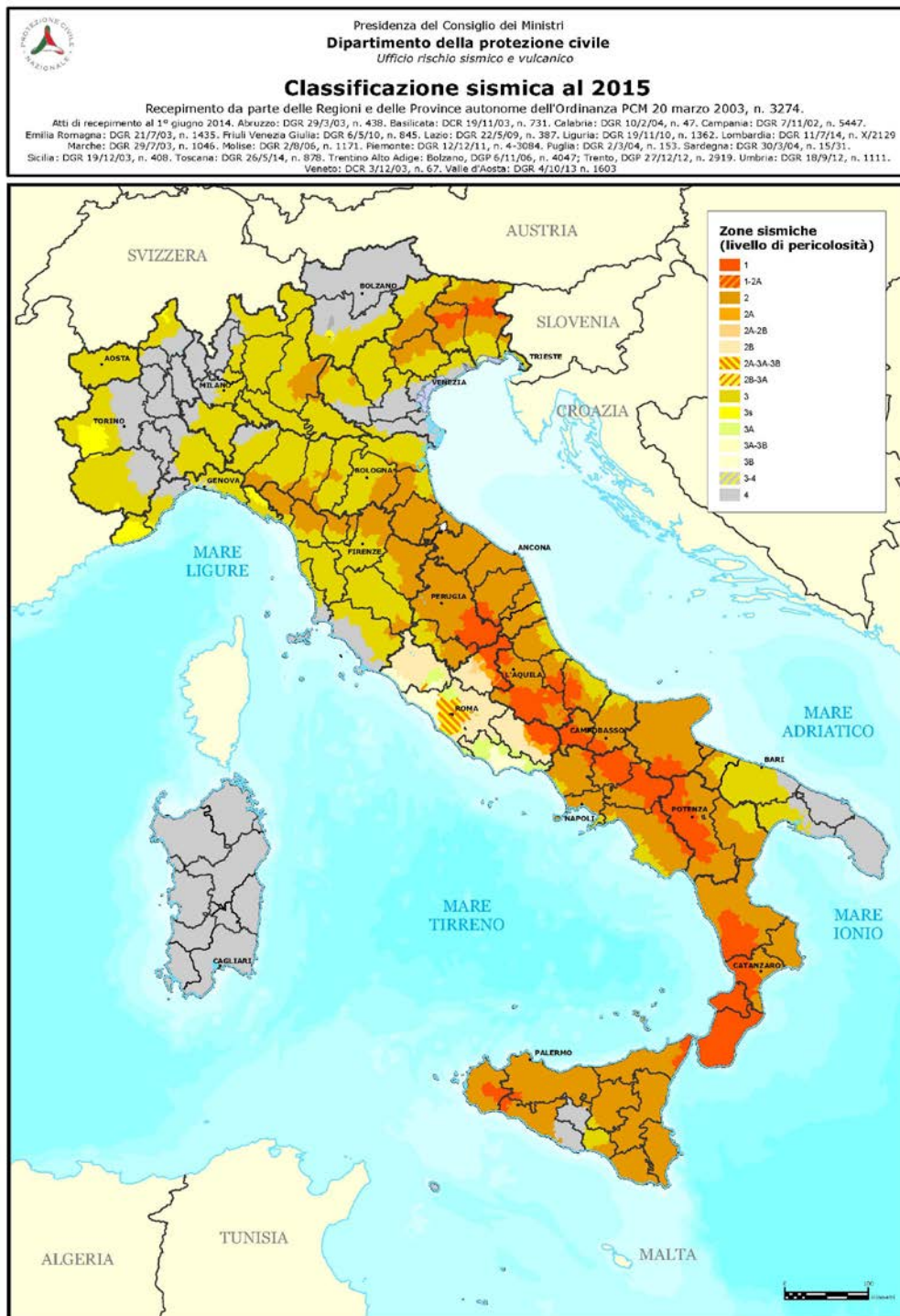
**TOMOGRAFIA N. 2**



**TOMOGRAFIA N. 3**

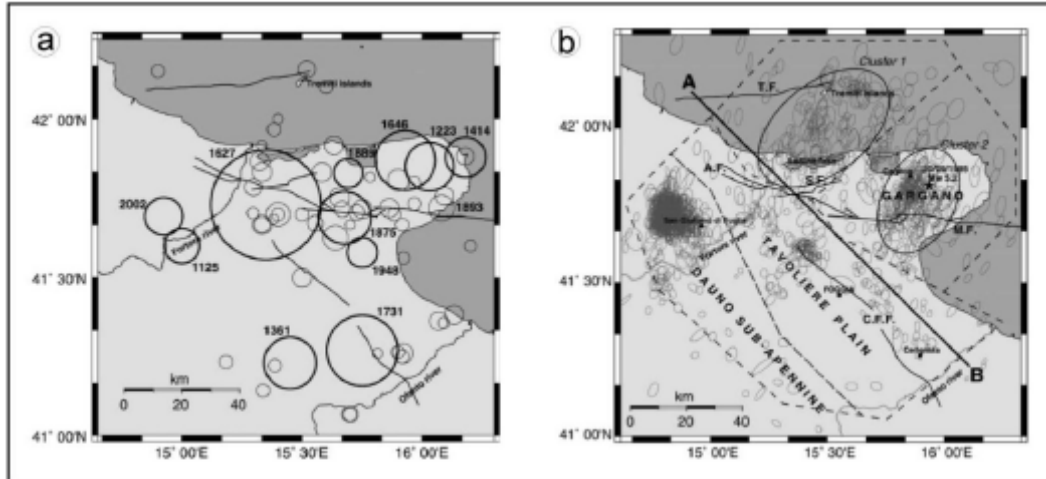


## CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO

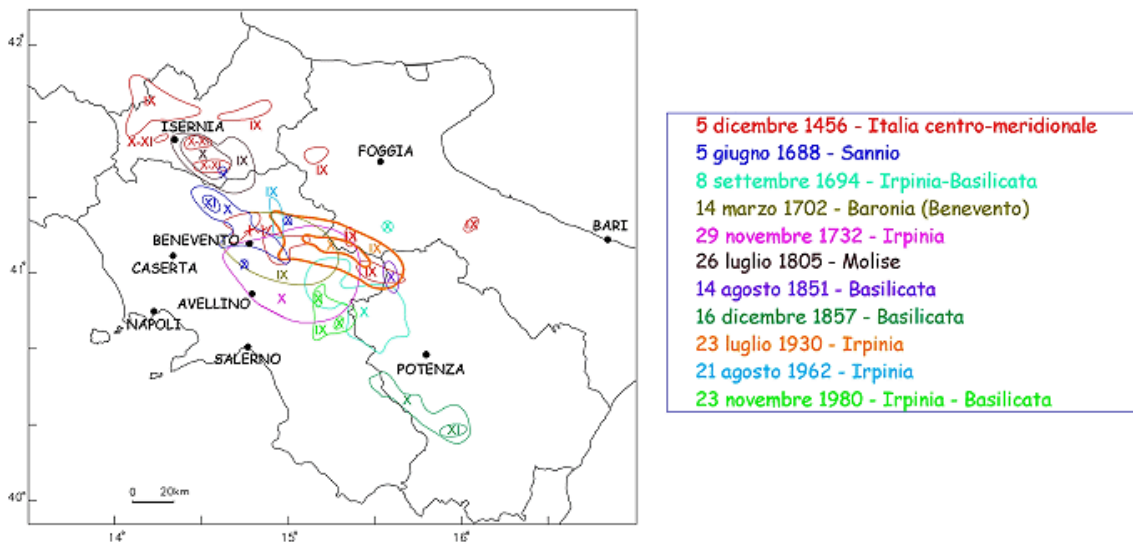


I territori comunali di Foggia e Lucera (FG) ricadono in un distretto geografico sicuramente sismico. Nel territorio in oggetto, infatti, si risentono i terremoti con epicentri garganici, molisani, sanniti ed irpini. L'attività recente delle strutture discusse nel paragrafo precedente o di alcune di esse è dimostrata sia dai forti terremoti storici del passato (1627 D.C., 1646 D.C., 1731 D.C.) sia dalla sismicità strumentale attuale (Del Gaudio et al., 2007; CPTI Gruppo di lavoro, 2004).



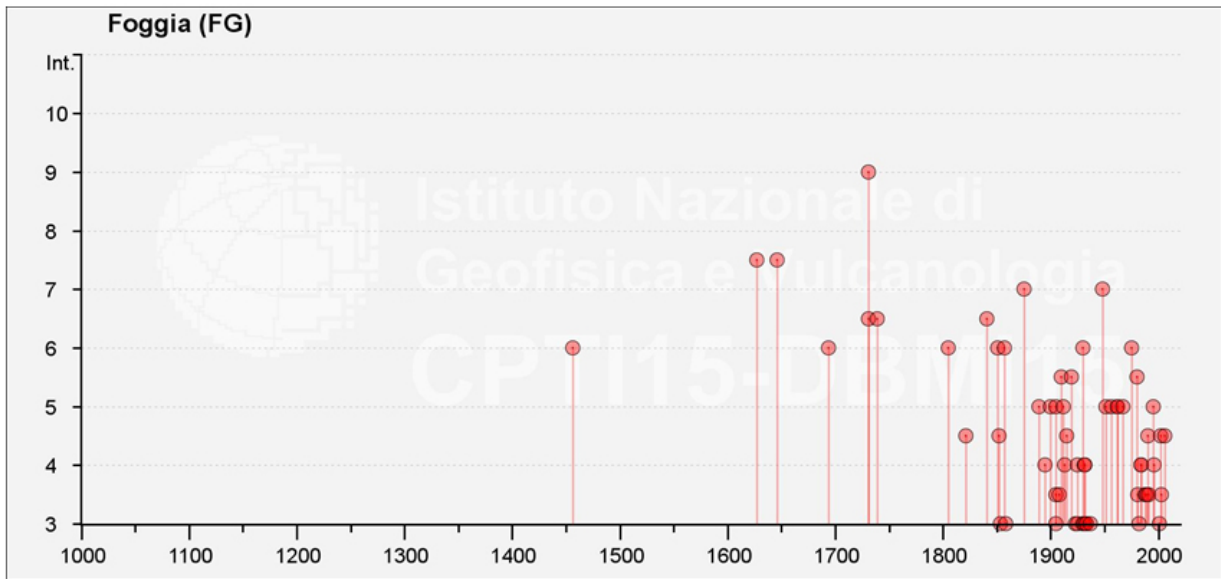


Principali strutture a) Terremoti Storici principali dell'area garganica; b) Sismicità strumentale dell'area garganica. Le ellissi indicano il margine d'errore nella localizzazione dell'evento (modificata da Del Gaudio et al., 2007).

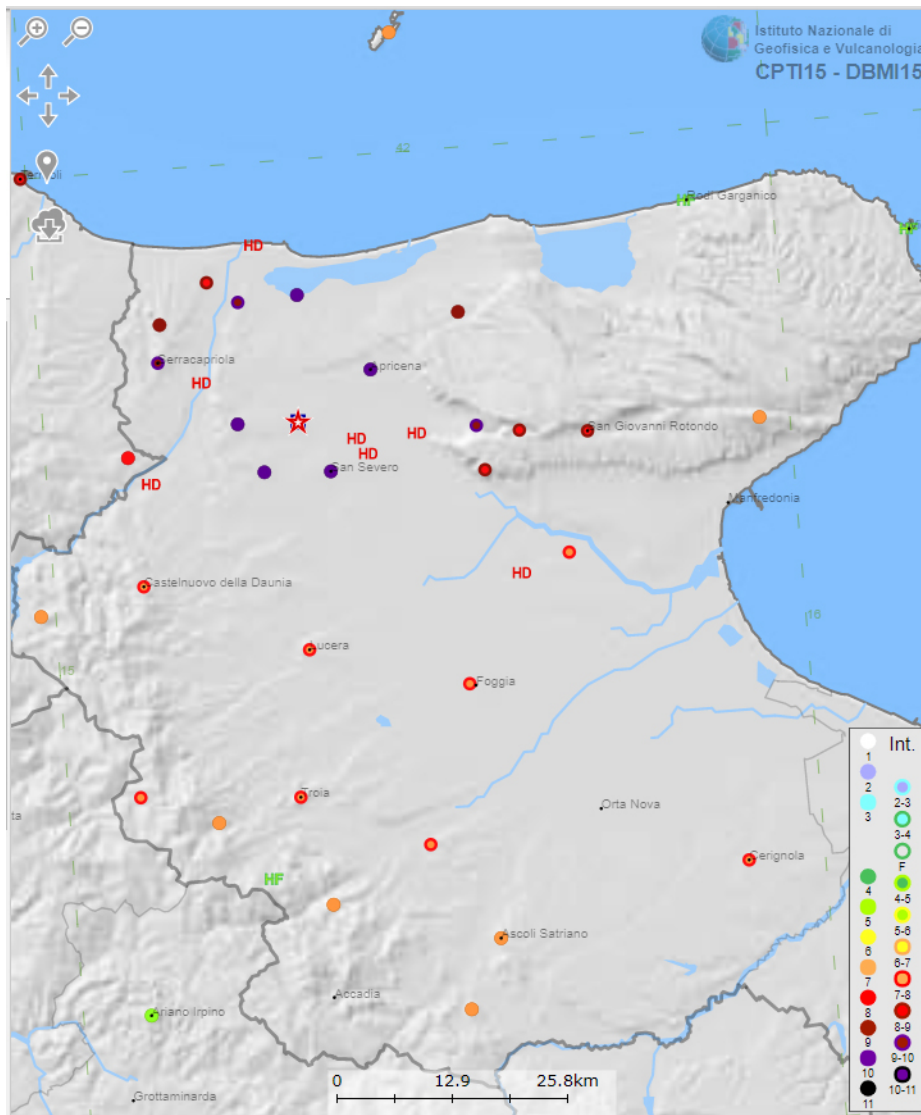


Rappresentazione delle isosiste di intensità superiore al IX grado della scala Mercalli rilevate per i terremoti distruttivi avvenuti in Appennino Meridionale negli ultimi 600 anni





Intensità dei principali terremoti distruttivi avvenuti in Appennino Meridionale negli ultimi 600 anni

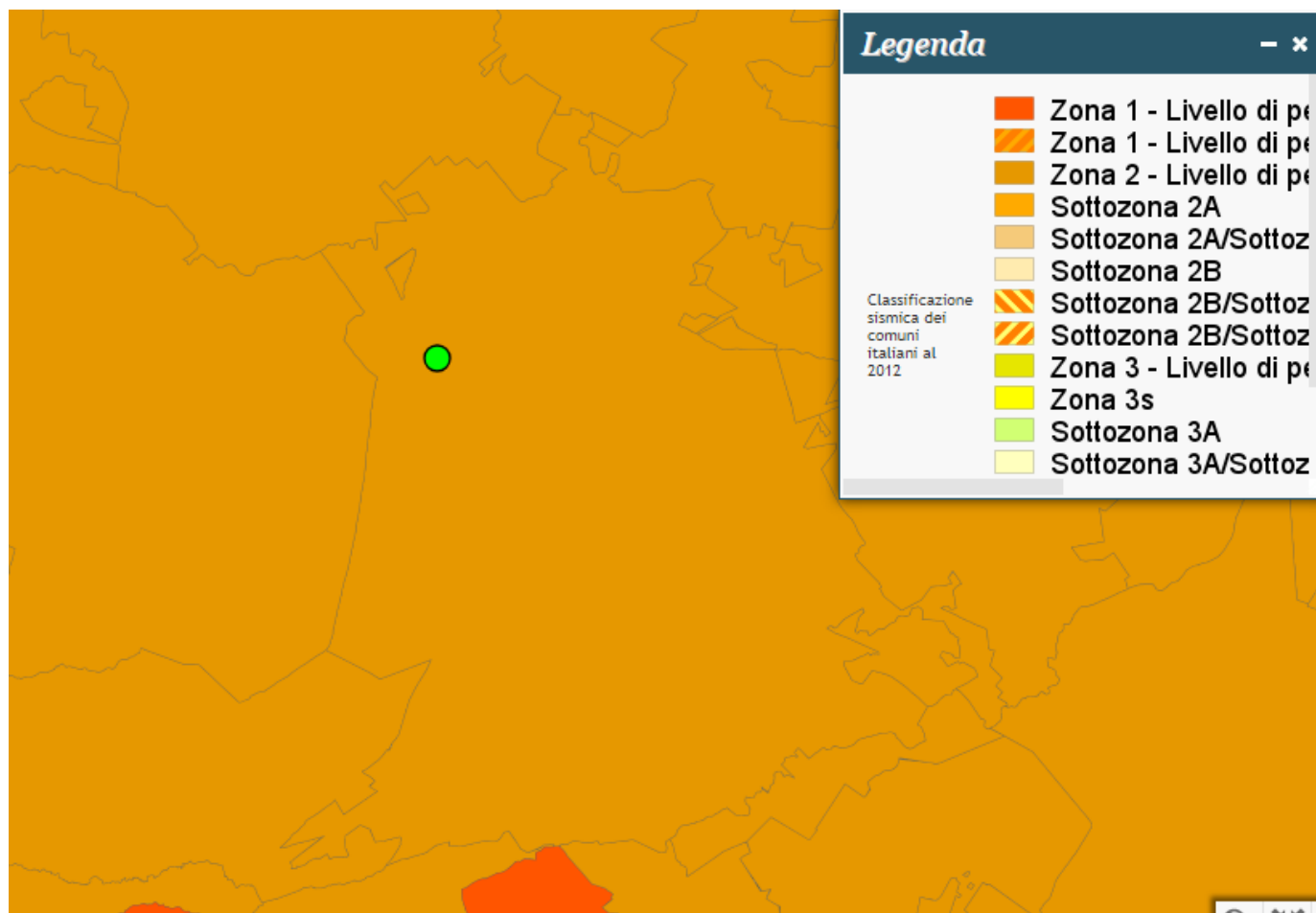


Dislocazione dei principali terremoti distruttivi avvenuti in Appennino Meridionale negli ultimi 600 anni



## 7 CLASSIFICAZIONE SISMICA

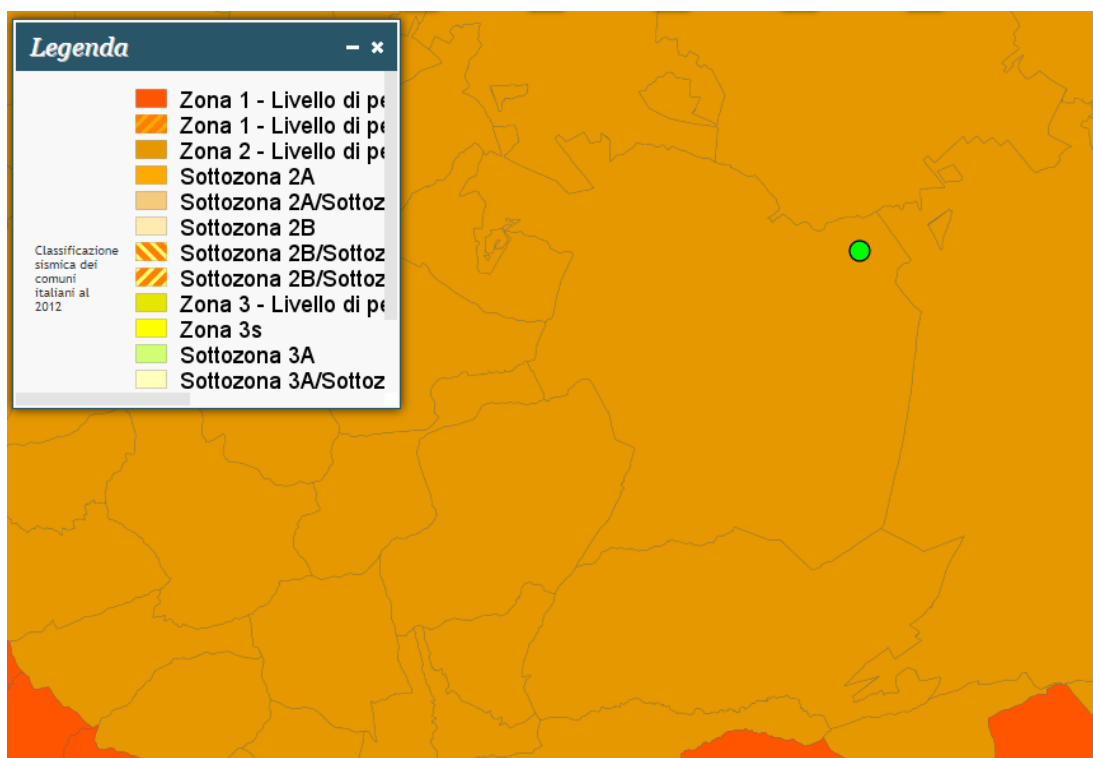
Si illustra di seguito la Classificazione sismica del Comune di Lucera secondo l'O.P.C.M 3274 del 30.03-2003 aggiornata al 2006



*Individuazione Area Aerogeneratori sita nel Comune di Foggia in funzione della classificazione sismica*

Codice ISTAT 2001	Classificazione 2003	PGA (g)
071024	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g





Individuazione Area Sottostazione Elettrica SSE sita nel Comune di Lucera in funzione della classificazione sismica

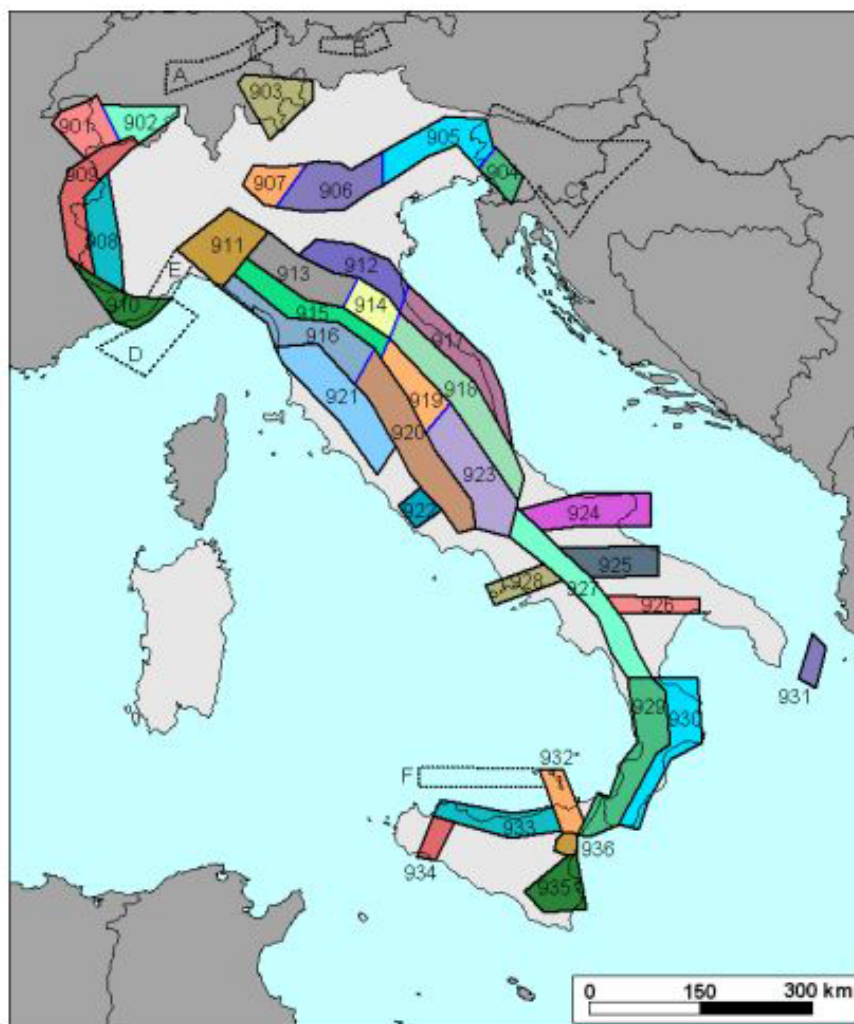
Codice ISTAT 2001	Classificazione 2003	PGA (g)
071028	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g



## 8 ZONIZZAZIONE SISMOGENETICA

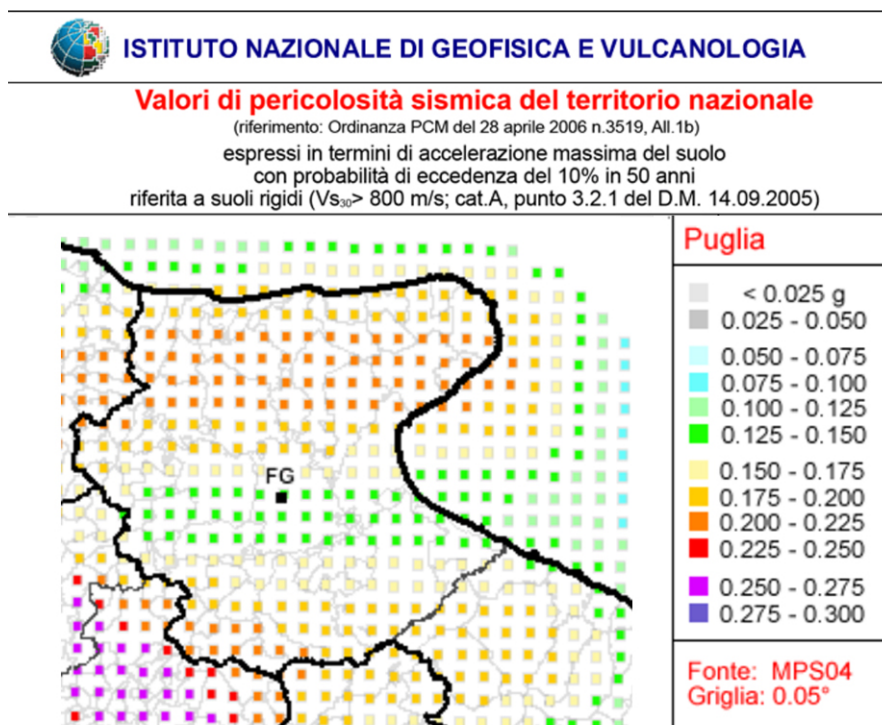
Negli ultimi anni e fino al 2002, il punto di riferimento per la valutazione della pericolosità sismica nell'area italiana è stata la zonazione sismogenetica ZS4 (Scandone et alii 1996).

Gli sviluppi più recenti in materia di sismogenesi (Galadini et alii 2000, DISS Catalogo sorgenti sismogenetiche Valensise e Pantosti 2001) hanno però evidenziato alcune incoerenze con il catalogo CTPI. Per tale motivo, al fine di ottenere un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismotettonico oggi disponibile, è stata sviluppata una nuova zonazione denominata ZS9.



Zonizzazione sismogenetica dell'Italia





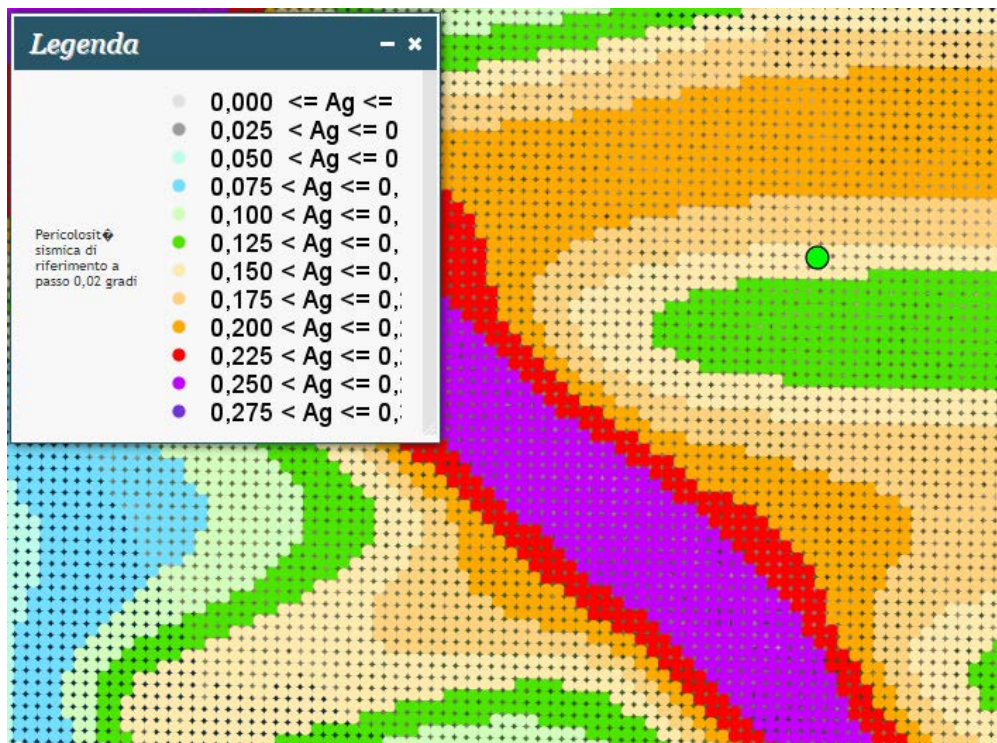
Zonizzazione sismogenetica della provincia di Foggia

La ZS9 propone la suddivisione del territorio nazionale in fasce che presentano al loro interno requisiti di omogeneità in relazione alle caratteristiche geo-strutturali, cinematiche e sismiche. Una base essenziale per la zonazione del territorio è rappresentata dal modello sismotettonico dell'area italiana, e contributi rilevanti per la definizione delle singole zone sono forniti dai cataloghi sismici disponibili. In particolare ZS9 è costruita facendo riferimento al modello sismotettonico di *Meletti et al. (2000)*, rivisto ed integrato negli anni successivi alla sua formulazione. Inoltre ZS9 è definita sulla scorta delle informazioni disponibili dai cataloghi CPTI2 (catalogo parametrico dei terremoti italiani) e DISS (database delle sorgenti sismogenetiche). La ZS9 non introduce drastici elementi di novità rispetto alle precedenti zonazioni, in modo particolare rispetto a ZS4 che rappresenta una sorta di caposaldo nell'evoluzione del processo di zonazione. L'elemento di novità è rappresentato dall'impiego di un catalogo sismico più aggiornato (CPTI2) e dall'introduzione delle conoscenze più recenti sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche (database DISS). Negli ultimi anni, infatti, la quantità di informazioni sulla sismogenesi del territorio italiano (sia per quanto riguarda gli aspetti geometrici delle sorgenti che per quanto attiene al loro comportamento atteso) è notevolmente aumentata rispetto a quella disponibile nel periodo in cui i ricercatori procedevano alla realizzazione di ZS4. Tali conoscenze rappresentano uno degli elementi chiave per il tracciamento delle nuove zone. Un altro elemento di novità rispetto al passato è rappresentato dall'utilizzo del database delle soluzioni dei meccanismi focali dei terremoti italiani (EMMA; *Vannucci e Gasperini, 2003*). Tale database contiene meccanismi tratti da cataloghi on-line (come il catalogo CMT dell'Università di Harvard, il catalogo dell'ETH di Zurigo e il catalogo RCMT dell'INGV) o dalla letteratura cartacea pubblicata. Tra tutti i meccanismi contenuti nel database sono stati selezionati quelli che ricadono all'interno delle zone sorgente di ZS9: si tratta di 1051 records relativi a terremoti





avvenuti tra il 1905 ed il 2003, con magnitudo Mw compresa tra 1.9 e 6.6. Utilizzando tutti i dati disponibili e avendo cura di scegliere il meccanismo più affidabile nel caso di soluzioni multiple per lo stesso evento.



*Pericolosità sismica dell'area oggetto di studio*

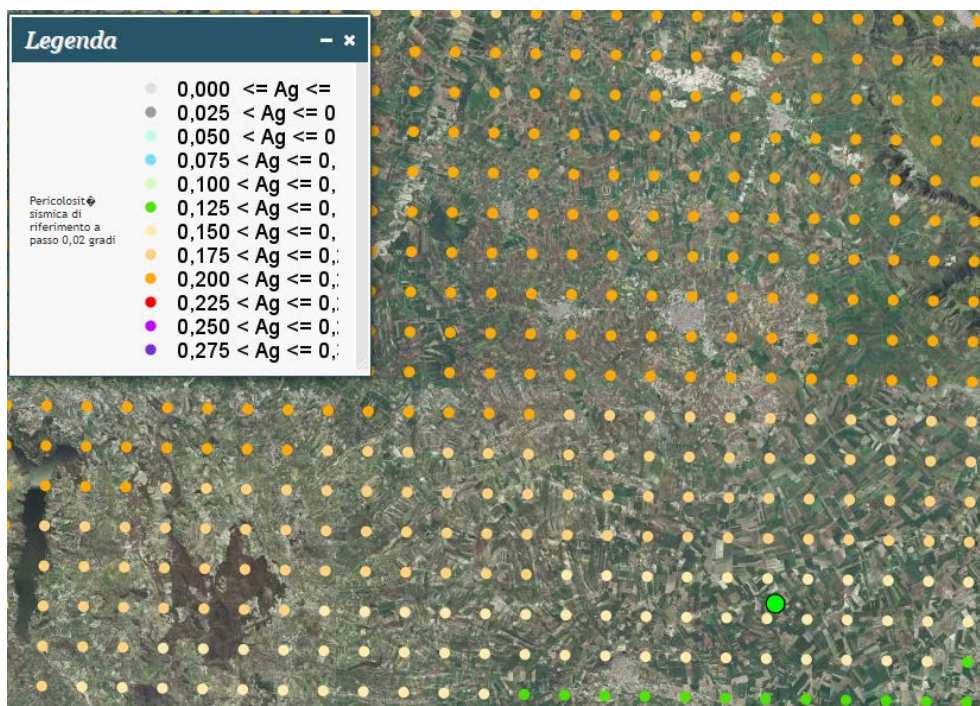


*Dettaglio pericolosità sismica area Aerogeneratori*





Dettaglio pericolosità sismica area Aerogeneratori



Dettaglio pericolosità sismica dell'area oggetto di studio





Dettaglio pericolosità sismica dell'area oggetto di studio

Gli aerogeneratori FG01- FG02 - FG03 - FG04 - FG05 e la sottostazione SSE ricadono in un'area avente tutti la massima accelerazione orizzontale del suolo compresa tra  **$0.150 < g < 0.175$**

### 8.1. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Dopo il sisma irpino del 1980, risentito a Foggia con intensità del VI°-VII° Mercalli, tutto il territorio della Provincia di Foggia fu classificato come sismico. L'ultimo episodio importante in ordine cronologico è stato il sisma di S. Giuliano di Puglia (CB), del 30.10.2002 e con replica intensa il giorno successivo, la magnitudo di questo evento è stata stimata pari a 5.4 della scala Richter, un valore che comporta effetti fino al grado VIII della scala Mercalli. L'INGV ha assegnato a Foggia, per questo sisma un'intensità macrosismica pari a V°-VI° della scala Mercalli

Per quanto riguarda il passato è sufficiente sfogliare il "Catalogo dei terremoti italiani dal 1000 al 1980", edito nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica del Centro Nazionale per le Ricerche o il "Catalogo dei forti terremoti italiani dal 461 a.c. al 1980, edito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma, per rendersi conto dei terremoti che hanno avuto come epicentro le zone nord-occidentali della Puglia, in particolare quello di Ascoli Satriano del 17 luglio 1361, di Barletta dell'11 maggio 1560 e della Capitanata del luglio 1627, di Foggia del 20 marzo 1731, di Mattinata del 10 agosto 1893, giusto per citare i più disastrosi con intensità superiore all'VIII°-IX° della scala Mercalli-Cancani-Sieber (MCS).

Anche il sisma del 1930, con epicentro nell'area di Scampitella (AV), al confine tra la Puglia e l'avellinese, fu risentito a Foggia con intensità sismica del VII°- VIII° Mercalli circa.

Allo stato delle conoscenze, la sola arma nei confronti degli eventi sismici è la prevenzione, basata sia su previsioni di tipo statistico che su studi geologici e geofisici regionali e locali

L'esperienza ci ha ampiamente dimostrato che in ogni evento sismico e nell'ambito dello stesso comune si osservano livelli di danno differenziati tra loro, anche due o tre gradi della scala MCS. Anche il sisma



di S. Giuliano di Puglia ha confermato tale dato, territori molto vicini tra loro e con strutture similari possano subire danni notevolmente diversi. È ormai chiaro che la differenza nel danno è imputabile, sia ai diversi sistemi costruttivi con cui sono realizzati i manufatti, sia alla diversa risposta sismica locale dell'immediato sottosuolo (i primi 30 metri) su cui insistono gli stessi. Il substrato geologico superficiale, infatti, può esaltare o al contrario smorzare in modo molto significativo l'intensità dei diversi moti vibranti indotti sui manufatti dalle onde sismiche generate, quasi sempre, a diversi chilometri di profondità. La risposta sismica locale del substrato geologico durante il sisma si può ormai modellare con sufficiente scientificità. Osservazioni ormai innumerevoli provano che la variabilità spaziale dei danni e degli effetti prodotti da un terremoto è sempre molto elevata, e che in molti casi una causa importante è l'esistenza di condizioni locali sfavorevoli dei siti e dei terreni che possono mettere in crisi anche strutture molto resistenti e progettate per resistere a forti terremoti. E' il caso dei pendii franosi, dei depositi argillosi soffici, dei terreni liquefacibili, dove possono aversi **effetti locali** di instabilità, consistenti in veri e propri collassi e talora in movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture. Alcuni scenari tipici: movimenti franosi nei pendii, scorrimenti e cedimenti differenziali in corrispondenza di contatti geologici o di faglie, scivolamenti e rotture nel terreno, fenomeni di liquefazione nei terreni granulari fini saturi, fenomeni di subsidenza in corrispondenza di cavità, ecc.

