



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA MEDIANTE LO SFRUTTAMENTO DEL VENTO NEL TERRITORIO COMUNALE DI SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB) E SANTA CROCE DI MAGLIANO (CB)

## PROGETTO DEFINITIVO

prima emissione: luglio 2021

REV.	DATA	DESCRIZIONE:
02	Apr 2024	Revisionato a seguito delle osservazioni del MASE Prot.467 del 15.01.2024

### PROGETTAZIONE



via Volga c/o Fiera del Levante Pad.129 - BARI (BA)  
ing. Sebanino GIOTTA - ing. Fabio PACCAPELO  
ing. Francesca SACCAROLA - geom. Raffaella TISTI



### ARCHITETTURA E PAESAGGIO

VIRUSDESIGN®  
arch. Vincenzo RUSSO  
via Puglie n.8 - Cerignola (FG)



### IMPIANTI ELETTRICI

ing. Roberto DI MONTE

### GEOLOGIA

geol. Pietro PEPE

### ACUSTICA

ing. Francesco PAPEO

### ARCHEOLOGIA

dr.ssa archeol. Domenica CARRASSO

### STUDIO PEDO-AGRONOMICO

dr.ssa Lucia PESOLA - dr. Rocco LABADESSA

### ASPETTI FAUNISTICI

dott. nat. Fabio MASTROPASQUA

### DOMENICA CARRASSO

Via G. Marconi, 19  
70017 PUTIGNANO (BA)  
C. F. CRR DNC 89144 A748J  
P. IVA 08138180724



### PD.R. ELABORATI DESCRITTIVI

### R.4 RELAZIONE GEOLOGICA, MORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA



## SOMMARIO

<b>RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI</b> .....	<b>3</b>
<b>1    PREMESSA</b> .....	<b>5</b>
<b>2    INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELLE OPERE</b> .....	<b>7</b>
<b>3    VINCOLI DELL'AREA IN ESAME</b> .....	<b>9</b>
3.1    VINCOLO IDROGEOLOGICO .....	9
3.2    INQUADRAMENTO DELL'AREA RISPETTO AL PIANO TUTELA DELLE ACQUE.....	10
3.3    INQUADRAMENTO DELL'AREA RISPETTO AL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	11
<b>4    INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b> .....	<b>14</b>
4.1    ASSETTO GEOLOGICO E STRUTTURALE .....	14
4.2    INQUADRAMENTO MORFOLOGICO .....	16
4.3    IDROLOGIA SUPERFICIALE .....	16
4.4    IDROGEOLOGIA .....	17
<b>5    INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA</b> .....	<b>19</b>
5.1    ASPETTI GENERALI .....	19
5.2    CARATTERISTICHE SISMICHE DI RIFERIMENTO DEL TERRITORIO E ASPETTI SPETTRALI .....	19
5.2.1    Caratteristiche sismiche del territorio.....	19
5.2.2    Valutazione dell'azione sismica .....	21
5.3    INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO .....	22
5.4    STRATEGIA DI PROGETTAZIONE.....	25
<b>6    PIANO DI CAMPIONAMENTO TERRE E ROCCE DA SCAVO</b> .....	<b>27</b>
<b>7    CAMPAGNA GEOGNOSTICA ESEGUITA</b> .....	<b>29</b>
7.1    PROVE PENETROMETRICHE.....	29
7.1.1    Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH .....	29
7.1.2    Penetrometri in uso in Italia .....	30
7.1.3    Correlazione con $N_{spt}$ .....	30
7.1.4    Valutazione resistenza dinamica alla punta $R_{qp}$ .....	31
7.1.5    Metodologia di elaborazione.....	31
7.1.6    Valutazioni statistiche e correlazioni .....	31
7.1.7    Pressione ammissibile.....	32
7.1.8    Correlazioni geotecniche terreni incoerenti .....	32
7.1.9    Correlazioni geotecniche terreni coesivi .....	34
7.1.10    Risultati delle prove DPSH eseguita .....	35
7.2    PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P .....	37
7.2.1    Descrizione del metodo e della strumentazione .....	37
7.2.2    Acquisizione dei dati .....	37
7.2.3    Elaborazione dei dati .....	37
7.2.4    Rappresentazione dei dati .....	38
7.2.5    Interpretazione dei risultati .....	38
7.3    PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL $V_{s,eq}$ .....	40
7.3.1    MASW – Descrizione del metodo e della strumentazione .....	40
7.4    MASW – ACQUISIZIONE DEI DATI .....	40
7.5    MASW – ELABORAZIONE DEI DATI.....	40
7.6    MASW – RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	41
7.7    MASW– INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	41

<b>8</b>	<b>VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA PROVE SISMICHE .....</b>	<b>44</b>
8.1	SISMICITÀ STORICA .....	45
<b>9</b>	<b>STIMA DEI MODULI ELASTICO DINAMICI .....</b>	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE LITOLOGIE PRESENTI NELL'AREA .....</b>	<b>55</b>
10.1	CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	55
<b>11</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>56</b>
<b>ALLEGATO 01: PLANIMETRIE.....</b>		<b>58</b>
<b>ALLEGATO 02: PROVE DPSH .....</b>		<b>60</b>
<b>ALLEGATO 03A: PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P .....</b>		<b>71</b>
<b>ALLEGATO 03B - PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VS,EQ .....</b>		<b>87</b>
<b>ALLEGATO 04: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....</b>		<b>103</b>

## RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- *Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - Bacino del Fortore – Piano di Bacino Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI);*
- *P.T.P.A.A.V. (Piani Territoriali Paesistico-Ambientali di Area Vasta – Regione Molise);*
- *Boni A., Casnedi R., Centamore E., Colantoni P., Cremonini G., Elmi C., Monesi A., Selli R., Valletta M., 1969. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 155 "San Severo". Carta del Vincolo Idrogeologico della Regione Molise;*
- *Ciaranfi N et al (1983) - "Carta Neotettonica dell'Italia Meridionale", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto finalizzato Geodinamica, Pubbl. n. 515 del P.F. Geodinamica, Bari;*
- *Rapisardi L., 1978. Trattati di neotettonica al confine molisano-abruzzese. Geologia Applicata e Idrogeologia, 8, 223-232.*
- *AA.VV (1999) – "Guide Geologiche Regionali – Puglia e Monte Vulture", Società Geologica Italiana.*
- *Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (Testo A)" - Art. 89 (L) - Parere sugli strumenti urbanistici (Legge 3 febbraio 1974, n. 64, art. 13);*
- *Decreto Ministero LL.PP.11/03/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";*
- *Ordinanza PCM 3274 (20/03/2003) "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche" (G.U. n.105 del 08/05/2003);*
- *Ordinanza PCM 3519 (28/04/2006) "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (G.U. n.108 del 11/05/2006).*
- *Gruppo di Lavoro MPS (2004) – "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003". Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.*
- *Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 "Progetto S1 Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista all'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi".*
- *Legge Regionale 20 maggio 2004, n. 13, "Riclassificazione sismica del territorio regionale e nuova normativa sismica" – Recepimento delle Regione Molise dell'O.P.C.M. del 20 marzo 2003, n. 3274;*
- *Legge Regionale 23 giugno 2004, n. 17, Modifiche alla L.R. del 20 maggio 2004, n. 13, concernente la "Riclassificazione sismica del territorio regionale e nuova normativa sismica";*
- *Legge Regionale 18 ottobre 2004, n. 21, Ulteriori modifiche ed integrazioni alla L.R. del 20 maggio 2004, n. 13, ad oggetto: "Riclassificazione sismica del territorio regionale e nuova normativa sismica";*
- *Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino Interregionale del Fiume Saccione, approvato dal Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore, nella seduta n. 25 del 16 dicembre 2004 e adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 99 del 29 settembre 2006;*
- *Legge Regionale del 5 aprile 2007, n. 11, "Procedure e modalità per l'approvazione dei Piani di Bacino di rilievo regionale ed interregionale per la parte di competenza territoriale";*

- *Piano di Gestione Acque (Direttiva Comunitaria 2000/60/CE, D. L.vo. 152/06, L. 13/09, D.L. 194/09) – Relazione sintetica Piano di Gestione Acque Territorio della Regione Molise – Aggiornamento febbraio 2010 + n.7 Allegati + Cartografie di Piano.*
- *Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 - All. 1b “Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale”.*
- *“Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture” del 17 gennaio 2018 (Suppl Ord. G. U. 20.2.2018, n.8);*
- *Circolare esplicativa NTC 2018 n. 7 del 21 gennaio 2019 – “Istruzioni per l’Applicazione delle Norme Tecniche”;*
- *Classificazione sismica del territorio italiano del marzo 2022.*

## 1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è stata redatta a supporto del Progetto per la “**REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO**” in un’area compresa tra l’agro di San Giugliano di Puglia, Rotello e Santa Croce di Magliano (CB).

Lo studio geologico ha consentito in primo luogo di definire le caratteristiche litostratigrafiche, morfologiche, tettoniche ed idrogeologiche dell’area in esame, in secondo luogo, tramite una campagna di indagini geognostiche, ha permesso la valutazione delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni coinvolti dalle opere in progetto, la sismicità dell’area e la stabilità del versante impegnato.

Pertanto, alla luce delle opere da realizzarsi sono stati analizzati i seguenti aspetti:

- verifica della vincolistica paesaggistica gravante sul territorio relativamente alle perimetrazioni dei piani paesaggistici;
- verifica della vincolistica gravante sul territorio e le relative prescrizioni fissate dal Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità Distrettuale dell’Appennino Meridionale (Bacino del Fortore);
- verifica della presenza di situazioni stratigrafiche anomale che possano infirmare la sicurezza delle opere in fase di realizzazione;
- individuati i livelli interessati dalle fondazioni;
- individuata l’eventuale presenza della falda idrica e analizzati i possibili fenomeni d’interferenza con la struttura in elevazione;
- stimato il valore del  $V_{s,eq}$  e determinata la classe di appartenenza del terreno di fondazione secondo quanto è previsto dell’OPCM 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche ed integrazioni dell’O.P.C.M. 3519 del 28/04/2006, “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento delle medesime zone” G.U. n. 108 del 11/05/2006, poi recepite nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018) allo scopo di verificare la congruità tra i parametri progettuali e la risposta elastico-dinamica dei terreni di fondazione.

Dopo un sopralluogo ricognitivo sul sito, si è proceduto con ulteriori sopralluoghi finalizzati a delineare i caratteri geologici di superficie allo scopo di inquadrare l’area in oggetto nel contesto geologico regionale ed ottenere così un quadro generale della situazione. In questa fase è stata consultata anche la bibliocartografia esistente oltre che ad alcuni lavori professionali eseguiti dalla scrivente società in aree adiacenti e geologicamente analoghe.

In particolare, durante il rilevamento geologico sono state condotte su porzioni di ammasso terroso affiorante poste nell’intorno del sito in esame osservazioni sul grado di alterazione e compattezza del litotipo costituente il sottosuolo.

Non ultima è stata svolta una campagna di investigazione geognostica consistita nell’esecuzione di indagini indirette e prove in sito. Nello specifico sono state svolte:

- Indagini geofisiche per la ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo e per la stima del  $V_{s,eq}$  come previsto dalla normativa vigente, Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture” del 17 gennaio 2018 (Suppl. Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8) e per la caratterizzazione elastico-dinamica del sottosuolo;

- Prove DPSH la cui profondità di investigazione prevista è pari a 10m o a profondità inferiori in caso di rifiuto, per la determinazione degli spessori dei materiali a basso grado di addensamento e/o di consistenza.

Pertanto, alla luce, delle considerazioni fatte durante i sopralluoghi e in funzione dei dati consultati sono stati eseguiti sul campo:

- **n. 5 prove penetrometriche del tipo DPSH, DPSH01 ÷ DPSH05**, di cui la DPSH 03 e DPSH 04 spinte fino a 10m mentre la DPSH 01, DPSH02, DPSH03 e DPSH05 sono andate a “rifiuto” raggiungendo profondità inferiori a 10m: nello specifico hanno raggiunto rispettivamente le profondità di 7.60m, 4.20m e 3.80m.
- **n. 5 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P** di lunghezza compresa tra 75m (**BS03**) e 125m (**BS01, BS02, BS04 e BS05**) per la quale sono stati utilizzati n. 24 geofoni ed eseguiti 5 scoppi;
- **n. 5 prospezioni sismiche eseguite con tecnica MASW** per la determinazione delle onde di taglio (onde S), (**MASW01÷MASW05**), ubicati in corrispondenza delle stesse basi sismiche a rifrazione, per la quali sono stati utilizzati n. 24 geofoni con spaziatura inter-geofonica di 5.0m ed eseguito scoppio posto a 10.0m dal primo, per gli stendimenti MASW01, MASW02, MASW04 e MASW05 mentre per lo stendimento MASW03 i 24 geofoni sono stati spazati 3.0m ed eseguito scoppio posto a 6.0m dal primo geofono; tale tecnica consentirà di stimare il valore delle Vs,eq e quindi attribuire al sottosuolo in esame una delle categorie di suolo di fondazione contemplata dalle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

Il presente lavoro è conforme alle normative vigenti ed in particolare, al DPR 380/01 – D.M. 11.03.88 – D.M. 17.01.2018 e che rispettano le prescrizioni del vigente Piano dell’AdB Distrettuale dell’Appennino Meridionale sede della Molise.

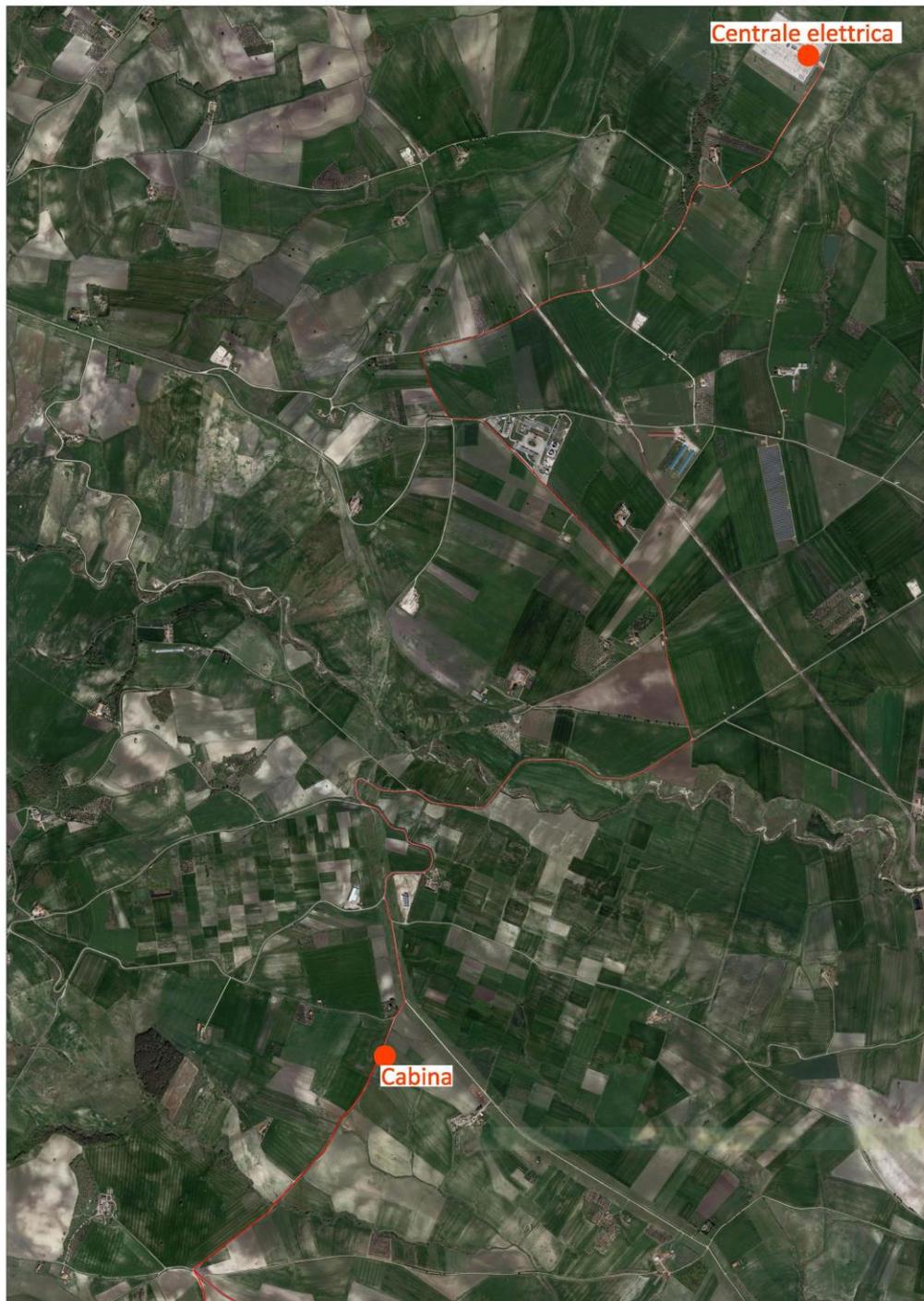
Si sottolinea che in base al contesto geologico e sulla disponibilità degli accessi, vari stendimenti sismici e altrettanti punti di misura DPSH sono stati eseguiti in posti diversi rispetto a quelli previsti dai progettisti ma comunque sempre nell’ambito delle stesse formazioni geologiche, significative dei luoghi in cui si realizzeranno cadauno le fondazioni delle opere in progetto.