Ma vi sono anche altre condizioni, meno spettacolari e meno facilmente riconoscibili, che possono essere molto gravose per le sovrastanti strutture e infrastrutture. Sono quelle in cui, a causa di particolari **condizioni locali**, le caratteristiche vibratorie dei movimenti sismici possono subire modificazioni ed esaltazioni locali. Tali effetti vengono indicati nella terminologia sismica come **effetti di sito**; con il termine 'condizioni locali' si intende, invece, l'insieme dei fattori geomorfologici e geotecnici che interagendo con le onde sismiche possono modificare, rispetto allo scuotimento che si avrebbe sulla roccia sottostante (bedrock), le caratteristiche vibratorie del moto sismico in superficie. Tali fattori comprendono principalmente: la morfologia superficiale e sepolta, le caratteristiche stratigrafiche, le proprietà geotecniche dei terreni in campo statico e dinamico. Gli effetti di sito sono spesso all'origine di molti fenomeni di instabilità delle strutture, sia per l'esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, sia perché possono aversi anche fenomeni di 'doppia risonanza' fra modi di vibrare del terreno e della struttura.

Per quanto riguarda l'aspetto sismotettonico, anche se l'area non è direttamente interessata da lineamenti strutturali visibili sulla superficie del suolo, ha subito influenze distruttive durante eventi sismici passati, i cui epicentri si sono localizzati in aree limitrofe. Le strutture sismogenetiche dell'Appennino Dauno e più in generale dell'Appennino Campano hanno infatti fatto registrare eventi sismici i cui effetti hanno avuto ripercussioni sulla stabilità del territorio sin da tempi storici.

Barletta dell'11 maggio 1560 e della Capitanata del luglio 1627, di Foggia del 20 marzo 1731, di Mattinata del 10 agosto 1893, giusto per citare i più disastrosi con intensità superiore all'VIII°IX° della scala MercalliCancaniSieber (MCS). Anche il sisma del 1930, con epicentro nell'area di Scampitella (AV), al confine tra la Puglia e l'avellinese, fu risentito a Foggia con intensità sismica del VII°VIII° Mercalli circa. Allo stato delle conoscenze, la sola arma nei confronti degli eventi sismici è la prevenzione, basata sia su previsioni di tipo statistico che su studi geologici e geofisici regionali e locali. L'esperienza ci ha ampiamente dimostrato che in ogni evento sismico e nell'ambito dello stesso comune si osservano livelli di danno differenziati tra loro, anche due o tre gradi della scala MCS. Anche il sisma di S. Giuliano di



Puglia ha confermato tale dato, territori molto vicini tra loro e con strutture simili possano subire danni notevolmente diversi. E' ormai chiaro che la differenza nel danno è imputabile, sia ai diversi sistemi costruttivi con cui sono realizzati i manufatti, sia alla diversa risposta sismica locale dell'immediato sottosuolo (i primi 30 metri) su cui insistono gli stessi. Il substrato geologico superficiale, infatti, può esaltare o al contrario smorzare in modo molto significativo l'intensità dei diversi moti vibranti indotti sui manufatti dalle onde sismiche generate, quasi sempre, a diversi chilometri di profondità. La risposta sismica locale del substrato geologico durante il sisma si può ormai modellare con sufficiente scientificità. La differenza nel danno è imputabile, sia alla diversa risposta sismica locale dell'immediato sottosuolo (circa i primi 30 metri) su cui insistono gli stessi, sia ai diversi sistemi costruttivi con cui sono realizzati i manufatti. Il substrato geologico superficiale, infatti, può esaltare o al contrario smorzare in modo molto significativo l'intensità dei diversi moti vibranti indotti sui manufatti dalle onde sismiche generate, quasi sempre, a diversi chilometri di profondità. Anche il sisma di S. Giuliano di Puglia ha confermato la considerazione che territori anche molto vicini tra loro e con strutture simili possano subire danni notevolmente diversi.

La "pericolosità sismica di base" deve essere verificata in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) per diverse probabilità di superamento in diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 475 anni.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri,  $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno,  $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,  $T_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

L'ultimo episodio importante in ordine cronologico è stato il sisma di S. Giuliano di Puglia (CB), del 31.10.2003 e con replica intensa il giorno successivo. L'INGV ha assegnato a Foggia, per questo sisma un'intensità macrosismica pari a V°-VI° Mercalli.

Per quanto riguarda il passato è sufficiente sfogliare il "Catalogo dei terremoti italiani".

Per quanto riguarda l'aspetto sismotettonico, anche se l'area non è direttamente interessata da lineamenti strutturali visibili sulla superficie del suolo, ha subito influenze distruttive durante eventi sismici passati, i cui epicentri si sono localizzati in aree limitrofe. Le strutture sismogenetiche appenniniche garganiche hanno infatti fatto registrare eventi sismici i cui effetti hanno avuto ripercussioni sulla stabilità del territorio sin da tempi storici. Di seguito si ricordano i più importanti.

- 5 febbraio 62 d.c. (Magnitudo 5.8 scala Richter)  
Certamente danneggiata Pompei ed Ercolano oltre a Nocera ed alcune zone di Napoli.
- 25 agosto 79 d.c. (Magnitudo 5.7 scala Richter)  
Associato alla celebre eruzione distruttiva del Vesuvio
- Anno 99 d.c. (Magnitudo 6.3 scala Richter)  
Epicentro vicino Circello (BN)



- Anno 346 d.c. (Magnitudo 6.0 scala Richter)  
Epicentro nei pressi di Castelpagano (BN), prossimo a quello del 99. Effetti importanti anche nel Matese, confermato da studi archeosismologici su lapidi ed epigrafi
- 21 Luglio 369 d.c. (Magnitudo 6.0 scala Richter)  
Sisma a Benevento, dove andò distrutta la maggior parte degli edifici importanti dell'epoca. Morì la metà degli abitanti della città (migliaia).
- Anno 848 d.c. (Magnitudo 6.0 scala Richter)  
Epicentro a sud di Castelpizzuto (IS). Interessati Campania e Molise, diversi morti ad Isernia
- 25 Ottobre 989 d.c. (Magnitudo 6.0 scala Richter)  
Epicentro tra Benevento e l'Irpinia, epicentro nei pressi di Carife. Distrutto il paese di Ronza, mai più ricostruito, ingenti danni a Benevento, Capua, Conza (dove muore il vescovo), Frigento il terremoto distrusse interi villaggi e provocò numerosi morti.
- Anno 1180 (Magnitudo // scala Richter)  
Questo terremoto colpì l'Irpinia; secondo alcune fonti Ariano "fu inghiottito da una voragine" e Napoli restò in gran parte distrutta.
- Anno 1223 (Magnitudo 6.0 scala Richter)  
Epicentro nei pressi di Vico del Gargano. Danni ingenti in tutto il Gargano e la Capitanat. Distrutta Siponto che, ricostruita per volere di re Manfredi, diverrà l'attuale Manfredonia, Colpita duramente anche Vieste, la Foresta Umbra e per l'appunto Vico.
- 4 Settembre 1293 (Magnitudo 5.9 scala Richter)  
Epicentro nel Sannio (Campania) di VIII-IX grado scala Mercalli. A Napoli venne gravemente danneggiata la Chiesa di Santa Maria Donnaregina.
- Anno 1349 (Magnitudo 6.6 scala Richter)  
Terremoto sull'Appennino centro-meridionale (VIII-IX Mercalli) con epicentro nella zona di Venafro (IS) che risultò distrutta. Danneggiata gravemente tutta l'area; a Napoli crolla la facciata della cattedrale.
- Anno 1361 (Magnitudo 6 scala Richter)  
Epicentro tra Bovino ed Ascoli Satriano, colpita anche la città di Canosa e Sant'Agata di Puglia
- Anno 1414 (Magnitudo 5.8 scala Richter)  
Epicentro tra Bovino ed Ascoli Satriano, colpita anche la città di Canosa e Sant'Agata di Puglia
- 5 Dicembre 1456 (Magnitudo 7.1 scala Richter)  
Fortissimo terremoto, con epicentro nella zona di Benevento, magnitudo di 7.2 scala Richter. Il sisma interessò buona parte del Centro-Sud Italia. A Napoli crollò il campanile della chiesa di Santa Chiara, la chiesa di San Domenico Maggiore dovrà essere ricostruita, così come il Duomo e la cappella palatina di Santa Barbara in Castel Nuovo restaurati. A Teramo morirono più di 200 persone, Rivisondoli fu completamente rasa al suolo e l'insediamento di Roccapizzi (Abruzzo) dopo essere stato completamente raso al suolo venne abbandonato dagli abitanti, e mai più ricostruito. Le scosse si susseguirono distruttrici anche il 15 e 17 Dicembre. In tutto si contarono circa 30mila morti.



- maggio 1560 (Magnitudo 5.6 scala Richter)  
Epicertero prossimo alla costa, a nord-ovest di Bisceglie dove si verificano numerosi crolli come a Barletta. Circa 300 vittime segnalate
- 31 maggio 1627 (Magnitudo 7.1 scala Richter)  
Forte terremoto (XI scala Mercalli) tra Puglia e Campania. Rase al suolo le cittadine di San Severo, Torremaggiore e diversi centri limitrofi del Foggiano. La scossa provocò un maremoto sulle coste del Gargano, soprattutto presso il Lago di Lesina. Persero la vita oltre 4500 persone.
- 30 Luglio 1646 (Magnitudo 6.6 scala Richter)  
Epicertero a sud di Vico. La più colpita è Vieste dove si registrano 132 vittime. Danni a anche a Peschici, Ischitella, Rodi, Vico, Carpino, San Giovanni Rotondo, Monte S. Angelo. Lesioni anche a Foggia. Tsumani nel lago di Varano.
- 29 gennaio 1657 (Magnitudo 6.3 scala Richter)  
Sisma tra i più dimenticati della storia, recentemente rivalutato grazie a ricerche annalistiche. Scossa principale notturna. Distrutta Lesina, gravi danni per tutto il Gargano in particolare a Vico, S. Severo, Torremaggiore, Apricena e Monte S. Angelo. Ignoto il numero delle vittime
- 5 Giugno 1688 (Magnitudo 6.7 scala Richter)  
Un immane terremoto (XI Mercalli) con epicertero nel Sannio a Cerreto Sannita (BN) rase quasi al suolo la città di Benevento. Gravissimi danni subì anche Napoli; qualcuno anche a L'Aquila e nel Molise. Serie lesioni ad Ariano e Casalbore I morti ammontarono a 2115.
- 8 Settembre 1694 (Magnitudo 6.8 scala Richter)  
Forte terremoto tra Irpinia e Basilicata . Calitri fu il paese irpino più colpito (311 vittime). Danni anche a Cava de' Tirreni e Benevento. Circa 6000 i morti.
- 14 Marzo 1702 (Magnitudo 6.3 scala Richter)  
Epicertero nel Beneventano (IX-X Mercalli), il sisma provocò alcuni danni fino a Napoli ed in Irpinia, oltre che la morte di circa 400 persone.
- 20 marzo 1731 (Magnitudo 6.3 scala Richter)  
Epicertero a sud-ovest di Canosa. Gravi danni a Cerignola, dove crolla parzialmente il castello, a Foggia e nella sua intera provincia. Crolli anche a Barletta , Molfetta, Ascoli Satriano e Canosa. Circa 2500 vittime. Leggero Tsumani a Manfredonia e Barletta..
- 29 novembre 1732 (Magnitudo 6.6 scala Richter)  
Epicertero nei pressi di Grottaminarda. Colpita in particolare l'Irpinia settentrionale. Tra i paesi semidistrutti Mirabella, Ariano, Castel Baronia e Flumeri. Ad Avellino crolla il 50% degli edifici. Circa 2000 morti
- 20 febbraio 1743 (Magnitudo 7.0 scala Richter)  
Epicertero nel canale d'Otranto. Scossa serale, poco prima della mezzanotte. Semidistrutti Nardò (dove muiono 100 persone) E francavilla Fontana. Danni rilevanti a Lecce ed in tutto il Salento. A Brindisi crollano diversi edifici e la cattedrale rimane seriamente lesionata. Effetti anche sull'altra sponda dello Jonio, crolli pure a Corfù, circa 250 vittime.



- 26 Luglio 1805 (Magnitudo 6.5 scala Richter)  
Sisma alle ore 22 (6.5 gradi scala Richter), con epicentro tra Campania e Molise. A Napoli, grazie alla sopraelevazione dell'edificio del Real Museo Borbonico, il gran salone resse durante il terremoto. A Campobasso si ebbero gravi perdite umane e materiali, fra cui il duecentesco convento dei Celestini. Le vittime salirono a 5573.
- 1 gennaio 1826 (Magnitudo 5.7 scala Richter)  
Epicentro tra Calvello e Tito, semidistrutta. Danni ingenti a Potenza e Melfi,. Colpite anche Satriano di Lucania, avvertito anche a Napoli.
- 1 gennaio 1826 (Magnitudo 5.7 scala Richter)  
Epicentro tra Calvello e Tito, semidistrutta. Danni ingenti a Potenza e Melfi,. Colpite anche Satriano di Lucania, avvertito anche a Napoli.
- 4 agosto 1851 (Magnitudo 6.3 scala Richter)  
Epicentro nei pressi di Barile. Colpita l'area circostante il massiccio del Vulture e la val d'Agri. Distrutta Melfi dove ci sono stati almeno 400 morti. Altri paesi semidistrutti : Rapolla, Barile, Atella, Lavello, Venosa, Rionero. Avvertito nelle regioni confinanti Campania e Puglia. Numero di vittime certamente superiore a 700, forse un migliaio. Il sisma ebbe vasta risonanza, anche per la visita del Re Ferdinando II a Melfi e nei luoghi colpiti.
- 16 dicembre 1857 (Magnitudo 6.9 scala Richter)  
Evento distruttivo su ampia area geografica, interessati almeno 150 siti. Colpita la val d'Agri Epicentro tra Viggiano e Villa d'Agri. Tra i paesi più devastati Montemurro con 3000 morti,, Sarconi, Saponara, Viggiano, Marsico, Tito. Gravi danni anche a Potenza, crolli e decessi anche in Irpinia e Salernitano, stimati in complessivo circa 11 mila morti, per alcuni 19 mila. Almeno 6000 gli edifici distrutti. Forti ripercussioni sociali, con ricostruzione lenta e scarsa. Per conto della Royal Society di Londra lo scienziato Robert Mallet, padre della moderna sismologia, compì un'ampia ricognizione della zona interessata e descrisse dettagliatamente gli effetti del sisma.
- 6 dicembre 1875 (Magnitudo 6.0 scala Richter)  
Sisma notturno . Epicentro tra S. Marco in Lamis e S. Giovanni Rotondo che risulta il paese più colpito con crollo di 300 case ed abitanti costretti a rifugiarsi in tende e baracche. Avvertito in tutto il Gargano e il Tavoliere.
- agosto 1893 (Magnitudo 5.4 scala Richter)  
Il terremoto del Gargano del 1893 è stato un evento sismico che colpì la costa meridionale del Gargano con epicentro localizzato all'altezza del porto di Mattinata, all'epoca semplice frazione rurale di Monte Sant'Angelo. La scossa principale si verificò nella serata del 10 agosto, dopo una giornata caratterizzata da un continuo susseguirsi di altre scosse relativamente meno intense, all'interno di una sequenza sismica che perdurava fin dal 27 giugno ed esauritasi solo nel gennaio dell'anno successivo, dopo che a novembre si era registrata una tregua poi rivelatasi momentanea. Durante l'intera sequenza vennero registrate non meno di 400 scosse.
- 7 giugno 1910 (Magnitudo 5.8 scala Richter)  
Epicentro nei pressi di Calitri dove crolla il 30% degli edifici, con diverse vittime. Una sessantina i comuni interessati, la parte più occidentale della Basilicata e l'Irpinia orientale. Circa 50 i morti.





- 23 Luglio 1930 (Magnitudo 6.7 scala Richter)  
Sisma notturno, importante per lo sviluppo areale. Epicentro nei pressi di Lacedonia, il paese più devastato con il crollo del 70% delle abitazioni, forte terremoto nel Vulture colpì Campania, Basilicata e Puglia. I comuni più colpiti, dove crollò il 70% degli edifici, furono Aquilonia e Lacedonia. Le vittime furono 1404.
- 21 Agosto 1962 (Magnitudo 6.2 scala Richter)  
Epicentro nei pressi di Apice, Ariano Irpino e Melito i paesi più colpiti. Sisma popolarmente definito “signore” perché ha danneggiato gli edifici e provocò pochi 17 morti. Crollo di un ponte sulla ferrovia Avellino Foggia, 10 mila i senza tetto.
- 23 Novembre 1980 (Magnitudo 6.9 scala Richter)  
Il più terribile terremoto in Italia, dopo la Seconda Guerra Mondiale, con epicentro in Irpinia, furono devastate diverse zone tra la Campania e la Basilicata e Puglia, con danni ingentissimi, soprattutto nell'area del Vulture. Vennero distrutti numerosi paesi. A Napoli, nel quartiere di Poggioreale, crollò un palazzo di diversi piani, provocando 52 morti. Danni ingenti nelle province di Avellino, Salerno, Benevento, Matera e Potenza e Foggia. In totale vi furono circa 8000 feriti, 2914 morti, oltre 250 mila senzatesto.
- 5 maggio 1990 (Magnitudo 5.8 scala Richter)  
Epicentro nei pressi di Colliano, colpì l'area a cavallo tra la Campania e la Basilicata. Avvertito anche nelle province di Benevento e Matera. Danni e lesioni a Potenza e Melfi, 2 i morti.
- 31 ottobre 2002 (Magnitudo 5.7 scala Richter)  
Epicentro nei pressi di Bonefro (CB). Danni principali a S. Giuliano di Puglia dove nel crollo di una scuola morirono 27 bambini ed una maestra. Lesione anche in provincia di Foggia. 30 le vittime totali, 5000 senzatesto.

Dopo questa lunga carrellata di date di terremoti, solo per citare i più nefasti, possiamo asserire con certezza che nessuna zona dell'Italia viene risparmiata. Tutto ciò al solo scopo per non dimenticare che viviamo in un territorio altamente sismico, e, dal punto di vista geologico, molto fragile. Allo stato delle conoscenze, la sola arma nei confronti degli eventi sismici è **la prevenzione**, basata sia su previsioni di tipo statistico che su studi geologici e geofisici regionali e locali. L'esperienza ci ha ampiamente dimostrato che in ogni evento sismico e nell'ambito dello stesso comune si osservano livelli di danno differenziati tra loro, anche due o tre gradi della scala MCS. Anche il sisma di S. Giuliano di Puglia ha confermato tale dato, territori molto vicini tra loro e con strutture simili possano subire danni notevolmente diversi. E' ormai chiaro che la differenza nel danno è imputabile, sia ai diversi sistemi costruttivi con cui sono realizzati i manufatti, sia alla diversa risposta sismica locale dell'immediato sottosuolo (i primi 30 metri) su cui insistono gli stessi. Il substrato geologico superficiale, infatti, può esaltare o al contrario smorzare in modo molto significativo l'intensità dei diversi moti vibranti indotti sui manufatti dalle onde sismiche generate, quasi sempre, a diversi chilometri di profondità. La risposta sismica locale del substrato geologico durante il sisma si può ormai modellare con sufficiente scientificità.



## 9 COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

L'ordinanza sismica n. 3274 del 20.03.2003 ha introdotto, tra l'altro, la necessità di considerare, per le costruzioni sui pendii o in loro prossimità, un coefficiente di amplificazione topografica  $St$ .

Tale coefficiente è direttamente proporzionale alla pendenza del versante,

$St = 1$  (assenza di amplificazione) per acclività minori di  $15^\circ$  (pendenze inferiori al 26.8%).

$St = 1,2$  per acclività comprese tra  $15^\circ$  e  $30^\circ$  (pendenze superiori al 26.8% ed inferiori al 57%)

$St = 1,4$  per acclività maggiori di  $30^\circ$ .

### 9.1. CATEGORIE TOPOGRAFICHE

Sono state contraddistinte quattro categorie Topografiche così come segue:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i \geq 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

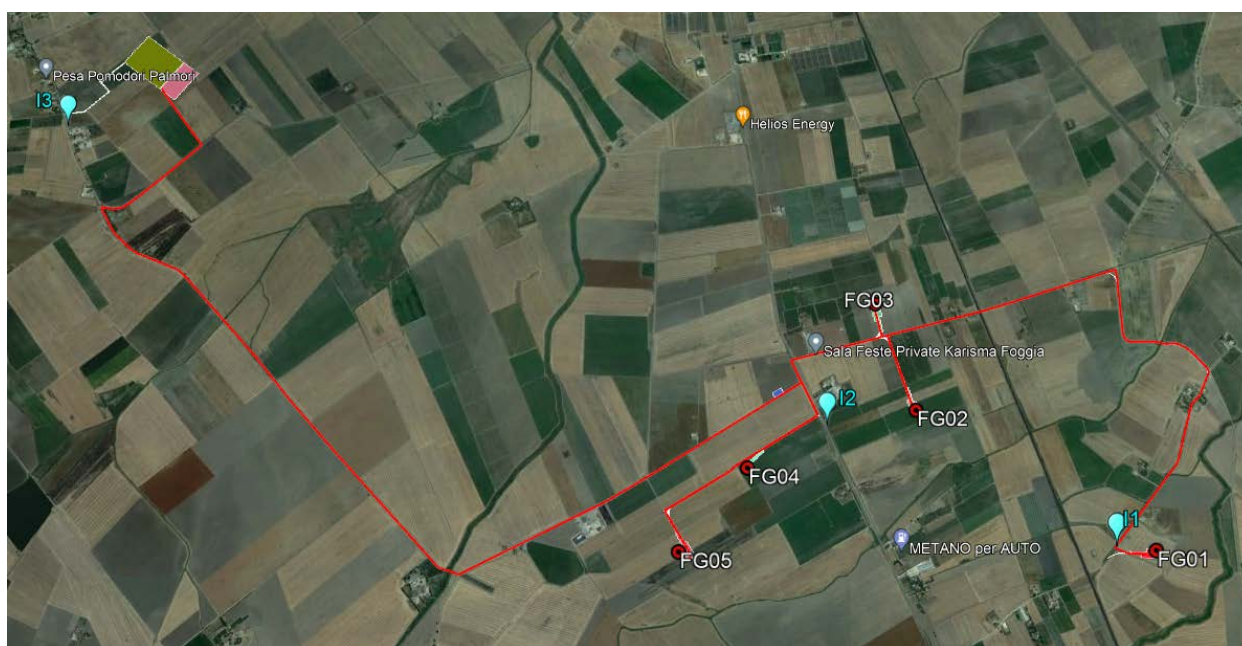
Nel nostro caso specifico, essendo l'acclività  $< 15^\circ$ , il coefficiente di amplificazione sismica topografica  $St$  risulta pari a 1.0 e categoria topografica T1 per tutti e 14 Aerogeneratori e la Sottostazione di Trasformazione Elettrica (SSE)



## 10 CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi con $V_{s30} > 800$ m/s
B	Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con $360 < V_{s30} < 800$ m/s
C	Ghiaie e sabbie mediamente addensate o argille mediamente consistenti con $180 < V_{s30} < 360$ m/s
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con $V_{s30} < 180$ m/s
E	Terreni con sottosuoli di tipo <b>C</b> o <b>D</b> per spessori non superiori a 20 metri, posti su substrato con $V_s > 800$ m/s
S1	Terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s
S2	Terreni suscettibili di liquefazione o di argille sensitive

Per caratterizzare la **Categoria dei suoli di Fondazione** sono state eseguite N. 3 MASW.



Ubicazione MASW

Nel seguito verranno esplicitate i risultati ottenuti.



MASW1

PRSE 676 - S1

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m <sup>3</sup> ]	n (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	1.1	100.07	1401.08	17.56	0.50	14.00	18	54
2	1.1	1.2	141.73	1447.32	17.71	0.50	10.21	36	108
3	2.3	1.4	200.70	1512.78	17.92	0.49	7.54	74	219
4	3.7	1.6	251.49	1569.15	18.10	0.49	6.24	117	347
5	5.3	1.7	304.30	1627.78	18.28	0.48	5.35	173	512
6	7.0	1.9	355.50	1684.61	18.46	0.48	4.74	238	703
7	8.9	2.1	482.67	1825.77	18.90	0.46	3.78	449	1313
8	11.0	2.2	620.01	1978.21	19.35	0.45	3.19	759	2194
9	13.2	2.4	721.75	2091.14	19.69	0.43	2.90	1046	2996
10	15.6	2.6	785.56	2161.97	19.89	0.42	2.75	1252	3565
11	18.1	2.7	789.22	2166.03	19.90	0.42	2.74	1264	3599
12	20.9	2.9	758.99	2132.48	19.81	0.43	2.81	1163	3322
13	23.7	3.0	712.65	2081.04	19.66	0.43	2.92	1018	2919
14	26.8	3.2	778.27	2153.88	19.87	0.42	2.77	1227	3497
15	30.0 -		789.22	2166.03	19.90	0.42	2.74	1264	3599

H = 30 m

Vs,eq : 406.9 (m/s)

Categoria suolo : B

Attiv  
Passa

MASW2

PRSE 676 - S2

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m <sup>3</sup> ]	n (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	1.1	220.93	1535.24	17.99	0.49	6.95	90	267
2	1.1	1.2	289.72	1611.59	18.23	0.48	5.56	156	463
3	2.3	1.4	343.36	1671.13	18.42	0.48	4.87	221	655
4	3.7	1.6	349.75	1678.22	18.44	0.48	4.80	230	680
5	5.3	1.7	358.67	1688.12	18.47	0.48	4.71	242	716
6	7.0	1.9	357.53	1686.86	18.47	0.48	4.72	241	711
7	8.9	2.1	367.62	1698.06	18.50	0.48	4.62	255	753
8	11.0	2.2	403.31	1737.68	18.63	0.47	4.31	309	909
9	13.2	2.4	423.00	1759.53	18.69	0.47	4.16	341	1002
10	15.6	2.6	456.96	1797.23	18.81	0.47	3.93	401	1174
11	18.1	2.7	468.84	1810.41	18.85	0.46	3.86	423	1237
12	20.9	2.9	473.85	1815.98	18.87	0.46	3.83	432	1264
13	23.7	3.0	473.36	1815.43	18.87	0.46	3.84	431	1262
14	26.8	3.2	516.95	1863.82	19.01	0.46	3.61	518	1511
15	30.0 -		516.95	1863.82	19.01	0.46	3.61	518	1511

H = 30 m

Vs,eq : 401.5 (m/s)

Categoria suolo : B

Attiv  
-----



MASW3

PRSE 676 - S3

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m <sup>3</sup> ]	n (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	1.1	209.46	1522.50	17.95	0.49	7.27	80	239
2	1.1	1.2	254.91	1572.95	18.11	0.49	6.17	120	357
3	2.3	1.4	294.24	1616.60	18.25	0.48	5.49	161	478
4	3.7	1.6	272.38	1592.34	18.17	0.48	5.85	137	408
5	5.3	1.7	281.10	1602.03	18.20	0.48	5.70	147	435
6	7.0	1.9	316.08	1640.85	18.33	0.48	5.19	187	553
7	8.9	2.1	343.24	1671.00	18.42	0.48	4.87	221	654
8	11.0	2.2	345.68	1673.70	18.43	0.48	4.84	225	664
9	13.2	2.4	353.40	1682.28	18.45	0.48	4.76	235	694
10	15.6	2.6	348.87	1677.25	18.44	0.48	4.81	229	676
11	18.1	2.7	370.03	1700.73	18.51	0.48	4.60	258	763
12	20.9	2.9	372.83	1703.84	18.52	0.47	4.57	263	774
13	23.7	3.0	376.88	1708.33	18.54	0.47	4.53	268	792
14	26.8	3.2	407.45	1742.27	18.64	0.47	4.28	316	929
15	30.0 -		431.49	1768.96	18.72	0.47	4.10	355	1044

H = 30 m

Vs,eq : 332.5 (m/s)

Categoria suolo : C

Attiv

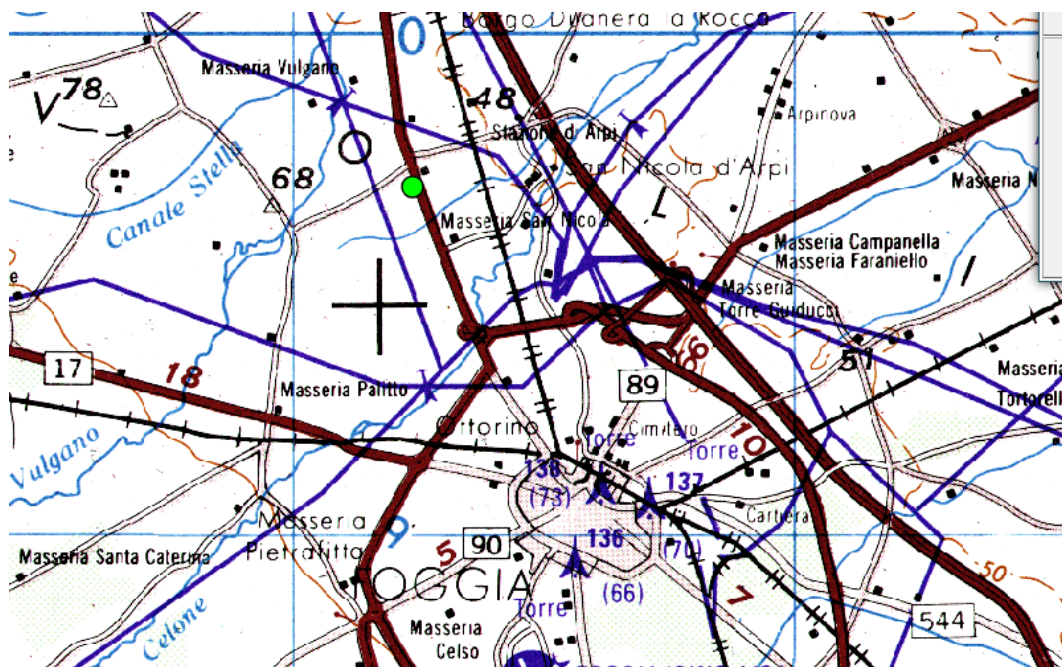
Per gli **Aerogeneratori FG01-FG02-FG03-FG04 e FG05** l'area è classificata come **Categoria "B"** **Depositi di ghiaia e sabbia addensate o di argille consistenti con Vs30 variabile tra a 401.5e 406.9 m/s.**

Per la **Sottostazione di Trasformazione Elettrica (SSE)**, l'area in studio è classificata come **Categoria "C"** **Depositi di ghiaia e sabbia poco addensate o di argille di media consistenza con Vs30 pari a 332.5 m/s.**

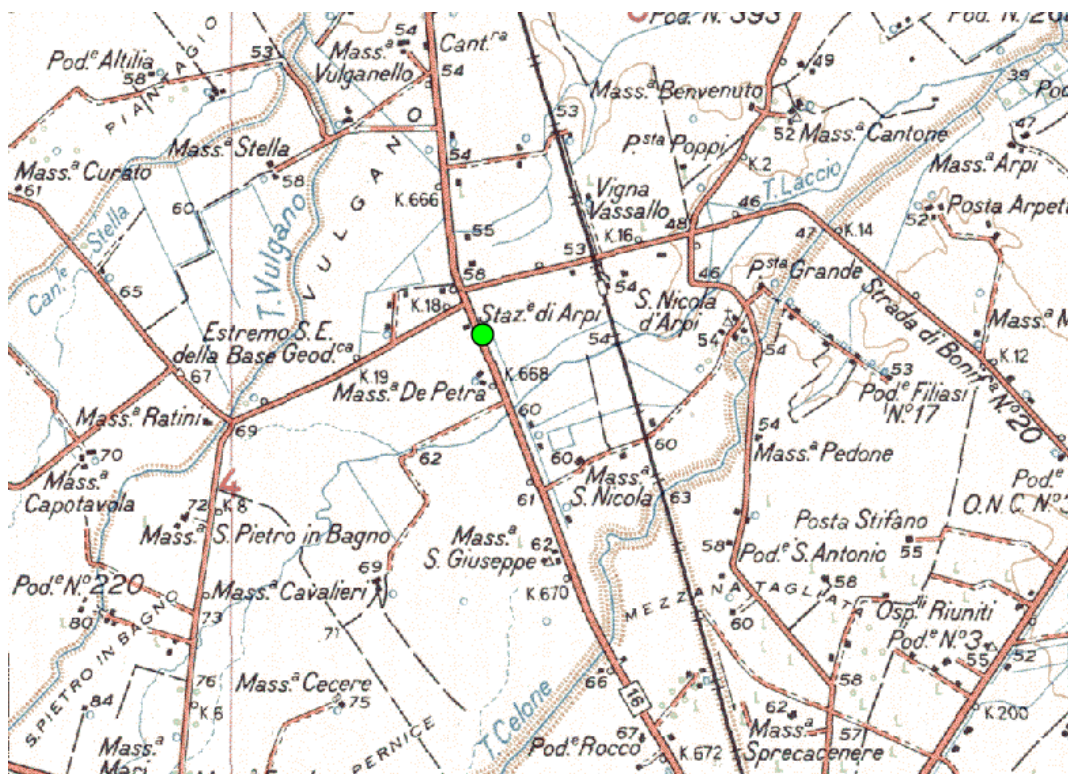


## 11 AMBIENTE IDRICO SUPERFICIALE E PROFONDO

Nella presente relazione vengono analizzate le componenti fisiche del territorio che saranno interessate dalle opere in progetto sotto il punto di vista degli aspetti geologici, geomorfologici, idrografici ed idrogeologici.