	UBICAZIONE DA PROGETTO	NUOVA UBICAZIONE
<b>BS01 – MASW01</b>		x
<b>BS02 – MASW 02</b>		x
<b>BS03 – MASW03</b>		x
<b>BS04 – MASW04</b>	x	
<b>BS05 – MASW05</b>	x	
<b>DPSH01</b>	x	
<b>DPSH02</b>	x	
<b>DPSH03</b>		x
<b>DPSH04</b>		x
<b>DPSH05</b>	x	

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELLE OPERE

L'area in esame è ubicata prevalentemente nel territorio di San Giuliano di Puglia, con alcune delle opere in divenire che ricadono nell'agro di Rotello e Santa Croce di Magliano, tutti in provincia di Campobasso. Di seguito riporta uno stralcio dell'area d'interesse su Ortofoto.

Stralcio su Ortofoto 2022 con ubicazione dell'area in esame



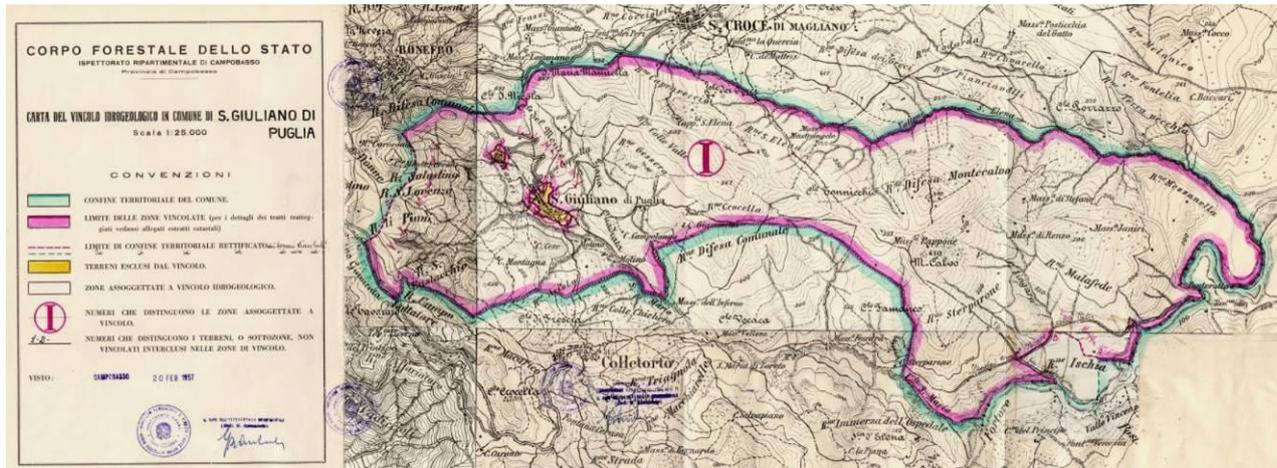


I pallini in rosso rappresentano l'ubicazione di ogni singola pala eolica da installare. Infatti come si evince saranno installate n.11 pale eoliche con relativa viabilità e cavidotti che confluiranno ad un'unica centrale elettrica.

### 3 VINCOLI DELL'AREA IN ESAME

#### 3.1 Vincolo Idrogeologico

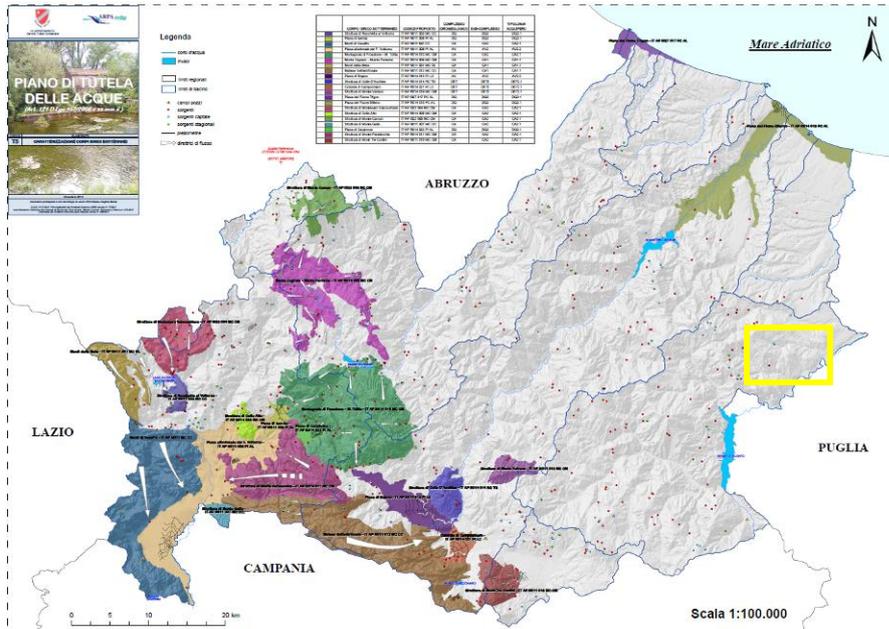
Dall'analisi della Carta del Vincolo idrogeologico del Comune di S.Giuliano di Puglia, redatta dal Corpo Forestale dello Stato, è emerso che quasi tutta l'area del comune è soggetta al vincolo idrogeologico, di cui al Regio Decreto Legge n. 3267 del 30/12/1923. Pertanto per la realizzazione delle opere sarà necessaria l'acquisizione del parere da parte del Servizio Valorizzazione e Tutela Economia Montana e delle Foreste della Regione Molise.



### 3.2 Inquadramento dell'area rispetto al Piano Tutela delle Acque

L'area di studio non ricade all'interno di aree di corpi idrici sotterranei di riferimento, monitorati dal PTA e non interessa aree sensibili. In dettaglio, dalla tavola di Piano "T3- Caratterizzazione corpi idrici sotterranei", si evince che le opere di progetto non interferiscono con alcun tipo di sorgenti.

Stralci delle tavole del PTA del Molise con ubicazione dell'area in esame



### Legenda

- corsi d'acqua
- invasi
- limiti regionali
- limiti di bacino
- campi pozzi
- sorgenti
- sorgenti captate
- sorgenti stagionali
- piezometrie
- direttrici di flusso

	CORPO IDRICO SOTTERRANEO	CODICE PROPOSTO	COMPLESSO IDROGEOLOGICO	SUB-COMPLESSO	TIPOLOGIA ACQUIFERO
	Struttura di Rocchetta al Voltumo	IT AP N011 003 MC CC	DQ	DQ3	DQ3.1
	Piana di Isernia	IT AP N011 008 PI AL	DQ	DQ3	DQ3.1
	Monti di Venafro	IT AP N011 MC CC	CA	CA2	CA2.1
	Piana alluvionale del F. Voltumo	IT AP N011 006 PI AL	AV	AV2	AV2.2
	Montagnola di Frosolone – M. Totila	IT AP R014 010 MC CM	CA	CA2	CA2.1
	Monte Capraro – Monte Ferrante	IT AP R014 009 MC CM	CA	CA1	CA1.1
	Monti della Meta	IT AP N011 001 MC DL	CA	CA1	CA1.1
	Matese Settentrionale	IT AP N011 012 MC CC	CA	CA1	CA1.1
	Piana di Bojano	IT AP R014 013 PI LC	AV	AV2	AV2.2
	Struttura di Colle D'Anchise	IT AP R014 014 RC TG	DET	DET2	DET2.1
	Conoide di Campochiaro	IT AP R014 021 PI LC	DET	DET2	DET2.1
	Struttura di Monte Vairano	IT AP R014 019 MC CM	DET	DET2	DET2.1
	Piana del Fiume Trigno	IT AP I027 017 PC AL	DQ	DQ3	DQ3.1
	Piana del Fiume Biferno	IT AP R014 018 PC AL	DQ	DQ3	DQ3.1
	Struttura di Montenero Valcocchiara	IT AP I023 004 MC CM	CA	CA2	CA2.1
	Struttura di Colle Alto	IT AP R014 005 MC CM	CA	CA2	CA2.1
	Struttura di Monte Campo	IT AP I023 008 MC CM	CA	CA2	CA2.1
	Struttura di Monte Gallo	IT AP N011 007 MC CC	CA	CA2	CA2.1
	Piana di Carpinone	IT AP R014 022 PI AL	DQ	DQ3	DQ3.1
	Struttura di Monte Patalecchia	IT AP R014 011 MC CM	CA	CA2	CA2.1
	Struttura di Monti Tre Confini	IT AP N011 016 MC CM	CA	CA2	CA2.1

### 3.3 *Inquadramento dell'area rispetto al Piano di Assetto Idrogeologico*

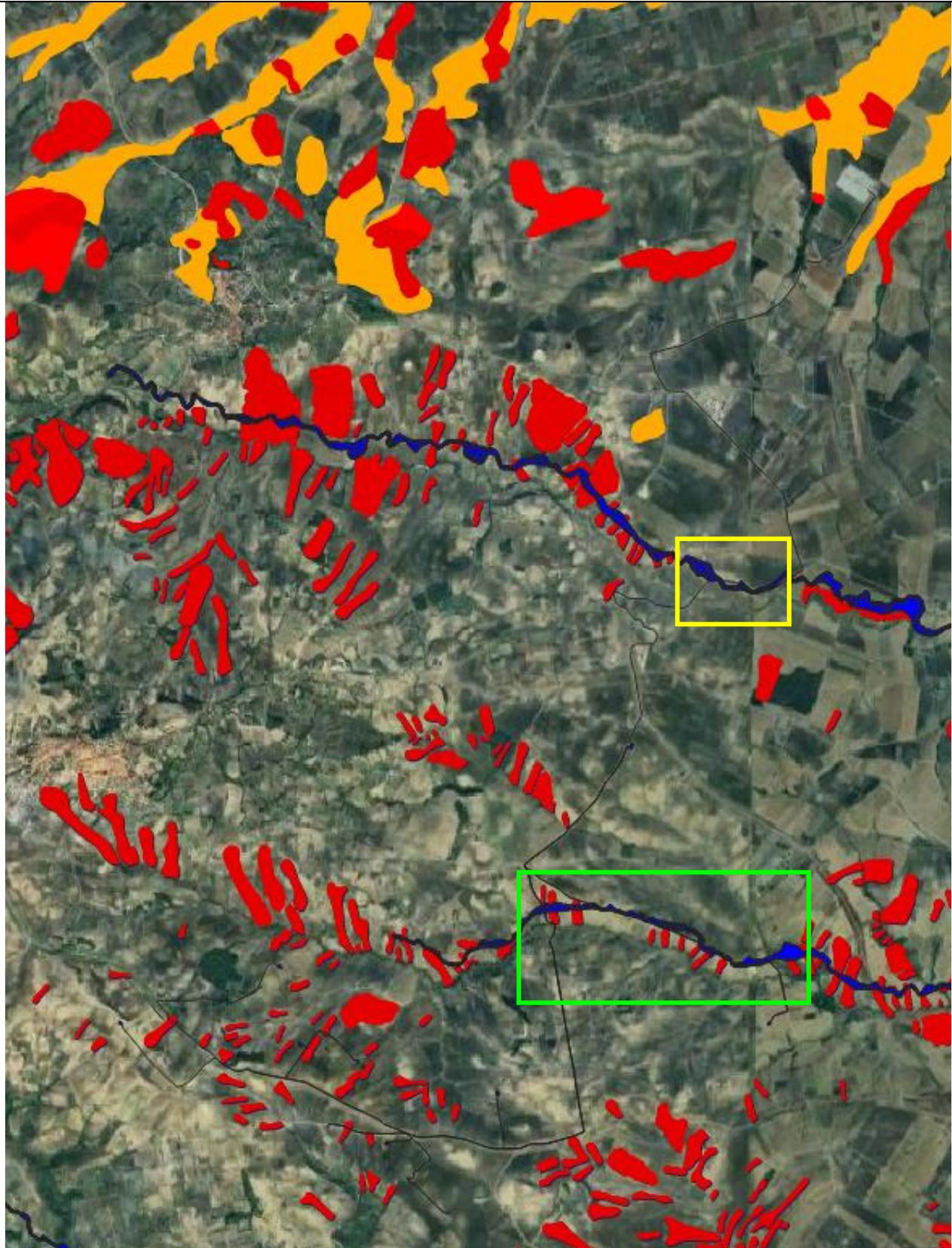
L'intero territorio oggetto di indagine ricade all'interno del bacino idrografico del Torrente Fortore, in provincia di Campobasso, quindi sotto la giurisdizione dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore. Per ognuno dei singoli bacini idrografici tale Autorità di Bacino ha predisposto uno specifico piano stralcio.

Il Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino Interregionale del Fiume Fortore, che in parte comprende anche il territorio pugliese, è stato approvato dal Comitato Tecnico nella seduta n. 25 del 16 dicembre 2004 e adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 99 del 29 settembre 2006.

La valutazione della pericolosità idraulica è stata condotta in base all'analisi geomorfologica storico-inventariale, in modo da coprire tutta l'area di studio.

Per quanto riguarda il rischio idraulico, la rete del parco eolico non attraversa nessun fiume; le opere interessano l'areale compreso tra il fiume Fortore e il Fiume Saccione. Si specifica che, le opere non interferiscono con gli areali a rischio riportati sulla cartografia ufficiale del PAI.

### Perimetrazione del Rischio (PAI)



**Tav 04-24 AdB Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore**

Particolare attraversamento aree a pericolosità idraulica



Pericolosità frana	Rischio	Pericolosità idraulica
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">■</span> MOLTO ELEVATA</li> <li><span style="color: orange;">■</span> ELEVATA</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> MEDIA</li> <li><span style="color: lightgreen;">■</span> MODERATA</li> <li><span style="color: lightblue;">■</span> SITO DI ATTEN.</li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> N.D.</li> <li><span style="border: 1px dashed black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> ALTRO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">■</span> R0</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> R1</li> <li><span style="color: lightgreen;">■</span> R2</li> <li><span style="color: orange;">■</span> R3</li> <li><span style="color: red;">■</span> R4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px dashed red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> P13 Aree a pericolosità idraulica elevata</li> <li><span style="border: 1px dashed orange; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> P12 Aree a pericolosità idraulica moderata</li> <li><span style="border: 1px dashed lightblue; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> P11 Aree a pericolosità idraulica bassa</li> <li><span style="border: 1px dashed green; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Fascia di riassetto fluviale</li> </ul>

In relazione alle opere minori in progetto che ricadono in aree a pericolosità da frana elevata (PF2) e moderata (PF1), tenendo conto di quanto richiesto dalle NTA agli artt.17 e 28 in merito alle condizioni per le quali l'intervento di interesse pubblico è ammissibile si precisa che:

- la scelta del tracciato del cavidotto sarà effettuata a seguito di un'attenta analisi territoriale al fine di individuare il miglior percorso che preveda la posa del cavo principalmente lungo strade esistenti, e cercando di limitarne lo sviluppo lineare.;
- l'intervento, non impedirà la realizzazione degli interventi di sistemazione idrogeologica del PAI, tantomeno comporterà un incremento del carico insediativo sulle aree ove è previsto lo stesso;

- il cavidotto sarà interrato, lo scavo obbligato necessario alla posa sarà successivamente riempito e sarà dunque ripristinato lo stato dei luoghi senza incidere sulla stabilità delle aree attraversate.
- la viabilità di progetto ricalcherà le strade sterrate e non esistenti, quindi non viene incrementato l'utilizzo di suolo e non se ne altera la morfologia;
- il cavidotto, essendo interrato, risulta coerente con le misure di protezione civile presenti nel Piano.

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La superficie interessata dallo studio ricade nel F° 155 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (San Severo) redatta dal Servizio Geologico Nazionale. Dal punto di vista geologico generale, il sito in esame è parte integrante dei terreni situati tra i rilievi collinari ai margini orientali dell'Appennino meridionale molisano, a E di San Giuliano di Puglia, caratterizzato da una morfologia dolce con ampie spianate, pianalti, debolmente inclinati verso N-NE, che digradano verso la costa raccordandosi con la piana del Tavoliere, intervallati da ampie valli, con versanti dolci e poco inclinati, incise dai principali corsi d'acqua e dai loro affluenti minori.

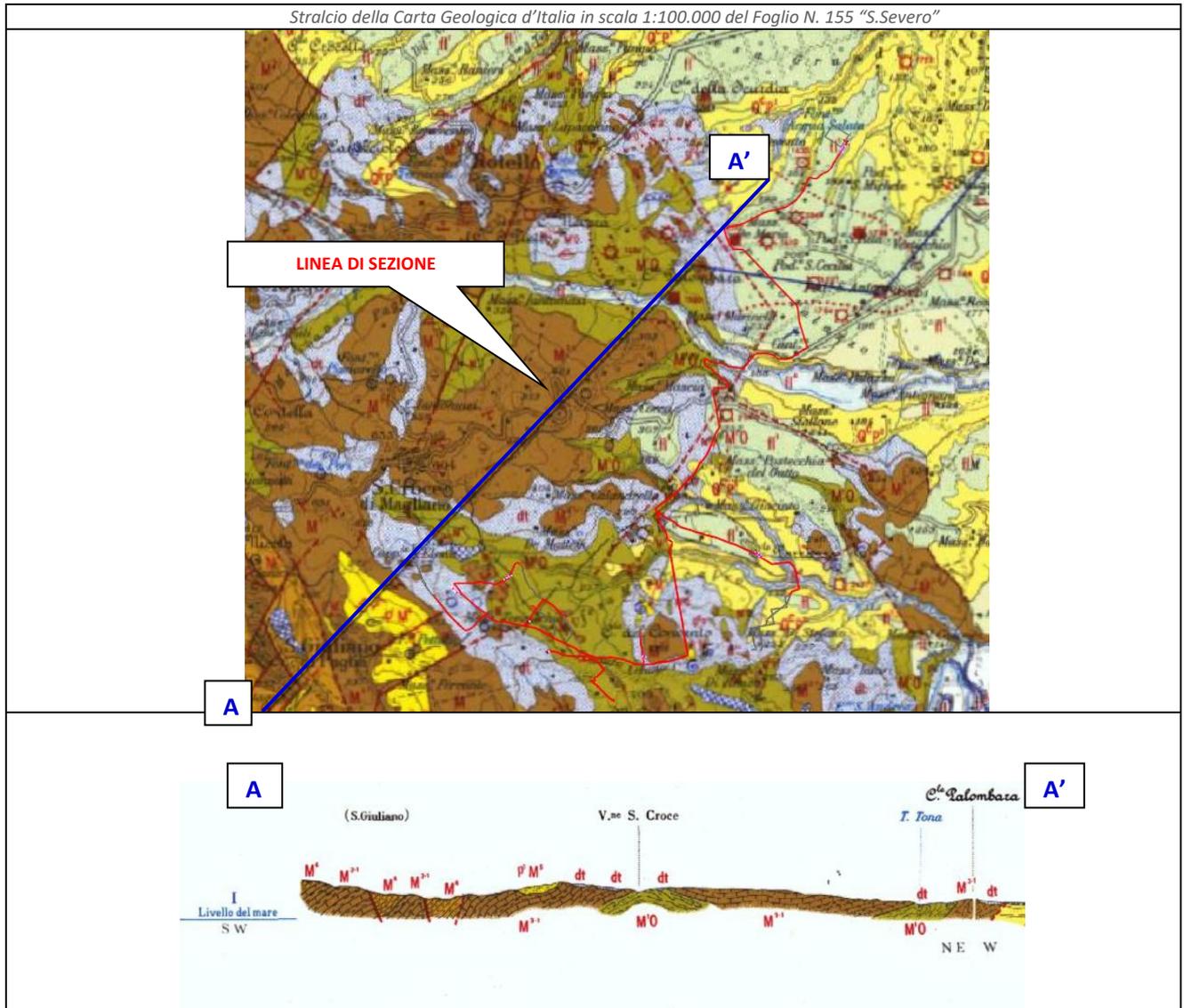
### 4.1 *Assetto geologico e strutturale*

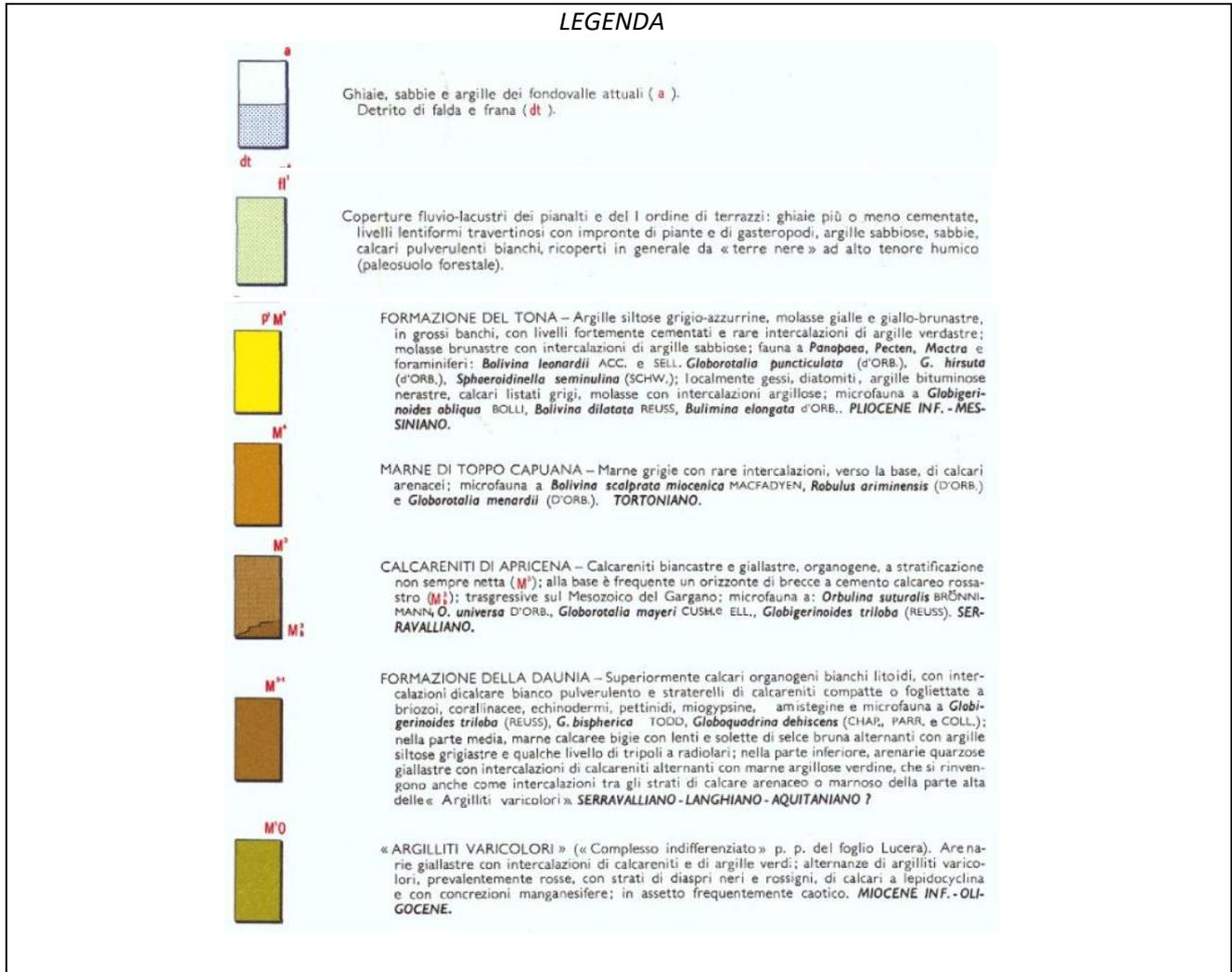
Dal punto di vista geologico-strutturale, l'area oggetto di studio si trova in prossimità del limite Catena-Avanfossa dell'Appennino meridionale: i differenti domini strutturali che li caratterizzano sono da riferirsi rispettivamente agli assetti stratigrafico-strutturali del margine esterno della Catena e a quelli dell'Avanfossa (Fossa bradanica).

Nell'area del territorio comunale di San Giuliano di Puglia sono presenti, dal termine più antico a quello più recente, i seguenti terreni:

- **M<sup>1</sup>O "ARGILLITI VARICOLORI"** arenarie giallastre con intercalazioni di calcareniti e di argille verdi; alternanze di argilliti varicolori, prevalentemente rosse, con strati di diaspri neri e rossigni, di calcari a lepydocyclina e con concrezioni manganesifere (Miocene inferiore-Oligocene).
- **M<sup>3-1</sup> "FORMAZIONE DELLA DAUNA"** superiormente calcari organogeni bianchi litoidi, con intercalazioni di calcare bianco pulverulento e straterelli di calcareniti compatte o fogliettate; nella parte media, marne calcaree beige con lenti e solette di selce bruna alternati con argille siltose grigiastre; nella parte inferiore, arenarie quarzose giallastre con intercalazioni di calcareniti con marne argillose verdine, che si rinvengono anche come intercalazioni tra strati calcareo arenaceo o marnoso della parte alta delle "Argilliti varicolori". (Serravalliano-Langhiano-Aquitaniense);
- **M<sup>4</sup> "CALCARENITI DI TOPPO CAPUANA"** Marne grigie con rare intercalazioni, verso la base di calcari arenacei. (Miocene-Pliocene);
- **P<sup>2</sup>M<sup>5</sup> "FORMAZIONE DELLA TONA"** Argille siltose grigio-azzurrine, con intercalazioni di argille sabbiose (Pliocene);
- **fl<sup>1</sup> Coperture fluvio-lacustri dei pianalti e del I ordine di terrazzi:** ghiaie più o meno cementate, livelli lentiformi travertinosi con impronte di piante e gasteropodi, argille sabbiose, sabbie, calcari pulverulenti bianchi, ricoperti in generale da "terre nere" ad alto tenore humico (paleosuolo forestale - Pleistocene).
- **a/dt** Ghiaie, sabbie e argille dei fondovalle attuali (a). Detrito di falda e frana (dt). (Olocene).

La tettonica generale, di superficie è piuttosto semplice. Dal punto di vista tettonico, la zona risulta abbastanza tranquilla, priva di disturbi. I depositi presentano un assetto pressoché orizzontale con una debole pendenza verso NE e E, e sono stati interessati solo dal fenomeno di sollevamento generale, avvenuto nel tardo Pleistocene.





#### 4.2 Inquadramento morfologico

Dal punto di vista geomorfologico generale l'area si trova nella fascia collinare, di raccordo tra i rilievi appenninici molisani, e la costa, raccordandosi con la piana del Tavoliere.

Gli elementi morfologici sono direttamente connessi ai caratteri litologici ed agli assetti tettonici dell'area. L'orografia dell'area appenninica è caratterizzata da una morfologia dolce con ampie spianate, pianalti, debolmente inclinati verso N-NE, che digradano verso la costa raccordandosi con la piana del Tavoliere. I rilievi sono intervallati da ampie valli, con versanti dolci e poco inclinati, incise dai principali corsi d'acqua, T. Saccione, T. Fortore, T. Manara e T. Sapestra e dai loro affluenti minori.

L'area in esame, essendo molto estesa occupa con quote comprese tra 550 e 200 metri slm

#### 4.3 Idrologia superficiale

L'idrografia superficiale della regione è caratterizzata dalla presenza di quattro corsi d'acqua principali a sbocco adriatico (F. Trigno, F. Biferno, F. Fortore e F. Saccione) e di una fitta rete di ordine inferiore (canali, marane, fiumare e fossi) che alimentano gli stessi. I corsi d'acqua principali presentano uno spiccato controllo tettonico in quanto il loro asse (SW-NE) è in perfetta sintonia con i maggiori sistemi

dislocativi presenti nel tratto di Catena Appenninica. Il regime idraulico è stagionale ed è strettamente legato all'andamento delle precipitazioni.

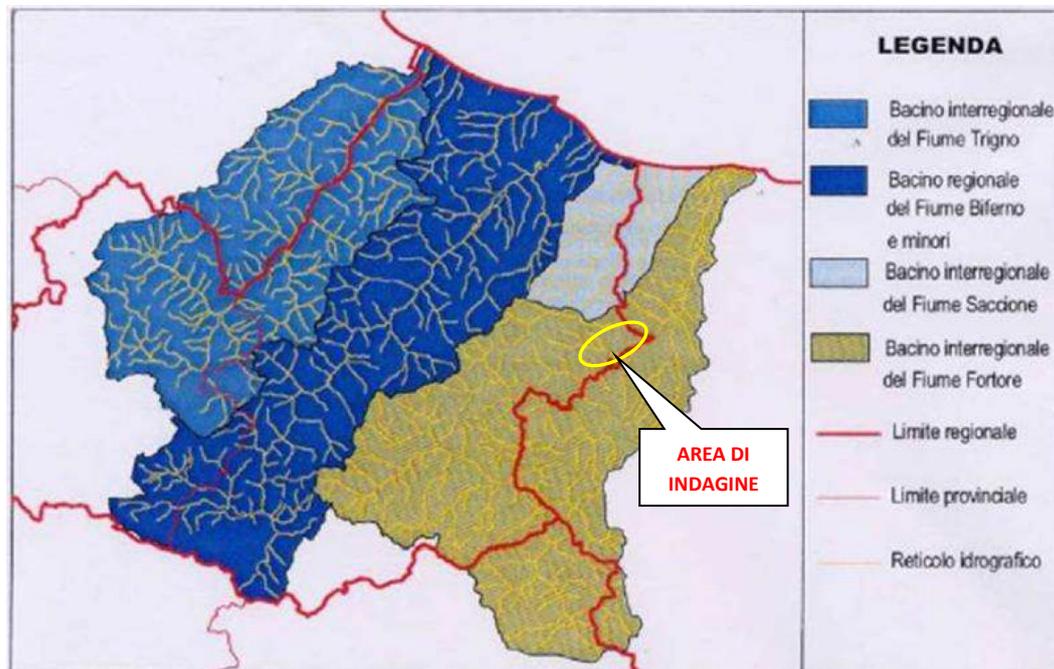
#### 4.4 Idrogeologia

Dal punto di vista idrogeologico, la permeabilità è strettamente condizionata dalla situazione litostratigrafica. Possiamo pertanto definire diverse unità idrogeologiche.