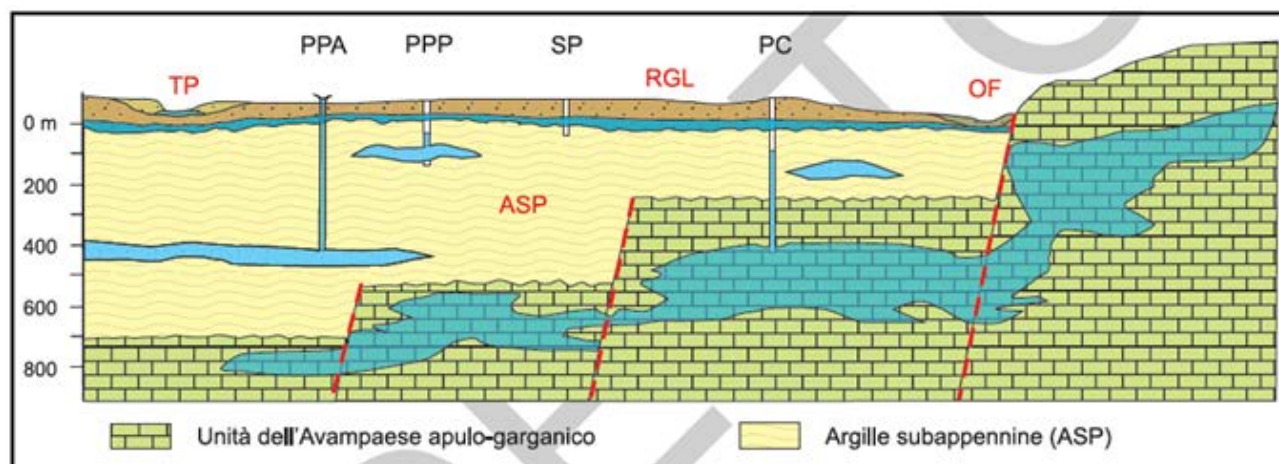
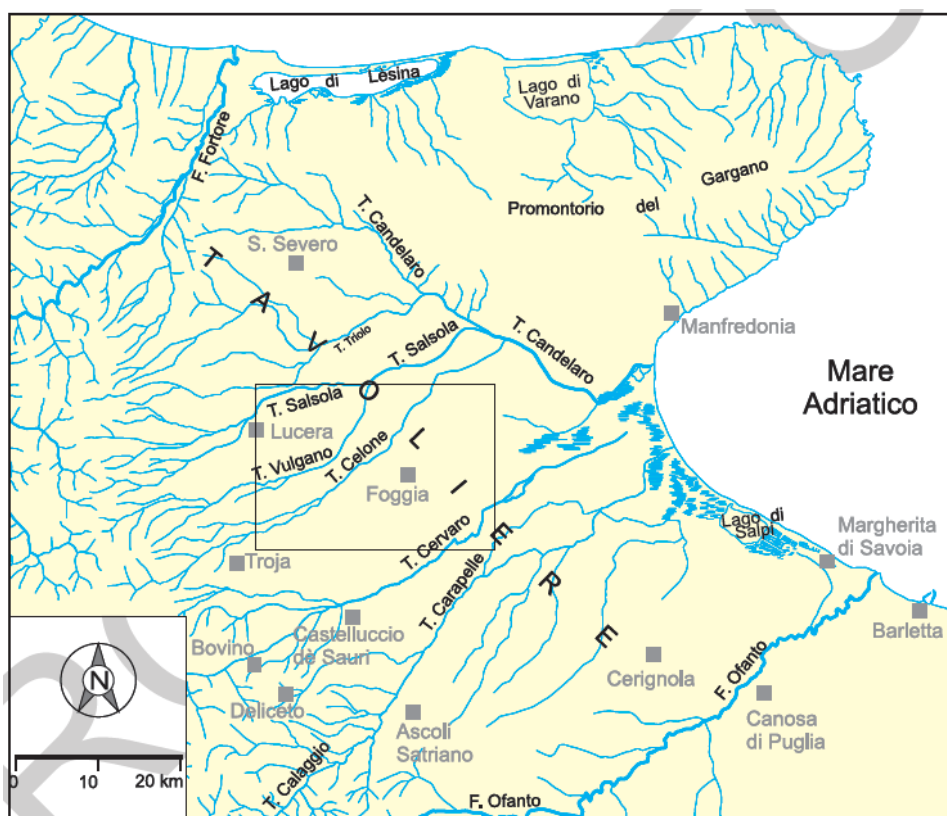


Localizzazione Area Impianto su base IGM 1:250.000



Localizzazione Area Impianto su base IGM 1:100.000

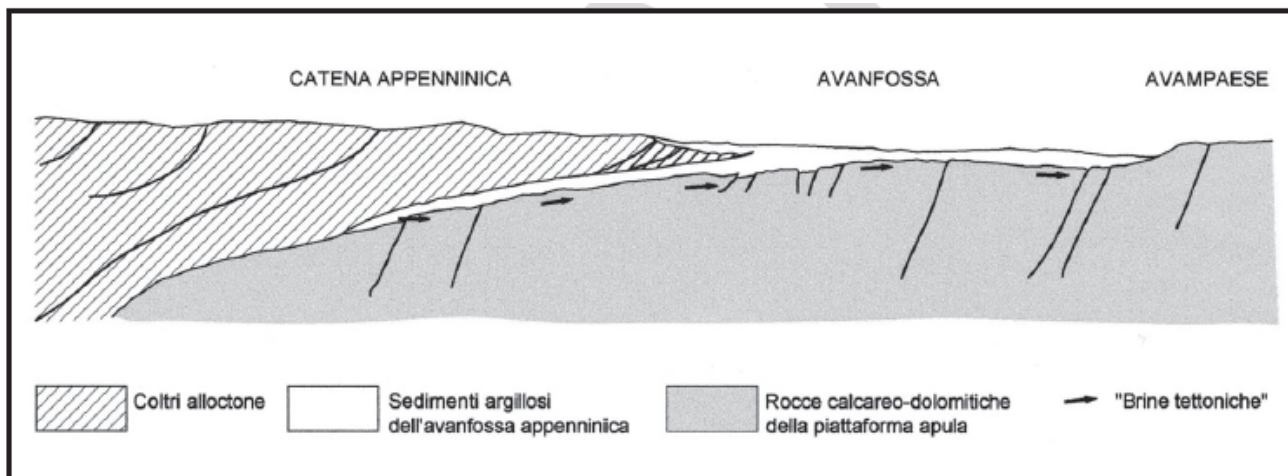




Nella parte occidentale del Foglio Foggia, dove insiste l'impianto eolico, è possibile rinvenire discrete falde freatiche nei depositi quaternari di copertura del Tavoliere. Detti depositi, il cui spessore aumenta procedendo da SO verso NE. La base della circolazione idrica è rappresentata sempre dalle argille grigio-azzurre. Di un certo rilievo, dal punto di vista idrogeologico, è la presenza, all'interno delle unità argillose subappenniniche plio-pleistoceniche, a diverse altezze stratigrafiche, di livelli di sabbie fini e subordinatamente di ghiaie. Trattasi di lenti di modesto spessore che, se dotate di una certa estensione e se situate a profondità inferiore ai 500 m, possono ospitare falde idriche in pressione con una salinità, spesso, abbastanza alta, non sempre adatta agli usi richiesti, oltre alle caratteristiche di rinnovabilità che, al momento, non sono del tutto note. Le acque del substrato carbonatico, caratterizzate da elevate temperature, la loro risalita si attuerebbe per effetto delle spinte tettoniche dovute alla



convergenza delle coltri appenniniche verso l'avampaese apulo, è ascrivibile l'esistenza di sorgenti calde nell'area pedegarganica del Tavoliere..



L'unità acquifera più profonda (acquifero fessurato-carsico) è situata in corrispondenza del substrato calcareo-dolomitico della Piattaforma Apula, di età mesozoica, costituita in sostanza dalle stesse rocce che affiorano sulle Murge sul Gargano.

### 11.1. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROLOGICO GENERALE

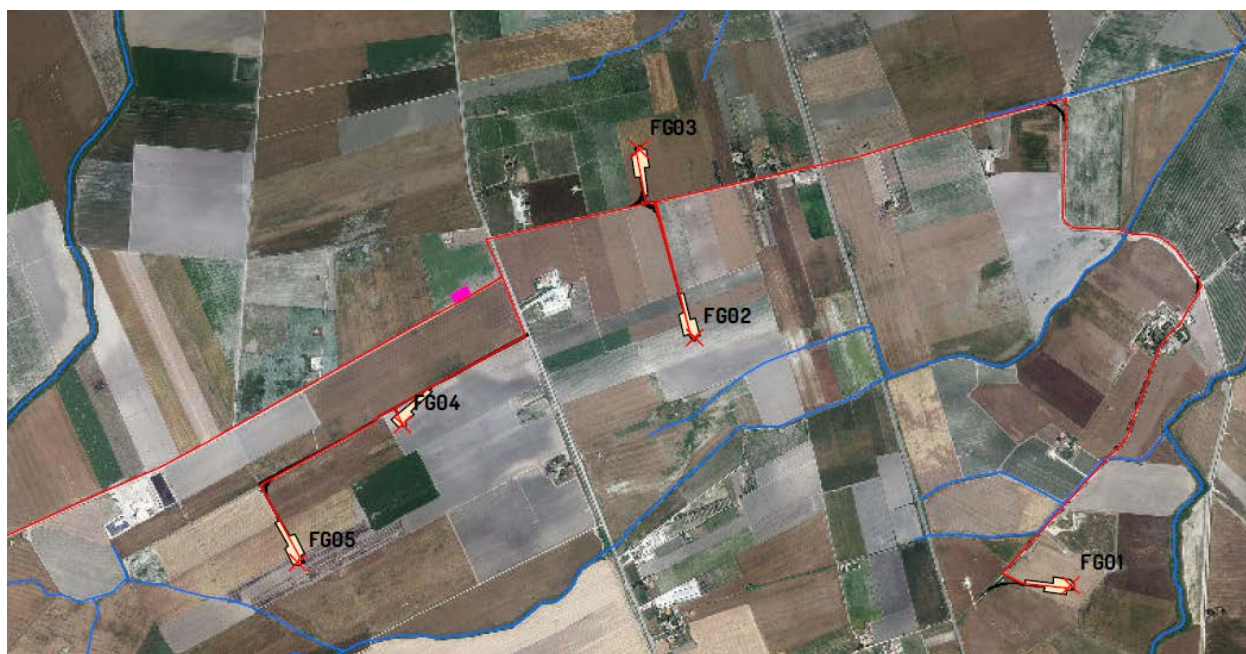
Il reticolo idrografico superficiale del Tavoliere è caratterizzato da numerosi corsi d'acqua a regime torrentizio ad andamento SO-NE e decorso parallelo che scorrono in valli ampie. I corsi d'acqua della zona di interesse, partendo da Nord rinveniamo il **canale Stella** tributario del torrente Vulgano, il **Torrente Vulgano**, il **Torrente Laccio** tributario del torrente Celone ed il **Torrente Celone**, presentano tutti un deflusso occasionale, infatti le portate hanno un valore significativo in seguito a precipitazioni copiose.







*Opere in progetto ed eventuali interferenze con il reticolo idrografico come da igm 1:25.000 – Area Impianto*



*Opere in progetto ed eventuali interferenze con il reticolo idrografico come da igm 1:25.000 – Area Aerogeneratori*





*Opere in progetto ed eventuali interferenze con il reticolo idrografico come da igm 1:25.000 – Area SSE e cavidotto di collegamento*

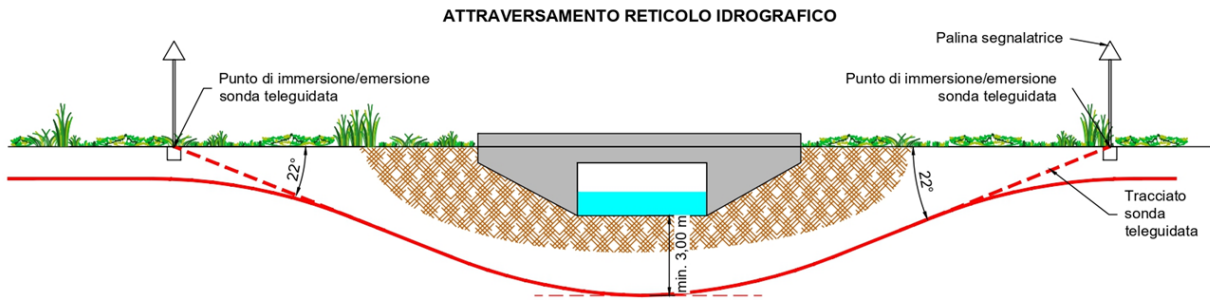
Le interferenze riscontrate riguardano il percorso del cavidotto interrato di collegamento alla sottostazione. Per la risoluzione di tali interferenze si rimanda al paragrafo successivo.

Nell'area oggetto di studio è possibile intercettare a varie profondità falde freatiche di notevole consistenza. Nel dettaglio è stata riscontrata una falda ad una profondità pari a -1.50 metri dal piano campagna così come individuato nella modellazione geologica-geotecnica.

## **11.2. MODALITÀ DI ATTRAVERSAMENTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO**

Per quanto riguarda le interferenze dei cavidotti di progetto con il reticolo idrografico, queste saranno risolte mediante la posa in opera dei cavidotti utilizzando la tecnologia no-dig (senza scavo) ovvero mediante TOC – Trivellazione orizzontale controllata.



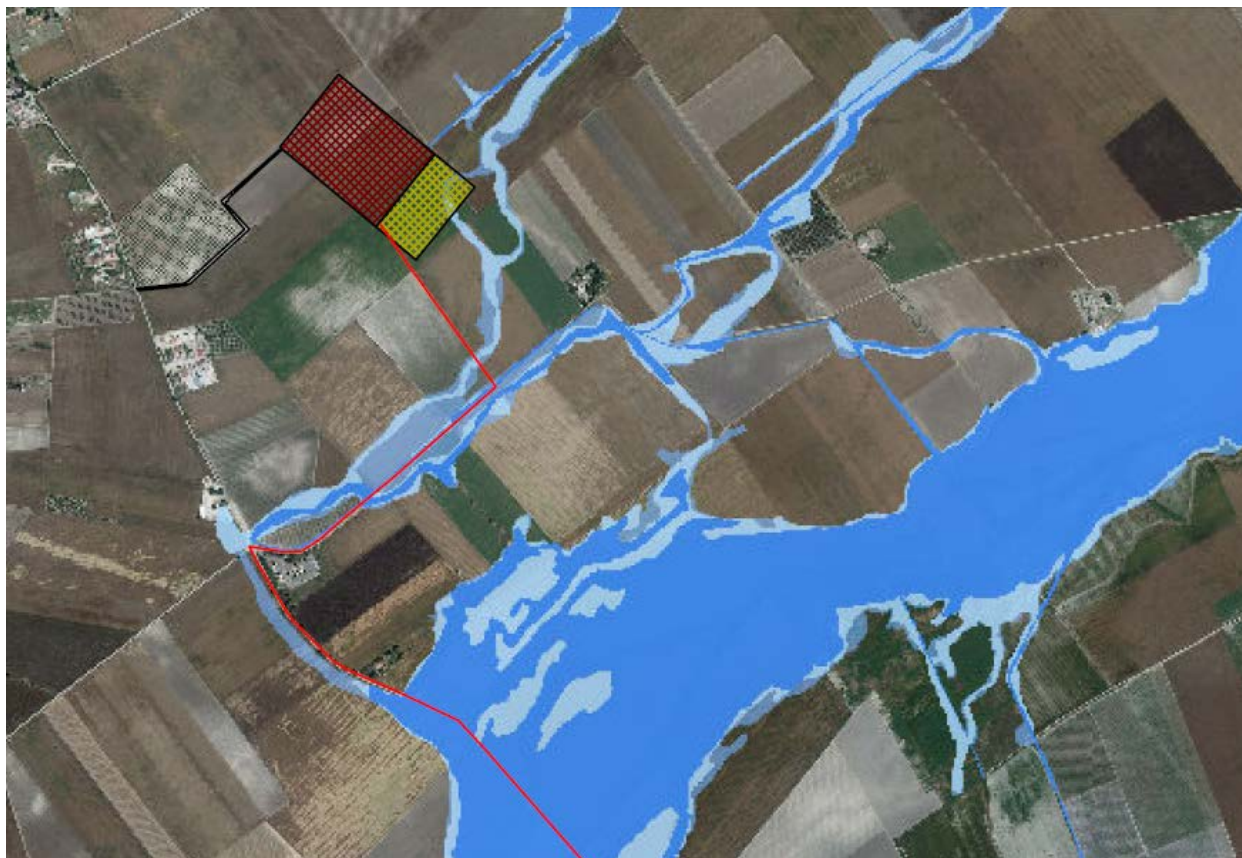


### 11.3. VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) – PERICOLOSITÀ IDRAULICA



*Inquadramento impianto con classificazione PAI Pericolosità Idraulica Area Aerogeneratori*





*Inquadramento impianto con classificazione PAI Pericolosità idraulica Area SSE*

Come si evince dagli allegati stralci planimetrici le fondazioni degli Aerogeneratori sono tutte fuori dalle aree a pericolosità idraulica, ad ogni buon fine sarà trattata con maggiori dettagli nella **verifica idraulica**.

La realizzazione dei 5 Aerogeneratori ivi compresi strade di accesso, piazzole e cavidotto, con i dovuti accorgimenti tecnici che consentiranno di mantenere intatto il sistema drenante della zona e renderanno le opere in progetto perfettamente compatibili con il sistema idrogeologico della zona.

Si attesta la **PIENA COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA** delle opere in progetto con il reticolo idrografico e con il sistema idrogeologico locale e con l'intero bacino idrogeologico.

#### **11.4. VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDROGEOMORFOLOGICO (PAI) – PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA**

Si riporta di seguito un'immagine rappresentativa





*Inquadramento PAI – PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA*

L'inquadramento del caso studio con il **PAI** aggiornato al 19/11/2019 definisce che:

- I 5 aerogeneratori non risultano insistere su aree vincolate dal punto di vista della pericolosità geomorfologica.
- La Sottostazione Elettrica (LATO UTENTE) non risulta insistere su area vincolata dal punto di vista della pericolosità geomorfologica,
- Una Piccola parte del cavidotto lato nordorientale risulta insistere su una area classificata come **PG1**
- Le strade di accesso non risultano insistere su aree vincolate dal punto di vista della pericolosità geomorfologica.

Si illustrano qui di seguito i modelli geologico-geotecnici.



## MODELLAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA

### AREA AEROGENERATORI

<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 1-1.5% verso Est-Nordest		
<b>CARATTERI STRUTTURALI:</b>	Argille Subappennine (ASP) Argille siltose e silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, a luoghi con intercalazioni sabbiose I caratteri di faoies sono indicativi di ambienti di piattaforma, le argille subappenniniche sono ricoperte da una coltre di terreni alluvionali di natura sabbioso-limosi		
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b>	ZONA 2 (Sismicit� 0.15*PGA< 0.25 g) Codice Istat 17076073		
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza		
<b>Coefficiente Topografico - CATEGORIA TOPOGRAFICA</b>	$V_{s(30)} = 401-406 \text{ m/s}$ ; $\delta t = 1 - T1$		
<b>TIPO DI FONDAZIONE</b>	Fondazione su pali della lunghezza di 26 metri diametro 1200 mm		
p. 1/1			
<b>CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE</b>			
<b>1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 0,00 a 3,00 metri</b> Terreno di alterazione superficiale Falda a -1.50 metri p.c.	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unit� di volume	Y = 1.80 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unit� di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 1.85 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	$\phi'$ = 16.00 °
		Coesione drenata	c' = 5.00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 30.00 KPa
		SPT m 1,60 (10-22-35),	N <sub>med</sub> = 5 -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 3.00 MPa
		OCR	= -
		Velocit� onde S	V = 343 m/s
		Modulo di Taglio	G = 220 MPa
		Coefficiente di Poisson	$\nu$ = 0.48 -
		Coefficiente di Winkler	K = 1.8 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>r</sub> = 1.2 Kg/cm <sup>3</sup>
	Coefficiente di rigidit� verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 1.3 Kg/cm <sup>3</sup>	
<b>2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 3,00 a 7,00 metri</b> Sabbie fini argilose	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unit� di volume	Y = 1.95 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unit� di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 2.01 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	$\phi'$ = 33.00 °
		Coesione drenata	c' = KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = KPa
		SPT	N <sub>med</sub> = -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 12.00 MPa
		OCR	= -
		Velocit� onde S	V = 357 m/s
		Modulo di Taglio	G = 241 MPa
		Coefficiente di Poisson	$\nu$ = 0.48 -
		Coefficiente di Winkler	K = 9.0 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>r</sub> = 6.8 Kg/cm <sup>3</sup>
	Coefficiente di rigidit� verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 8.3 Kg/cm <sup>3</sup>	
<b>3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 7,00 a 30,00 metri</b> Limo argilloso di colore grigio giallastro	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unit� di volume	Y = 20.40 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unit� di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 21.30 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	$\phi'$ = 26.00 °
		Coesione drenata	c' = 15.00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 150.00 KPa
		SPT	N <sub>med</sub> = -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 10.00 MPa
		OCR	= -
		Velocit� onde S	V = 516 m/s
		Modulo di Taglio	G = - MPa
		Coefficiente di Poisson	$\nu$ = 0.46 -
		Coefficiente di Winkler	K = 8.5 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>r</sub> = 6.2 Kg/cm <sup>3</sup>
	Coefficiente di rigidit� verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 5.1 Kg/cm <sup>3</sup>	



## MODELLAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA

### AREA SOTTOSTAZIONE DI TRASFORMAZIONE ELETTRICA

<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 1-1.5% verso Est-Nordest		
<b>CARATTERI STRUTTURALI:</b>	Argille Subappennine (ASP) Argille siltose e silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, a luoghi con intercalazioni sabbiose I caratteri di falesie sono indicativi di ambienti di piattaforma, le argille subappenniniche sono ricoperte da una coltre di terreni alluvionali di natura sabbioso-limosi		
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b>	ZONA 2 (Sismicità 0.15<PGA< 0.25 g) Codice Istat 17076073		
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza		
<b>Coefficiente Topografico - CATEGORIA TOPOGRAFICA</b>	Vs(30) = 332 m/s ; St = 1 - T1		
<b>TIPO DI FONDAZIONE</b>	Fondazione Superficiale con piano di sedime a - 1.60 metri p.o.		
p. 1/1			
<b>CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE</b>			
<b>1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 0,00 a 4,00 metri</b> Terreno di alterazione superficiale Falda a -3.00 metri p.c.	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 1.78 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Ysat = 1.80 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 16.00 °
		Coesione drenata	c' = 5.00 KPa
		Coesione non drenata	Cu = 30.00 KPa
		SPT m 1,60 (10-22-35)	Nmed = 5 -
		Modulo Edometrico	Eed = 3.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 294 m/s
		Modulo di Taglio	G = 161 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.48 -
		Coefficiente di Winkler	K = 1.5 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	Kr = 1.1 Kg/cm <sup>3</sup>
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd = 1.2 Kg/cm <sup>3</sup>		
<b>2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 4,00 a 9,00 metri</b> Sabbie fini argillose	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 1.90 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Ysat = 1.99 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 26.00 °
		Coesione drenata	c' = 0.20 KPa
		Coesione non drenata	Cu = - KPa
		SPT	Nmed = -
		Modulo Edometrico	Eed = 6.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 343 m/s
		Modulo di Taglio	G = 221 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.48 -
		Coefficiente di Winkler	K = 5.0 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	Kr = 3.8 Kg/cm <sup>3</sup>
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd = 4.2 Kg/cm <sup>3</sup>		
<b>3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 11,00 a 30,00 metri</b> Limo argilloso di colore grigio giallastro	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 20.50 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Ysat = 21.60 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 24.00 °
		Coesione drenata	c' = 20.00 KPa
		Coesione non drenata	Cu = 150.00 KPa
		SPT	Nmed = -
		Modulo Edometrico	Eed = 8.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 407 m/s
		Modulo di Taglio	G = - MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.47 -
		Coefficiente di Winkler	K = 8.0 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	Kr = 6.0 Kg/cm <sup>3</sup>
Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	Kd = 4.9 Kg/cm <sup>3</sup>		



## 12 CONCLUSIONI

Nel seguito vengono illustrate nel dettaglio le opere progettuali

### FONDAZIONI AEROGENERATORI

Fondazioni del tipo Plinto su pali della lunghezza di metri 25 e diametro 1200 mm come dai seguenti modelli geologico-geotecnici ↓.

### CAVIDOTTO

Il tracciato in progetto impegna terreni che presentano problematiche diverse dal punto di vista geologico. Esso si sviluppa in terreni dove è possibile la presenza di una falda superficiale anche al disopra dei 2 metri dal piano campagna. Durante le operazioni di scavo per la posa in opera dei cavi elettrici, gli addetti ai lavori dovranno procedere sempre con cautela in quanto trattasi di terreni incoerenti che potrebbero dar luogo a smottamenti e rifluimenti e mettere in pericolo l'incolumità degli stessi.

La posa in opera dei cavi sarà effettuata sul fondo dello scavo, ad una profondità di -1.50 metri p.c., spianato e livellato, eliminando ogni asperità che possa danneggiare cavi e rivestimenti.

Per il letto di posa del primo rinterro si dovrà utilizzare materiale diverso da quello proveniente dallo scavo. Il piano di posa dovrà garantire una assoluta continuità di appoggio e, nei tratti in cui si temono assestamenti, si dovranno adottare particolari provvedimenti quali impiego di giunti adeguati, trattamenti speciali del fondo della trincea o, se occorre, appoggi discontinui stabili, quali selle o mensole.

Il rinterro parziale verrà effettuato con materiale proveniente dagli scavi previa accurata selezione o diversamente da cave di prestito con opportuna pezzatura al fine di non danneggiare sia i cavi che gli eventuali rivestimenti.

Il materiale di riempimento dovrà essere disposto nella trincea in modo uniforme, in strati di spessore opportuno, accuratamente costipato sotto e lateralmente al tubo, per ottenere un buon appoggio esente da vuoti e per impedire i cedimenti e gli spostamenti laterali.

Il rinterro definitivo avverrà impiegando materiali idonei disposti per strati successivi, spianati e accuratamente compattati dopo aver eliminato le pietre di maggiori dimensioni.

A rinterro ultimato si avrà cura di effettuare gli opportuni ricarichi laddove si dovessero manifestare assestamenti.

La **conducibilità elettrica** di questi terreni nei loro primi metri di spessore è dell'ordine di circa 150-200  $\Omega m \dot{A}$

### FONDAZIONI SOTTOSTAZIONE MT/AT

Le fondazioni saranno del tipo platea armata, ubicate ad una profondità di m 1,60 p.c

Da quanto innanzi esposto si possono trarre le seguenti considerazioni e le verifiche ai singoli aspetti esaminati.

### LITOLOGIA

Sotto il profilo litologico, la zona non appare interessata da anomalie che possano interrompere il quadro statico globale.





Per quanto riguarda le prescrizioni relativi ai terreni di fondazione si fa esplicito riferimento alle “Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno” e dalle disposizioni vigenti, in particolare dal D.M. 11.3.1988 ed eventuali sue successive modifiche e integrazioni. **e D.M. 17/01/2018.**

### **MORFOLOGIA e RISCHIO IDROGEOLOGICO**

Non si rilevano fenomeni suscettibili di modificare in tempi brevi la situazione attuale, l'area in studio, ricade in zona stabile; non esistono movimenti franosi in atto e/o potenziali, nè pericoli di alluvioni e/o impaludamenti

In relazione agli aspetti geomorfologici relativi a possibili dissesti superficiali e profondi, non si evidenziano situazioni che possano modificare l'attuale stato di equilibrio dei luoghi ed è possibile affermare che l'area si presenta **globalmente stabile;**

- che le opere di che trattasi non determinano turbativa all'assetto idrogeologico del suolo

Dal punto di vista idrogeologico non sussistono fenomeni e processi morfoevolutivi di tipo erosivo in atto né potenziali.

- Le opere previste in progetto, non interferiscono in modo sostanziale con il regime delle acque superficiali, di infiltrazione o di falda, e quindi non determinano turbativa all'assetto idrogeologico del suolo;
- Tutti i lavori di cui sopra, dovranno svolgersi nel rispetto delle indicazioni della presente relazione, ed in tale ottica si esprime parere favorevole alla fattibilità degli interventi progettati, attestando la coerenza e compatibilità geologica, idrogeomorfologica, geotecnica e sismica.

Nella fase di **Studio Geologico esecutivo** si eseguiranno dettagliate indagini geognostiche con la esecuzione di indagini sismiche (tomografie e Masw) una per ogni aerogeneratore e di n. 14 sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo spinti fino a 35 metri, con prelievo di campioni indisturbati e prove geotecniche di laboratorio per tutti gli aerogeneratori, mentre per la SSE saranno sufficienti n. 2 Sondaggi meccanici a rotazione spinti fino alla profondità di metri 15 con prelievo di campioni indisturbati e prove geotecniche di laboratorio, una tomografia sismica ed una MASW

Si può pertanto concludere che non esistono **preclusioni di ordine geologico-tecnico-idrogeologico e sismico** alla realizzazione del Parco Eolico costituito da n. 7 aerogeneratori ed opere connesse.

Tanto dovevasi per l'espletamento dell'incarico ricevuto

Lucera giugno 2023

Il geologo  
dott. Matteo Di Carlo



### **13 ELENCO ALLEGATI**

- MODELLAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA
- INDAGINI GEOFISICHE
- INQUADRAMENTO GEOLOGICO
- INQUARAMENTO PAI – PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA
- INQUARAMENTO PAI – PERICOLOSITÀ IDRAULICA
- INQUARAMENTO PAI – RETICOLO IDROGRAFICO



# Modellazione geologica-geotecnica Aerogeneratori FG01-FG02-FG03-FG04 e FG05

<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 1-1.5% verso Est-Nordest
<b>CARATTERI STRUTTURALI:</b>	<b>Argille Subappennine (ASP)</b> Argille siltose e silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, a luoghi con intercalazioni sabbiose I caratteri di <b>facies</b> sono indicativi di ambienti di piattaforma, le argille subappenniniche sono ricoperte da una coltre di terreni alluvionali di natura sabbioso-limosi
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b>	<b>ZONA 2</b> (Sismicità 0.15<PGA<0.25 g) Codice Istat 17076073
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	<b>CATEGORIA "C"</b> Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza <b>V<sub>s(30)</sub> = 401-406 m/s ;</b> <b>St = 1 - T1</b>
<b>Coefficiente Topografico - CATEGORIA TOPOGRAFICA</b>	
<b>TIPO DI FONDAZIONE</b>	Fondazione su pali della lunghezza di 25 metri diametro 1200 mm

p. 1/1

## CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO			
<b>LITOLOGIA da 0,00 a 3,00 metri</b> Terreno di alterazione superficiale Falda a -1.50 metri p.c.	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y = 1.80 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 1.85 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 16.00 °
		Coesione drenata	c' = 5.00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 30.00 KPa
		SPT m 1,60 (10-22-35),	N <sub>med</sub> = 5 -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 3.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 343 m/s
		Modulo di Taglio	G = 220 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.48 -
		Coefficiente di Winkler	K = 1.8 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub> = 1.2 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 1.3 Kg/cm <sup>3</sup>
2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO			
<b>LITOLOGIA da 3,00 a 7,00 metri</b> Sabbie fini argillose	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y = 1.95 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 2.01 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 33.00 °
		Coesione drenata	c' = KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = KPa
		SPT	N <sub>med</sub> = -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 12.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 357 m/s
		Modulo di Taglio	G = 241 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.48 -
		Coefficiente di Winkler	K = 9.0 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub> = 6.8 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 8.3 Kg/cm <sup>3</sup>
3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO			
<b>LITOLOGIA da 7,00 a 30,00 metri</b> Limo argilloso di colore grigio giallastro	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y = 20.40 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 21.30 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 26.00 °
		Coesione drenata	c' = 15.00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 150.00 KPa
		SPT	N <sub>med</sub> = -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 10.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 516 m/s
		Modulo di Taglio	G = - MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.46 -
		Coefficiente di Winkler	K = 8.5 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub> = 6.2 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 5.1 Kg/cm <sup>3</sup>

# Modellazione geologica-geotecnica SSE

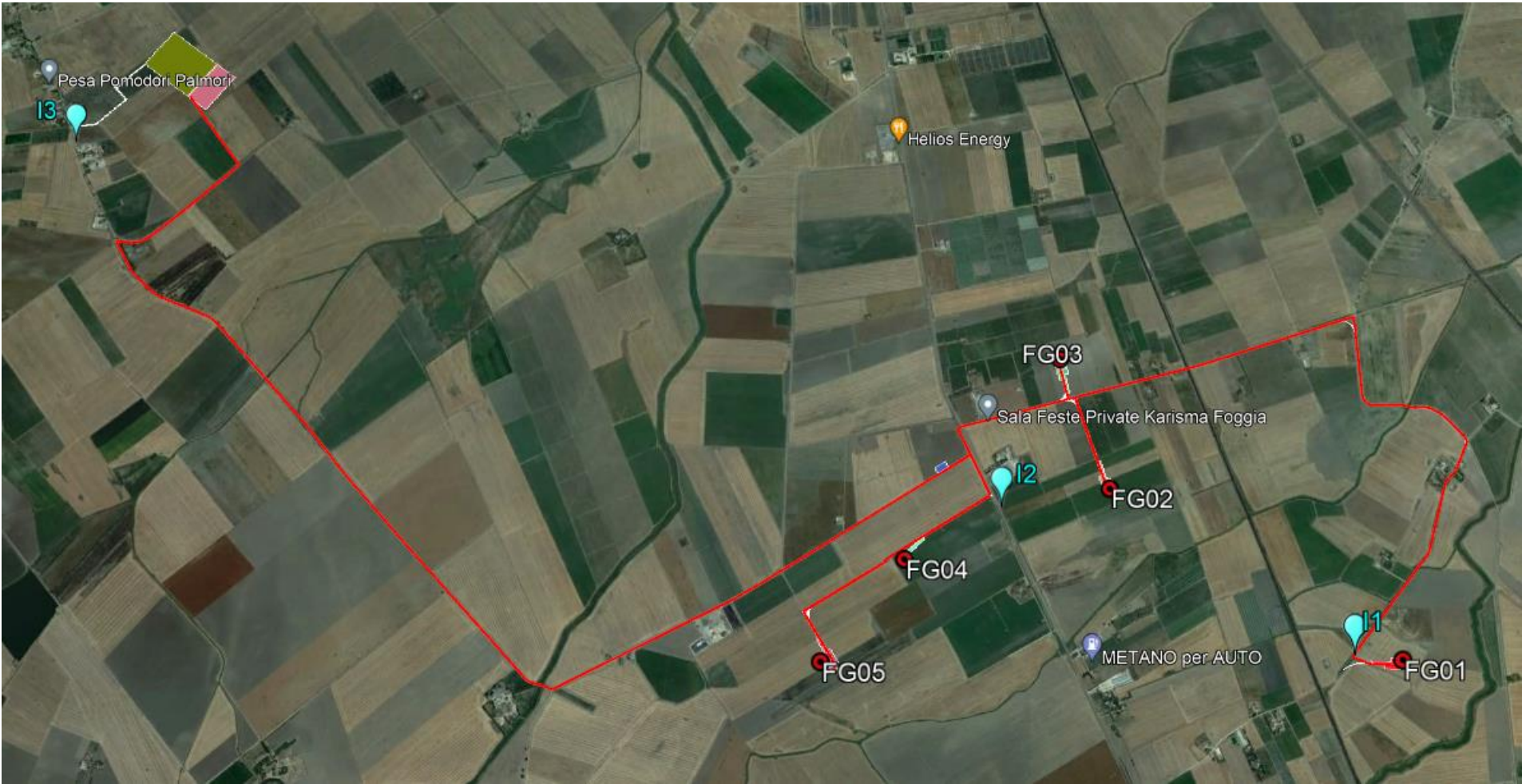
<b>CONDIZIONE DI STABILITA':</b>	Area con pendenza media del 1-1.5% verso Est-Nordest
<b>CARATTERI STRUTTURALI:</b>	<b>Argille Subappennine (ASP)</b> Argille siltose e silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, a luoghi con intercalazioni sabbiose I caratteri di <b>facies</b> sono indicativi di ambienti di piattaforma, le argille subappenniniche sono ricoperte da una coltre di terreni alluvionali di natura sabbioso-limosi
<b>COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA</b>	<b>ZONA 2</b> (Sismicità 0.15<PGA<0.25 g) Codice Istat 17076073
<b>CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE</b>	<b>CATEGORIA "C"</b> Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza <b>V<sub>s(30)</sub> = 332 m/s</b> ; <b>St = 1 - T1</b>
<b>Coefficiente Topografico - CATEGORIA TOPOGRAFICA</b>	
<b>TIPO DI FONDAZIONE</b>	<b>Fondazione Superficiale con piano di sedime a - 1.50 metri p.c.</b>

p. 1/1

## CARATTERISTICHE LITOLOGICHE GEOTECNICHE AL DI SOTTO DELLA COPERTURA SUPERFICIALE

1° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL PRIMO LIVELLO			
<b>LITOLOGIA da 0,00 a 4,00 metri</b> Terreno di alterazione superficiale Falda a -3.00 metri p.c.	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 1.75 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 1.80 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 16.00 °
		Coesione drenata	c' = 5.00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 30.00 KPa
		SPT m 1,60 (10-22-35),	N <sub>med</sub> = 5 -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 3.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 294 m/s
		Modulo di Taglio	G = 161 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.48 -
		Coefficiente di Winkler	K = 1.5 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub> = 1.1 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 1.2 Kg/cm <sup>3</sup>
2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO			
<b>LITOLOGIA da 4,00 a 9,00 metri</b> Sabbie fini argillose	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 1.90 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 1.99 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 26.00 °
		Coesione drenata	c' = 0.20 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = - KPa
		SPT	N <sub>med</sub> = -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 6.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 343 m/s
		Modulo di Taglio	G = 221 MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.48 -
		Coefficiente di Winkler	K = 5.0 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub> = 3.8 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 4.2 Kg/cm <sup>3</sup>
3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO			
<b>LITOLOGIA da 11,00 a 30,00 metri</b> Limo argilloso di colore grigio giallastro	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 20.50 KN/m <sup>3</sup>
		Peso dell'unità di volume Saturo	Y <sub>sat</sub> = 21.60 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito	φ' = 24.00 °
		Coesione drenata	c' = 20.00 KPa
		Coesione non drenata	C <sub>u</sub> = 150.00 KPa
		SPT	N <sub>med</sub> = -
		Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub> = 8.00 MPa
		OCR	= -
		Velocità onde S	V = 407 m/s
		Modulo di Taglio	G = - MPa
		Coefficiente di Poisson	ν = 0.47 -
		Coefficiente di Winkler	K = 8.0 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	K <sub>τ</sub> = 6.0 Kg/cm <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidezza verticale dinamico	K <sub>d</sub> = 4.9 Kg/cm <sup>3</sup>

# UBICAZIONE TOMOGRAFIE SISMICHE



## **TOMOGRAFIA PRSE - 676**

### **LA SISMICA A RIFRAZIONE**

Come noto, la sismica a rifrazione utilizza le onde acustiche nei corpi solidi, ricorrendo per l'energizzazione ad un martello percussore, una massa battente oppure una piccola carica esplosiva.

Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo a differente velocità a seconda dei litotipi attraversati e subiscono lungo le superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione. Le superfici di confine degli strati geologici, caratterizzati da una differenza di velocità tra lo strato superiore ( $V_1$ ) e lo strato ad esso sottostante ( $V_2$ ), producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità ( $V_1 < V_2$ ). Un altro requisito indispensabile per il buon funzionamento di questa metodologia è che gli strati posseggano uno spessore sufficiente per essere rilevati; in caso contrario occorre aumentare il numero di geofoni e diminuirne la spaziatura.

L'energia rifratta che ritorna alla superficie viene misurata utilizzando dei geofoni.