L'unità idrogeologica principale, l'acquifero poroso superficiale, è rappresentata dai depositi di copertura quaternaria in cui sono incise le ampie valli dei corsi d'acqua principali. Tale unità, che presenta uno spessore di circa 20 m, è costituita da una successione di terreni sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, permeabili ed acquiferi con intercalazione di livelli argilloso-siltosi a minore permeabilità.

In questa unità l'acqua si rinviene essenzialmente in condizioni di falda libera e coincide, nella parte alta, con la zona di preferenziale ricarica.

È possibile individuare sul territorio due fasce con caratteristiche di permeabilità sensibilmente differenti. La fascia collinare dei complessi argilloso marnoso in facies di flysch la fascia verso costa a cui possono essere assimilate anche le coperture vallive alluvionali intramontane caratterizzate da depositi alluvionali. Le diversità litologiche, e strutturali, condizionano i caratteri idrogeologici in quanto controllano i processi di infiltrazione e la circolazione sotterranea. Acquiferi di modesta entità possono essere rinvenuti in corrispondenza delle alluvioni terrazzate o dei livelli sabbioso-arenacei sovrapposti a litologie argillose. In corrispondenza dell'affioramento dei materiali argillosi la permeabilità è da bassa a nulla ad eccezione dei livelli arenaci o calcarenitici che danno origine a piccole emergenze collegate a falde locali. Le litologie argillose sono caratterizzate da permeabilità molto bassa che favorisce un deflusso superficiale su un reticolo fluviale di tipo detritico.





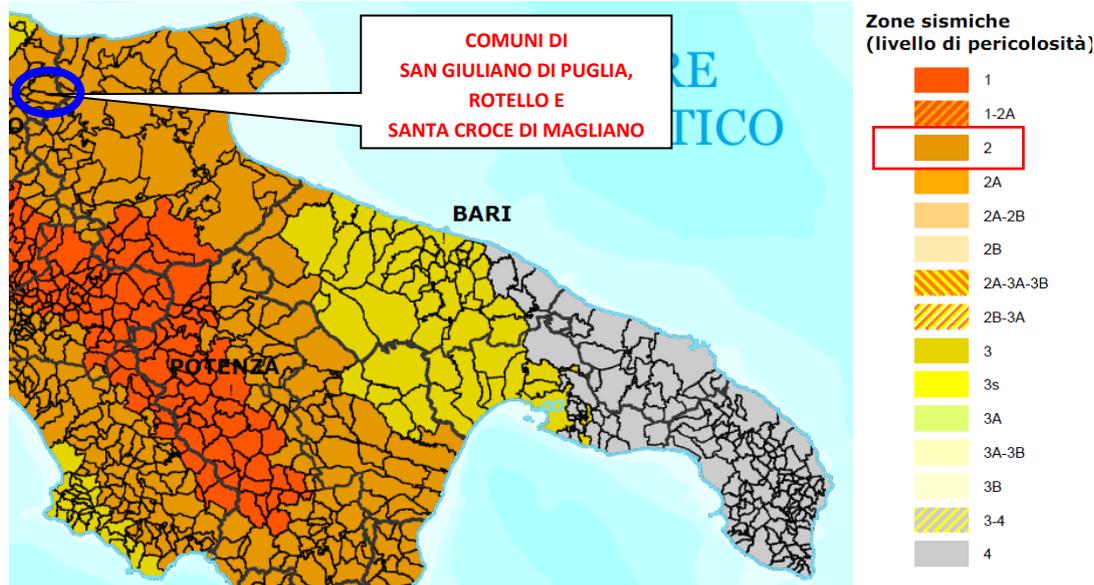
Stralcio del piano per l'assetto idrogeologico del bacino regionale del Fiume Biferno e minori.

## 5 INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

### 5.1 Aspetti generali

I comuni di San Giuliano di Puglia, Rotello e Santa Croce di Magliano, tutti ricadenti in provincia di Campobasso con D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009, confermata anche dalla recente classificazione sismica di tutto il territorio italiano (marzo 2022) ricade in **zona sismica 2** (ovvero zone in cui si possono verificare terremoti abbastanza forti - *livello di pericolosità medio*).

#### Classificazione sismica 2012 - Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003



### 5.2 Caratteristiche sismiche di riferimento del territorio e aspetti spettrali

#### 5.2.1 Caratteristiche sismiche del territorio

Basandosi sulle indagini sismiche svolte, è stata individuata la categoria del suolo di fondazione del sottosuolo in esame. L'indagine MASW, che ha raggiunto una profondità investigativa superiore ai 30m, non ha consentito però di individuare un substrato rigido caratterizzato da un  $V_s \geq 800\text{m/s}$  e pertanto, così come enuncia la nuova norma il valore del  $V_{s,eq}$  è definito dal parametro  $V_{s30}$  ottenuto ponendo  $H=30\text{m}$  nella attuale espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità; avendo ottenuto un valore del  $360\text{m/s} < V_{s,eq} = V_{s,30} < 800\text{m/s}$ , il sottosuolo in esame rientra in categoria di suolo di fondazione "B" definita nel seguente modo: **"Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360m/s e 800m/s"**.

Alla luce delle attuali conoscenze si ritiene che non si pongono particolari problemi alla realizzazione dell'opera in oggetto. Naturalmente si terrà conto di quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni del Gennaio 2018 che all'opera si deve attribuire un'accelerazione massima orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni di ag compreso tra 0.15g e 0.25g, pari ad un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sulla formazione di base (suoli di categoria "A") di  $ag_{max}=0.25g$ . In particolare, le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (17/01/2018) e l'OPCM del 28

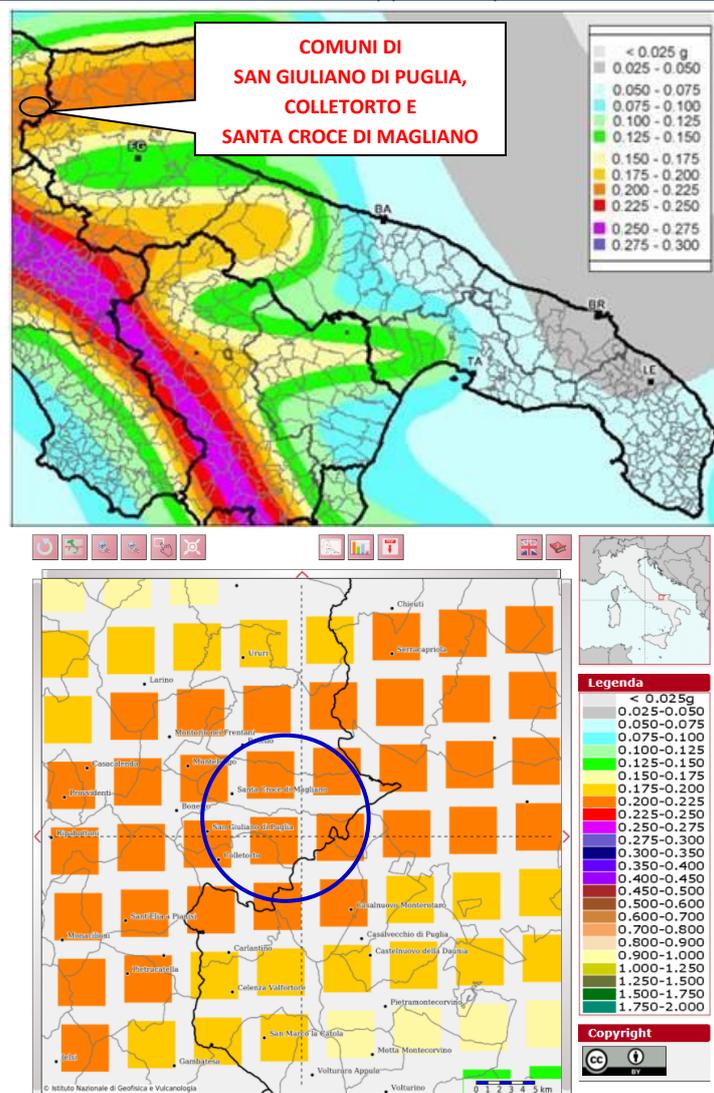
aprile 2006 n. 3519 superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale.

In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di  $a_g$  e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima  $F_0$  e periodo di inizio del tratto a velocità costante  $T^*C$ ). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Secondo le NTC l'area strettamente in esame è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.200 - 0.225g, come evidenziato nella figura in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A,  $V_s > 800$ m/sec).

Pericolosità sismica (Fonte: INGV, Mappa della pericolosità sismica, 2004)



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06).

Inoltre, per la caratterizzazione sismica del sito di interesse, sono stati presi in considerazione i seguenti fattori:

- Il terreno di fondazione è costituito prevalentemente da depositi sabbioso-limosi localmente ghiaiosi, o da depositi argillosi con intercalazioni di calcareniti e/o diaspri;
- nell'area in esame sono presenti faglie quiescenti nel substrato geologico, presumibilmente anche al di sotto dei depositi detritici;
- in alcuni punti di indagine è stata rilevata la presenza di una falda superficiale ad una profondità minima di 3.0m in altri è risultata assente;
- il valore del fattore S che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche del sito espressa dalla relazione seguente  $S = SS \times ST$  (dove SS è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e ST è il coefficiente di amplificazione topografica, opportunamente tabellati nelle NTC 2018) è pari nei quattro stati limite a:

SLO	S=1.20
SLD	S=1.20
SLV	S=1.194
SLC	S=1.131

Pertanto, dall'osservazione della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06) e successive norme (NTC18) e tenuto conto del fattore di amplificazione stratigrafica e topografica, il sito di interesse è caratterizzato da un'accelerazione pari a  $0.25g < a_{g,max} < 0.27g$ , valore superiore a quello previsto dalla norma.

### 5.2.2 Valutazione dell'azione sismica

Alla luce della recente normativa "Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture" 17 gennaio 2018 (Suppl Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8) si riportano i parametri di pericolosità sismica dell'area in esame, facendo riferimento al punto in cui è prevista la realizzazione della pala denominata n.1, in quanto la stessa è ubicata in corrispondenza dei depositi detritici e dunque viene rappresentata la condizione più sfavorevole:

### PALA 1

Latitudine (WGS84)	41.69094088	Longitudine (WGS84)	14.99334929	
Latitudine (ED50)	41.692648	Longitudine (ED50)	14.994215	
Altitudine (mt)	562			
Classe dell'edificio	II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti			
Vita Nomiale Struttura	50			
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	50			
Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g/g$ [-]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
Operatività	30	0.058	2.442	0.288
Danno	50	0.077	2.488	0.290
Salvaguardia Vita	475	0.209	2.466	0.340
Prevenzione Collasso	975	0.275	2.446	0.350

Secondo le *Norme Tecniche per le Costruzioni del D.M. 17.01.2018 (NTC 18)*, all. A, l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica deve essere compatibile con le NTC, dotata di sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali. Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- "ag" accelerazione orizzontale massima al terreno;
- "Fo" valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- "Tc\*" periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 5.3 Individuazione della pericolosità del sito

Le NTC18 (Norme Tecniche delle Costruzioni) ridefiniscono il concetto di pericolosità sismica di riferimento e di conseguenza sono state ridefinite le azioni sismiche di progetto-verifica. Tramite il programma sperimentale (Spettri-NTC ver.1.03) è possibile determinare i relativi spettri di risposta, in funzione del sito e del tipo di costruzione, per ciascuno degli stati limite previsti dalla normativa. La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un determinato sito. Può essere definita in termini statistici e/o probabilistici. Dal punto di vista statistico la severità di un evento sismico è descritta dalle curve di pericolosità. Ogni sito del territorio nazionale è caratterizzato da proprie curve di pericolosità che presentano in ascissa una misura della severità del terremoto come ad esempio accelerazione di picco del terreno o  $S_e$  (ordinata della risposta spettrale in accelerazione) ed in ordinata la frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda=1/T_r$  ( $T_r$  è il periodo di ritorno del sisma espresso in anni) in scala logaritmica.

#### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

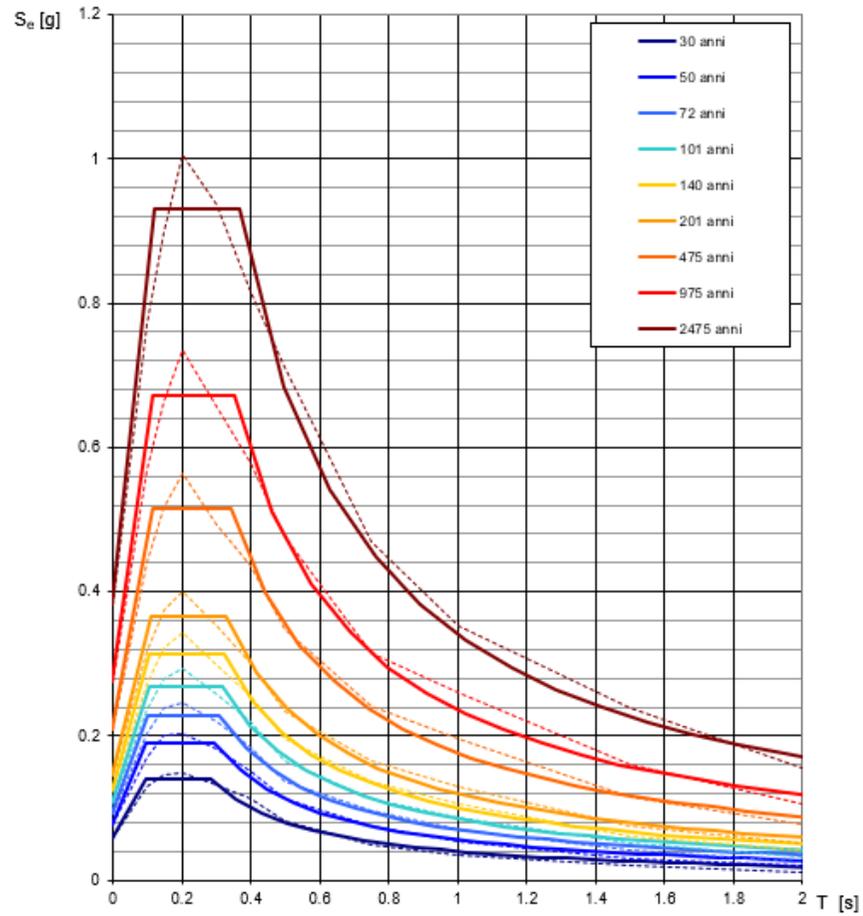
La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

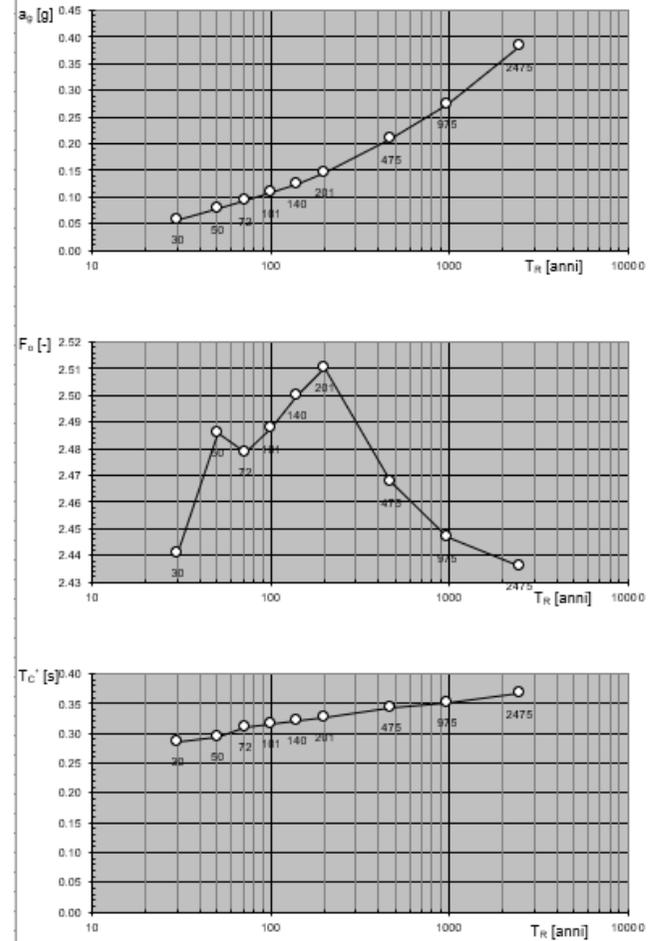
Una volta individuati tutti i parametri geografici (longitudine, latitudine, ecc.) sono visualizzati i quattro nodi del reticolo che circoscrivono il sito stesso. I primi dati che si possono rilevare durante questa prima fase sono:

- i grafici degli spettri di risposta ottenuti in corrispondenza di ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1;
- i grafici che rappresentano la variabilità dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_r$ .

### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



### Valori dei parametri $a_g$ , $F_a$ , $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno $T_R$



Segue una tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0.058	2.441	0.286
50	0.077	2.486	0.294
72	0.092	2.479	0.310
101	0.108	2.488	0.317
140	0.125	2.500	0.322
201	0.146	2.510	0.328
475	0.209	2.467	0.343
975	0.275	2.447	0.351
2475	0.382	2.436	0.366

### 5.4 Strategia di progettazione

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

**Valori di progetto**

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE {

- SLO -  $P_{VR} = 81\%$
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU {

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$

**Elaborazioni**

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

**Strategia di progettazione**

**LEGENDA GRAFICO**

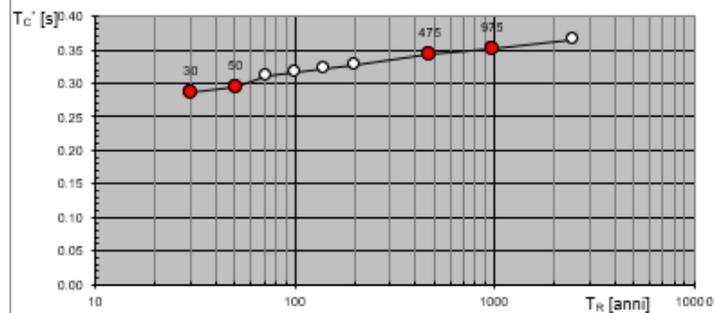
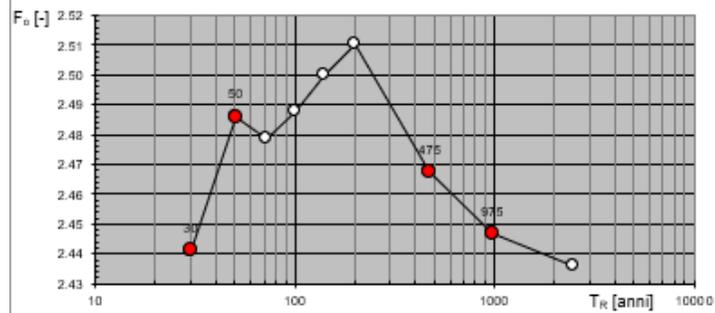
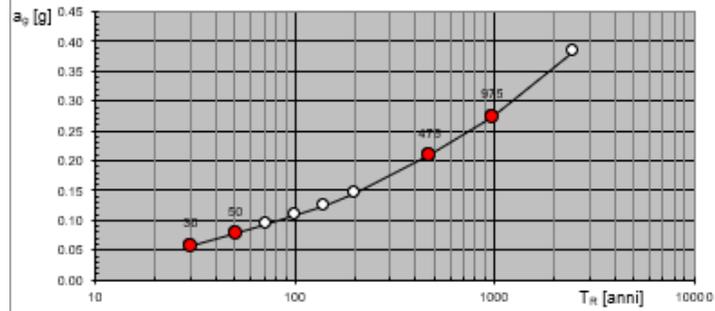
- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

**INTRO      FASE 1      FASE 2      FASE 3**

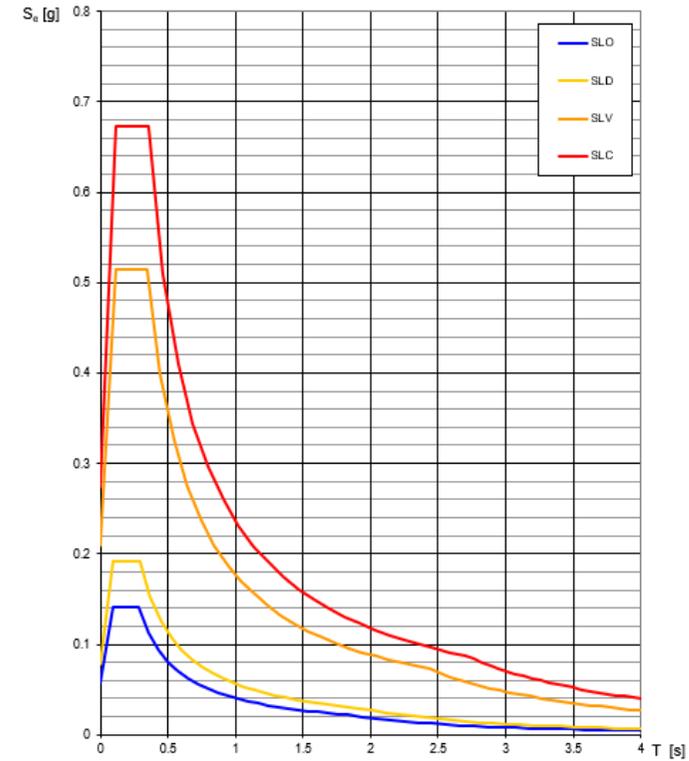
Nel nostro caso abbiamo una struttura con vita nominale  $V_N$  pari a 50 anni ed appartenente alla classe d'uso II a cui pertanto corrisponde un coefficiente d'uso della costruzione  $C_U = 1.0$ .

In base a tali valori viene determinato il periodo di riferimento per la costruzione  $V_R$  che risulta in questo caso pari a 50 anni. Sono quindi calcolati i valori dei periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento per i quattro stati limite previsti dalle NTC18. I dati in uscita in questa fase rappresentano una selezione effettuata sui dati ottenuti nella fase precedente in corrispondenza dei valori previsti per il periodo di ritorno dei quattro stati limite considerati.

**Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno**



**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.058	2.441	0.286
SLD	50	0.077	2.486	0.294
SLV	475	0.209	2.467	0.343
SLC	975	0.275	2.447	0.351

## 6 PIANO DI CAMPIONAMENTO TERRE E ROCCE DA SCAVO

Per l'esecuzione della caratterizzazione ambientale delle terre e rocce da scavo si farà riferimento a quanto indicato dal DPR 120/2017 ed in particolar modo agli allegati 2 e 4 al DPR.

Secondo quanto previsto nell'allegato 2 al DPR 120/2017, "la densità dei punti di indagine nonché la loro ubicazione dovrà basarsi su un modello concettuale preliminare delle aree (campionamento ragionato) o sulla base di considerazioni di tipo statistico (campionamento sistematico su griglia o casuale). Nel caso in cui si proceda con una disposizione a griglia, il lato di ogni maglia potrà variare da 10 a 100 m a seconda del tipo e delle dimensioni del sito oggetto dello scavo".

Lo stesso allegato prevede che:

Il numero di punti d'indagine non sarà mai inferiore a tre e, in base alle dimensioni dell'area d'intervento, dovrà essere aumentato secondo il criterio esemplificativo di riportato nella Tabella seguente.

Dimensione dell'area	Punti di prelievo
Inferiore a 2.500 metri quadri	3
Tra 2.500 e 10.000 metri quadri	3 + 1 ogni 2.500 metri quadri
Oltre i 10.000 metri quadri	7 + 1 ogni 5.000 metri quadri

Nel caso di opere infrastrutturali lineari, il campionamento andrà effettuato almeno ogni 500 metri lineari di tracciato.

La profondità d'indagine è determinata in base alle profondità previste dagli scavi. I campioni da sottoporre ad analisi chimico-fisiche dovranno essere come minimo:

- Campione 1: da 0 a 1 metri dal piano campagna;
- Campione 2: nella zona di fondo scavo);
- Campione 3: nella zona intermedia tra i due.

Per scavi superficiali, di profondità inferiore a 2m, i campioni da sottoporre ad analisi chimico-fisiche possono essere almeno due: uno per ciascun metro di profondità.

Secondo quanto previsto nell'allegato 4 al DPR 120/2017, i campioni da portare in laboratorio o da destinare ad analisi in campo, ricavati da scavi specifici con il metodo della quartatura o dalle carote di risulta dai sondaggi geologici, saranno privi della frazione maggiore di 2 cm (da scartare in campo) e le determinazioni analitiche in laboratorio saranno condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione sarà determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro campionato (frazione compresa tra 2 cm e 2 mm). Qualora si dovesse avere evidenza di una contaminazione antropica anche del sopravaglio le determinazioni analitiche saranno condotte sull'intero campione, compresa la frazione granulometrica superiore ai 2 cm, e la concentrazione sarà riferita allo stesso.

Il set di parametri analitici da ricercare sarà definito in base alle possibili sostanze ricollegabili alle attività antropiche svolte sul sito o nelle sue vicinanze, ai parametri caratteristici di eventuali pregresse contaminazioni, di potenziali anomalie del fondo naturale, di inquinamento diffuso, nonché di possibili apporti antropici legati all'esecuzione dell'opera. Data la caratteristica dei siti, destinati da tempo alle attività agricole, il set analitico da considerare sarà quello minimale riportato in Tabella 4.1, fermo restando che la lista delle sostanze da ricercare potrà essere modificata ed estesa in considerazione di evidenze eventualmente rilevabili in fase di progettazione esecutiva.

Il set analitico minimale da considerare sarà dato pertanto da:

- Arsenico
- Cadmio
- Cobalto
- Nichel
- Piombo
- Rame
- Zinco
- Mercurio
- Idrocarburi C>12
- Cromo totale
- Cromo VI
- Amianto
- BTEX (\*)
- IPA (\*)

(\*) Da eseguire per le aree di scavo collocate entro 20 m di distanza da infrastrutture viarie di grande comunicazione o da insediamenti che possono aver influenzato le caratteristiche del sito mediante ricaduta delle emissioni in atmosfera. Gli analiti da ricercare sono quelli elencati alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, Parte Quarta, Titolo V, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

Ai fini della caratterizzazione ambientale si prevede di eseguire il seguente piano di campionamento:

- In corrispondenza di ogni plinto di fondazione, dato il carattere puntuale dell'opera, verranno prelevati 3 campioni alle seguenti profondità dal piano campagna: 0 m; 1,5 m; 3 m, ossia a piano campagna, a zona intermedia e a fondo scavo.
- In corrispondenza della viabilità di nuova realizzazione e dei cavidotti la campagna di caratterizzazione, dato il carattere di linearità delle opere, sarà strutturata in modo che i punti di prelievo siano distanti tra loro circa 500 m. Per ogni punto, verranno prelevati due campioni alle seguenti profondità dal piano campagna: 0 m e 1 m. Nel caso la viabilità di nuova realizzazione non preveda scavi oltre i 50 cm, si prevederà il prelievo di un solo campione superficiale.

## 7 CAMPAGNA GEOGNOSTICA ESEGUITA

Al fine di valutare le caratteristiche di resistenza e deformabilità dei terreni interessati dalle fondazioni, nella fase di progettazione definitiva, è stata condotta una campagna di indagini geognostiche a carattere geofisico di tipo sismico e prove penetrometriche dinamiche del tipo DPSH.

Nello specifico sono state eseguite:

- n. 5 misure DPSH spinte fino alla massima profondità di 10.0m o a profondità inferiori nel caso in cui la prova va a “rifiuto” (**DPSH01÷DPSH05**);
- n. 5 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P per determinare la sismostruttura del sottosuolo, valutare gli spessori di materiale soffice e quindi rilevare le profondità del tetto di terreni più compatti (**BS01÷BS05**);
- n. 5 prospezioni sismiche per la stima del  $V_{s,eq}$ , (**Masw01÷Masw05**) richiesto dalla normativa in materia delle costruzioni (NTC 2018) da cui individuare la categoria di suolo di fondazione utile per la calcolo geotecnica.

Le indagini sismiche per la determinazione delle onde di compressione (onde P) unitamente a quelle per la stima del  $V_{s,eq}$ , da cui si ottengono le velocità di taglio (onde S), permettono, inoltre, di determinare i principali moduli elastico dinamici del terreno di fondazione utili per il calcolo delle stesse.

### 7.1 PROVE PENETROMETRICHE

#### 7.1.1 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell’inghiottire nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari; sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un’immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette, inoltre, di individuare con un buon grado di precisione lo spessore delle coltri dal substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L’utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette, facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Gli elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)

- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa M (kg)	Profondità max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	M <10	8
Medio	DPM (Medium)	10 < M < 40	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	40 < M < 60	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	M > 60	25

### 7.1.2 Penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE): massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento = 10 cm, punta conica ( $\delta=60-90^\circ$ ), diametro D=35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE): massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento = 10 cm, punta conica ( $\delta= 60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE): massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm<sup>2</sup>, rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA): massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico talora previsto.

In questa campagna geognostica è stato utilizzato un penetrometro superpesante "DPSH 63-73 SM della GEO Deep Drill" avente massa battente M=63.0 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 90^\circ$ ),  $\phi=50$ mm, area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>.

### 7.1.3 Correlazione con N<sub>spt</sub>

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più efficaci e vantaggiosi economicamente per ricavare informazioni circa la natura litologica e la condizione geologica del sottosuolo, occorre correlare i risultati delle due prove, quella in foro (Standard Penetration Test) e quella eseguita a partire dalla superficie (Prova Penetrometrica Dinamica); ciò risulta possibile utilizzando la seguente equazione:

$$N_{spt} = \beta_i N$$

dove:

$$\beta_i = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>SPT</sub> è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

dove

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

$\delta$  = passo di avanzamento.