Attraverso lo studio dei tempi di percorso e quindi delle velocità si può risalire alla disposizione geometrica ed alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nella zona di indagine. È buona norma commisurare l'intensità dell'energizzazione alla lunghezza dello stendimento e, quando possibile utilizzare le opzioni di controllo automatico del guadagno. Diversamente i primi arrivi potrebbero essere difficili da riconoscere sia per l'eccessiva debolezza del segnale (geofoni lontani dal punto di scoppio) sia per la possibile saturazione dei geofoni più vicini.

### **IL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE ONDE P**

Le onde P sono anche chiamate Onde "Primarie" in quanto si propagano nel mezzo attraversato con maggiore velocità rispetto alle altre onde. Nelle onde P, le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello stesso senso di propagazione dell'onda, in questo caso, in senso radiale. Quindi, il materiale si estende e si comprime con il propagarsi dell'onda.

Le onde P viaggiano attraverso il terreno in modo analogo a quello delle onde sonore attraverso l'aria e la velocità con la quale si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno. Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma".

I fronti d'onda possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. Il principio di Huygens, basilare nello studio di qualsiasi perturbazione ondosa, stabilisce però che "in ogni istante, qualsiasi punto di un fronte d'onda di forma qualsiasi può essere considerato come sorgente puntiforme d'onde circolari (oppure sferiche se la perturbazione è in tre dimensioni)".

La propagazione di onde può quindi essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che interferendo fra loro danno luogo a un'onda risultante osservabile macroscopicamente.

Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica.

Per l'analisi dei dati ottenuti tramite la sismica a rifrazione, è usuale considerare sia le immagini delle onde sismiche sia i percorsi dei raggi sismici. Questi ultimi possono sostituire i fronti d'onda con buona approssimazione, permettendo di trattare soltanto i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio quali ampiezza, frequenza e fase. Quando un raggio incontra un'eterogeneità sul percorso, per esempio un contatto litologico con un altro materiale, il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di contatto tra i due materiali sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come "leggi di SNELL".

Le leggi di Snell affermano che il raggio incidente, riflesso e rifratto giacciono sullo stesso piano; inoltre valgono le seguenti relazioni tra gli angoli:

## TOMOGRAFIA

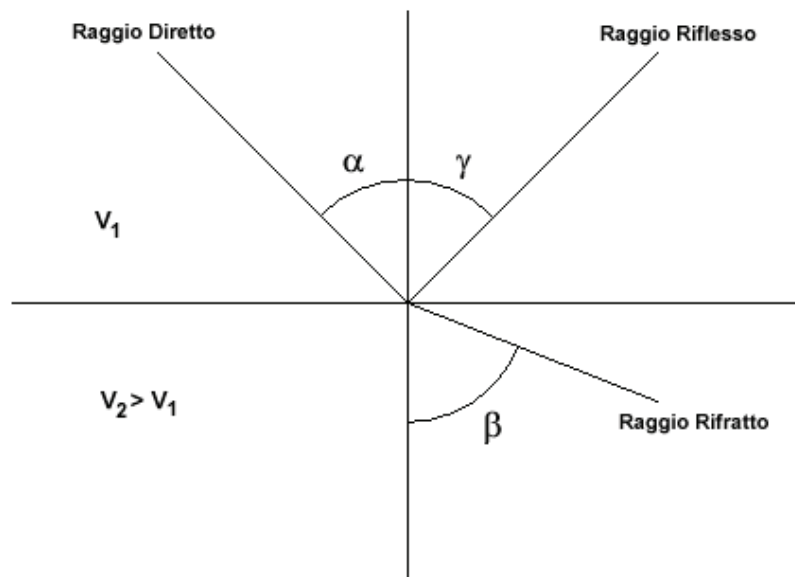
### PRSE - 676

per la riflessione:  $\alpha = \gamma$

per la rifrazione:  $V_1 \cdot \sin \alpha = V_2 \cdot \sin \beta$

Esiste un particolare valore dell'angolo di incidenza, chiamato "angolo critico" o "angolo limite" ( $i_c$ ) particolarmente significativo per la sismologia di rifrazione. Si definisce infatti angolo critico l'angolo d'incidenza che rende  $\beta=90^\circ$ .

Se l'angolo di incidenza è uguale a  $90^\circ$  l'onda rifratta, secondo la teoria di Huygen, si propaga lungo il contorno dello strato e funge da fonte per un nuovo fronte d'onda secondario e per nuovi raggi. I percorsi dei raggi sismici escono con un angolo pari all'angolo critico. E' possibile determinare l'angolo critico calcolando l'inverso del seno del valore della velocità del primo strato/velocità del secondo strato. Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, il fenomeno della rifrazione scompare e si ha riflessione totale senza propagazione dell'onda nel secondo strato.



## APPLICAZIONI

Le indagini di sismica a rifrazione vengono normalmente impiegate per le seguenti problematiche:

- Mappatura delle zone formate da materiale disgregato
- Ricerca della profondità della falda freatica
- Determinazione della resistenza allo scavo
- Mappatura della permeabilità di strati ghiaiosi
- Mappatura degli strati composti da materiale sciolto
- Localizzazione delle zone di frattura
- Mappatura del substrato roccioso

## **TOMOGRAFIA PRSE - 676**

### **PROBLEMI E LIMITAZIONI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE**

- Le velocità sismiche dei terreni interessati dall'indagine devono crescere con la profondità
- Gli strati debbono possedere uno spessore sufficiente per essere rilevati
- Rilievi eseguiti su terreni di riporto o in aree adibite a discariche e in presenza di forte rumore antropico conducono spesso a risultati non affidabili
- Fratture singole e strette spesso non possono essere identificate.

### **INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI**

Gli strumenti capaci di registrare movimenti nel terreno sono detti sismometri o geofoni. Essi saranno necessariamente posti sulla superficie del terreno.

Solitamente, si hanno sismogrammi di diversi geofoni, posti a diversa distanza dalla sorgente: questi possono essere stampati in funzione del tempo e della distanza, in quelle che vengono definite "registrazioni di scoppio" (shot records), la variazione Tempo/Distanza è detta "scostamento" (moveout). Arrivi con ampio scostamento sono fortemente inclinati nella registrazione di scoppio e viceversa; dalle registrazioni di scoppio è quindi possibile distinguere l'arrivo delle diverse onde sismiche (dirette, riflesse, rifratte).

A piccole distanze (offset) il primo arrivo è delle onde dirette: questo arrivo ha grande ampiezza e lo scostamento è costante a tutte le distanze. A maggiori distanze il primo arrivo comincia ad essere quello dell'onda rifratta. Questo arrivo è caratterizzato da piccola ampiezza d'onda e da scostamento costante ma minore di quello dell'onda diretta. L'ultimo arrivo ad ogni geofono è quello dell'onda riflessa: il suo scostamento tende ad aumentare con la distanza secondo una funzione iperbolica.

Il diagramma che rappresenta i tempi di propagazione delle onde sismiche in funzione della distanza del punto di emissione si definisce "curva di propagazione" o "dromocrona" ("travel time curve"). Definirne l'andamento è compito primario nell'interpretazione della sismica a rifrazione.

Ciò che essenzialmente conta, per il metodo a rifrazione, è identificare il tempo di arrivo della prima onda in ogni geofono ("first break picking"). Questa distinzione non è sempre agevole.

I due segmenti relativi all'arrivo delle onde dirette, prima, e delle rifratte frontali poi, non sono sempre facilmente distinguibili. Il punto di ginocchio, il punto cioè a partire dal quale si verifica la variazione di inclinazione, è detto distanza critica ("cross-over distance"). È quindi importante osservare che la scelta dei primi arrivi deve essere considerata già come parte dell'interpretazione dei dati più che della raccolta; l'operatore dovrà perciò aver cura di verificare direttamente sul sito che il rapporto segnale/rumore sia accettabile, ed eventualmente ripetere l'acquisizione.

### **METODI DI INTERPRETAZIONE**

I metodi di interpretazione per la sismica a rifrazione possono essere raggruppati in tre classi principali:

- (1) Metodi dei Tempi di intercetta (ITM - Intercept-Time Methods)
- (2) Metodi dei Tempi di ritardo o Reciproci (DTM - Delay Time Method)
- (3) Metodi di Ray tracing

Il livello di calcoli richiesto è progressivamente maggiore da metodo a metodo. I metodi ITM richiedono essenzialmente una calcolatrice. I metodi DTM variano dalla versione più semplice a quella generalizzata, e richiedono l'uso di un personal computer. I metodi basati sul Ray Tracing richiedono risorse di calcolo decisamente più elevate e non saranno presi in esame in questo contesto.

I metodi ITM - Time-Intercept Methods.

La dromocrona, o curva distanza-tempo, nel caso di un rilevamento sismico per rifrazione è espressa su un grafico dall'equazione di una retta.

In presenza di stratificazioni piane ed orizzontali l'inclinazione delle rette dei primi arrivi è uguale al reciproco della velocità di propagazione nel mezzo 1 ( $V_1$ ) o nella discontinuità o secondo mezzo ( $V_2$ ). Dai diagrammi di queste rette possiamo determinare lo spessore dello strato superiore.



## TOMOGRAFIA

### PRSE - 676

In base alla potenza dello strato superiore, infatti, si avrà una retta con uguale inclinazione (essendo questa legata solo alle velocità) ma con un punto di ginocchio diversamente posizionato: più è potente lo strato superiore, maggiore sarà il tempo impiegato dall'onda frontale rifratta per generarsi e tornare in superficie, dunque varierà la distanza di ricezione delle onde dirette e delle rifratte frontali. Lo spessore può essere calcolato considerando l'ascissa del punto di ginocchio ( $X_c$ ) oppure considerando il tempo di intercetta  $t_0$  cioè il valore del tempo di arrivo dell'onda rifratta a distanza 0, ottenuto proiettando sull'asse dei tempi la retta relativa alla velocità di propagazione nel secondo mezzo.

$$h = \frac{x_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

$$h = \frac{t_0}{2} \frac{V_2 V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

Caso di un singolo strato non orizzontale

Prendendo in considerazione la pendenza dello strato i calcoli si complicano:

- le velocità osservate per il secondo strato risultano essere velocità apparenti, che variano significativamente con la pendenza (maggiore alla velocità reale in direzione up-dip e minore in direzione down-dip);
- le profondità determinate mediante i tempi di intercetta sono le profondità inclinate e non le profondità reali sotto il punto di scoppio;
- sono richiesti stendimenti coniugati, in quanto i sismogrammi ottenuti in un'unica direzione forniscono unicamente una velocità apparente per il secondo strato.

Le equazioni per il calcolo delle profondità inclinate sono le seguenti:

$$\text{Profondità}_{(\text{down-dip})} = \frac{V_1 \cdot t_{i(\text{down-dip})}}{2 \cos \alpha}$$

$$\text{Profondità}_{(\text{up-dip})} = \frac{V_1 \cdot t_{i(\text{up-dip})}}{2 \cos \alpha}$$

Dove:

Profondità (down-dip) = il rifrattore immerge dal punto di sparo verso i geofoni

Profondità (up-dip) = il rifrattore risale verso il punto di sparo

$V_1$  = velocità del terreno

$t_i$  (up-dip) = tempo di intercetta up-dip

$t_i$  (down-dip) = tempo di intercetta down-dip

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2}$$

Un' approssimazione utile per  $V_2$  (che non può essere misurato direttamente dalla curva dei tempi di percorso) è data dalla seguente equazione:

$$V_2 = \frac{2 \cdot V_{2(\text{up-dip})} \cdot V_{2(\text{down-dip})}}{V_{2(\text{up-dip})} + V_{2(\text{down-dip})}} \cos \delta$$

## TOMOGRAFIA PRSE - 676

Dove:

V2 = velocità approssimata dello strato sottostante

V2(up-dip) = velocità apparente dello strato sottostante misurata up-dip

V2(down-dip) = velocità apparente dello strato sottostante misurata down-dip

J = valore stimato della pendenza

Il valore dell'angolo d è calcolabile utilizzando la seguente formula:

$$\delta = \frac{\sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_{2(\text{down-dip})}}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_{2(\text{up-dip})}}\right)}{2}$$

Poiché il coseno dell'angolo d è approssimativamente 1.0, è necessario che le pendenze siano basse.

E' necessario sottolineare che il presupposto primario nell' uso dei metodi ITM è che la geometria della superficie di contatto sia piana. Questo presupposto permette di usare le informazioni derivate dalle osservazioni (arrivi) oltre la distanza del punto di ginocchio per derivare una profondità che è determinata nell'intorno del punto di energizzazione.

Tuttavia, questi metodi sono utili per una valutazione di massima delle profondità e per eseguire un semplice controllo dei risultati ottenuti con tecniche di interpretazione più sofisticate.

Caso di terreno multistrato

Il caso di terreni multistrato non comporta particolari variazioni. I principi di calcolo rimangono gli stessi, con la sovrapposizione (arrivi da entrambe le direzioni) per tutti gli strati necessari. Per gli strati orizzontali possono essere utilizzate le seguenti equazioni:

$$h_2 = \frac{t_{i3} V_2 V_3}{2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} - h_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \sqrt{\frac{V_3^2 - V_1^2}{V_3^2 - V_2^2}}$$

Lo spessore h1 del primo strato è determinata usando il caso di un terreno con due strati ed il tempo di intercetta ti2 del secondo segmento di linea o la distanza critica Xc2 determinata dai primi due segmenti di linea. Questo spessore è usato nel calcolo dello spessore dello strato seguente h2.

In termini di distanza critica l'equazione può essere così riscritta:

$$h_2 = \frac{X_{c3}}{2} \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}} + \frac{h_1}{V_1} \left( \frac{V_3 \sqrt{V_2^2 - V_1^2} - V_2 \sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} \right)$$

Il calcolo può essere esteso agli strati più profondi usando estensioni di queste equazioni generali. Poiché le equazioni in questa forma contengono gli spessori degli strati meno profondi, il calcolo comincia con il primo strato e progredisce verso il basso. Si noti che queste equazioni non comprendono la pendenza.

Le equazioni per gli strati piani inclinati sono utilizzate nel metodo GRM (Palmer - 1980).

Metodi del Reciproco (Reciprocal methods)

I metodi reciproci includono più di 20 metodi di interpretazione, compresi i metodi basati sui tempi di ritardo, i quali possono o non possono richiedere la misura di un tempo reciproco.

Il tempo reciproco è il tempo di corsa lungo il rifrattore da una sorgente di energizzazione ad un'altra.

Esistono diverse versioni di questi metodi che si differenziano per alcuni fattori di correzione. In generale si ipotizza una superficie di contatto non eccessivamente inclinata ed una velocità del rifrattore costante.

Conoscendo il tempo di percorso dalla sorgente di energizzazione S ad un certo geofono G ed il tempo di percorso

## TOMOGRAFIA

### PRSE - 676

coniugato dalla sorgente S' al medesimo geofono G ed il tempo di percorso dalla sorgente di energizzazione S ad un certo geofono G1 (possibilmente distante dal primo) ed il tempo di percorso coniugato dalla sorgente S' al medesimo geofono G1 è possibile calcolare la velocità V2 del rifrattore utilizzando la seguente formulazione:

$$V_2 = \frac{2|\Delta x|}{|\Delta t| + |\Delta t'|}$$

Dove:

$\Delta x$  = distanza in superficie compresa tra il geofono G ed il geofono G1

$\Delta t$  = differenza dei tempi di percorso diretti

$\Delta t'$  = differenza dei tempi di percorso coniugato

Il tempo t di percorso diretto per il geofono G può essere espresso dalla seguente formulazione:

$$t = \frac{h_g + h_s}{V_1} \cos i_c + \frac{x_g}{V_2}$$

Dove:

$h_g$  = minima profondità in corrispondenza del geofono

$h_s$  = minima profondità in corrispondenza della sorgente

$x_g$  = distanza fra il geofono e lo sparo

Analogamente potrà essere scritta una equazione equivalente per il tempo impiegato dall' onda sismica a raggiungere il geofono G partendo dalla sorgente coniugata.

I tempi calcolati saranno ovviamente differenti; ciò che invece deve essere uguale è il tempo del percorso totale, fra le sorgenti dirette e coniugate. Questo tempo è chiamato tempo di estremità:

$$t = \frac{h_s + h_{s'}}{V_1} \cos i_c + \frac{x_0}{V_2}$$

dove  $x_0$  è uguale alla somma della distanza del geofono dal punto di sparo del percorso diretto e della distanza del geofono dal punto di sparo nel percorso coniugato.

Sottraendo al tempo di estremità la somma dei tempi precedentemente calcolati, è possibile risolvere l'equazione rispetto ad h ed ottenere la profondità minima. Tale procedimento dovrà essere eseguito per ogni geofono.

La profondità h rappresenta il raggio di un arco di circonferenza con centro nella posizione del relativo geofono: il contorno del rifrattore toccherà almeno in un punto ciascuno di questi archi e quindi potrà essere determinato graficamente come involucro degli archi.

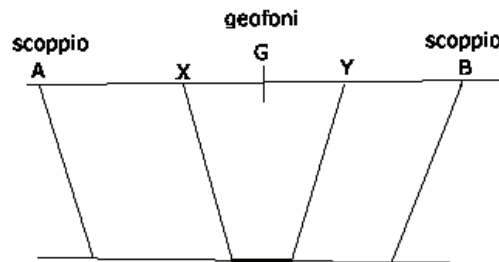
#### Metodo del Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method - GRM)

Il metodo reciproco generalizzato è stato sviluppato per sormontare alcune imperfezioni dei metodi più semplici, i quali sono messi in difficoltà dalla presenza di superfici, topografiche o del sottosuolo, particolarmente accidentate. Il metodo di Palmer utilizza due funzioni: la funzione di analisi-velocità e la funzione tempo-profondità.

#### La funzione Analisi Velocità

La particolarità del metodo è l'uso degli arrivi diretti ed inversi a due geofoni, posti ad una distanza XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto di emersione dal rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.

## TOMOGRAFIA PRSE - 676



La funzione analisi-velocità, riferendosi alla figura sottostante, è definita dall'equazione:

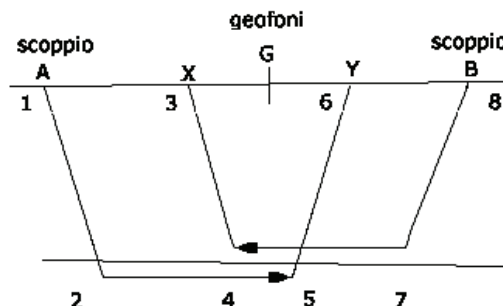
$$t = \frac{t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}}{2}$$

$$t_{AY} = (12) + (34) + (45) + (56)$$

$$t_{BX} = (78) + (57) + (45) + (34)$$

$$t_{AB} = (12) + (24) + (45) + (57) + (78)$$

$$t = \frac{2(12) + 2(24) + (45)}{2}$$



Il valore di questa funzione è riferito al punto mediano G fra X ed Y.

Producendo i grafici dei tempi di percorso in relazione alla posizione dei geofoni è possibile derivare la velocità  $V_2$  del rifrattore, indipendentemente dall'inclinazione e dalla topografia. Ciò che influenza il calcolo è dunque la scelta dei geofoni XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto d'uscita sul rifrattore sia comune, il tempo di percorso, e quindi il calcolo della velocità, dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale.

La funzione Tempo-Profondità

Il metodo GRM prevede ora la creazione di funzioni tempo-profondità per ciascun geofono.

Facendo riferimento alla figura precedente la funzione generalizzata tempo-profondità è definita. Calcolo del valore di XY ottimale dall'equazione:

$$t = \frac{t_{AY} + t_{BX} - (t_{AB} + XY/V_2)}{2}$$

## TOMOGRAFIA

### PRSE - 676

#### Calcolo del valore di XY ottimale

La valutazione della distanza XY ottimale può essere ottenuta utilizzando le velocità e gli spessori di strato precedentemente determinati: se sono noti gli spessori e le velocità di ciascuno strato, il valore XY per ogni strato può essere calcolato direttamente, quindi applicando un procedimento iterativo è possibile determinare tali valori automaticamente e con notevole precisione.

#### Metodo del Ray Tracing

I programmi basati su questa metodologia partono solitamente da una prima interpretazione effettuata con uno dei metodi precedentemente descritti, quindi viene calcolato il tempo di arrivo previsto ad un geofono in base ad un modello iniziale.

La complessità del calcolo aumenta in funzione del modello utilizzato. Il calcolo è eseguito in forma iterativa fino a convergenza, che nei modelli più complessi deve a volte essere forzata.

Dopo aver determinato i tempi di arrivo ai geofoni occorre correggere il modello così da far coincidere, per quanto possibile, i tempi calcolati ed i tempi osservati, quindi si procede nuovamente con il calcolo dei tempi di percorso basati sul modello corretto.

#### Onde P-Descrizione del metodo e della strumentazione

L'indagine geosismica del tipo a rifrazione di superficie, come tutti i metodi d'indagine indiretta del sottosuolo, permette di investigare un certo volume di sottosuolo variabile a seconda sia della lunghezza dei profili eseguiti ma anche della natura litologica del sito.

Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un' opportuna sorgente a impatto o esplosiva e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un' onda elastica diretta e da una rifratta. L' onda rifratta, emergente in superficie, è generata da interfacce rifrangenti che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità. I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismo stratigrafiche.

#### Onde P-Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- Inserimento delle geometrie mediante il software Pickwin (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- Applicazione dei filtri "lowpass" e "highpass" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- Picking dei primi arrivi;
- Export delle dromocrone;
- Inversione tomografica dei dati attraverso l'applicativo Plotrefa;
- Definizione del modello sismostratigrafico.

#### Onde P-Rappresentazione dei dati

I dati elaborati sono stati esportati e restituiti come di seguito riportato:

- sismogrammi relativi agli scoppi;
- dromocrone relative rispettivamente alle onde P;
- sezioni tomografiche
- modelli sismo stratigrafici.

In particolare l'elaborazione tomografica rappresenta l'andamento dei sismo strati, lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ottenuta dalla elaborazione ed inversione dei dati sismici; il modello sismo stratigrafico rappresenta invece l'interpretazione degli stessi sismo strati.

#### Onde P-Interpretazione dei risultati

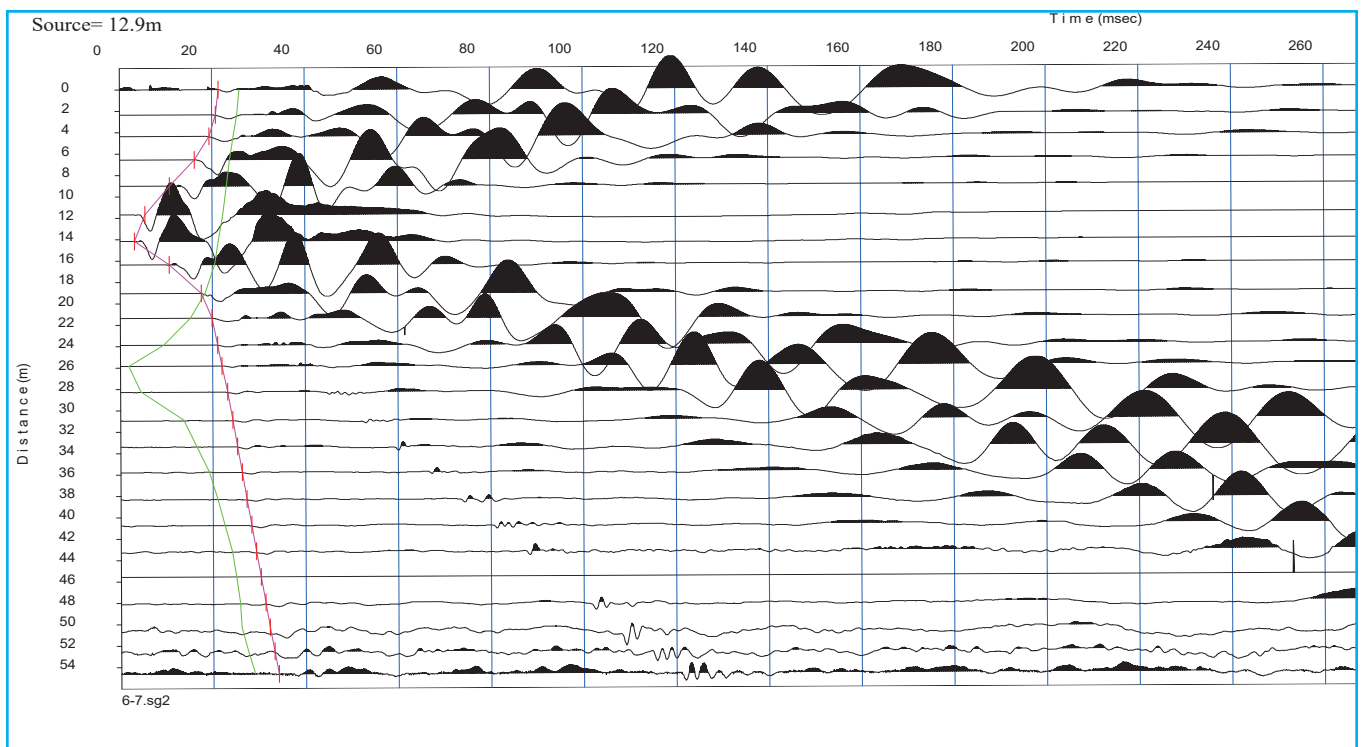
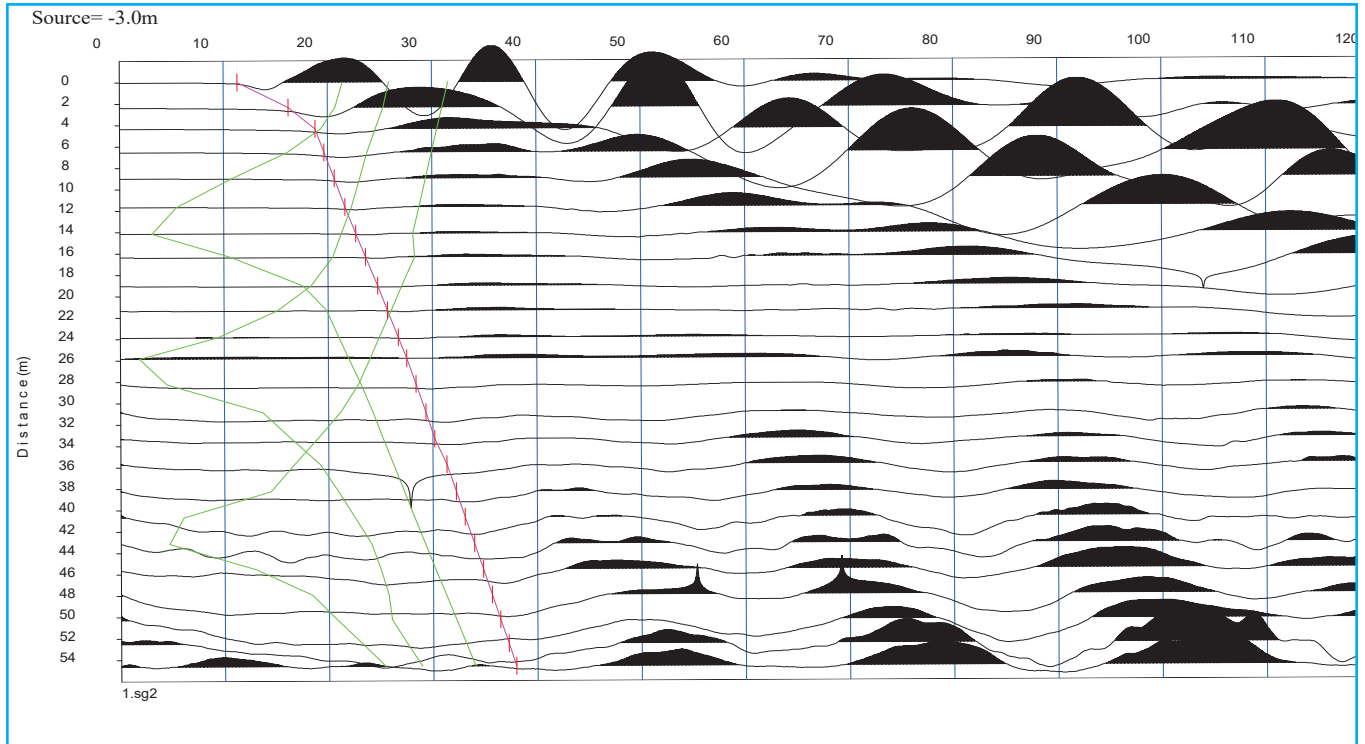
Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell' indagine sismica è importante precisare che generalmente:

- a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0.25 * z$ .
- c) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

## TOMOGRAFIA

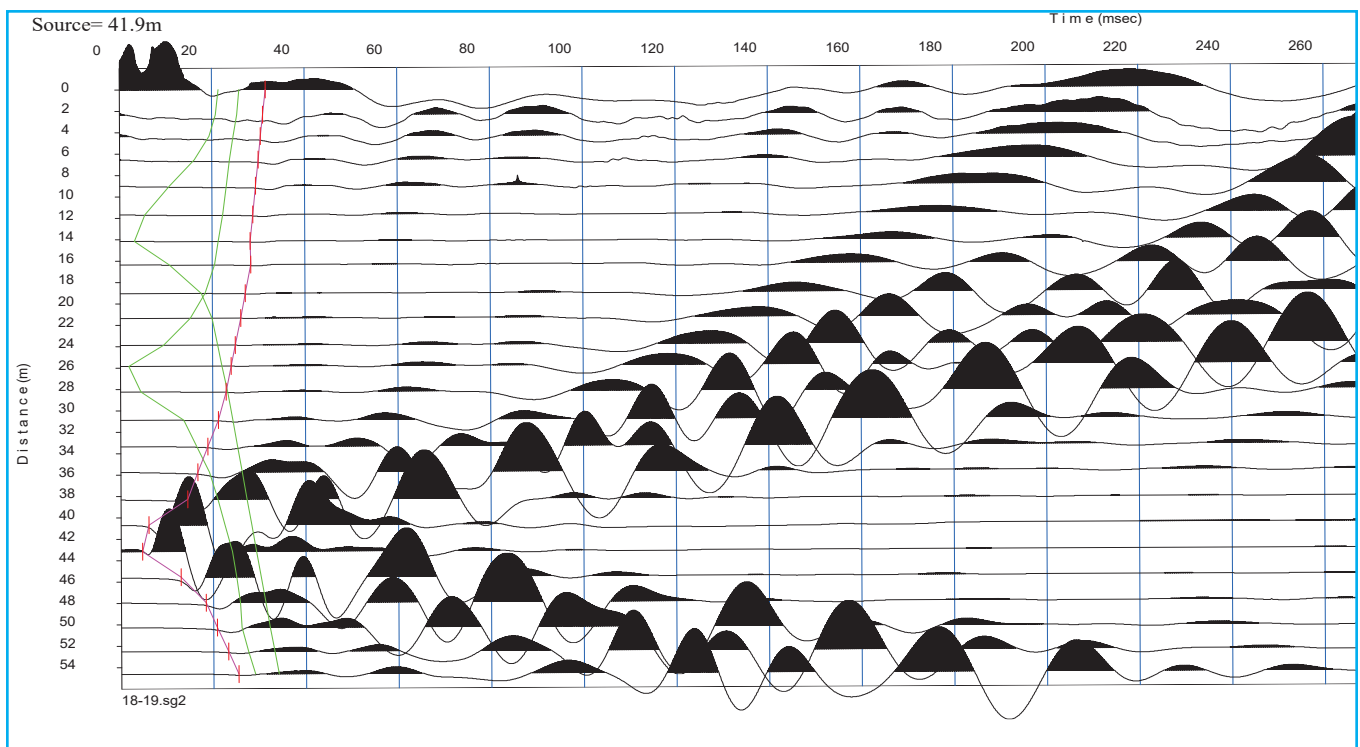
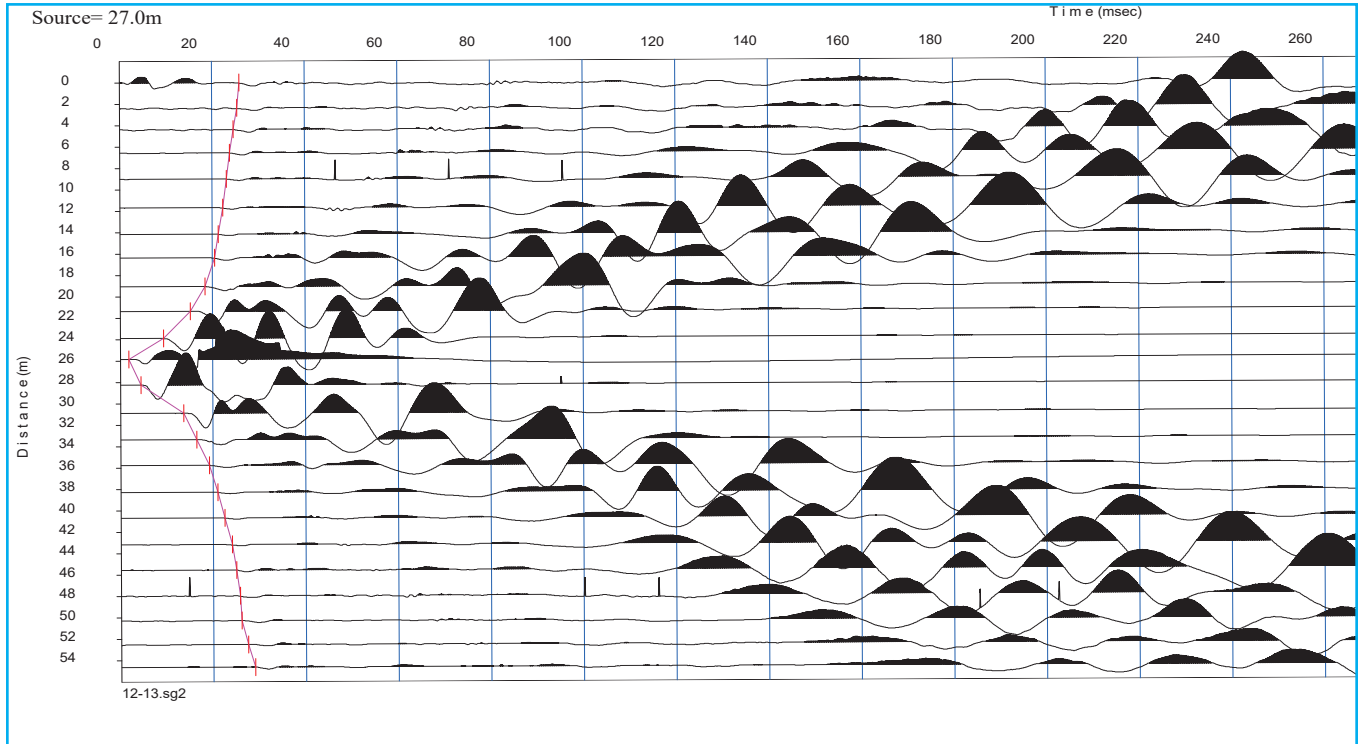
I1