#### 7.1.4 Valutazione resistenza dinamica alla punta $R_{pd}$

##### Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

$R_{pd}$  = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo ( $\delta / N$ );

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

#### 7.1.5 Metodologia di elaborazione

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Tale programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981 permettendo inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione delle prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili e alquanto attendibili ai fini della progettazione. In particolare tale metodologia consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici;
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche;
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

#### 7.1.6 Valutazioni statistiche e correlazioni

##### Elaborazione Statistica

Il programma di calcolo utilizzato, inoltre, permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

→ **Media**: Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;

- **Media minima**: valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Massimo**: valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Minimo**: valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Scarto quadratico medio**: Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Media deviata**: valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Media scarto** (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Distribuzione normale R.C.**: Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:
- $$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$
- dove  $N_{spt}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$ ;
- **Distribuzione normale R.N.C.**: Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:
- $$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$
- dove  $n$  è il numero di letture.

### 7.1.7 Pressione ammissibile

Nel programma la pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) viene calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

### 7.1.8 Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

#### Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda

In presenza di falda il valore  $N_{spt}$  viene corretto e quindi  $N_{spt}$  corretto =  $15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

dove  $N_{spt}$  è il valore medio nello strato.

Si specifica che la correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

#### Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m. per terreni sopra falda e < 8 m. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq);
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati);
- Sowers 1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m. per terreni in falda) >5 t/mq;
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°;
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).

- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %;
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova  $> 8$  mt. sopra falda e  $> 15$  mt. per terreni in falda)  $\phi > 15$  t/mq;
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose;
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof.  $> 8$  m sopra falda e  $> 15$  mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq;
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo  $< 5\%$  a profondità  $< 5$  mt. e con % di limo  $> 5\%$  a profondità  $< 3$  mt;
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $D_r$  viene sovrastimato, per limi sottostimato;
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato;
- Meyerhof (1957);
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### Modulo Di Young (E<sub>y</sub>)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace;
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici;
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici;
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia;
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia;
- Buisman-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa;
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati);
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

#### Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa 2,65 t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95).

### Modulo di Poisson

- Classificazione A.G.I..

### Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981. Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

### Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

### Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite;
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

### Modulo di reazione (Ko)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson 1983 Qc.

---

## 7.1.9 Correlazioni geotecniche terreni coesivi

---

### Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983;
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate;
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*;
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensibilità > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità;
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat;
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-grado di plasticità);
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con Nc=20 e Qc/Nspt=2;
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC;

- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cm<sup>q</sup>), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità;
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità;
- Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità;
- Begemann;
- De Beer.

#### Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )

- Robertson 1983  $Q_c$

#### Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali;
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali;
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi);
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cm<sup>q</sup>) -, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ );
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt}=6-12$ ).

#### Modulo Di Young ( $E_Y$ )

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$ ;
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

#### Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ( $N_{spt}=0$ ) a 0,545 ( $N_{spt}=28$ ).

---

#### 7.1.10 Risultati delle prove DPSH eseguita

---

Le prove DPSH eseguite, **DPSH01, DPSH02, DPSH03, DPSH04 e DPSH05** hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo fino ad una profondità compresa 3.80m e 10.00m a partire dal piano di indagine, discretizzandolo in una serie di strati a differente comportamento in funzione del numero di colpi misurati durante le fasi di avanzamento con un passo di 0.20m.

Nello specifico le profondità di investigazione raggiunte sono per la DPSH 01, 7.60m, per la DPSH02, 4.20m, per la DPSH03, 10.0m, per la DPSH04, 10.0m e per la DPSH05, 3.80m.

I valori ottenuti del numero di colpi e dell'Rpd sono rappresentati in maniera grafica in **Allegato 02**.

Di seguito l'elenco dei parametri estrapolati dalle prove penetrometriche e le relative correlazioni utilizzate:

- “densità relativa” si è considerata la correlazione di *Meyerhof 1957*;
- “angolo di resistenza al taglio” si è considerata la correlazione *Meyerhof (1956) e/o Peck-Hanson-Thornurber-Meyerhof (1956)*;
- “modulo edometrico” la correlazione considerata è quella di *Trofimenkov (1974) Mitchell e Garden e/o Menzenbach e Malcev* ;
- “modulo di Young” in questo caso specifico, essendo state eseguite prove geofisiche in sito, sono state omesse nel report della presente prova;
- “peso unità di volume”: la correlazione considerata è quella di *Meyerhof e/o Meyerhof et alii*;
- “peso unità di volume saturo”: la correlazione considerata è quella di *Meyerhof e/o Terzaghi Peck 1948-1967*;
- “Liquefazione”: correlazione utilizzata è quella di *Seed e Idriss (1971)*;
- “coesione non drenata”: correlazione con autore *Terzaghi-Peck*;
- “modulo di Poisson” si è considerata la correlazione *AGI*;
- “modulo di deformazione a taglio dinamico” in questo caso specifico, essendo state eseguite prove geofisiche in sito, sono state omesse nel report della presente prova;
- “velocità onde di taglio” in questo caso specifico, essendo state eseguite prove geofisiche in sito, sono state omesse nel report della presente prova;
- “modulo di reazione” si è considerata la correlazione *Navfac 1971-1982*;
- “resistenza alla punta” si è considerata la correlazione di *Robertson 1983*.

Dalle prove DPSH, eseguite per avere maggiori informazioni riguardo i primi metri di sottosuolo, sono stati discretizzati a seconda dei punti di misura, 2, 3 e 4 strati i cui parametri geotecnici individuati per ciascun strato discretizzato sono riportati nell'Allegato 02.

Si precisa che la profondità di prova prevista era 10.0m, le prove cha hanno raggiunto una profondità inferiore, ovvero le DPSH01, DPSH02 e DPSH05, sono state interrotte perché sono andate a “rifiuto”.

Nelle prove **DPSH01** e **DPSH04** è stata rilevata la presenza della falda superficiale rispettivamente a 3.6m e 3.0m dal p.c., pertanto, in corrispondenza dello strato 3 del **DPSH01** e degli strati 1 e 3 del **DPSH04**, i depositi coinvolti nell'indagine sono risultati liquefacibili avendo ottenuto un valore di  $F_s$  (Fattore di sicurezza)  $<1.3$  (valore previsto dalla norma al di sopra del quale il materiale non risulta liquefacibile).

## 7.2 *Prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P*

### 7.2.1 *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 sismostratigrafiche.

Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in un sismografo a 24 canali, della "MAE" modello X610/S con acquisizione computerizzata dei dati e in una sorgente del tipo ad impatto verticale per la generazione di onde rilevate da 24 geofoni rispettivamente di frequenza pari a 14Hz per le onde P.

### 7.2.2 *Acquisizione dei dati*

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguite n. 5 prospezioni sismiche a rifrazione, in onde P (**BS01÷BS05**), cui la BS01, BS02, BS04 e BS05 di lunghezza pari a 125m e distanza inter-geofonica pari a 5.0 m mentre la BS03 di lunghezza pari a 75m e distanza inter-geofonica pari a 3.0 m; per tutte le basi sismiche sono stati effettuati cinque scoppi.

Per quanto riguarda la geometria adottata in riferimento alle basi sismiche **BS01, BS02, BS04 e BS05**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di 5.0 m, i punti di scoppio A e B sono a 5.0 m rispettivamente dal **1°** e dal **24°** geofono, in posizione esterna allo stendimento geofonico, lo scoppio C è posto al centro dello stendimento stesso (fra il **12°** e il **13°** geofono), mentre gli altri due scoppi intermedi D ed E rispettivamente tra **6°** e **7°** geofono e tra il **18°** e il **19°** geofono, quindi l'intero stendimento per ciascuna di queste basi risulta di 125m.

Per quanto riguarda la geometria adottata in riferimento alla base sismica **BS03**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di 3.0 m, i punti di scoppio A e B sono a 3.0 m rispettivamente dal **1°** e dal **24°** geofono, in posizione esterna allo stendimento geofonico, lo scoppio C è posto al centro dello stendimento stesso (fra il **12°** e il **13°** geofono), mentre gli altri due scoppi intermedi D ed E rispettivamente tra **6°** e **7°** geofono e tra il **18°** e il **19°** geofono, quindi l'intero stendimento per questa base risulta di 75m.

L'ubicazione dei profili sismici è mostrata nell'**Allegato 01A, 01B, 01C, 01D e 01E**.

### 7.2.3 *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 "*low-pass*" e "*high-pass*" 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.

#### 7.2.4 *Rappresentazione dei dati*

I dati elaborati sono stati esportati e restituiti nell'**allegato 03A**: per queste basi sismiche eseguite sono stati riportati i sismogrammi relativi ai cinque punti di scoppio, le dromocrone, le sezioni tomografiche e i modelli sismostratigrafici. In particolare, l'elaborazione tomografica rappresenta l'andamento dei sismostrati, lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ottenuta dalla elaborazione ed inversione dei dati sismici; il modello sismostratigrafico rappresenta invece l'interpretazione degli stessi sismostrati in funzione della geologia del sito, ottenuto correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche caratteristiche.

#### 7.2.5 *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) nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- d) 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.

Di seguito sono stati riportati, in tabella, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione tipici di ogni litotipo.

**Tabella 1.1 – Valori di velocità per le onde di compressione (da “Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo” di Carrara – Rapolla – Roberti, “Il manuale del geologo” di Cassadio – Elmi).**

LITOTIPO	Vp (m/sec)
Areato superficiale	300-800
Argille	1100-2900
Sabbia asciutta	200-1000
Sabbie umida	600-1800
Terreni alluvionali sciolti	400-2100
Acqua	1400-1500
Calcere fratturato	700-4200
Calcere compatto	2800-6400
Calcere cristallino	5700-6400

Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Arenaria	1400-4500
Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Anidride	3500-5500
Gesso	1800-4000
Gneiss e scisti	3500-7500

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo in corrispondenza delle **Base Sismica BS01, BS02, BS03, BS04, BS05**. Per ciascuna di queste prospezioni il sottosuolo investigato è stato distinto, in tre sismostrati ciascuno caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione.

Data la lunghezza degli stendimenti eseguiti, e la natura dei litotipi costituenti il sottosuolo è stato possibile investigare il sottosuolo fino alla profondità compresa tra 12.0m e 18.0m a partire dalla superficie topografica.

Di seguito si riportano le risultanze di queste basi sismiche eseguite:

✓ BS01 in onde P ed S (mediante MASW 01): si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	353	120	0,00÷1,80	<i>Terreno vegetale</i>
2	544	180	1,80÷7,00	<i>Deposito sabbioso limoso poco addensato</i>
3	1621	450	7,00÷18,00	<i>Deposito limoso argilloso mediamente consistente</i>

✓ BS02 in onde P ed S (mediante MASW 02): si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	300	110	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	648	245	1,00÷4,00	<i>Deposito limoso alterato, poco consistente</i>
3	1482	490	4,00÷18,00	<i>Deposito limoso argilloso mediamente consistente</i>

✓ BS03 in onde P ed S (mediante MASW 03): si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	345	125	0,00÷2,00	<i>Terreno vegetale e sottostante deposito sabbioso limoso poco addensato</i>
2	783	215	2,00÷4,50	<i>Deposito sabbioso limoso poco addensato</i>
3	1334	390	4,50÷12,00	<i>Deposito limoso sabbioso mediamente addensato</i>

✓ BS04 in onde P ed S (mediante MASW 04): si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	330	115	0,00÷0,80	<i>Terreno vegetale</i>
2	654	220	0,80÷4,50	<i>Deposito sabbioso-limoso poco addensato e alterato</i>
3	1700	590	4,50÷18,00	<i>Deposito limoso argilloso consistente</i>

✓ **BS05 in onde P ed S (mediante MASW 05): si individuano tre sismostrati**

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	315	100	0,00÷1,30	<i>Materiale di riporto</i>
2	786	270	1,30÷4,50	<i>Deposito limoso sabbioso poco consistente</i>
3	1650	610	4,50÷18,00	<i>Deposito limoso argilloso consistente</i>

### 7.3 Prospezione sismica per la stima del $V_{s,eq}$

#### 7.3.1 MASW – Descrizione del metodo e della strumentazione

Al fine di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio S ( $V_{s,eq}$ ) e determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/01/2018, sono stati eseguiti n. 5 profili MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) ubicati in corrispondenza delle rispettive basi sismiche come mostrato nelle planimetrie allegate (**Allegato 01A, 01B, 01C, 01D, 01E**).

La tecnica utilizzata consente una stima accurata dell'andamento delle velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo; ciò avviene registrando i tempi di arrivo delle onde sismiche di superficie generate artificialmente ed elaborando il segnale con un opportuno software.

A rigore, quella che è misurata è la velocità delle onde superficiali (Onde di Rayleigh), ma essa è praticamente uguale alla velocità delle Onde S (95 ÷ 97%). È così possibile definire, con un'approssimazione valutabile tra il 5% e il 15%, il profilo "VS".

Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in 24 geofoni verticali a 4.5Hz, in un sismografo a 24 canali della "MAE" modello X610/S con acquisizione computerizzata dei dati.

#### 7.4 MASW – Acquisizione dei dati

Le fasi operative possono essere così schematizzate:

- Predisposizione degli stendimenti, cioè una serie di 24 geofoni regolarmente spazati di 5.0 m e/o 3.0 m in linea retta, di lunghezza pari a 115m con l'esecuzione di uno scoppio a 10m (**MASW 01, MASW 02, MASW 04 e MASW 05**) e di lunghezza pari a 69m con l'esecuzione di uno scoppio a 6m (**MASW 03**);
- osservazione del segnale che si propaga tramite onde S nel suolo per 2 secondi a seguito dell'energizzazione;
- controllo dei dati raccolti con prima elaborazione in situ del profilo, in modo da verificare la coerenza del segnale, l'effettivo raggiungimento della profondità d'investigazione richiesta ed eventualmente apportare le necessarie variazioni dei parametri d'acquisizione prima di ripetere la registrazione;
- i dati raccolti sono registrati nell'hd dell'X610/S.

#### 7.5 MASW – Elaborazione dei dati

L'analisi prevede la formattazione dei files dati, l'analisi spettrale con l'individuazione della curva di dispersione e la modellazione del profilo. È importante rilevare che il profilo di ciascuno stendimento è stato ottenuto coinvolgendo nelle misurazioni un'estesa porzione del sito da investigare, esso quindi, pur non avendo la risoluzione di un profilo ottenuto ad es. con la tecnica down-hole, è più rappresentativo a larga scala rispetto a quelli ottenibili da un rilievo puntuale.

I dati sono stati interpolati ed elaborati con i Software SWAN prodotto dalla Geostudi Astier.

## 7.6 MASW – Rappresentazione dei risultati

Nell'**Allegato 03B** sono stati rappresentati, in tre grafici, le elaborazioni dei dati acquisiti con il metodo MASW e il sismogramma medio di tutte le interazioni per ciascun stendimento svolto.

Il primo grafico, a partire dallo spettro F-K, mette in relazione le frequenze contenute nel segnale registrato con il reciproco della velocità di fase e il rapporto spettrale: permette di riconoscere l'energia delle Onde di Rayleigh e fissare i punti che rappresentano l'andamento della curva di dispersione, funzione della distribuzione della velocità negli strati del sottosuolo. Nel grafico successivo, invece, è riportata la curva calcolata tramite l'inversione di un modello di sottosuolo, ottenuto per "aggiustamenti" successivi da un modello iniziale, cercando ovviamente di trovare la migliore corrispondenza con i punti prima individuati. Il grafico successivo riporta il modello del sottosuolo in termini di strati con diversa velocità di propagazione delle Onde S.