### PRSE - 676



## TOMOGRAFIA PRSE - 676

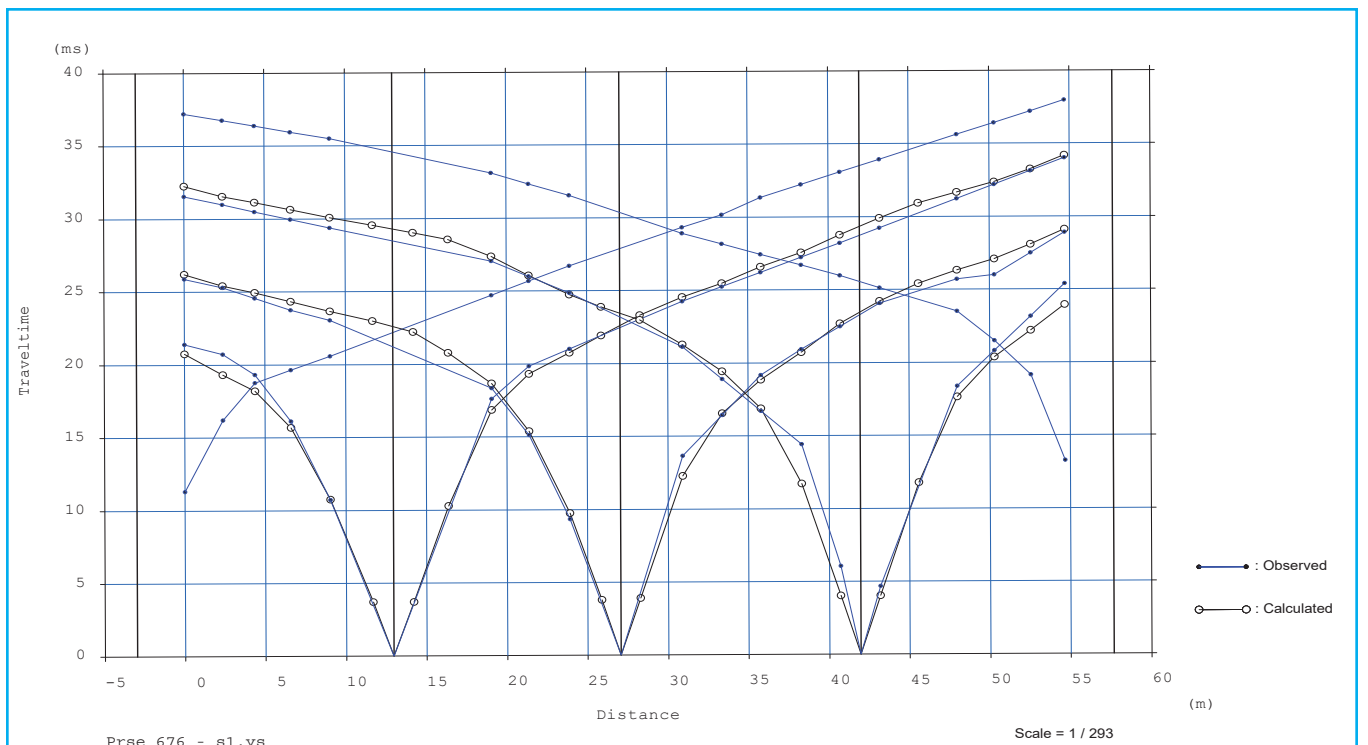
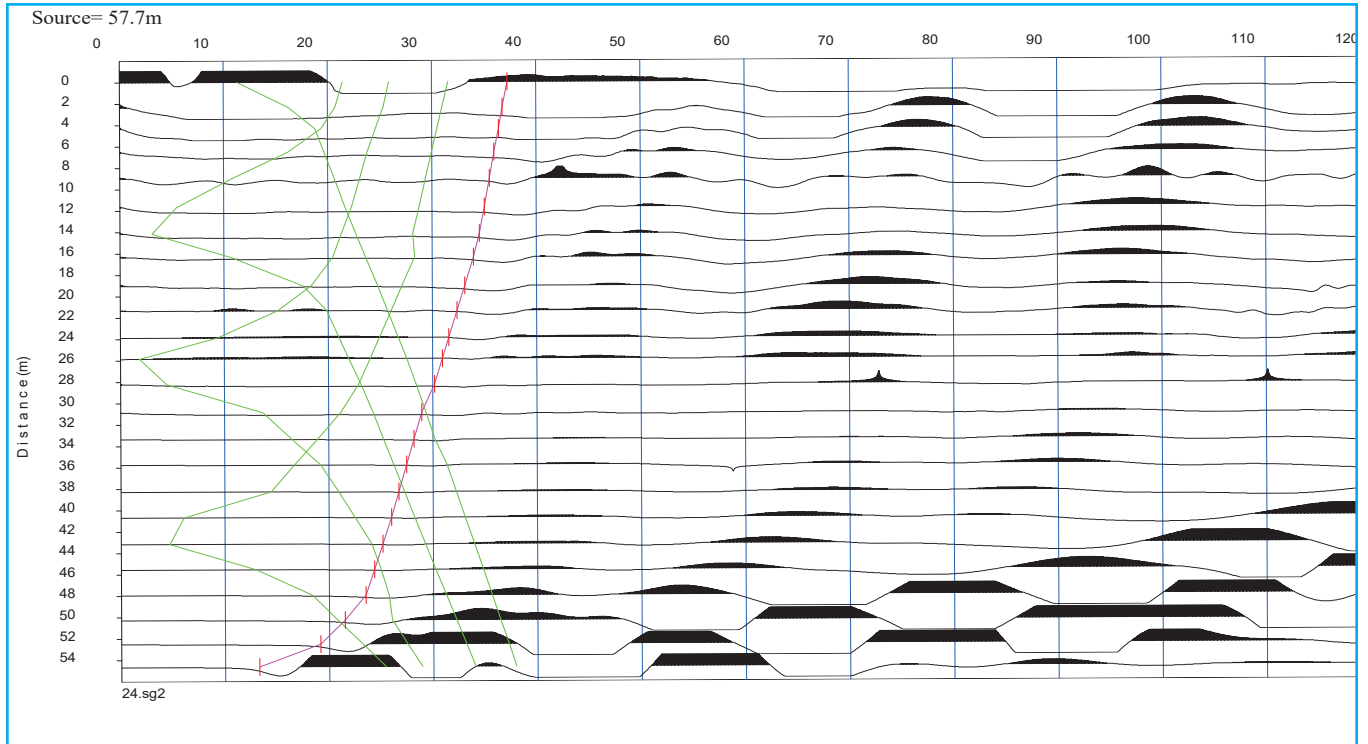
I1



## TOMOGRAFIA

I1

### PRSE - 676





**TOMOGRAFIA**  
**PRSE - 676**

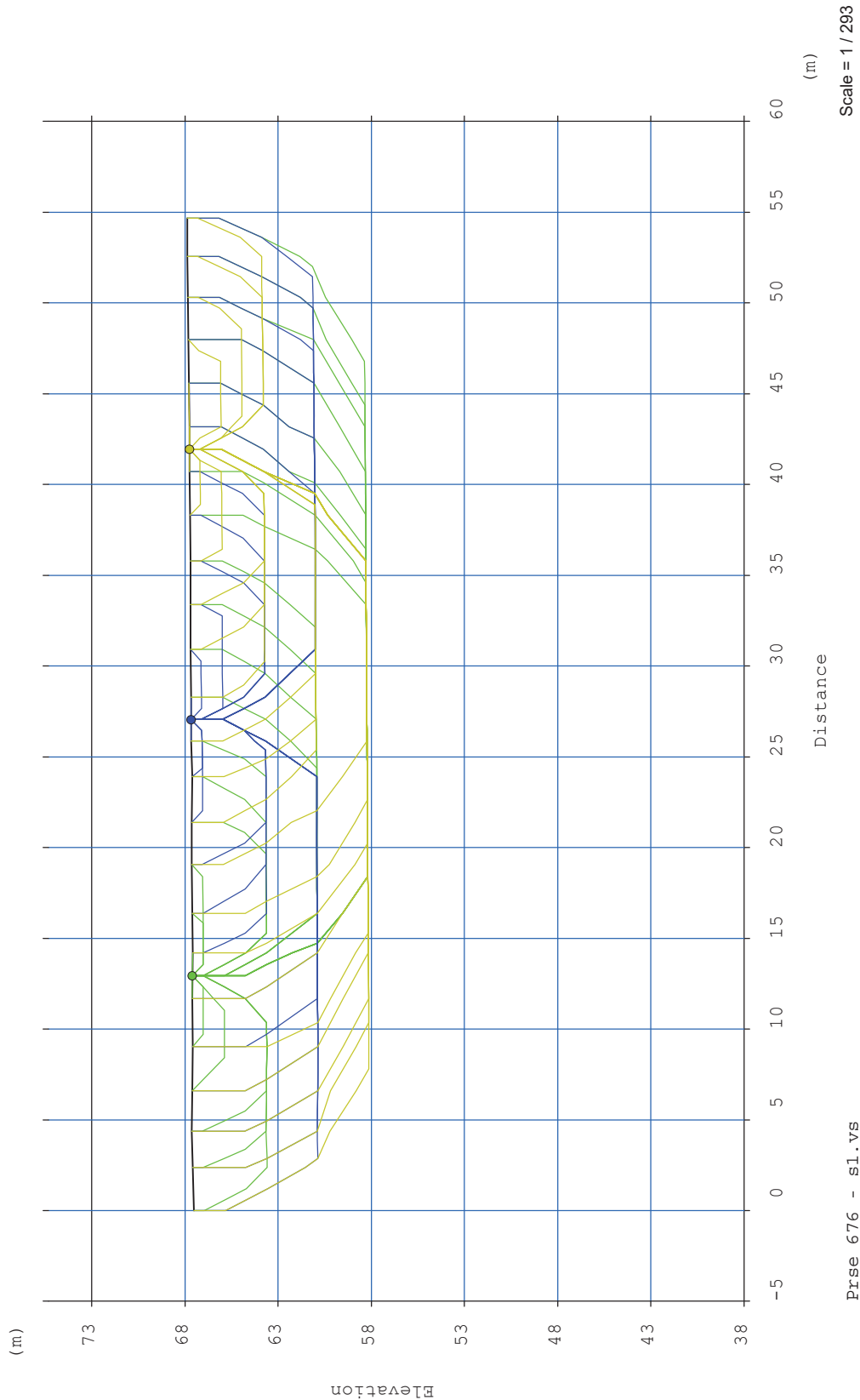
I1



## TOMOGRAFIA

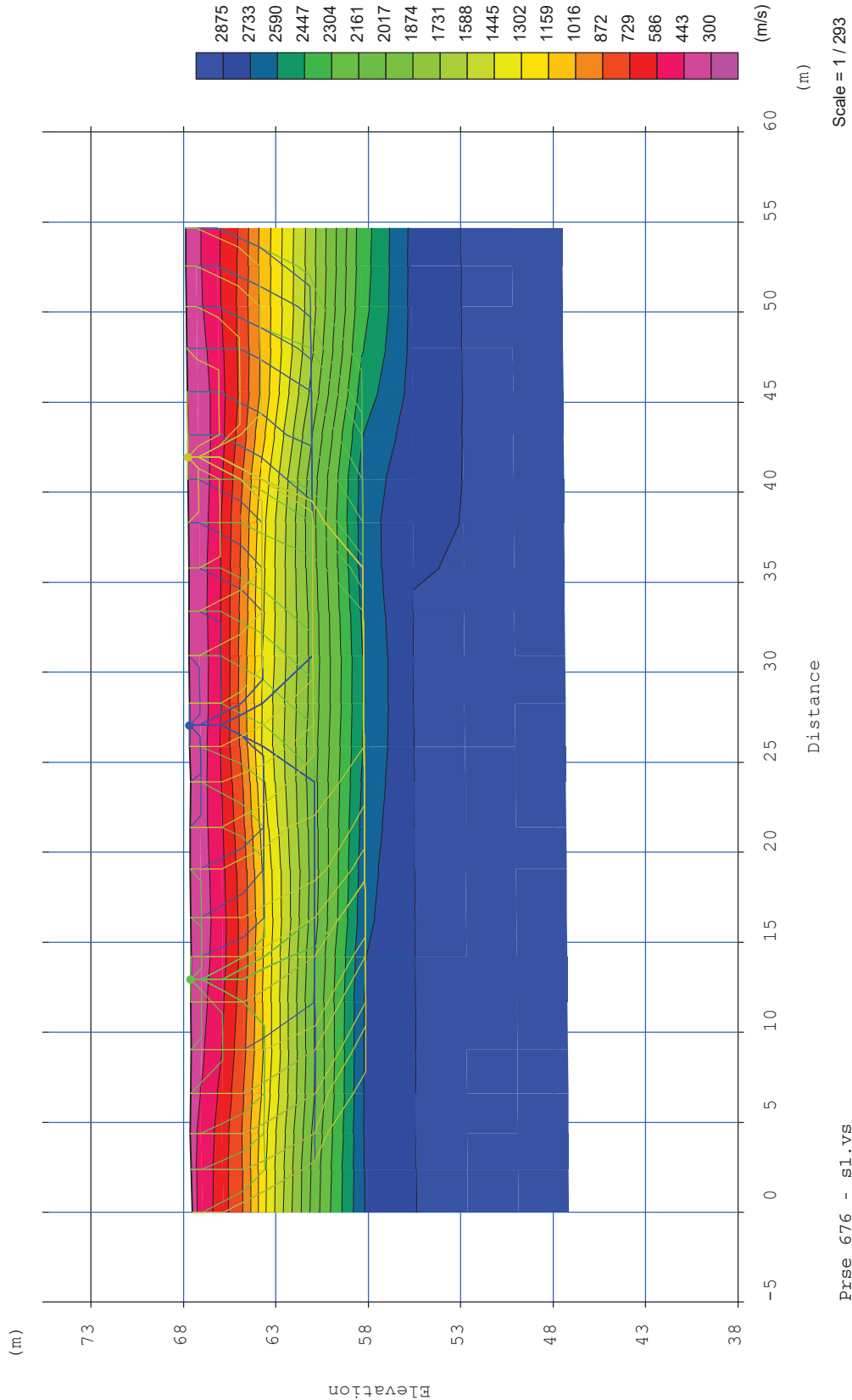
### PRSE - 676

I1



## TOMOGRAFIA PRSE - 676

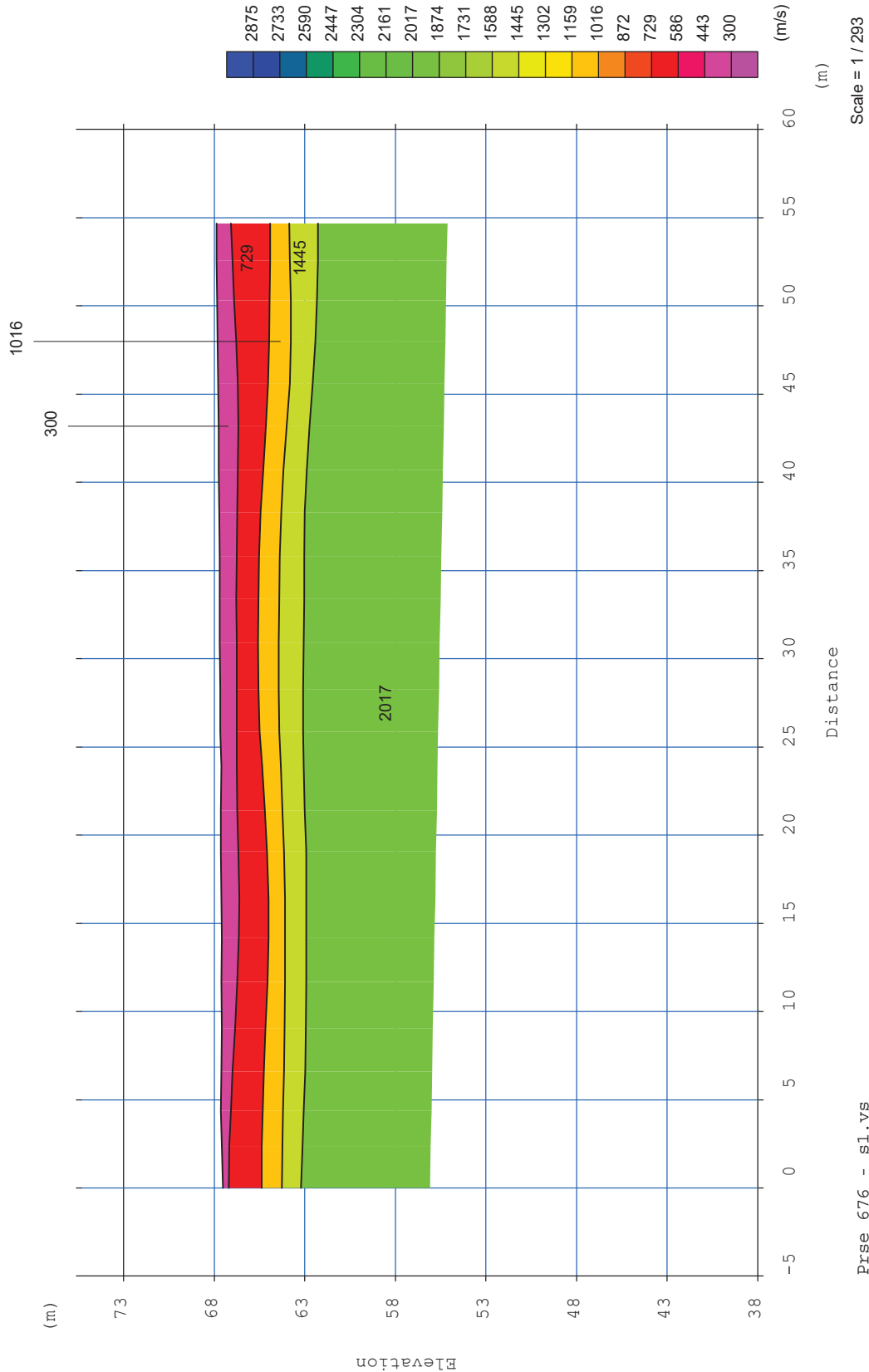
I1



## TOMOGRAFIA

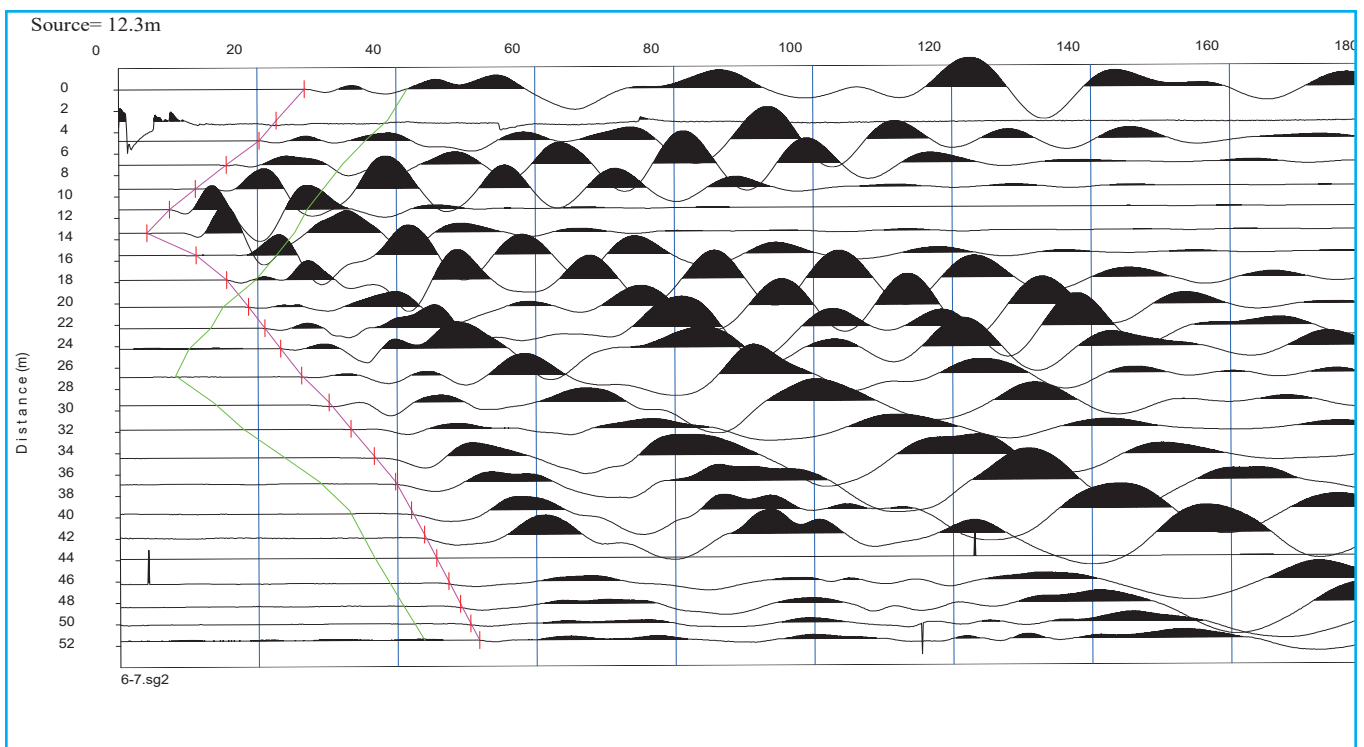
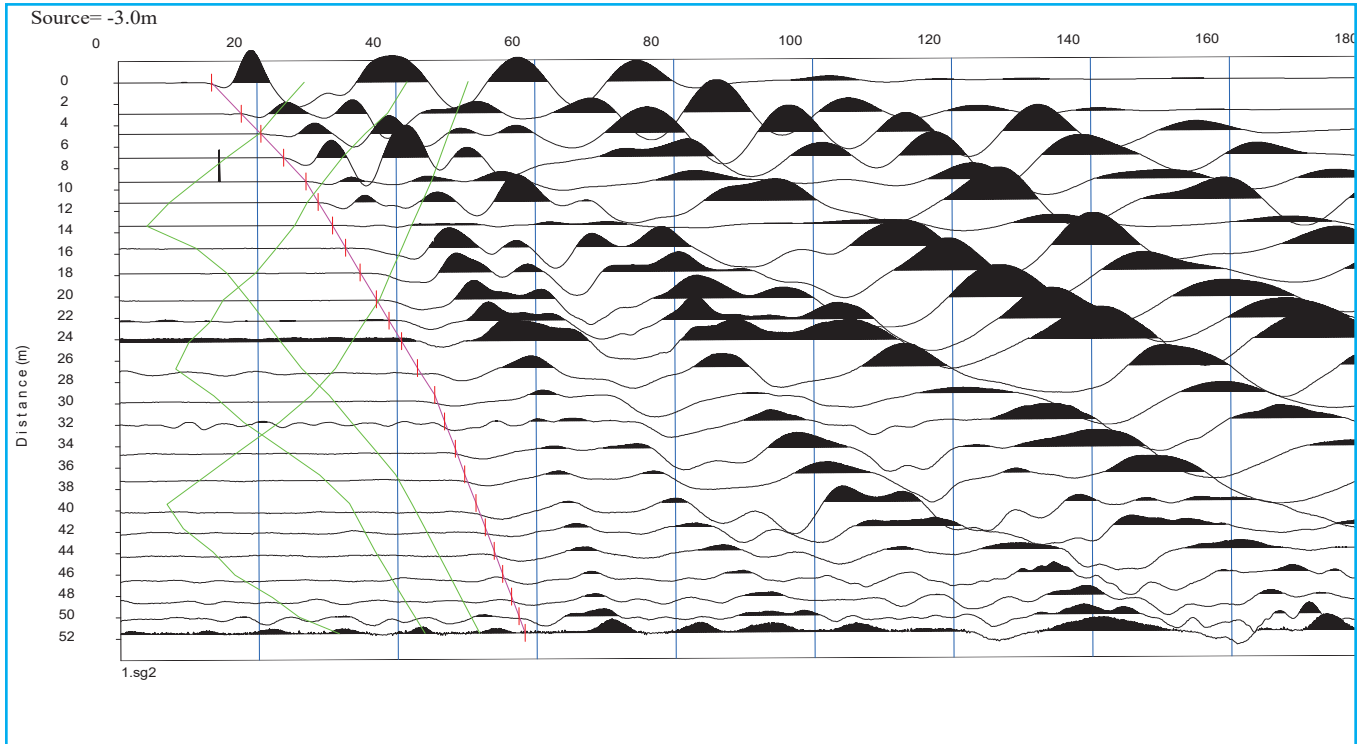
### PRSE - 676

I1



**TOMOGRRAFIA**  
**PRSE - 676**

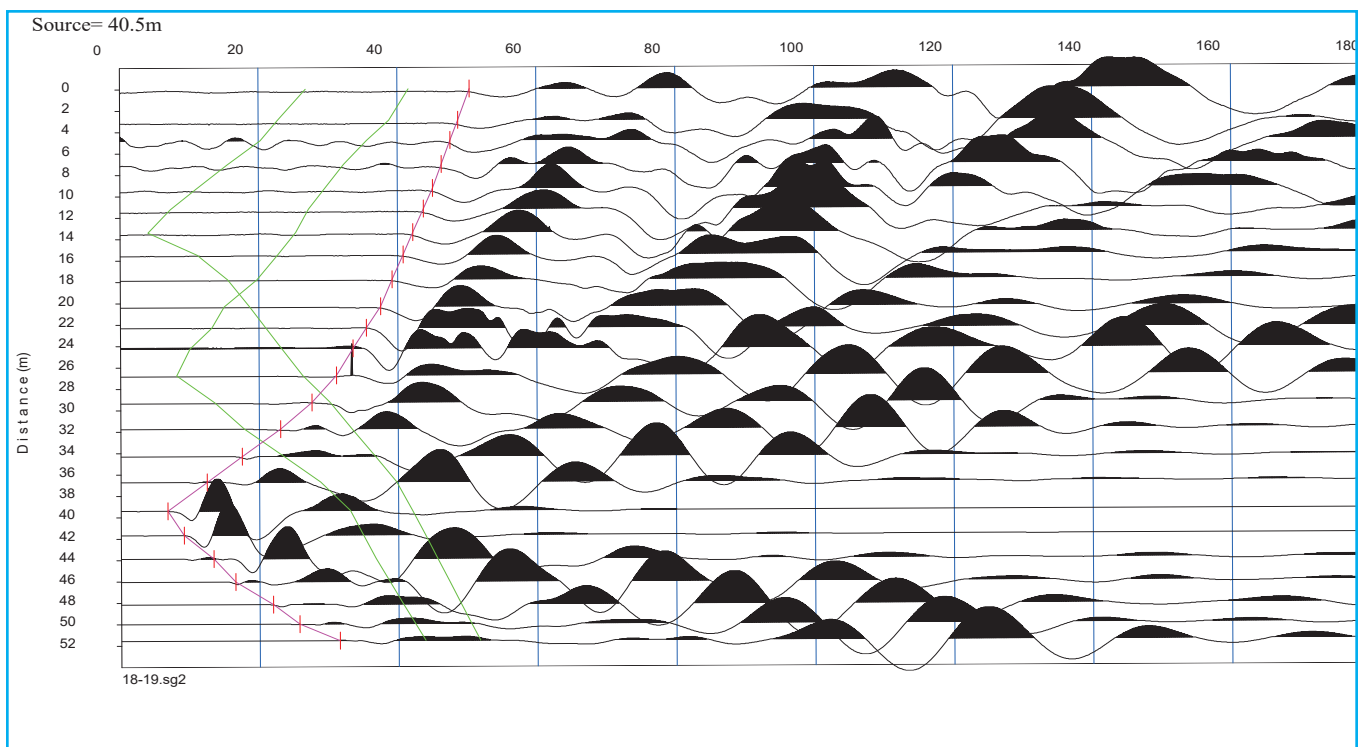
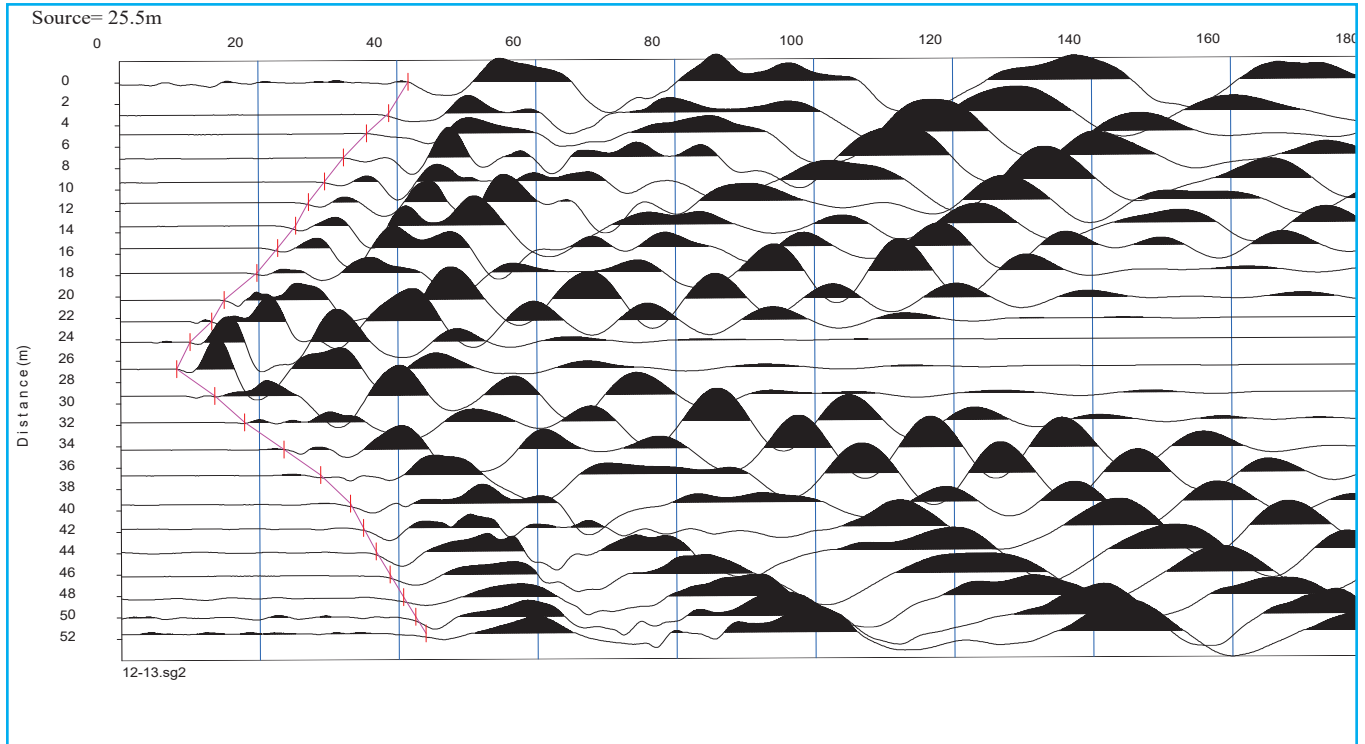
I2



## TOMOGRAFIA

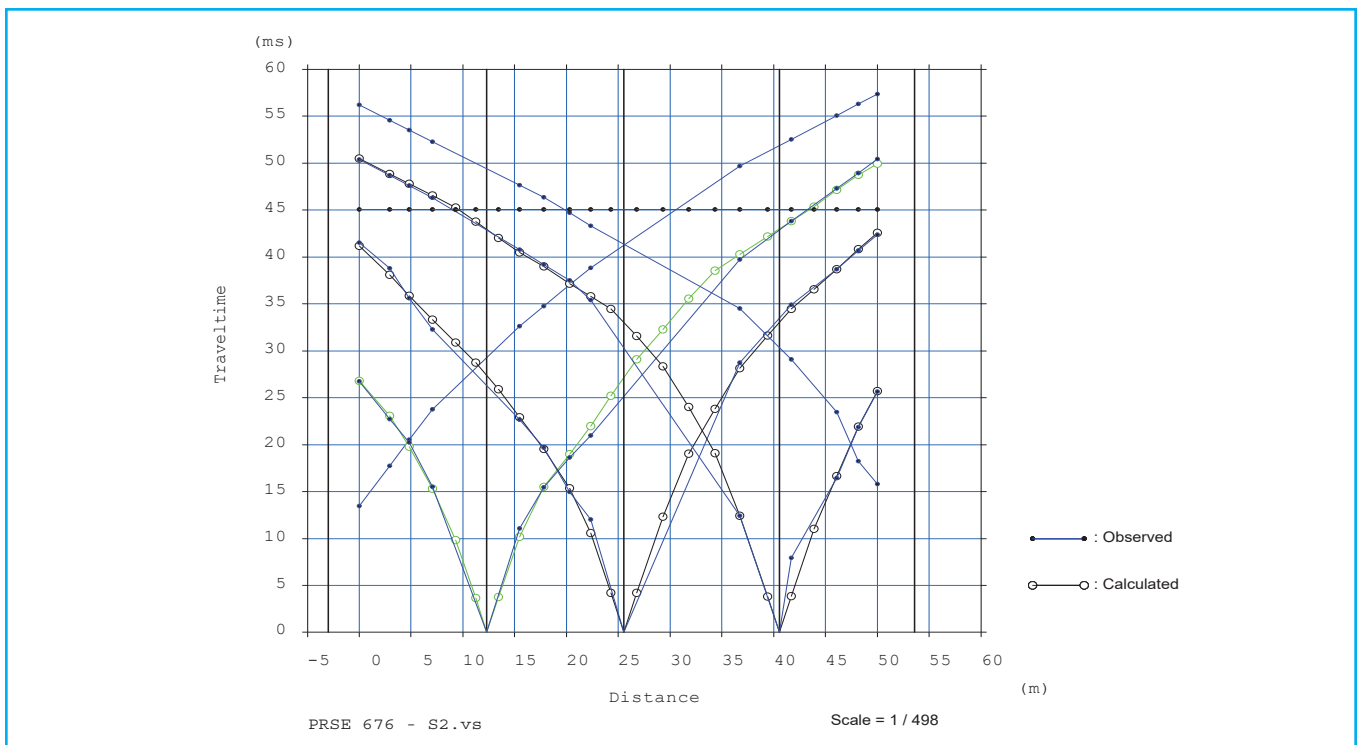
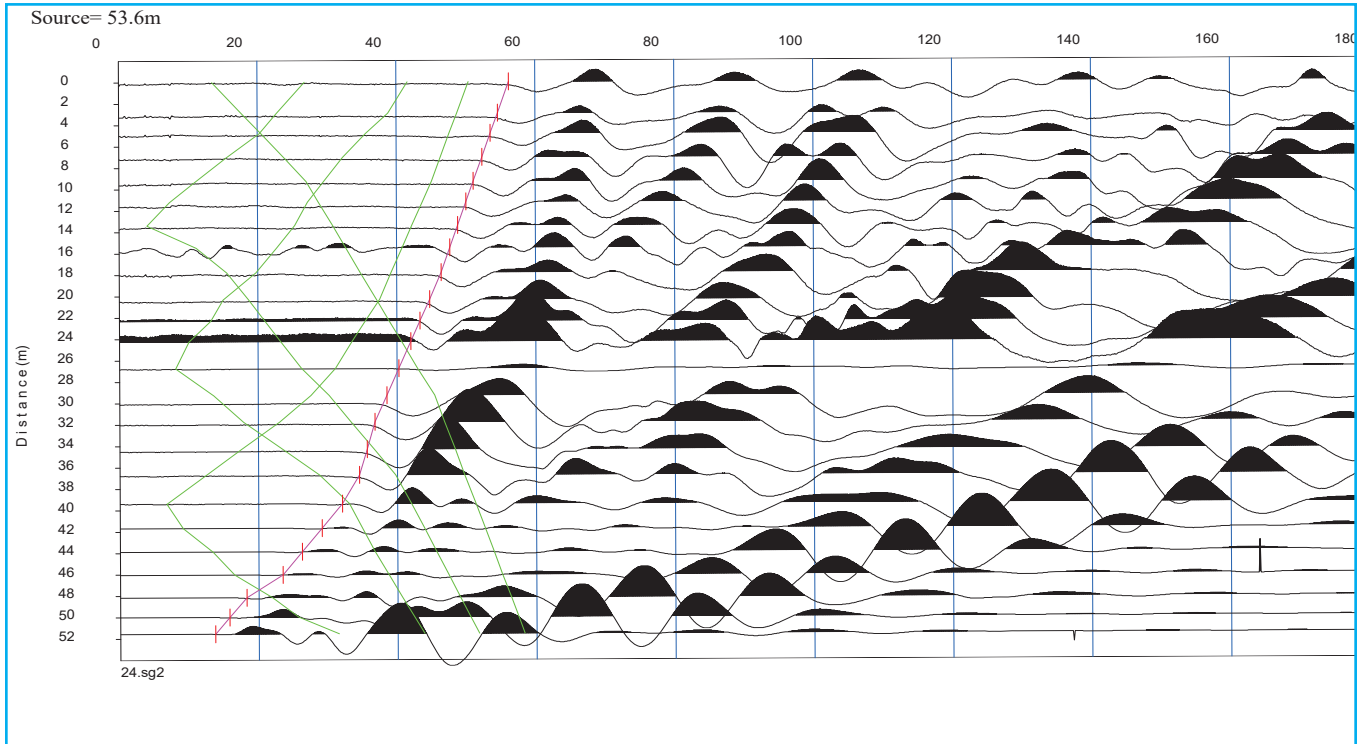
### PRSE - 676