## 7.7 MASW– Interpretazione dei risultati

Alla luce della recente normativa in materia di costruzione, NTC 2018, è stato introdotto il calcolo di un nuovo parametro, il  $V_{s,eq}$ , in sostituzione del  $V_{s30}$ , ottenuto attraverso la seguente formula:

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

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

$N$  = Numero di strati

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/sec

In tale formula appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio si riferisce alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell'assetto geologico del sottosuolo.

È opportuno precisare che, in generale, mediante il metodo MASW1D, si ricavano i valori di velocità delle onde S lungo la verticale a 1/3 della lunghezza dello stendimento essendo stato eseguito uno scoppio ad una distanza di 10.0 e/o 6.0 metri, a seconda della lunghezza dello stendimento, dal primo geofono; in tal caso i modelli sismostratigrafici ottenuti riportano una profondità dei sismostrati superiore ai 30m avendo effettuato il calcolo a partire dal piano campagna.

Basandosi sulle indagini sismiche svolte, è stata individuata la categoria del suolo di fondazione del sottosuolo in esame. Sebbene il territorio da investigare, è piuttosto esteso e le litologie varie, l'indagine MASW, che ha raggiunto una profondità investigativa superiore ai 30m, non ha consentito però di individuare un substrato rigido caratterizzato da un  $V_s \geq 800$ m/s e pertanto, così come enuncia la nuova norma il valore del  $V_{s,eq}$  è definito dal parametro  $V_{s30}$  ottenuto ponendo  $H=30$ m nella attuale espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Come è possibile osservare dalle tabelle di calcolo, in corrispondenza del **MASW 01**, è stato ricavato un valore del  $V_{s,eq}$  pari a **381m/s**

**STIMA DEL  $V_{s,eq}$  – MASW 01**

Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
$h_1$	STRATO 1	1.00	120.00	$h_1/V_1$	0.008
$h_2$	STRATO 2	3.50	180.00	$h_2/V_2$	0.019
$h_3$	STRATO 3	13.50	450.00	$h_3/V_3$	0.030
$h_4$	STRATO 4	8.33	557.00	$h_4/V_4$	0.015
$h_5$	STRATO 5	3.70	615.00	$h_5/V_5$	0.006
<b>H</b>		<b>30.0</b>		$\Sigma h_i/V_i$	0.079

$V_{s,eq}$  (misurata) = m/s **381**

in corrispondenza del **MASW 02**, è stato ricavato un valore del  $V_{s,eq}$  pari a **415m/s**

**STIMA DEL  $V_{s,eq}$  – MASW 02**

Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
$h_1$	STRATO 1	1.00	110.00	$h_1/V_1$	0.009
$h_2$	STRATO 2	3.50	245.00	$h_2/V_2$	0.014
$h_3$	STRATO 3	14.00	490.00	$h_3/V_3$	0.029
$h_4$	STRATO 4	8.20	550.00	$h_4/V_4$	0.015
$h_5$	STRATO 5	3.30	600.00	$h_5/V_5$	0.006
<b>H</b>		<b>30.0</b>		$\Sigma h_i/V_i$	0.072

$V_{s,eq}$  (misurata) = m/s **415**

in corrispondenza del **MASW 03**, è stato ricavato un valore del  $V_{s,eq}$  pari a **363m/s**

**STIMA DEL  $V_{s,eq}$  – MASW 03**

Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
$h_1$	STRATO 1	1.80	125.00	$h_1/V_1$	0.014
$h_2$	STRATO 2	3.40	215.00	$h_2/V_2$	0.016
$h_3$	STRATO 3	9.50	390.00	$h_3/V_3$	0.024
$h_4$	STRATO 4	6.10	510.00	$h_4/V_4$	0.012
$h_5$	STRATO 5	9.20	575.00	$h_5/V_5$	0.016
<b>H</b>		<b>30.0</b>		$\Sigma h_i/V_i$	0.083

$V_{s,eq}$  (misurata) = m/s **363**

in corrispondenza del **MASW 04**, è stato ricavato un valore del **V<sub>s,eq</sub>** pari a **481m/s**

<b>STIMA DEL V<sub>s,eq</sub> – MASW 04</b>						
Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)	
h <sub>1</sub>	STRATO 1	4.50	220.00	h <sub>1</sub> /V <sub>1</sub>	0.020	
h <sub>2</sub>	STRATO 2	16.40	590.00	h <sub>2</sub> /V <sub>2</sub>	0.028	
h <sub>3</sub>	STRATO 3	9.10	645.00	h <sub>3</sub> /V <sub>3</sub>	0.014	
<b>H</b>		<b>30.0</b>		Σ hi/Vi	0.062	
			<b>V<sub>s,eq</sub> (misurata) =</b>		<b>m/s</b>	<b>481</b>

in corrispondenza del **MASW 05**, è stato ricavato un valore del **V<sub>s,eq</sub>** pari a **471m/s**

<b>STIMA DEL V<sub>s,eq</sub> – MASW 05</b>						
Strati	Litotipo	Spessore strato (m)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)	
h <sub>1</sub>	STRATO 1	1.00	100.00	h <sub>1</sub> /V <sub>1</sub>	0.010	
h <sub>2</sub>	STRATO 2	3.50	270.00	h <sub>2</sub> /V <sub>2</sub>	0.013	
h <sub>3</sub>	STRATO 3	16.00	610.00	h <sub>3</sub> /V <sub>3</sub>	0.026	
h <sub>4</sub>	STRATO 4	9.50	655.00	h <sub>4</sub> /V <sub>4</sub>	0.015	
<b>H</b>		<b>30.0</b>		Σ hi/Vi	0.064	
			<b>V<sub>s,eq</sub> (misurata) =</b>		<b>m/s</b>	<b>471</b>

Da tale stima il sottosuolo investigato rientra nella categoria di suolo “**B**” poiché sono stati ottenuti valori di 360m/s < V<sub>s,eq</sub> < 800m/s; infatti, tale categoria viene nuovamente così definita:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</b>
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.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 8 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DA PROVE SISMICHE

La liquefazione dei terreni granulari saturi poco addensati consiste in una perdita totale o parziale di resistenza del terreno, causata dall'accumulo di sovrappressioni inerziali dovute al moto ciclico indotto dal terremoto, che si manifesta con un'eccitazione di frequenza molto elevata rispetto ai tempi necessari alla consolidazione. La suscettibilità di un terreno alla liquefazione dipende dalla tendenza alla diminuzione o aumento di volume che esso manifesta per effetto di uno sforzo di taglio ciclico oltre che dall'entità e durata dello scuotimento. I materiali potenzialmente liquefacibili sono per lo più i terreni sabbiosi puliti, sciolti, recenti, a granulometria uniforme con particelle arrotondate e poco profondi. In considerazione della tipologia dei terreni in esame, si è ritenuto opportuno valutare, in via del tutto cautelativa e preliminare, se tale fenomeno può eventualmente interessare i suoli in esame, in ragione dei parametri geologici-geotecnici e geofisici determinati.

Le condizioni di saturazione dei terreni sono un aspetto quanto mai importante nella valutazione del potenziale di liquefazione di un terreno. Durante una sollecitazione sismica, infatti, le sollecitazioni indotte nel terreno possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la pressione litostatica e la tensione di sconfinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione.

Pertanto, la suscettibilità a liquefazione è il fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni dipende:

- dal grado di addensamento;
- dalla granulometria e forma dei granuli;
- dalle condizioni di drenaggio;
- dall'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche e loro durata;
- dall'età del deposito;
- dalla profondità della linea di falda (prossima alla superficie).

In ogni caso, affinché in un sito possano avvenire fenomeni di liquefazione, è necessario che la scossa sismica raggiunga una certa intensità. Dall'osservazione di zone colpite da liquefazione, si è notato che questa avviene principalmente nelle seguenti circostanze:

- terremoti di magnitudo uguale o superiore a 5,5, con accelerazioni superiori o uguali a 0,2 g;
- entro i 15 metri di profondità; oltre questa profondità non sono state osservate liquefazioni;
- profondità della falda prossima alla superficie (inferiore ai 3 m).

In accordo con quanto stabilito dal D.M. 17/01/2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g ( $a_{gmax}$ );
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali (misura riferita al valore medio stagionale; nell'EC8, invece, si fa riferimento alle condizioni prevalenti durante il periodo di vita dell'opera);
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti:

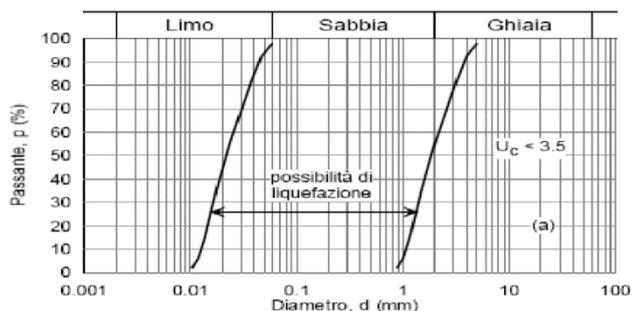


Fig. 7.11.1(a) - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

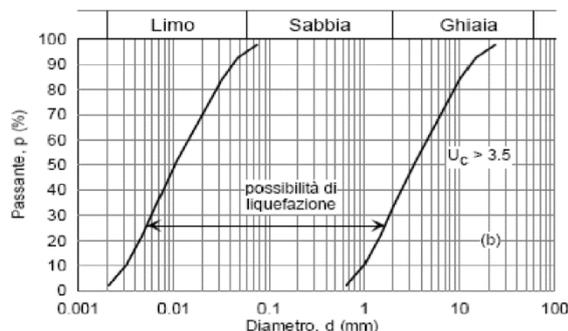


Fig. 7.11.1(b) - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nel caso in esame è stata applicata la metodologia di calcolo di Andrus e Stokoe (1997) per la valutazione del potenziale di liquefazione dalle prove sismiche a rifrazione.

Pertanto, il territorio di fondazione, essendo caratterizzato da terreni limoso sabbiosi poco consistenti e dalla probabile presenza di una falda superficiale è stato sottoposto alla verifica alla liquefazione dei terreni, considerando per ognuno dei sismostrati individuati i seguenti parametri:

- ✓ peso per unità di volume medio ( $\gamma$ )
- ✓ profondità della prova ( $z$ ) (*ossia profondità del sismostrato*)
- ✓ profondità della falda
- ✓ velocità media delle onde S ( $V_s$ )
- ✓ parametro funzione della percentuale di frazione fine FC ( $V_{s1c}$ )
- ✓ magnitudo momento ( $M$ )
- ✓ accelerazione orizzontale massima attesa ( $a_{max}/g$ )
- ✓ parametro funzione della profondità  $z$  ( $r_d$ )

Nel seguito viene riportato il tabulato di calcolo della verifica a liquefazione eseguita sulla scorta delle indagini sismiche eseguite prendendo a riferimento la prospezione sismica BS01; in particolare tale verifica è stata effettuata soltanto nel deposito sabbioso limoso, ovvero corrispondente al secondo sismostrato. Pertanto non è stata considerata né la parte di copertura sovrastante né la porzione del deposito limoso argilloso sottostante che come è noto non può essere soggetto a liquefazione.

La verifica è stata eseguita ipotizzando valori di magnitudo minore o uguale e/o maggiori di  $M=6.81$ , registrato durante l'evento sismico del 1980 "Irpina-Basilicata", ossia magnitudo statisticamente superiori a quelli storicamente registrati nel Comune di San Giuliano di Puglia.

### 8.1 Sismicità storica

Le opere in progetto ricadono in una zona con una storia sismica non trascurabile, non per quanto riguarda la frequenza ma per l'intensità dei terremoti, dovuta alla vicinanza dell'Appennino meridionale, e alle regioni Balcaniche, affette da una notevole attività sismica.

Dalla consultazione del database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 – INGV. 2015 DBMI15 si evince che i dati disponibili circa la sismicità storica del territorio dell'area in esame sono in numero di 12 osservazioni.

## Storia sismica di San Giuliano di Puglia

[41.685, 14.964]

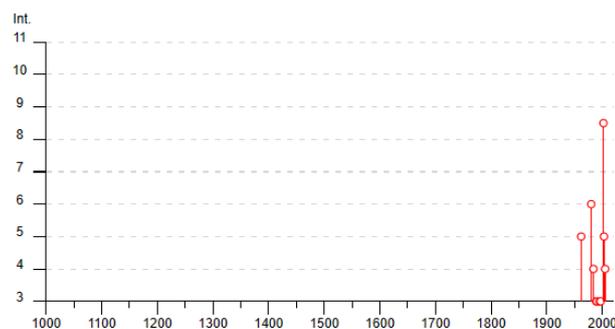
Osservazioni disponibili: 12

Tratta dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 – INGV (2015)

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
6	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
3	1989	03	11	21	05		Gargano	61	5	4.34
3	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
NF	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
3	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6	5.15
3	1997	03	19	23	10	5	Sannio-Matese	284	6	4.52
8-9	2002	10	31	10	32	5	Molise	51	7-8	5.74
5	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44
4	2005	03	01	05	41	3	Molise	136	4	3.68
NF	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Colletorto	18	2
Bonefro	20	3
Santa Croce di Magliano	19	4
Montelongo	15	6
Rotello	21	8
Montorio nei Frentani	12	9



Dove

Is= Intensità al sito (MCS)

Np= Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto

Ix= Intensità massima (MCS)

Mw= Magnitudo momento

**BS01 – LOCALITA' SAN GIULIANO DI PUGLIA**

**Deposito sabbioso limoso**

**VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

(da prove sismiche a rifrazione)

**Metodo semplificato**

Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato

**PARAMETRI:**

$\gamma$	=	1.83	g/cm <sup>3</sup>
$\sigma_{vo}$	=	1.281	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{vof}$	=	0.941	kg/cm <sup>2</sup>
profondità della prova	=	700	cm
profondità falda	=	360	cm
$\gamma_{H2O}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>
Pressione neutra	=	0.34	kg/cm <sup>2</sup>
z	=	7	m
$V_s$	=	180	
$V_{s1c}$	=	220	m/s
$V_{s1}$	=	182.76	
M	=	6.6	
MSF	=	1.52	se M ≤ 7.5
	=	1.39	se M > 7.5

R=	Resistenza al taglio mobilitata
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
$V_s$ =	Velocità dell'onda di taglio S

FC < 5%	FC = 20%	FC > 35%
220	210	200

**FORMULE:**

**RISULTATI:**

$V_{s1}$	=	$V_s (1/\sigma_{va})^{0.25}$	=	182.76	$V_{s1}$	
R	=	$0.03 \cdot (V_{s1}/100)^2 + (0.9(V_{s1c} - V_{s1})) - (0.9V_{s1c})$	=	0.120275861	R	
T	=	$0.65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma_{vof}))^2 \cdot r_d \cdot 1/MSF$	se M ≤ 7.5	=	0.143628586	$T_{M \leq 7.5}$
			se M > 7.5	=	0.157935784	$T_{M > 7.5}$
$a_{max}/g$	=	0.25				
$r_d$	=	0.99				
Fs=R/T	>	1	se M ≤ 7.5	=	0.837408938	Liquefacibile
			se M > 7.5	=	0.761549145	Liquefacibile

*Per quanto riguarda il terreno in esame, il fattore Fs non risulta verificato a partire da valori di M=6.6, tale valore è inferiore a quello massimo registrato in zona.*

Pertanto, da questa analisi si evince che il sismostrato in questione risulta suscettibile di liquefazione per terremoti di magnitudo 6,6, i quali, dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano DBMI15, se pur in forma rara risultano inferiori a quelli massimi registrati in queste aree e dunque è necessario tenere tale dato in considerazione per il calcolo delle fondazioni.