I2



## TOMOGRAFIA PRSE - 676

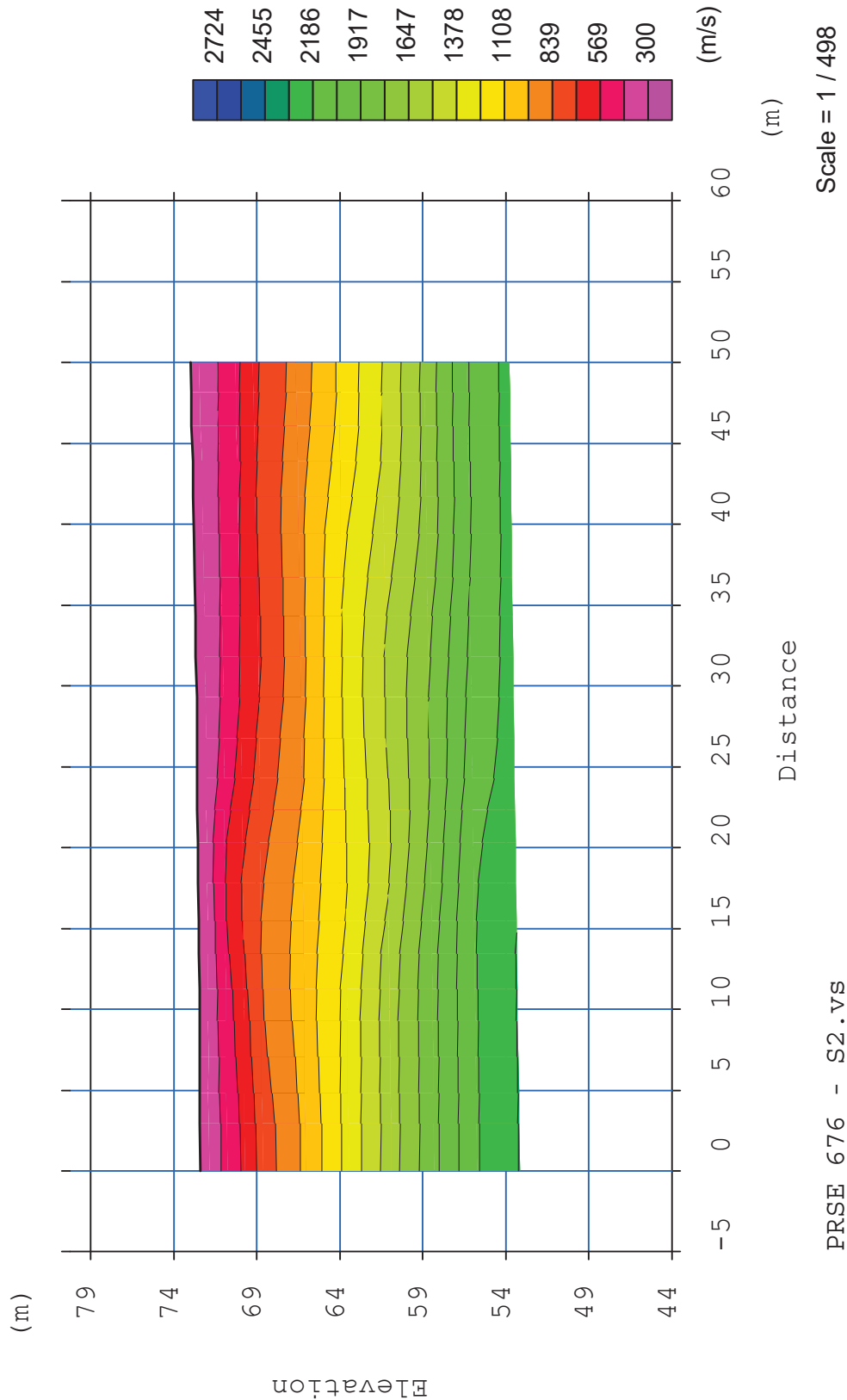
I2



**TOMOGRAFIA**

**PRSE - 676**

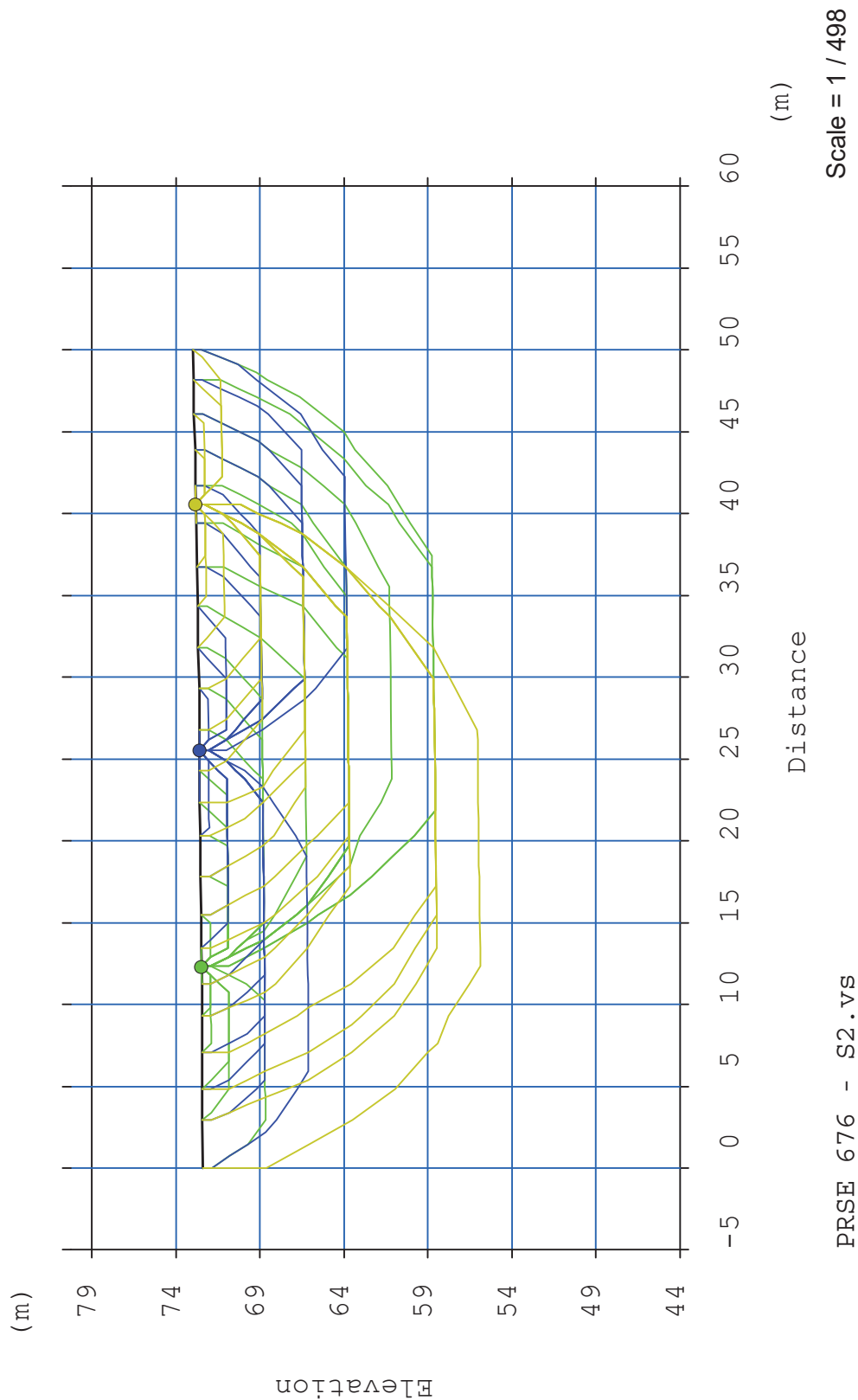
I2





**TOMOGRAFIA**  
**PRSE - 676**

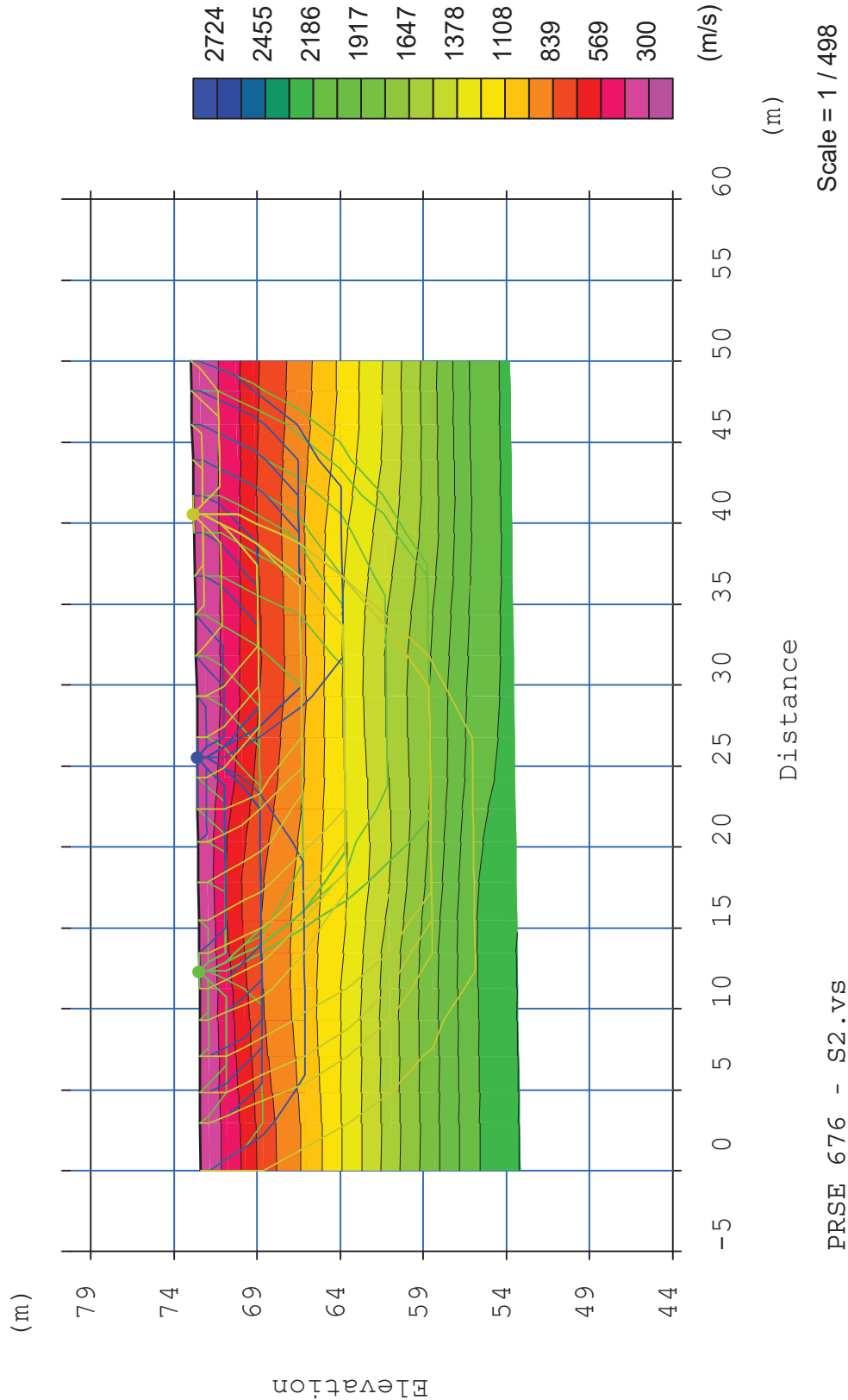
I2



## TOMOGRAFIA

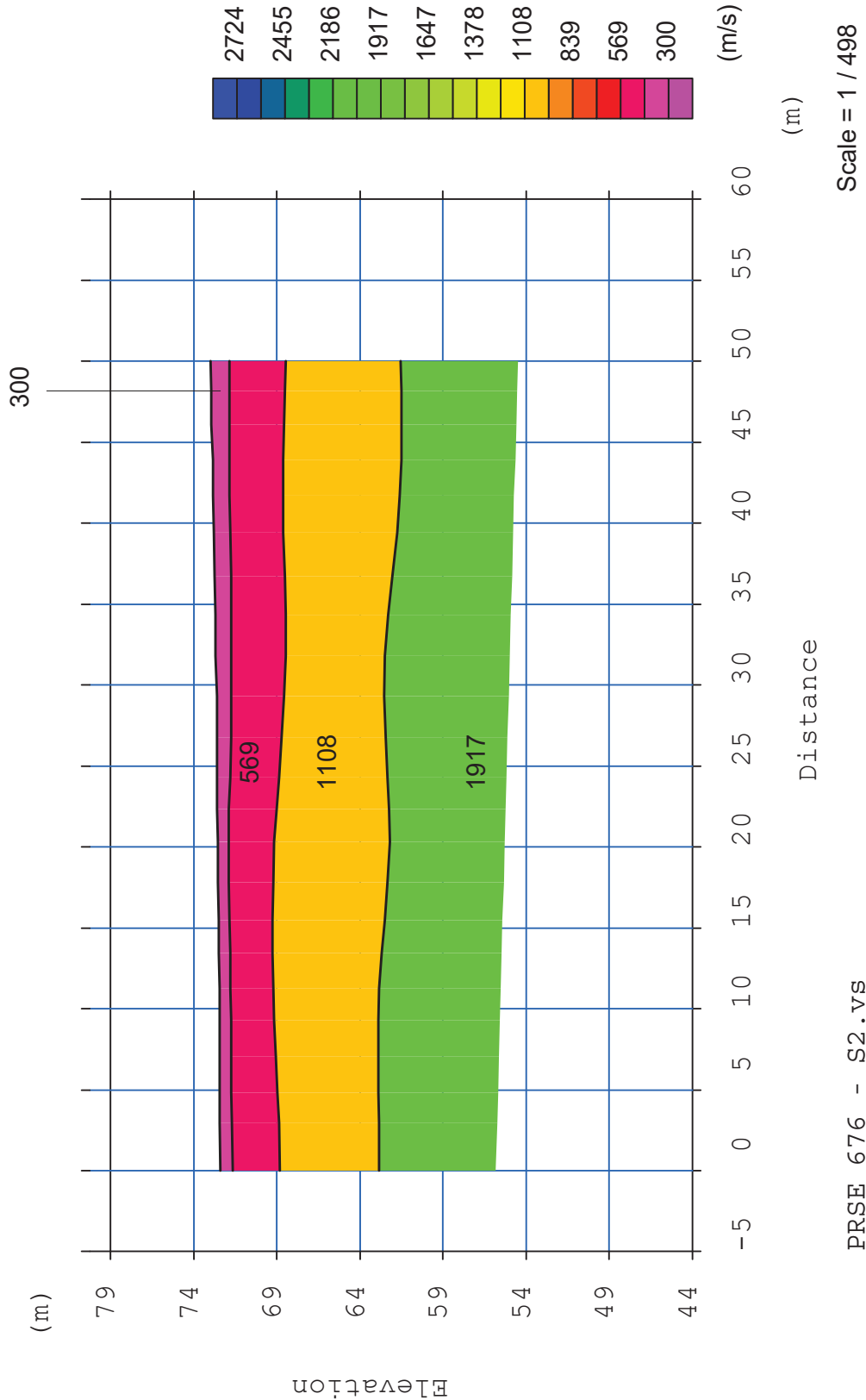
### PRSE - 676

I2



**TOMOGRAFIA**  
**PRSE - 676**

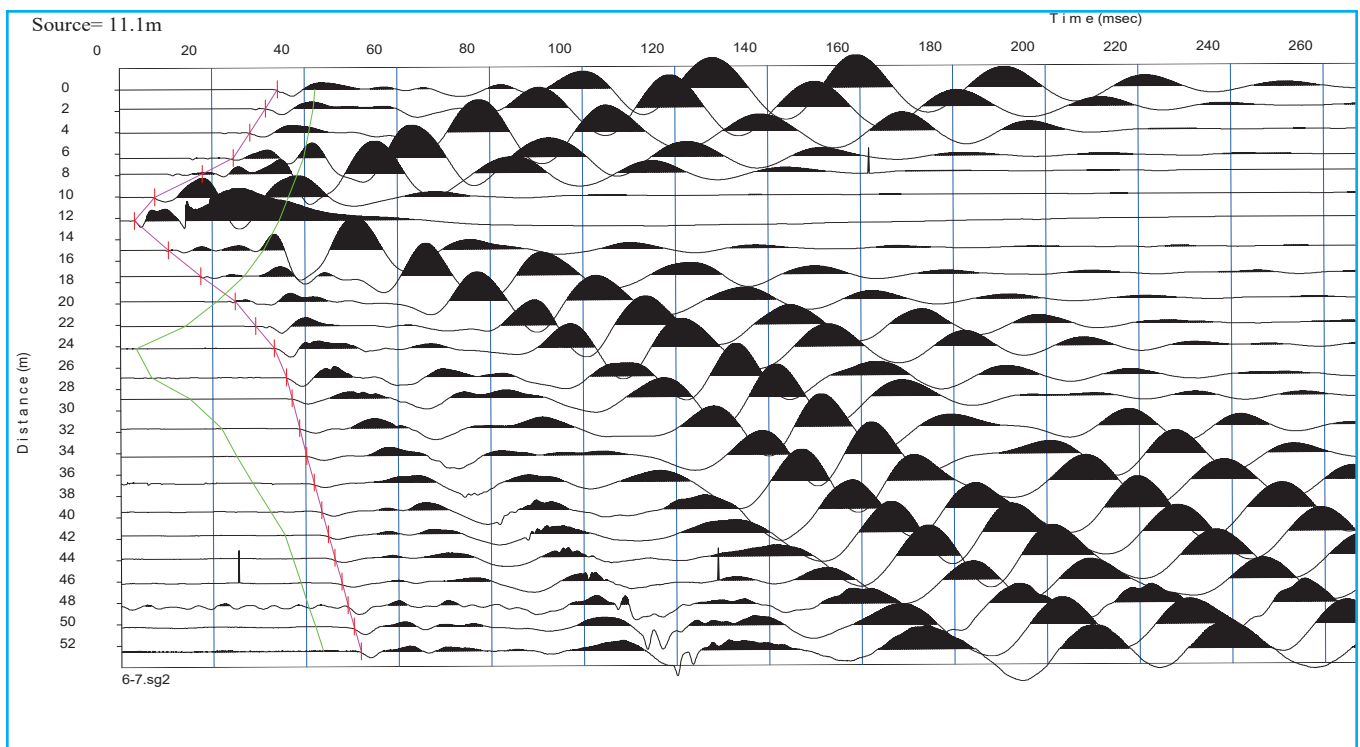
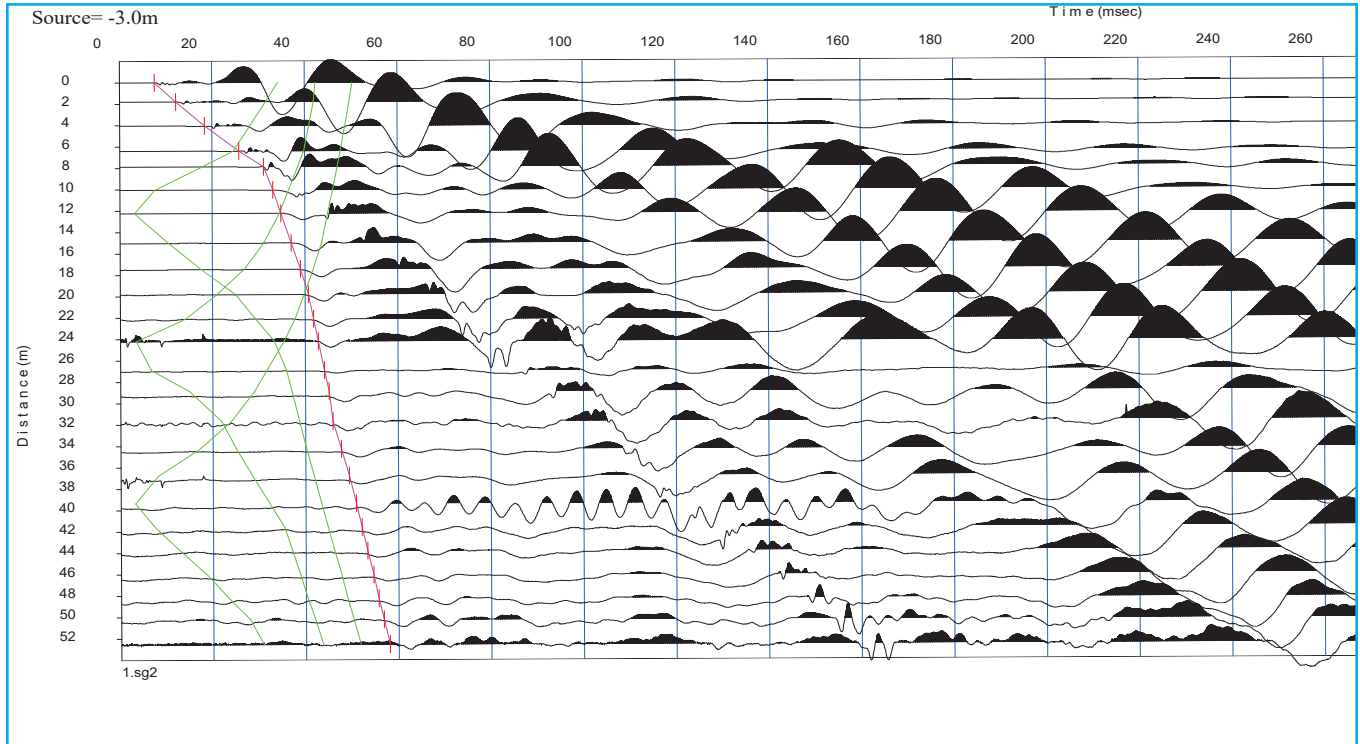
I2



**TOMOGRAFIA**

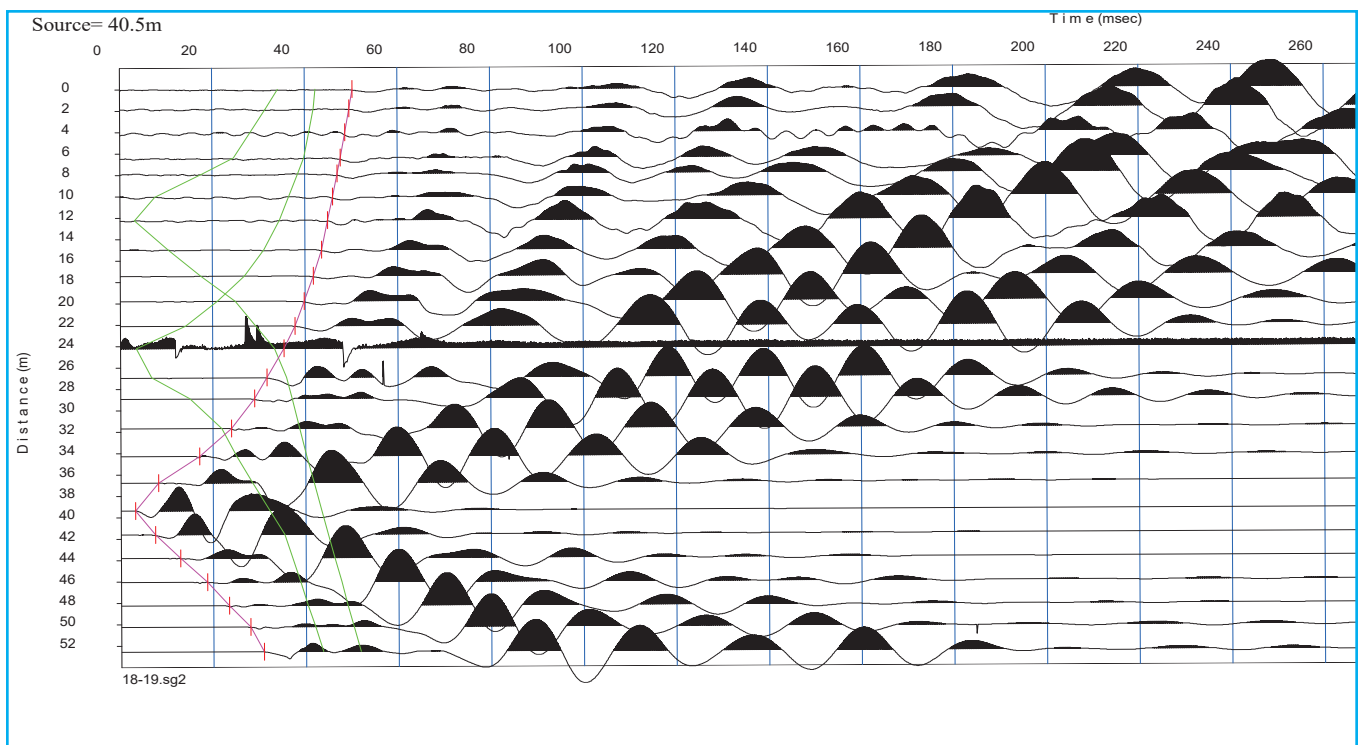
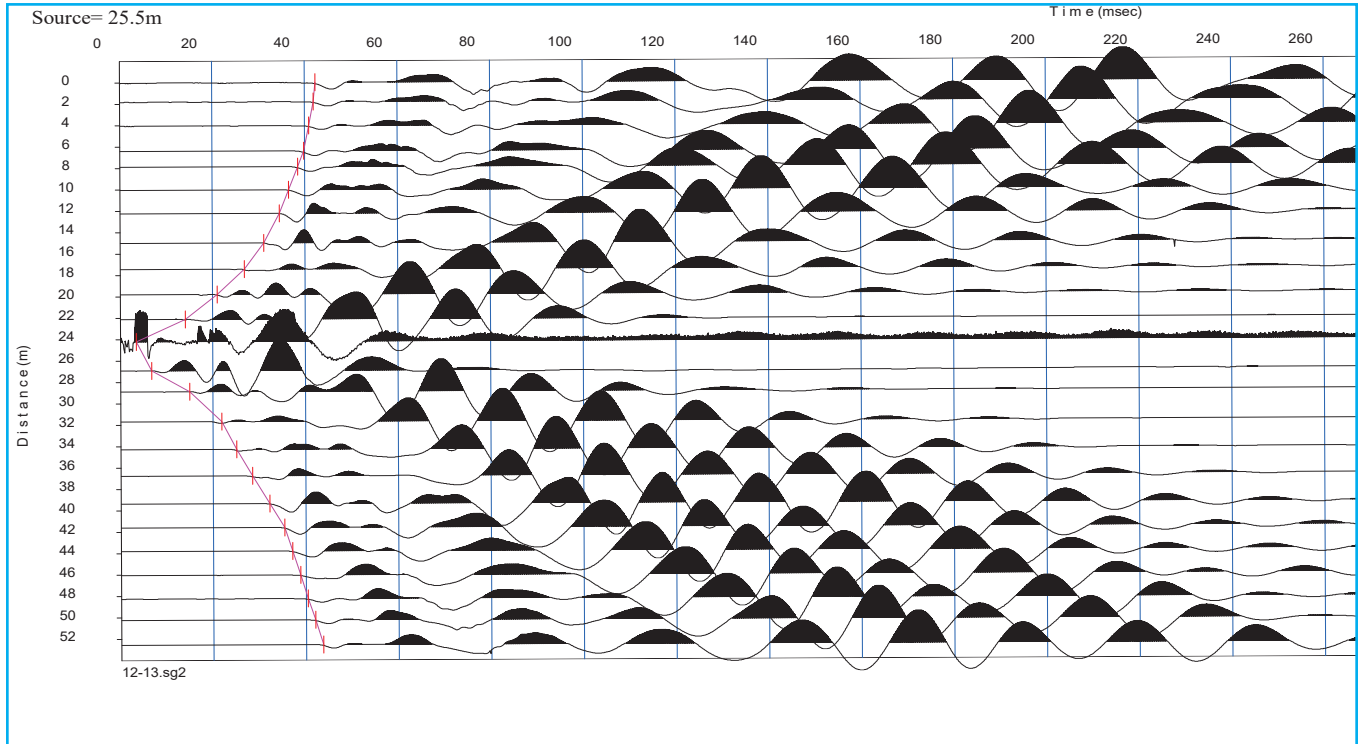
**PRSE - 676**

I3



**TOMOGRAFIA  
PRSE - 676**

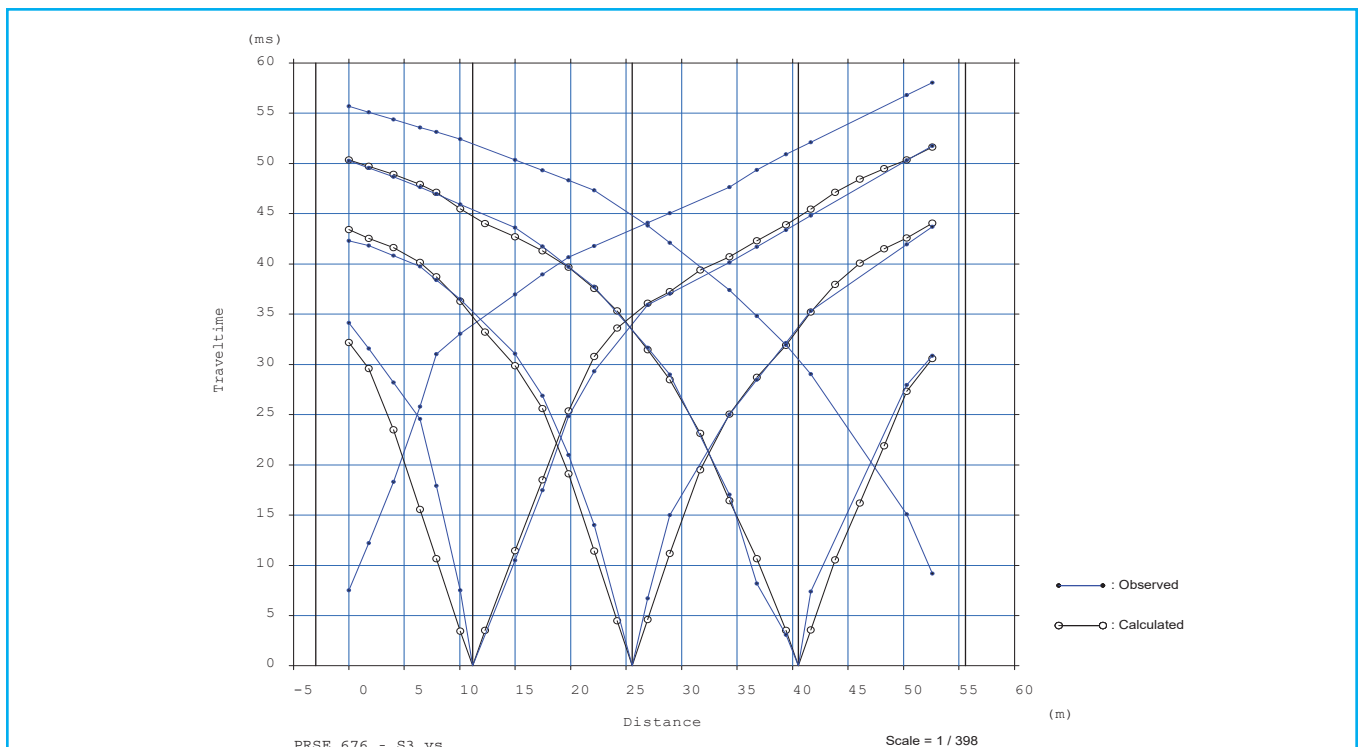
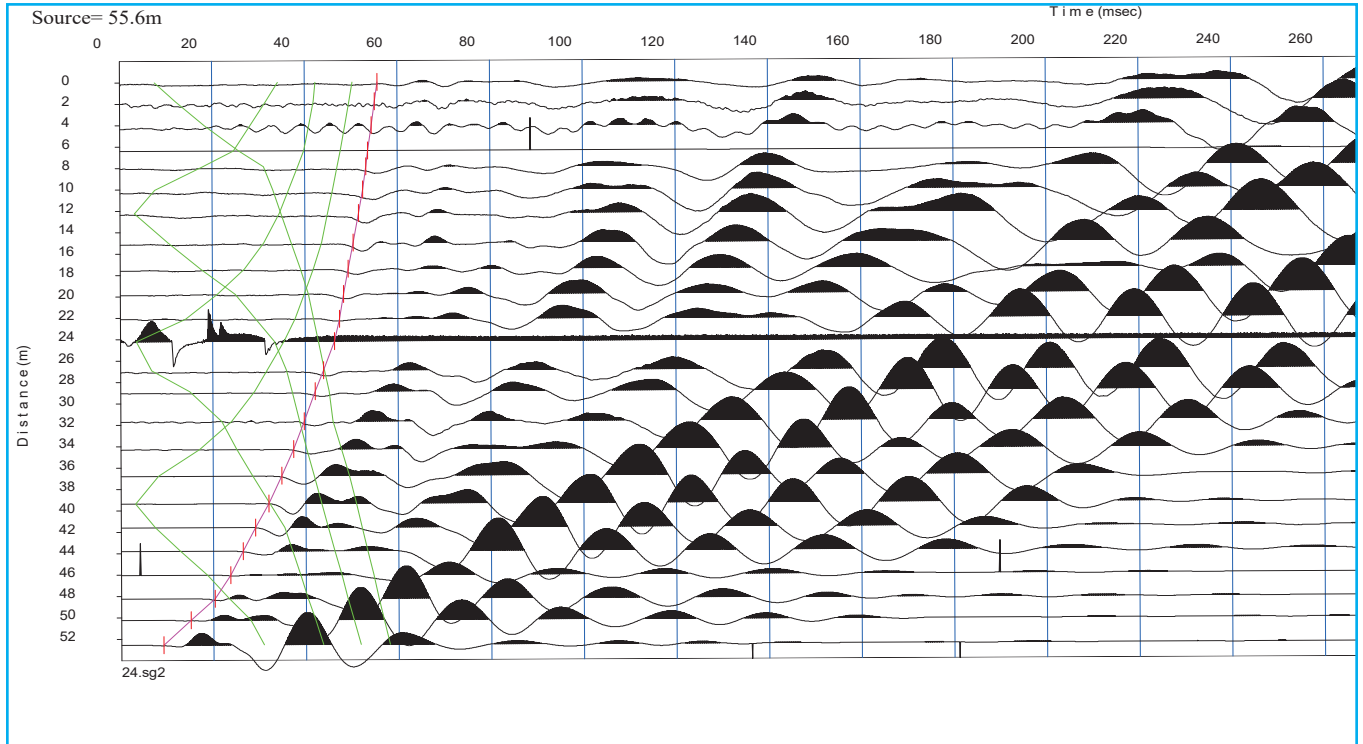
I3



## TOMOGRAFIA

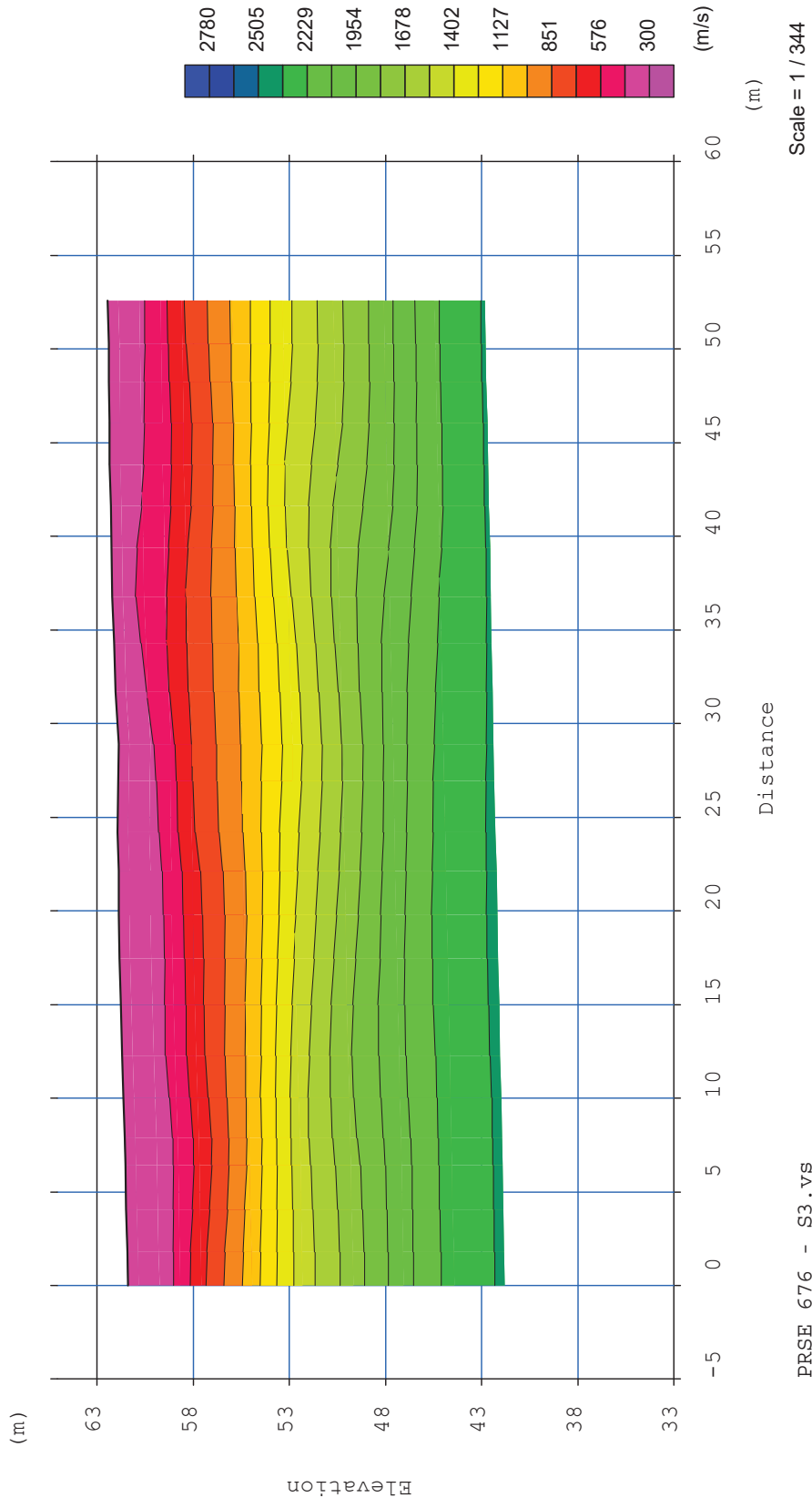
### PRSE - 676

I3



## TOMOGRAFIA PRSE - 676

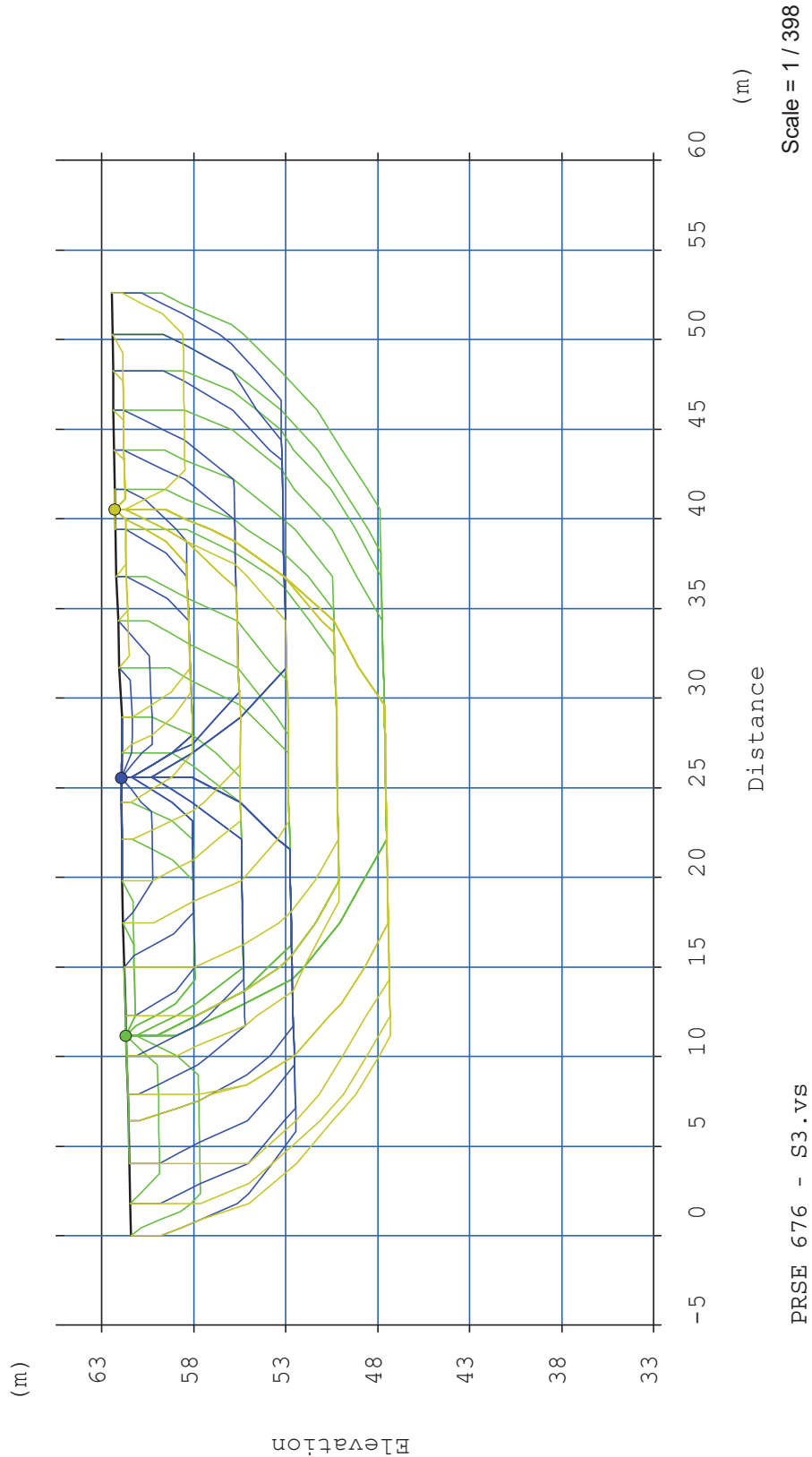
I3



## TOMOGRAFIA

### PRSE - 676

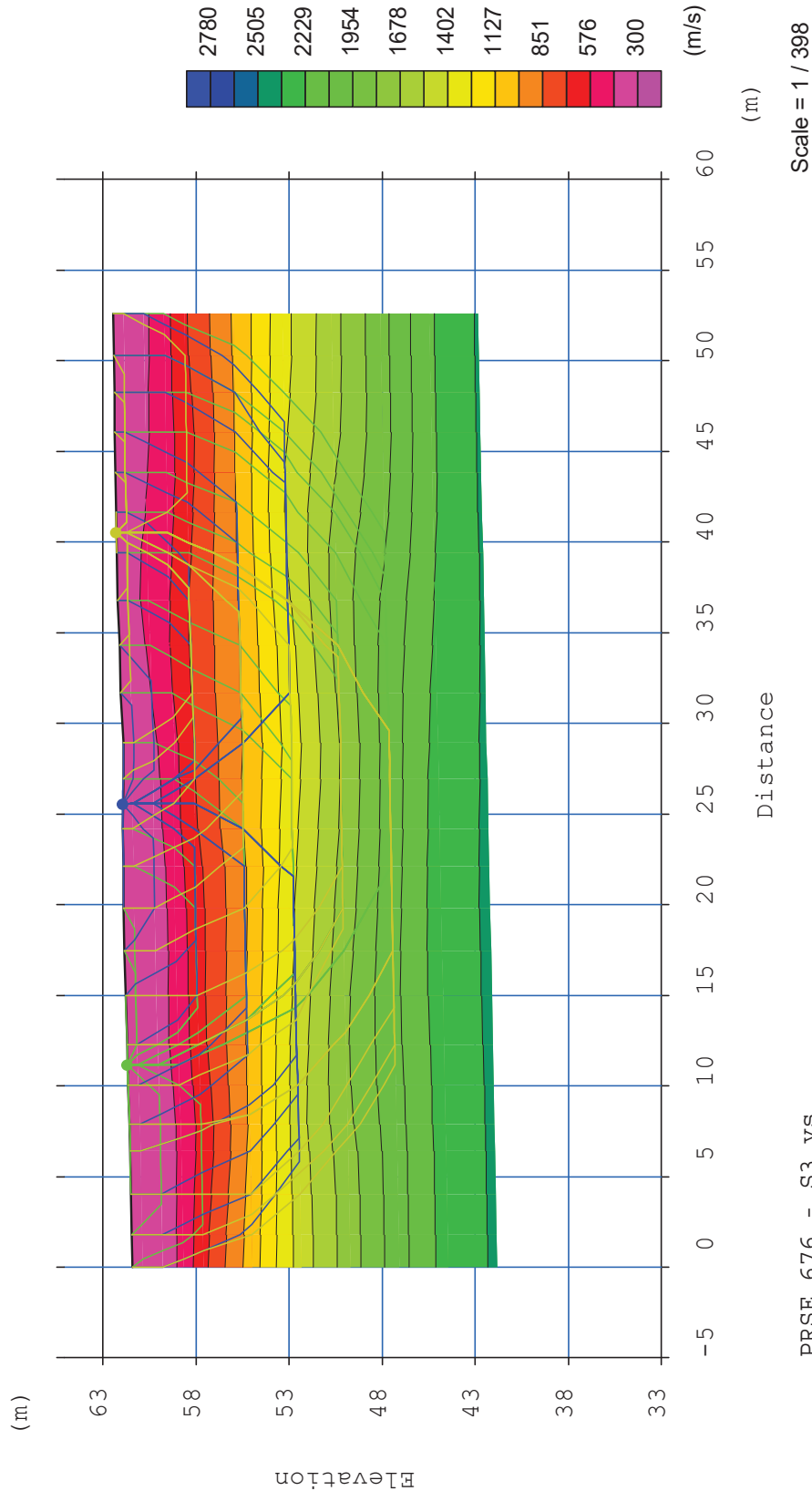
I3





**TOMOGRAFIA**  
**PRSE - 676**

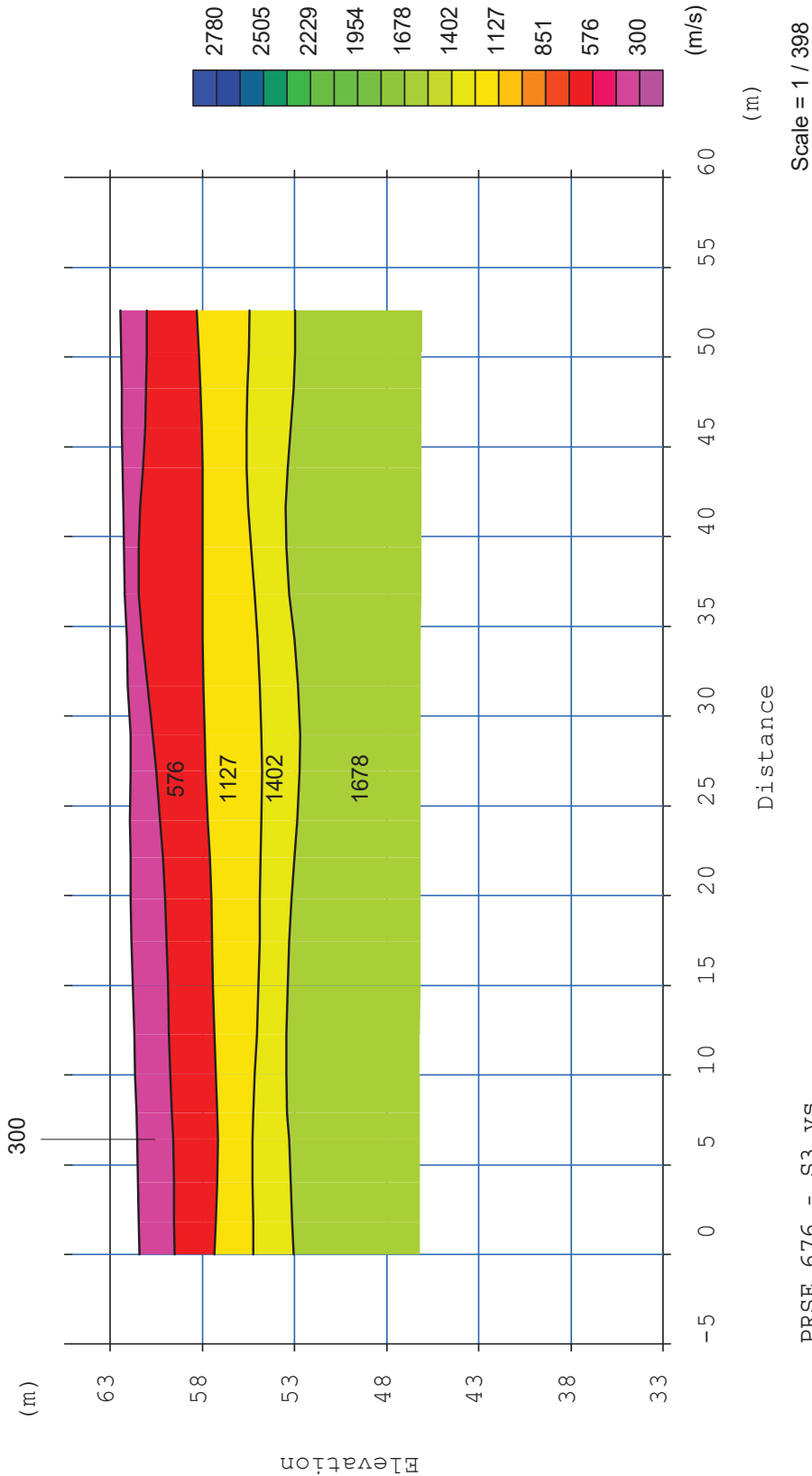
I3



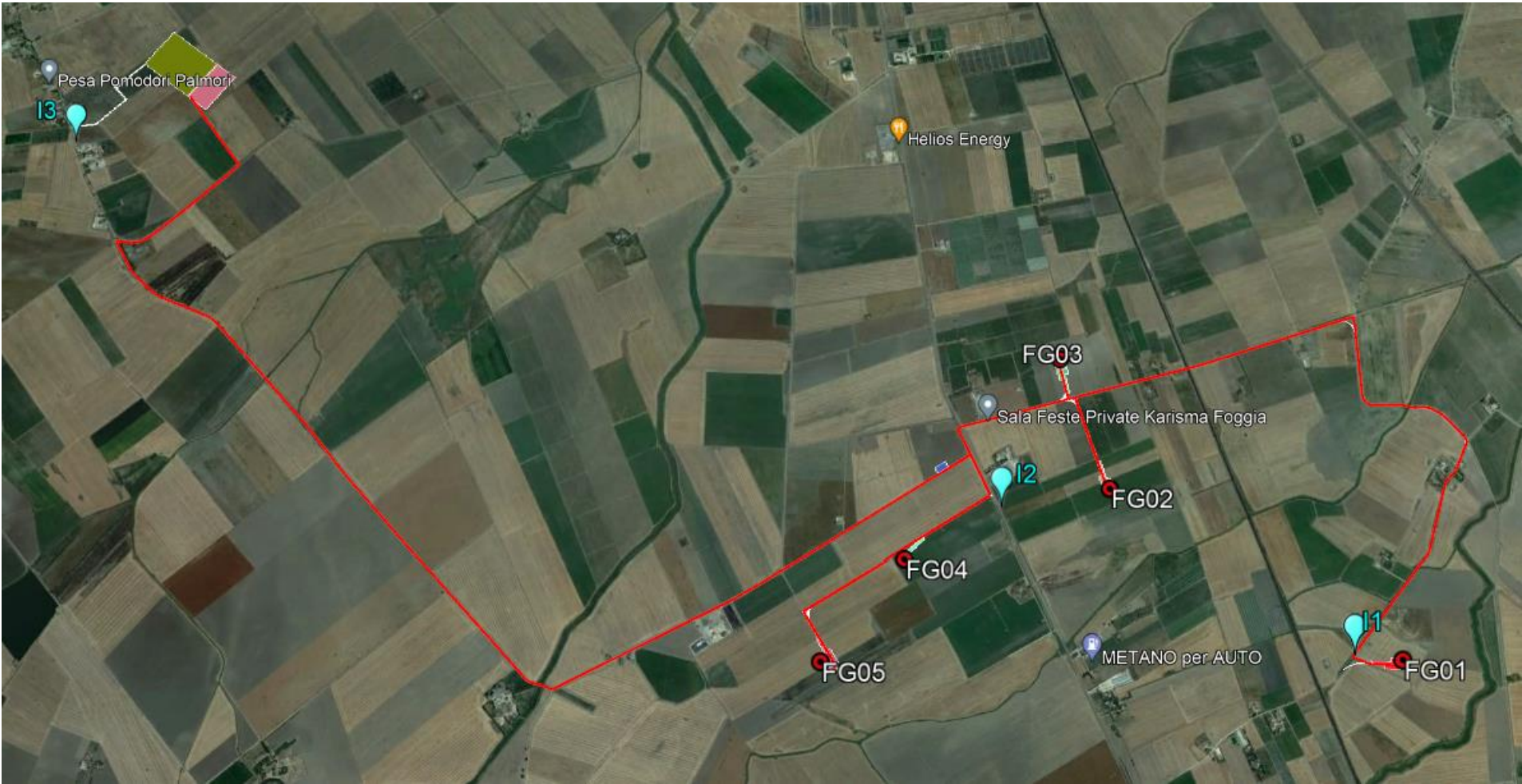
## TOMOGRAFIA

### PRSE - 676

I3



# UBICAZIONE MASW



## **PRSE – 676**

### **MASW**

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

#### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

#### **Onde di Rayleigh – “R”**

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

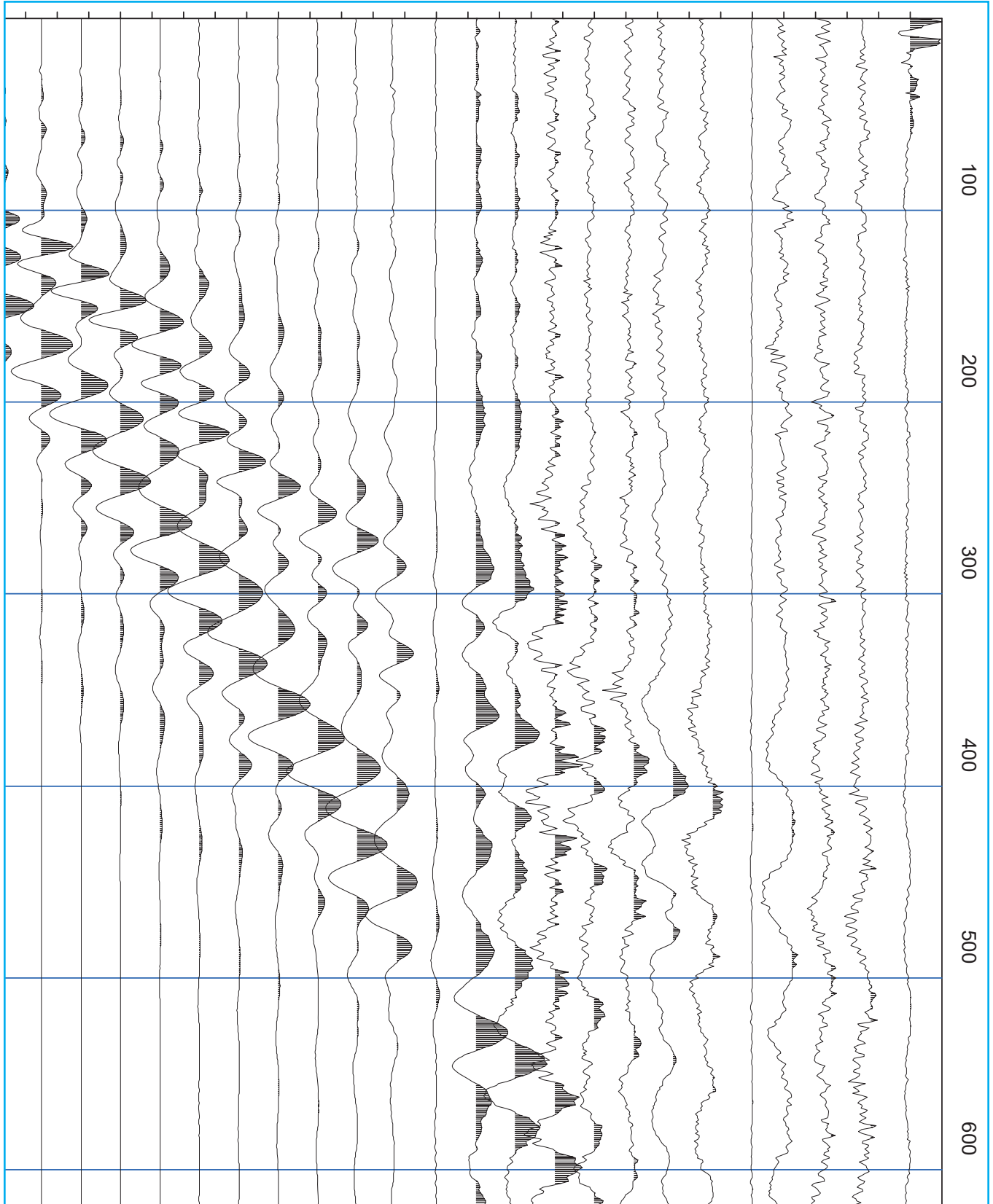
#### Modellizzazione

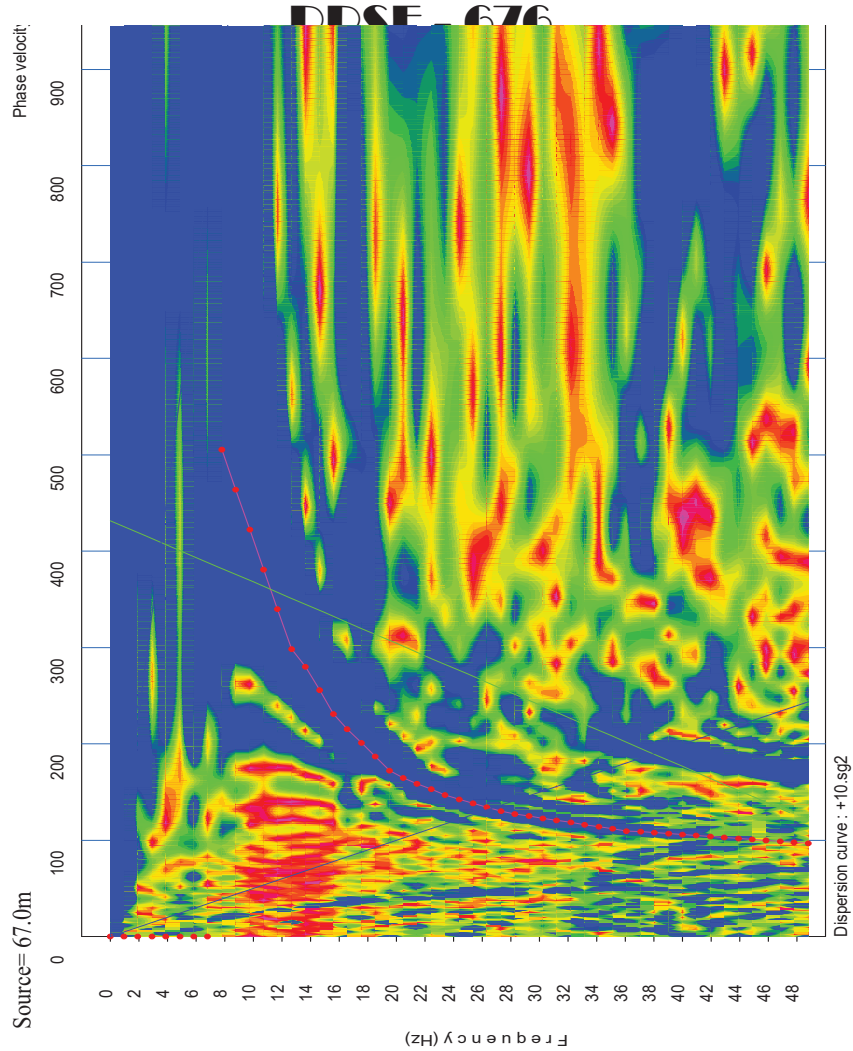
E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

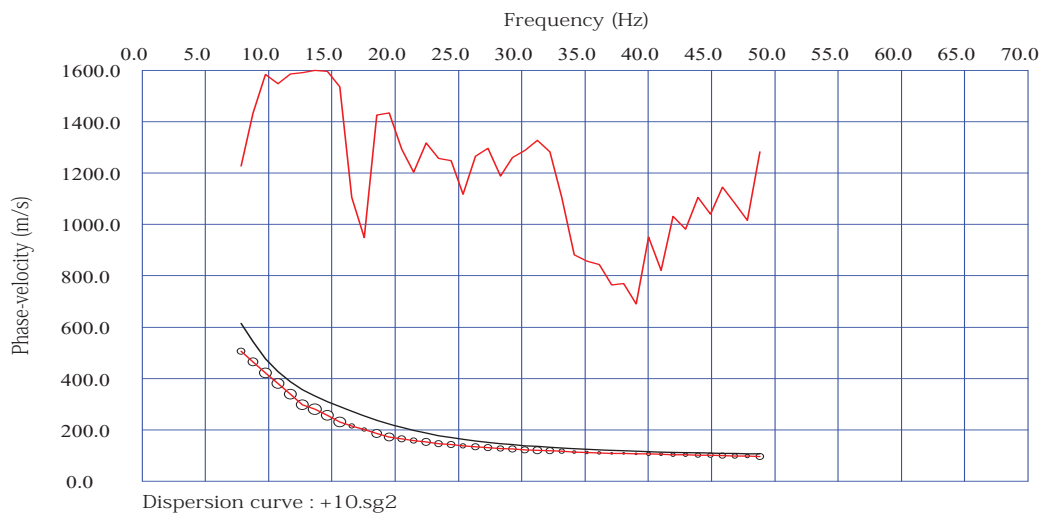
## PRSE - 676

I1





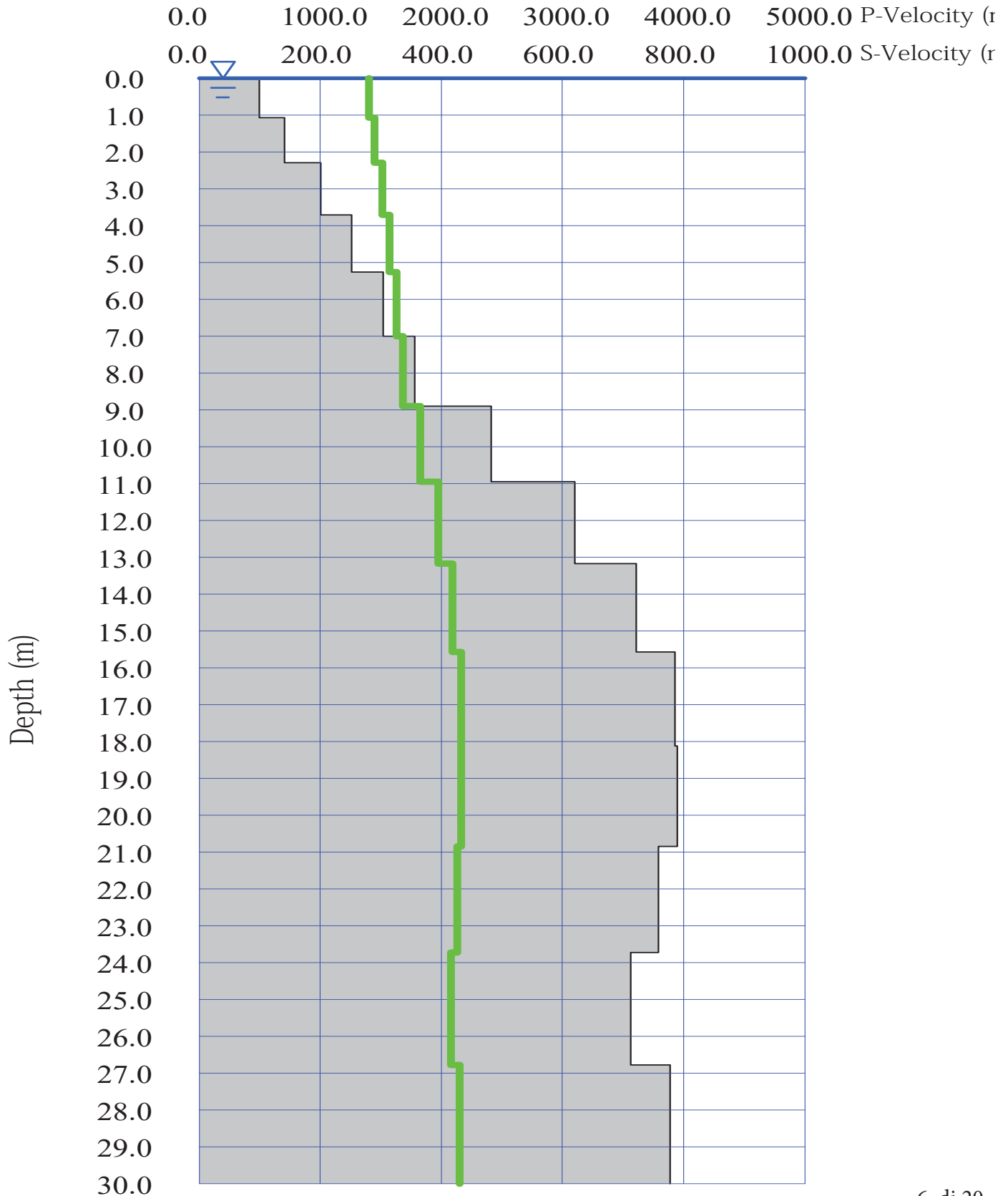
### 1D MASW analysis



I1

## PRSE - 676

I1



## PRSE - 676

I1

PRSE 676 - S1

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m <sup>3</sup> ]	n (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	1.1	100.07	1401.08	17.56	0.50	14.00	18	54
2	1.1	1.2	141.73	1447.32	17.71	0.50	10.21	36	108
3	2.3	1.4	200.70	1512.78	17.92	0.49	7.54	74	219
4	3.7	1.6	251.49	1569.15	18.10	0.49	6.24	117	347
5	5.3	1.7	304.30	1627.78	18.28	0.48	5.35	173	512
6	7.0	1.9	355.50	1684.61	18.46	0.48	4.74	238	703
7	8.9	2.1	482.67	1825.77	18.90	0.46	3.78	449	1313
8	11.0	2.2	620.01	1978.21	19.35	0.45	3.19	759	2194
9	13.2	2.4	721.75	2091.14	19.69	0.43	2.90	1046	2996
10	15.6	2.6	785.56	2161.97	19.89	0.42	2.75	1252	3565
11	18.1	2.7	789.22	2166.03	19.90	0.42	2.74	1264	3599
12	20.9	2.9	758.99	2132.48	19.81	0.43	2.81	1163	3322
13	23.7	3.0	712.65	2081.04	19.66	0.43	2.92	1018	2919
14	26.8	3.2	778.27	2153.88	19.87	0.42	2.77	1227	3497
15	30.0	-	789.22	2166.03	19.90	0.42	2.74	1264	3599

**H =** 30 m

**Vs,eq :** 406.9 (m/s)

**Categoria suolo :** B

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Legenda:

- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)





**GeoSveva**  
Laboratorio di Analisi Geotecniche

**GeoSveva di Luigi Di Carlo**

Laboratorio sperimentale di  
analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- via Montesanto 64-66  
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718  
- C.F. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66  
F +39 0881 31 81 67

[www.geosveva.it](http://www.geosveva.it)  
[geosvevalaboratori@alice.it](mailto:geosvevalaboratori@alice.it)



Ministero delle  
Infrastrutture  
e dei Trasporti



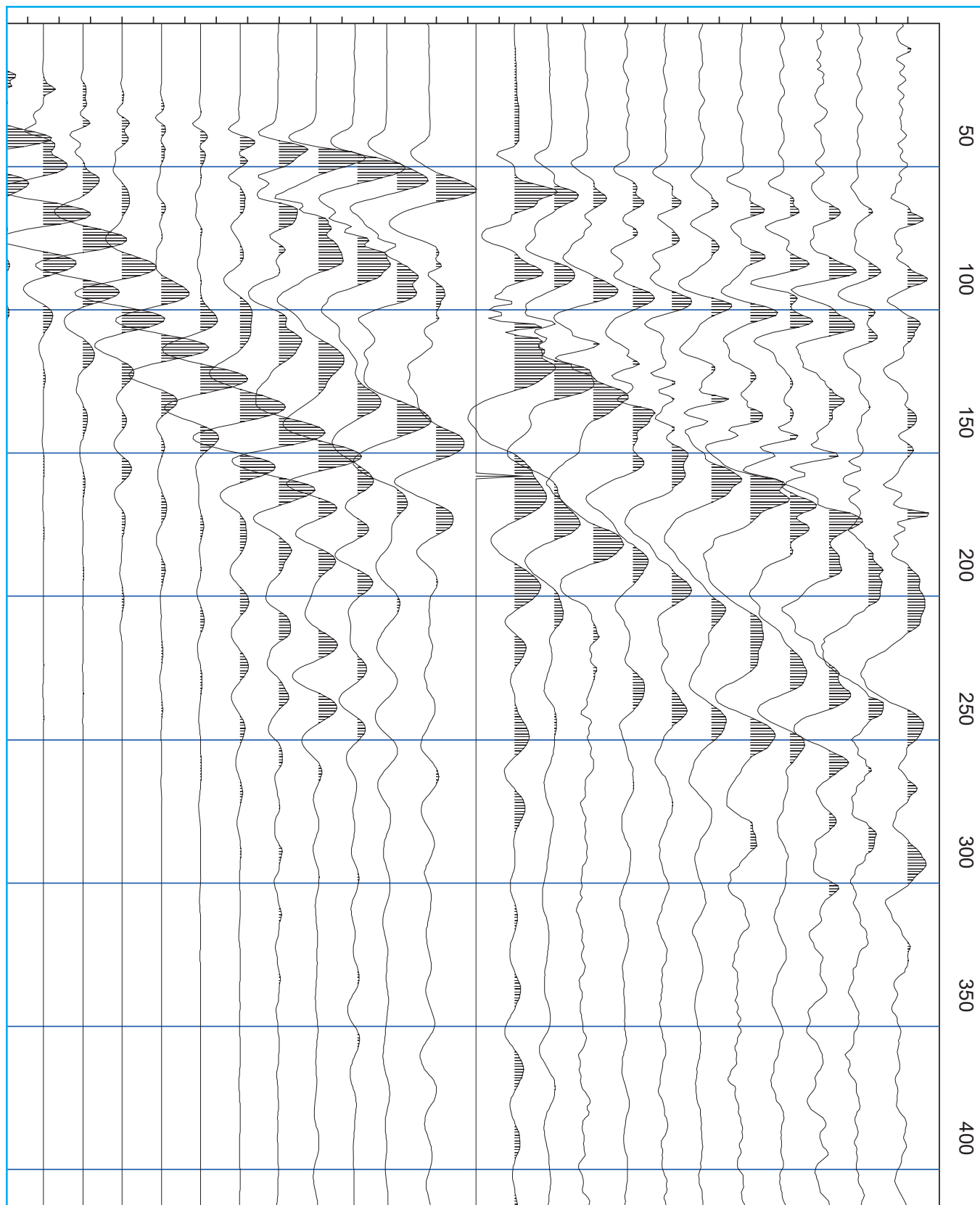
Socio  
ALGI



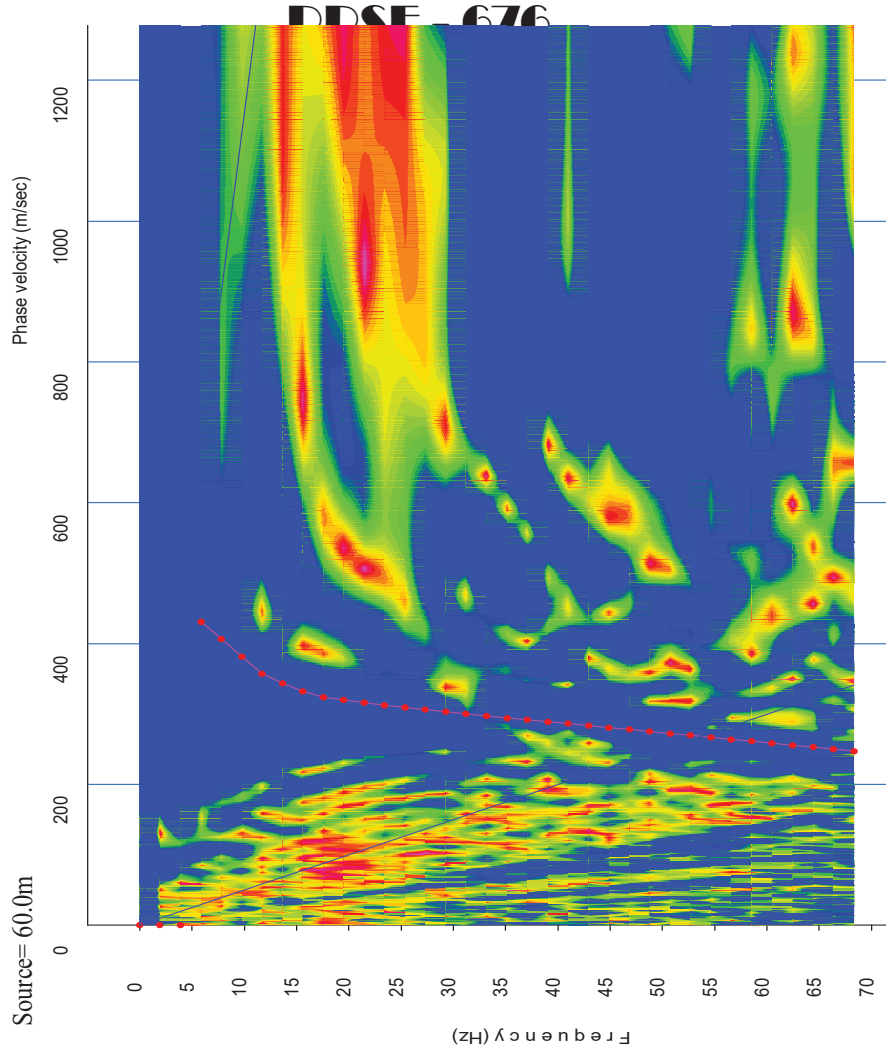
Sistema di gestione  
Qualità certificato  
UNI EN ISO 9001:2008

# PRSE - 676

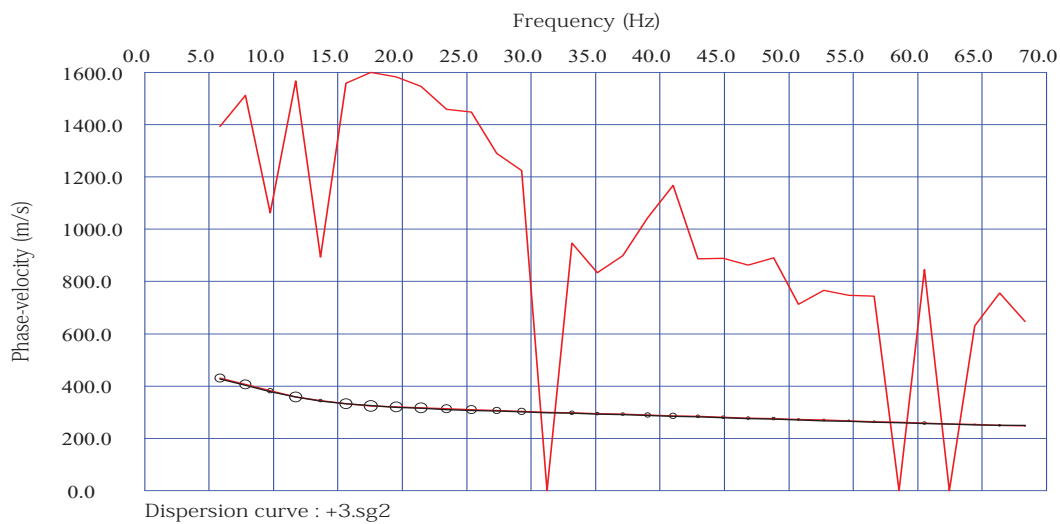
I2



I2

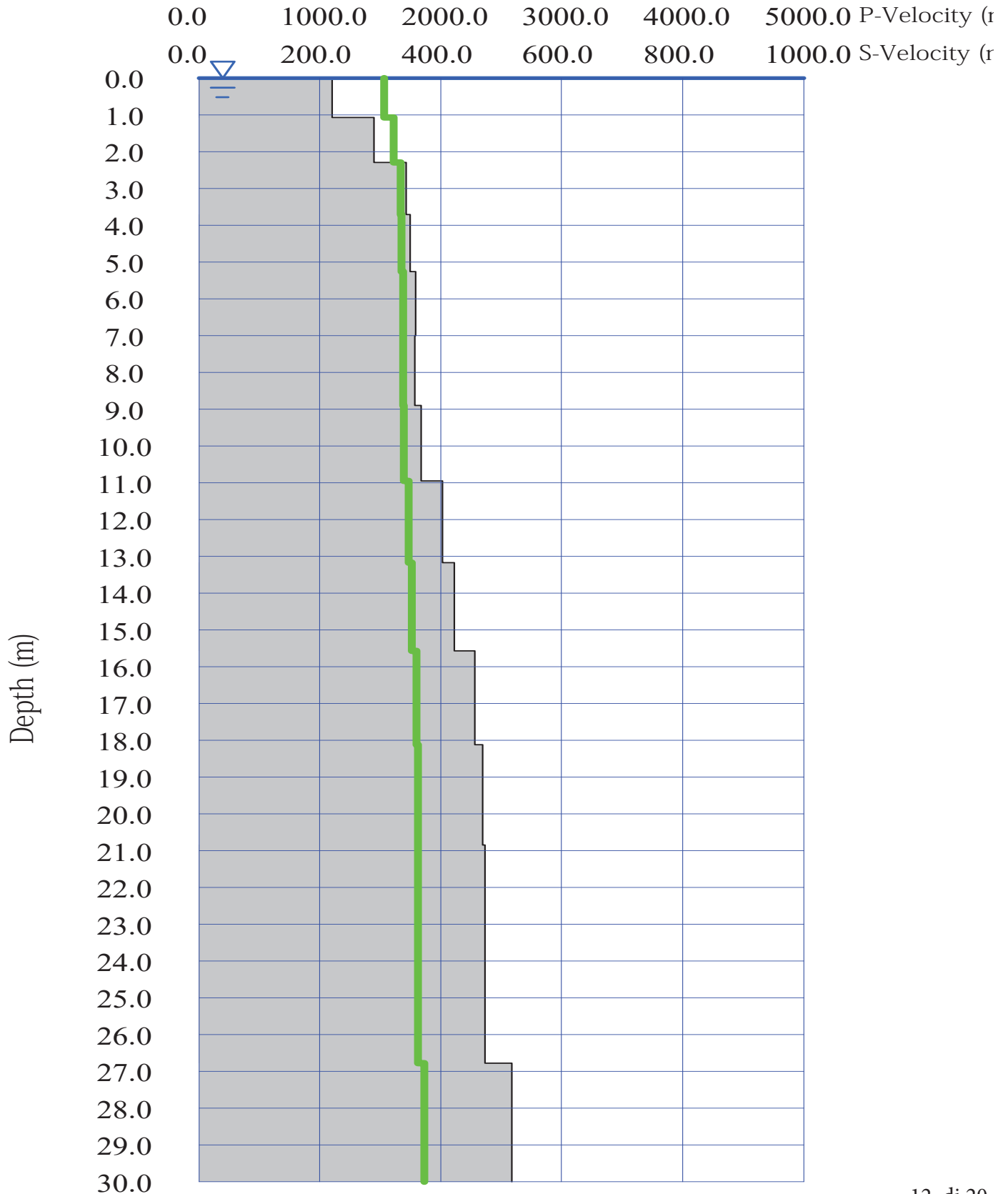


1D MASW analysis



## PRSE - 676

I2



## PRSE - 676

I2

PRSE 676 - S2

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m <sup>3</sup> ]	n (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	1.1	220.93	1535.24	17.99	0.49	6.95	90	267
2	1.1	1.2	289.72	1611.59	18.23	0.48	5.56	156	463
3	2.3	1.4	343.36	1671.13	18.42	0.48	4.87	221	655
4	3.7	1.6	349.75	1678.22	18.44	0.48	4.80	230	680
5	5.3	1.7	358.67	1688.12	18.47	0.48	4.71	242	716
6	7.0	1.9	357.53	1686.86	18.47	0.48	4.72	241	711
7	8.9	2.1	367.62	1698.06	18.50	0.48	4.62	255	753
8	11.0	2.2	403.31	1737.68	18.63	0.47	4.31	309	909
9	13.2	2.4	423.00	1759.53	18.69	0.47	4.16	341	1002
10	15.6	2.6	456.96	1797.23	18.81	0.47	3.93	401	1174
11	18.1	2.7	468.84	1810.41	18.85	0.46	3.86	423	1237
12	20.9	2.9	473.85	1815.98	18.87	0.46	3.83	432	1264
13	23.7	3.0	473.36	1815.43	18.87	0.46	3.84	431	1262
14	26.8	3.2	516.95	1863.82	19.01	0.46	3.61	518	1511
15	30.0 -		516.95	1863.82	19.01	0.46	3.61	518	1511

**H =** 30 m

**Vs,eq :** 401.5 (m/s)

**Categoria suolo :** B

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Legenda:

- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)



**GeoSveva**  
Laboratorio di Analisi Geotecniche

**GeoSveva** di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di  
analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- via Montesanto 64-66  
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718  
- C.F. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66  
F +39 0881 31 81 67

[www.geosveva.it](http://www.geosveva.it)  
[geosvevalaboratori@alice.it](mailto:geosvevalaboratori@alice.it)



Ministero delle  
Infrastrutture  
e dei Trasporti



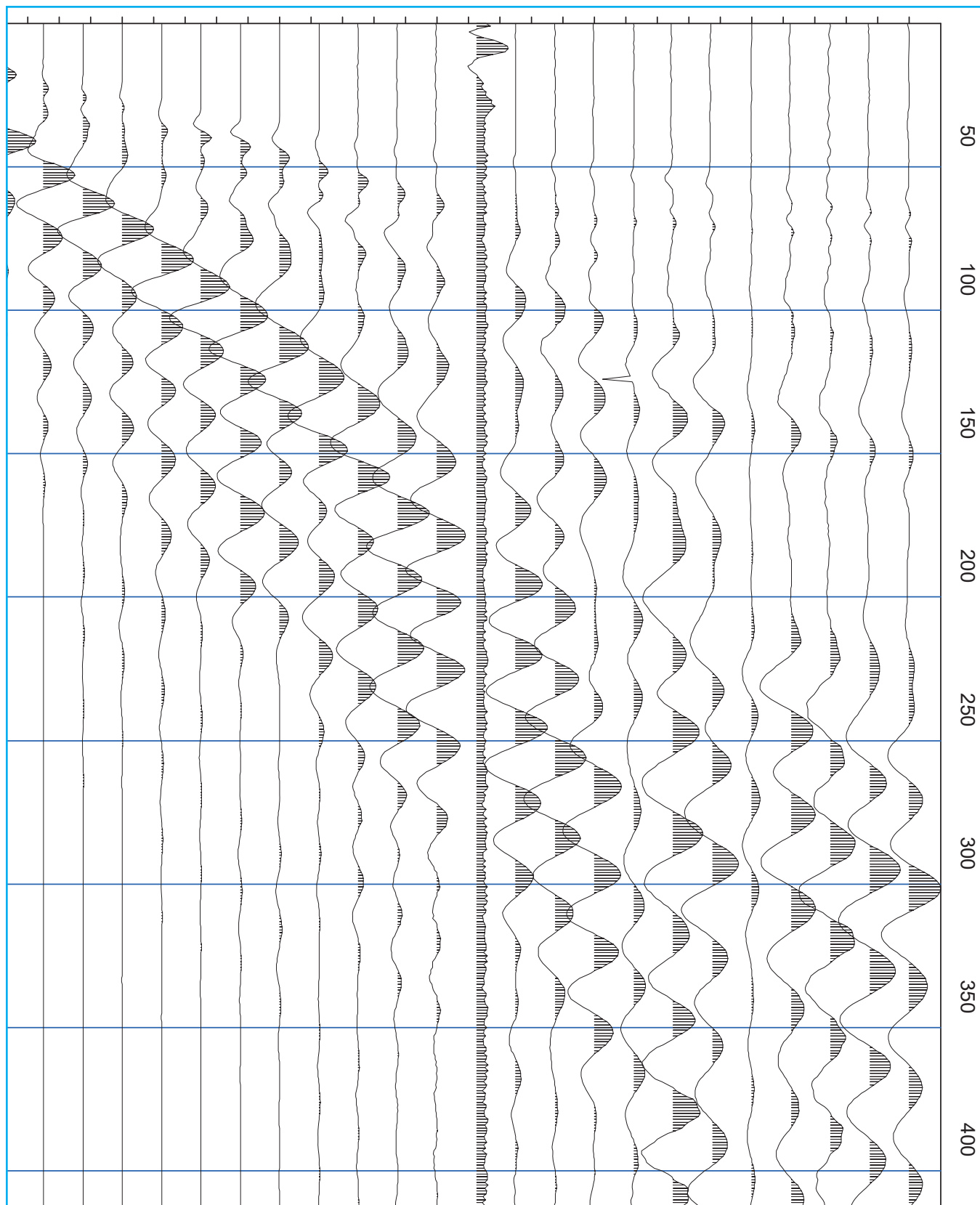
Socio  
ALGI

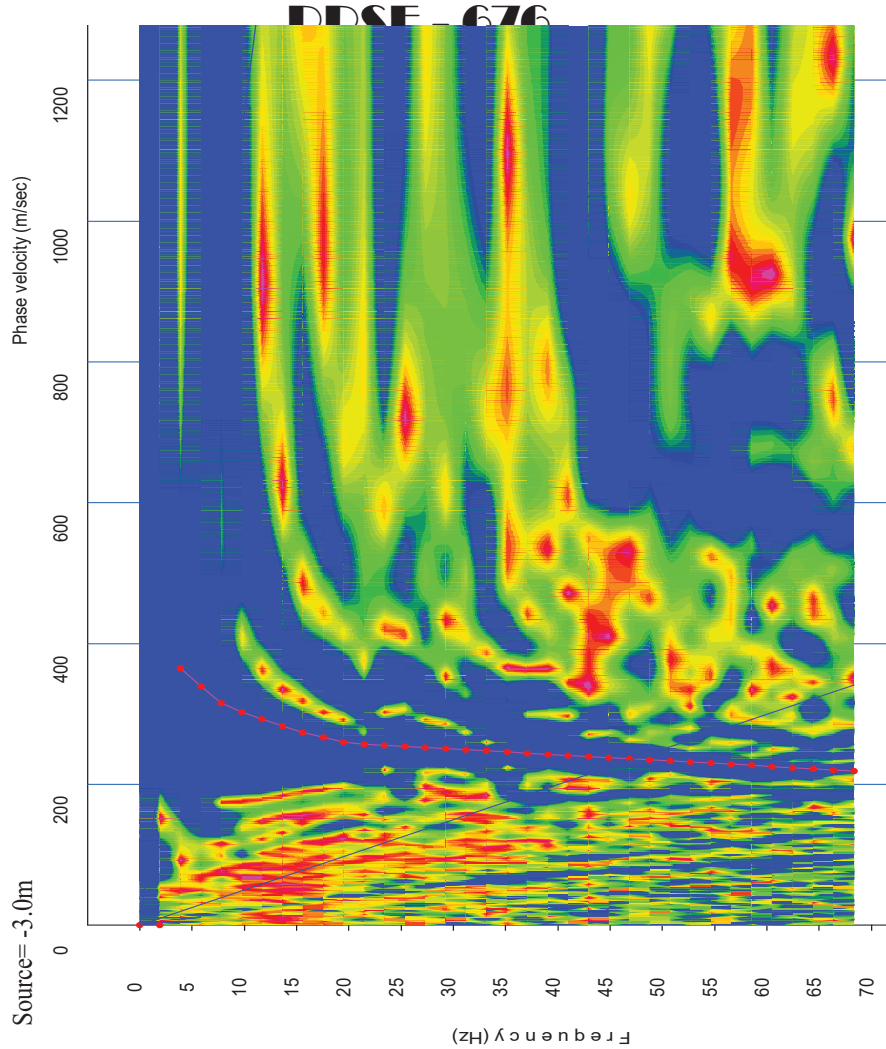


Sistema di gestione  
Qualità certificato  
UNI EN ISO 9001:2008

**PRSE - 676**

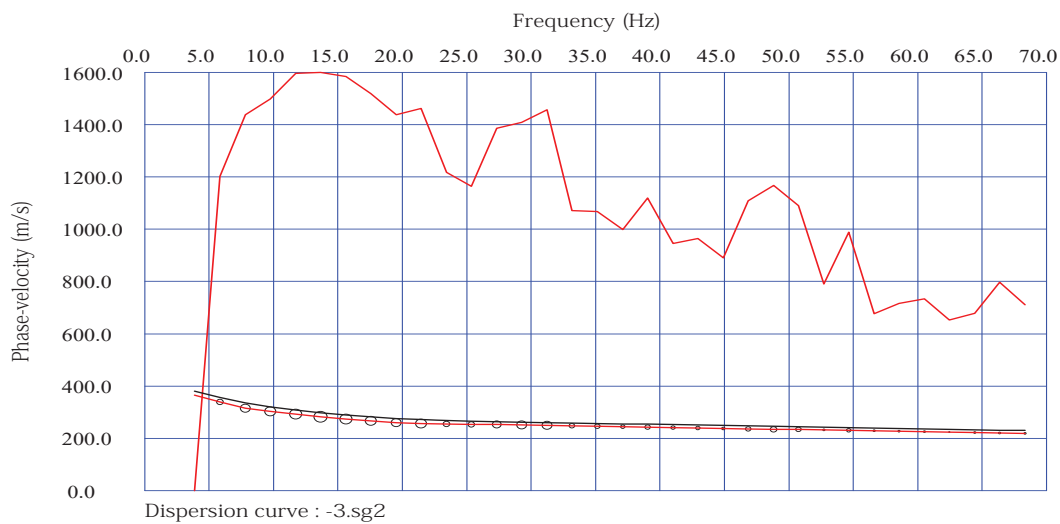
**I3**





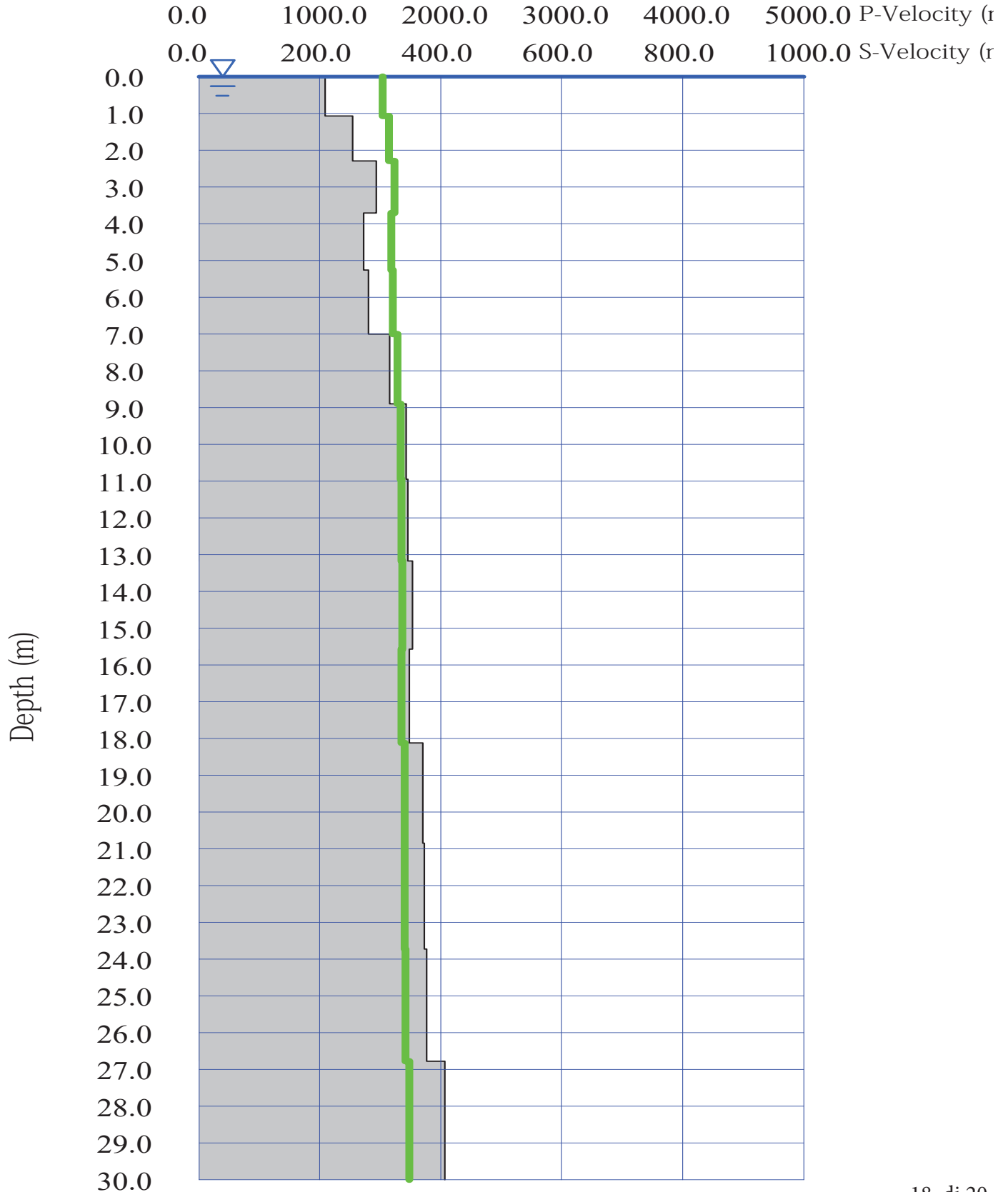
I3

1D MASW analysis



## PRSE - 676

I3



## PRSE - 676

I3

PRSE 676 - S3

Depth [m]	Spessore [m]	S-velocity [m/s]	P-velocity (m/s)	Density [KN/m <sup>3</sup> ]	n (-)	Vp/Vs (-)	G [Mpa]	Edin [Mpa]	
1	0.0	1.1	209.46	1522.50	17.95	0.49	7.27	80	239
2	1.1	1.2	254.91	1572.95	18.11	0.49	6.17	120	357
3	2.3	1.4	294.24	1616.60	18.25	0.48	5.49	161	478
4	3.7	1.6	272.38	1592.34	18.17	0.48	5.85	137	408
5	5.3	1.7	281.10	1602.03	18.20	0.48	5.70	147	435
6	7.0	1.9	316.08	1640.85	18.33	0.48	5.19	187	553
7	8.9	2.1	343.24	1671.00	18.42	0.48	4.87	221	654
8	11.0	2.2	345.68	1673.70	18.43	0.48	4.84	225	664
9	13.2	2.4	353.40	1682.28	18.45	0.48	4.76	235	694
10	15.6	2.6	348.87	1677.25	18.44	0.48	4.81	229	676
11	18.1	2.7	370.03	1700.73	18.51	0.48	4.60	258	763
12	20.9	2.9	372.83	1703.84	18.52	0.47	4.57	263	774
13	23.7	3.0	376.88	1708.33	18.54	0.47	4.53	268	792
14	26.8	3.2	407.45	1742.27	18.64	0.47	4.28	316	929
15	30.0 -		431.49	1768.96	18.72	0.47	4.10	355	1044

**H =** 30 m

**Vs,eq :** 332.5 (m/s)

**Categoria suolo :** C

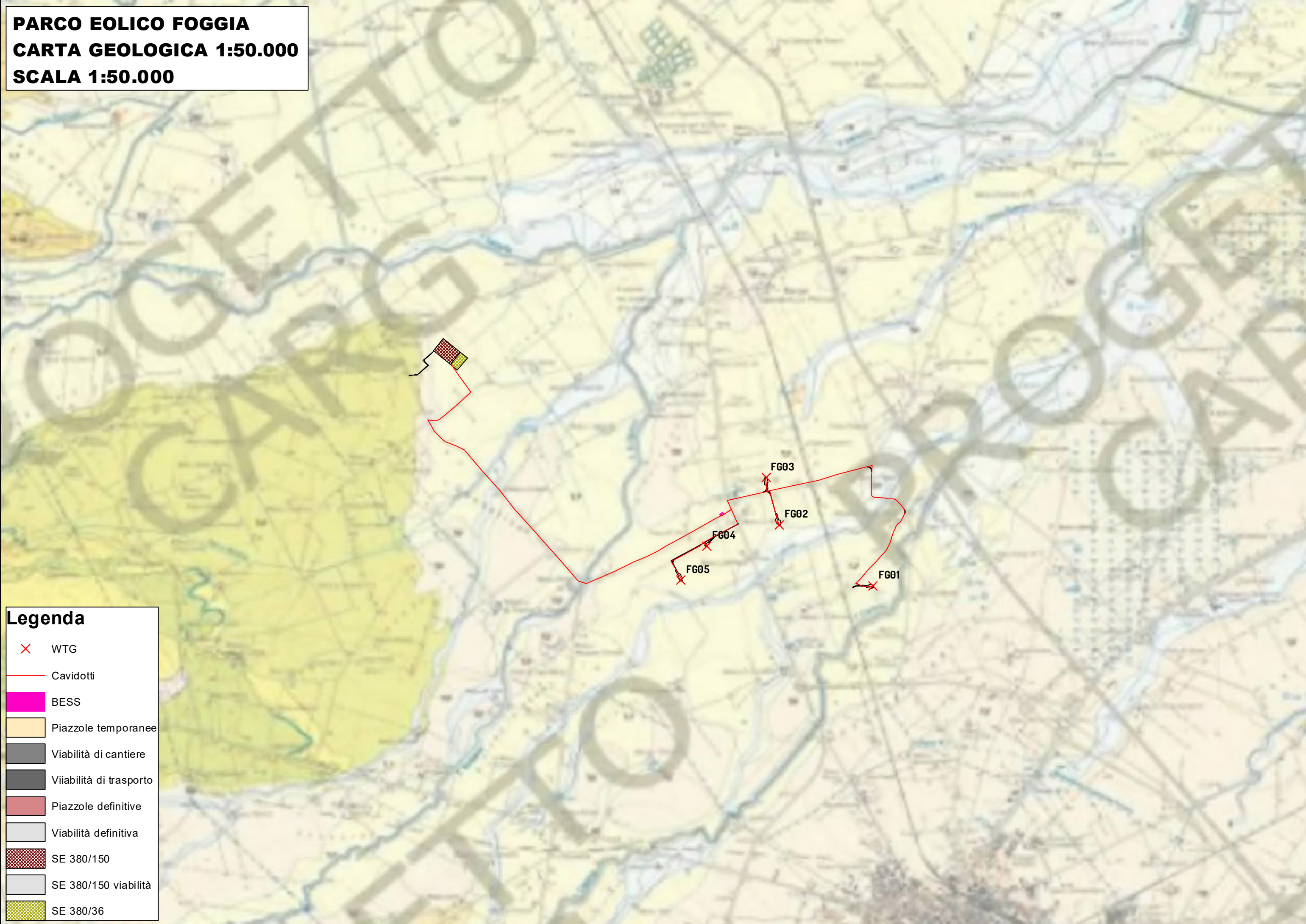
Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Legenda:

- v: Coefficiente di Poisson (-)
- Vp: Velocità delle onde longitudinali (m/s)
- Vs: Velocità delle onde di taglio (m/s)
- G: Modulo di rigidezza al taglio (Mpa)
- Ed: Modulo dinamico (Mpa)

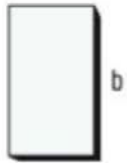


**PARCO EOLICO FOGGIA**  
**CARTA GEOLOGICA 1:50.000**  
**SCALA 1:50.000**



**Legenda**

- ✕ WTG
- Cavidotti
- BESS
- Piazzole temporanee
- Viabilità di cantiere
- Viabilità di trasporto
- Piazzole definitive
- Viabilità definitiva
- SE 380/150
- SE 380/150 viabilità
- SE 380/36



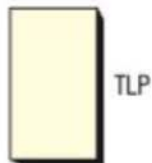
**Depositi alluvionali attuali**

Ghiaie, sabbie degli alvei attuali; le aree di esondazione sono occupate da strati decimetrici con sabbie a gradazione diretta, laminate e con al tetto sottili livelli argillosi.  
*PLEISTOCENE SUPERIORE?- OLOCENE*



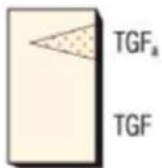
**SINTEMA DI MASSERIA FINAMONDO**

Depositi alluvionali terrazzati del VII ordine costituiti da sabbie fini alternate a peliti, sottilmente stratificate. Sono riferibili ad aree di piana alluvionale o ad aree di esondazione. Poggia in erosione sulle argille subappennine e sui sintemi più antichi. Lo spessore varia da pochi metri ad un massimo di 10-15 m.  
*PLEISTOCENE SUPERIORE*



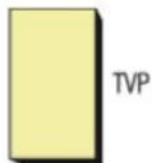
**SINTEMA DI MOTTA DEL LUPO**

Depositi alluvionali terrazzati del VI ordine costituiti da sabbie fini alternate a peliti sottilmente stratificate. Sono riferibili ad aree di piana alluvionale o ad aree di esondazione. Poggia in erosione sulle argille subappennine e sui sintemi più antichi. Lo spessore varia da pochi metri ad un massimo di 10 m.  
*PLEISTOCENE SUPERIORE*



**SINTEMA DI FOGGIA**

Depositi alluvionali terrazzati del V ordine costituiti da silt argillosi sottilmente laminati con intercalazioni di sabbie siltose gradate e laminate (depositi di piana di inondazione). Nel sottosuolo a diverse profondità si rinvencono conglomerati poligenici ed eterometrici in corpi di spessore variabile da circa un metro a circa 5-6 m intercalati a silt argillosi nerastri laminati che contengono a luoghi ciottoli isolati e gasteropodi continentali (TGF). In corrispondenza dell'abitato di Foggia i conglomerati affiorano in una estesa area (TGF<sub>a</sub>). Depositi di tracimazione e/o di piena calante e piane di esondazione. Poggia in erosione sulle argille subappennine e sui sintemi più antichi. Lo spessore complessivo dell'unità, ricavato dall'analisi di numerosi pozzi per la ricerca di acqua, varia da 10-15 m a 40 m.  
*PLEISTOCENE MEDIO?- PLEISTOCENE SUPERIORE*



**SINTEMA DI CAVA PETRILLI**

Depositi alluvionali terrazzati del II ordine costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche a tessitura grano-sostenuta e matrice sabbiosa e da sabbie debolmente stratificate. Localmente sono state osservate sottili lenti sabbioso-argillose di colore rossastro (paleosuoli?). Depositi di conoide distale e piana *braided* nel settore occidentale passanti ad est a depositi di piana alluvionale e di aree marginali di esondazione. Poggia con limite inconforme sulle argille subappennine. Lo spessore massimo è di circa 10 m.  
*PLEISTOCENE MEDIO*

**PARCO EOLICO FOGGIA**  
**PAI - Pericolosità Geomorfologica**  
**SCALA 1:25.000**



**Legenda**

- ✕ WTG
- Cavidotti
- BESS
- Piazzole temporanee
- Viabilità di cantiere
- Viabilità di trasporto
- Piazzole definitive
- Viabilità definitiva
- SE 380/150
- SE 380/150 viabilità
- SE 380/36

**PAI-Pericolosità geomorfologica**

**PERICOLO**

- PG1
- PG2
- PG3

**PARCO EOLICO FOGGIA**  
**PAI - Pericolosità Idraulica**  
**SCALA 1:25.000**



**Legenda**

- ✕ WTG
- Cavidotti
- BESS
- Piazzole temporanee
- Viabilità di cantiere
- Viabilità di trasporto
- Piazzole definitive
- Viabilità definitiva
- SE 380/150
- SE 380/150 viabilità
- SE 380/36
- AP
- MP
- BP

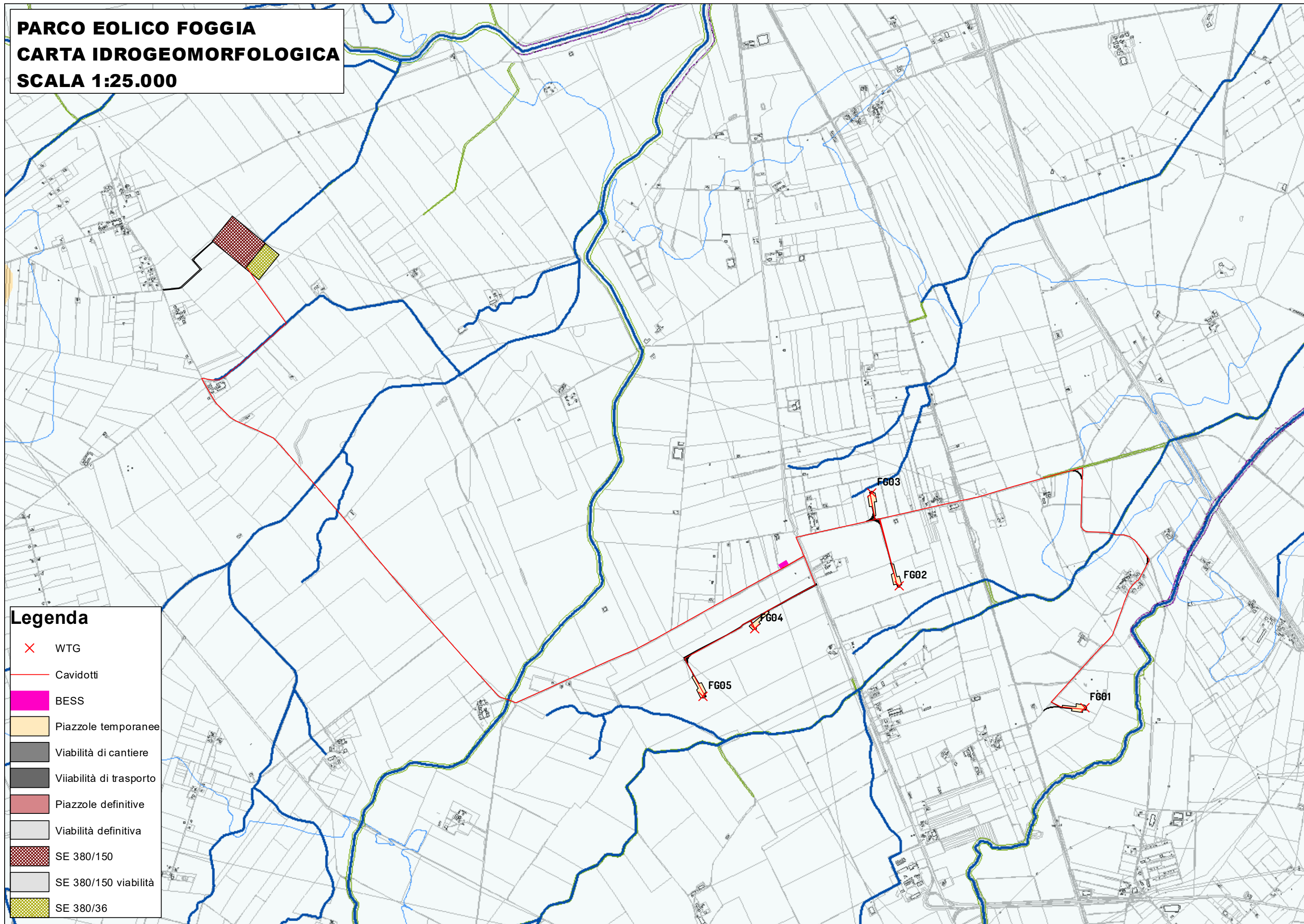
**PARCO EOLICO FOGGIA**  
**RETICOLO IDROGRAFICO**  
**SCALA 1:25.000**



**Legenda**

- ✕ WTG
- Cavidotti
- BESS
- Piazzole temporanee
- Viabilità di cantiere
- Viabilità di trasporto
- Piazzole definitive
- Viabilità definitiva
- SE 380/150
- SE 380/150 viabilità
- SE 380/36
- Reticolo idrografico distretto 12\_2022

**PARCO EOLICO FOGGIA**  
**CARTA IDROGEOMORFOLOGICA**  
**SCALA 1:25.000**



- Legenda**
- ✕ WTG
  - Cavidotti
  - BESS
  - Piazzole temporanee
  - Viabilità di cantiere
  - Viabilità di trasporto
  - Piazzole definitive
  - Viabilità definitiva
  - SE 380/150
  - SE 380/150 viabilità
  - SE 380/36

# LEGENDA

## ELEMENTI GEOLOGICO-STRUTTURALI

### Litologia del substrato

- Rocce prevalentemente calcaree o dolomitiche
- Rocce evaporitiche (carbonatiche, anidritiche o gessose)
- Rocce prevalentemente marnose, marnoso-pellicche e pellicche
- Rocce prevalentemente arenitiche (arenarie e sabbie)
- Rocce prevalentemente ruditiche (ghiaie e conglomerati)
- Rocce costituite da alternanze
- Depositi sciolti a prevalente componente pellica e/o sabbiosa
- Depositi sciolti a prevalente componente ghiaiosa

### Tettonica

- Faglia
- Faglia presunta
- Asse di anticlinale certo
- Asse di anticlinale presunto
- Asse di sinclinale certo
- Asse di sinclinale presunto
- Strati suborizzontali (<math><10^\circ</math>)
- Strati poco inclinati (<math>10^\circ-45^\circ</math>)
- Strati molto inclinati (<math>45^\circ-80^\circ</math>)
- Strati subverticali (><math>80^\circ</math>)
- Strati rovesciati
- Strati contorti

### PENDENZA (da CTR 1:5.000)

- Piane costiere e alluvionali, ripiani morfologici
- Versanti a modesta acclività
- Versanti a media acclività
- Versanti ad elevata acclività
- Paredi subverticali

### OROGRAFIA

- 0 - 100 m
- 100 - 300 m Rilevo e relativa quota al suolo l.m.m.
- 300 - 700 m
- 700 - 1200 m
- Isoipsa con equidistanza 25 m
- Isoipsa con equidistanza 100 m
- Punto sommitale

### BATIMETRIA

- Isobata con equidistanza 5 m
- Isobata con equidistanza 25 m

### FORME DI VERSANTE

- Nicchia di distacco
  - Corpo di frana
  - Cono di detrito
  - Area interessata da dissesto diffuso
  - Area a calanchi e forme similari
  - Orlo di scarpata delimitante forme semispianate
  - Cresta affilata
  - Cresta smussata
  - Asse di displuvio
- } Dissesto gravitativo

### FORME DI MODELLAMENTO DI CORSO D'ACQUA

- Ripa di erosione
- Ciglio di sponda

### FORME ED ELEMENTI LEGATI ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE

- Corso d'acqua
- Corso d'acqua episodico
- Corso d'acqua obliterato
- Corso d'acqua tombato
- Recapito finale di bacino endoreico
- Sorgente
- Canale lagunare

### BACINI IDRICI

- Lago naturale
- Lago artificiale
- Laguna
- Salina
- Stagno, acquitrino, zona palustre

### FORME CARSICHE

- Ingresso di grotta naturale
- Voragine, inghiottitoio o pozzo di crollo
- Dolina
- Orlo di depressione carsica a morfologia complessa

## FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE MARINA

### Tipo di costa

- Costa rocciosa
- Costa rocciosa con spiaggia ciottolosa al piede
- Costa rocciosa con spiaggia sabbiosa al piede
- Falesia
- Falesia con spiaggia ciottolosa al piede
- Falesia con spiaggia sabbiosa al piede
- Rias
- Spiaggia sabbiosa
- Spiaggia ciottolosa
- Spiaggia sabbiosa-ciottolosa
- Cordone dunare
- Faraglione

## FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE ANTROPICA

- Argine
  - Traversa fluviale
  - Opera di difesa costiera
  - Diga
  - Opera ed infrastruttura portuale
  - Discarica controllata
  - Area di cava attiva
  - Cava abbandonata
  - Cava riqualificata
  - Cava rinaturalizzata
  - Discarica di residui di cava
  - Miniera (abbandonata)
  - Discarica di residui di miniera
- } Cave e miniere

## SINGOLARITA' DI INTERESSE PAESAGGISTICO

- Geosito

## LIMITI AMMINISTRATIVI

- Limite di regione
- Limite di comune