## 9 STIMA DEI MODULI ELASTICO DINAMICI

Dalle velocità sismiche, ricavate dall'indagine a rifrazione superficiale classica in onde P e dalla metodologia MASW, sono stati calcolati alcuni parametri geotecnici.

Assegnando, infatti, la densità in sito, ricavata empiricamente mediante l'equazione di Gardner, che lega la densità alla velocità delle onde longitudinali ( $V_p$ ), sono stati calcolati il coefficiente di Poisson e alcuni moduli elastici dinamici. Le determinazioni dei moduli elastici, eseguite mediante tali metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia.

I moduli elastici sismici possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (Rzhevsky et alii, 1971) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

$$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$$

Infine, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno  $K_s$  ( $\text{Kg}/\text{cm}^3$ ) attraverso la relazione di Vesic (1961):

$$K_s = E_s/B*(1 - u^2)$$

dove

$B$  = larghezza della fondazione;

$E_s$  = modulo di elasticità del terreno;

$u$  = coefficiente di Poisson.

Per quanto riguarda l'analisi dei pali sottoposti a forze orizzontali e nella verifica a svergolamento è stato determinato, indirettamente, il coefficiente di reazione orizzontale,  $K_h$ . Tale modulo viene determinato dalla formula di Chiarugi Maia secondo la quale è funzione di: modulo edometrico, modulo elastico del palo, diametro del palo, coefficiente di Poisson.

In ultimo per effettuare un'ulteriore verifica sui fattori di deformabilità delle terre, attraverso la relazione di Imai and Yoshimura, del 1977 sono stati determinati i valori di resistenza alla deformabilità del tipo SPT attraverso i valori delle velocità sismiche di taglio.

Di seguito sono riportati i principali moduli elastici dei terreni riguardanti la base sismica eseguita; tali valori si riferiscono all'ammasso pertanto devono essere intesi come valori medi.

<u>Note bibliografiche</u>			
Parametro calcolato	Bibliografia	Unità di misura	Formula
Modulo di Poisson (Bowles 1988)	Simeon Denis Poisson (Fisico e matematico francese)	Grandezza adimensionale	$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{0,5-\sigma}}$
Densità naturale	Equazione di Gardner	gr/cm <sup>3</sup>	$\rho=0,23Vp^{0,25}$
Correlazione empirica tra Vs e SPT	Imai and Yoshimura, 1977	Grandezza adimensionale	$Vs=f/(Nsp)$
Coefficiente di sottofondo	Vesic, 1961	Kg/cm <sup>3</sup>	$k=E/[B(1-n_2)]$
Coefficiente di sottofondo verticale	Vol I di Geotecnica e tecnica delle fondazioni – Cestelli Guidi	Kg/cm <sup>3</sup>	$K_v = a_2 \cdot E_d / b$ dove $a_2 = 2 / \log_e(b+2H) / b$
Coefficiente di sottofondo orizzontale	Metodo Chiarugi-Maia	Kg/cm <sup>3</sup>	$k_h = \frac{E_d}{D \cdot (1-\nu^2)} \cdot \left( \frac{E_d \cdot D^4}{E_p \cdot J} \right)^{1/2}$ <small>E<sub>d</sub>: Modulo edometrico  ν: Coefficiente di Poisson  E<sub>p</sub>: Modulo elastico della sezione, se in ca (E<sub>p</sub>= 18000 × √(Rock))  D: Diametro del palo  J: Momento d'inerzia della sezione se circolare (J = π × D<sup>4</sup> / 64)</small>
Modulo di Young dinamico	Bowles 1988	Mpa	$E = Vs^2 \rho \cdot [3Vp^2 - 4Vs^2 / Vp^2 - Vs^2]$
Modulo di Young statico	Rzhevsky et all., 1971	Mpa	$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$
Modulo di Bulk	Bowles 1988	Mpa	$K=E_{din}/(3*(1-2*n))$
Modulo di taglio dinamico	Bowles 1988	Mpa	$G_{din} = E_{din}/(2*(1+n))$
Modulo di taglio statico	Bowles 1988	Mpa	$G_{stat}=E_{stat}/(2*(1+n))$
Modulo di Compressione Edometrica	Relazione di Navier	Kh/cm <sup>2</sup>	$M = E * [(1-n) / (1-n-2*n^2)]$

BASE SISMICA 01 - STIMA DEI MODULI DINAMICI			
	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	353	544	1621
Velocità onde S (m/s):	120	180	450
V <sub>LAB</sub> = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1.50	4.00	15.00
Profondità Media Strato (m)	0.75	3.50	13.00
Modulo di Poisson ( $\nu$ )	0.43	0.44	0.46
Densità naturale ( $\rho$ in gr/cm <sup>3</sup> ) = $0,23xVp^{0,25}$ (Gardner et al., 1974)	1.34	1.50	1.97
Porosità % ( $\emptyset$ ) (correlazione Rzhovsky e Novik (1971))	47.45%	45.66%	35.60%
<b>MOD. di YOUNG DINAMICO (E<sub>din</sub> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	555	1396	11617
<b>MOD. di TAGLIO DINAMICO (G<sub>din</sub> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> G <sub>din</sub> = E <sub>din</sub> /(2*(1+ $\nu$ ))	193	485	3983
<b>MOD. di BULK (K) (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> K=E <sub>din</sub> /(3*(1-2* $\nu$ ))	1416	3784	46375
<b>MOD. di YOUNG STATICO (E<sub>stat</sub> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> (Rzhovsky et alii, 1971)	67	168	1400
<b>MOD. di TAGLIO STATICO (G<sub>stat</sub> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	23	58	480
<b>MOD. DI COMPRESIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> (da velocità onde P e densità) $\rho*Vp^2$ (valido per le terre)	17.07	45.18	527.05
<b>MOD. DI COMPRESIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> M=((Vp*Vp* $\rho*(1+\nu)*(1-2*\nu)/(1-\nu)$ ) (relazione di NAVIER)	5.66	14.23	118.46
<b>Rigidità Sismica (<math>\gamma*Vp</math>) (Tonn/m<sup>2</sup>*sec)</b>	161	269	885
<b>Frequenza dello Strato</b>	20	11	8
<b>Periodo dello Strato</b>	0.05	0.09	0.13
<b>STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (VALIDO PER LE TERRE)</b>			
<b>N<sub>SPT</sub> (Imai and Yoshimura, 1977)</b>	4	14	>50
<b>N<sub>SPT</sub> = 7,24E-07xVs<sup>3,15</sup></b> (Formazioni a prevalente componente argillosa)	3	9	>50
<b>N<sub>SPT</sub> = 1,77E-06xVs<sup>2,80</sup></b> (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	1	4	48
<b>N<sub>SPT</sub> = 1,60E-06xVs<sup>2,90</sup></b> (Depositi Alluvionali)	2	6	>50
<b><math>\Phi</math> min = Vs<sup>0,44</sup> * 6,2</b> (angolo di resistenza al taglio minimo)	26	32	51
<b><math>\Phi</math> max = Vs<sup>0,44</sup></b> (angolo di resistenza al taglio massimo)	32	38	57
<b>Cu</b> (coesione non drenata in Kg/cm <sup>2</sup> = (Vs/23) <sup>1/0,475</sup> * 0,010197 (Dickenson 1990))	0.33	0.78	5.34
<b>Cu</b> =(coesione non drenata=(Vs-17,5)/2,63 * 0,010197 (Oh et al. 2008))	0.40	0.63	1.68
<b>Cu</b> =(coesione non drenata=(Vs/7,93) <sup>1/0,63</sup> * 0,010197 (Levesques et al. 2007))	0.76	1.45	6.20
<b>Cu</b> =(coesione non drenata=(Vs/187) <sup>1/0,372</sup> * 0,010197 * 100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010))	0.31	0.92	10.81
<b>Cu</b> =(coesione non drenata=(Vs/228) <sup>1/0,510</sup> * 0,010197 * 100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010))	0.29	0.64	3.87
<b>COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO</b>			
<b>B</b> (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100	100
<b>D</b> (ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50	0.50
<b>K</b> = (Coeff. di Winkler in Kg/cm <sup>3</sup> --> VESIC 1961) k=E/[B(1- $\nu^2$ )]	0.82	2.08	17.72
<b>k</b> = 17,2*Vs <sup>1,25</sup> Kg/cm <sup>3</sup> (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	0.70	1.16	3.64
<b>K<sub>v</sub></b> (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm <sup>3</sup> --> K <sub>v</sub> = $\alpha 2^*Ed/b$ dove $\alpha 2=2/\log_e(b+2H)/b$ )	0.07	0.27	3.53
<b>K<sub>h</sub></b> (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm <sup>3</sup> - Chiarugi-Maia)	0.18	2.21	113.82
<b>INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE</b>			
<b>Fs</b> (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)	2.9	3.0	3.6
<b>Q<sub>ult</sub> (kg/cm<sup>2</sup>) = <math>\gamma_{nat} * vs * (0,1)</math></b> (Keceli 2012)	1.61	2.69	8.85
<b>Q<sub>amm</sub> = Q<sub>ult</sub>/Fs</b>	0.55	0.89	2.46

BASE SISMICA 02 - STIMA DEI MODULI DINAMICI			
	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	300	648	1482
Velocità onde S (m/s):	110	245	490
$V_{LAB}$ = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1.00	3.50	15.00
Profondità Media Strato (m)	0.50	2.75	12.00
Modulo di Poisson ( $\nu$ )	0.42	0.42	0.44
Densità naturale ( $\rho$ in $gr/cm^3$ ) = $0,23xVp^{0,25}$ (Gardner et al., 1974)	1.29	1.56	1.92
Porosità % ( $\emptyset$ ) (correlazione Rzhvesky e Novik (1971))	47.94%	44.69%	36.90%
<b>MOD. di YOUNG DINAMICO - (<math>E_{din}</math> in <math>Kg/cm^2</math>)</b>	444	2660	13288
<b>MOD. di TAGLIO DINAMICO (<math>G_{din}</math> in <math>Kg/cm^2</math>)</b> $G_{din} = E_{din}/(2*(1+\nu))$	156	939	4618
<b>MOD. di BULK (K) (<math>Kg/cm^2</math>):</b> $K = E_{din}/(3*(1-2*\nu))$	953	5316	36087
<b>MOD. di YOUNG STATICO (<math>E_{stat}</math> in <math>Kg/cm^2</math>)</b> (Rzhvesky et alii, 1971)	53	320	1601
<b>MOD. di TAGLIO STATICO (<math>G_{stat}</math> in <math>Kg/cm^2</math>)</b>	19	113	556
<b>MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in <math>Kg/cm^2</math>)</b> <span style="color:red">▲</span> (da velocità onde P e densità) $\rho * Vp^2$ (valido per le terre)	11.84	66.97	430.78
<b>MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in <math>Kg/cm^2</math>)</b> $M = ((Vp * Vp * \rho * (1 + \nu) * (1 - 2 * \nu)) / (1 - \nu))$ (relazione di NAVIER)	4.53	27.12	135.50
<b>Rigidità Sismica (<math>\gamma * Vp</math>) (Tonn/m<sup>2</sup>*sec)</b>	142	383	942
<b>Frequenza dello Strato</b>	28	18	8
<b>Periodo dello Strato</b>	0.04	0.06	0.12
<b>STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (VALIDO PER LE TERRE)</b>			
$N_{SPT}$ (Imai and Yoshimura, 1977)	3	35	>50
$N_{SPT} = 7,24E-07xVs^{3,15}$ (Formazioni a prevalente componente argillosa)	2	24	>50
$N_{SPT} = 1,77E-06xVs^{2,80}$ (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	1	9	>50
$N_{SPT} = 1,60E-06xVs^{2,90}$ (Depositi Alluvionali)	1	14	>50
$\Phi_{min} = Vs_1^{0,44} * 6,2$ (angolo di resistenza al taglio minimo)	25	38	53
$\Phi_{max} = Vs_1^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	31	44	60
$Cu$ (coesione non drenata in $Kg/cm^2 = (Vs/23)^{1/0,475} * 0,010197$ (Dickenson 1990))	0.28	1.48	6.39
$Cu = (coesione non drenata = (Vs - 17,5) / 2,63 * 0,010197$ (Oh et al. 2008))	0.36	0.88	1.83
$Cu = (coesione non drenata = (Vs / 7,93)^{1/0,63} * 0,010197$ (Levesques et al. 2007)	0.66	2.36	7.10
$Cu = (coesione non drenata = (Vs / 187)^{1/0,372} * 0,010197 * 100$ da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)	0.24	2.11	13.59
$Cu = (coesione non drenata = (Vs / 228)^{1/0,510} * 0,010197 * 100$ da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010)	0.24	1.17	4.57
<b>COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO</b>			
$B$ (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100	100
$D$ (ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50	0.50
$K$ = (Coeff. di Winkler in $Kg/cm^3$ --> VESIC 1961) $k = E/[B(1-\nu^2)]$	0.65	3.88	19.82
$k = 17,2 * Vs^{1,25}$ $Kg/cm^3$ (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	0.62	1.70	4.04
$K_v$ (Coeff. di Winkler verticale in $Kg/cm^3$ --> $K_v = \alpha * 2 * E_d / b$ dove $\alpha = 2 / \log_e(b + 2H) / b$ )	0.04	0.49	4.04
$K_h$ (Coeff. di Winkler orizzontale in $Kg/cm^3$ - Chiarugi-Maia)	0.08	2.63	82.88
<b>INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE</b>			
$F_s$ (Fattore di sicurezza = $Vp/Vs$ )	2.7	2.6	3.0
$Q_{ult}$ ( $kg/cm^2$ ) = $\gamma_{nat} * vs * (0,1)$ (Keceli 2012)	1.42	3.83	9.42
$Q_{amm} = Q_{ult} / F_s$	0.52	1.45	3.12

BASE SISMICA 03 - STIMA DEI MODULI DINAMICI			
	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	345	783	1334
Velocità onde S (m/s):	125	215	390
$V_{LAB}$ = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1.50	3.00	8.50
Profondità Media Strato (m)	0.75	3.00	8.75
Modulo di Poisson ( $\nu$ )	0.42	0.46	0.45
Densità naturale ( $\rho$ in $gr/cm^3$ ) = $0,23xVp^{0,25}$ (Gardner et al., 1974)	1.34	1.64	1.87
Porosità % ( $\emptyset$ ) (correlazione Rzhvesky e Novik (1971))	47.52%	43.43%	38.28%
<b>MOD. di YOUNG DINAMICO - (<math>E_{din}</math> in <math>Kg/cm^2</math>)</b>	595	2212	8282
<b>MOD. di TAGLIO DINAMICO (<math>G_{din}</math> in <math>Kg/cm^2</math>)</b> $G_{din} = E_{din}/(2*(1+\nu))$	209	758	2850
<b>MOD. di BULK (K) (<math>Kg/cm^2</math>):</b> $K = E_{din}/(3*(1-2*\nu))$	1312	9043	29540
<b>MOD. di YOUNG STATICO (<math>E_{stat}</math> in <math>Kg/cm^2</math>)</b> (Rzhvesky et alii, 1971)	72	266	998
<b>MOD. di TAGLIO STATICO (<math>G_{stat}</math> in <math>Kg/cm^2</math>)</b>	25	91	343
<b>MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in <math>Kg/cm^2</math>)</b> <span style="color:red">▲</span> (da velocità onde P e densità) $\rho * Vp^2$ (valido per le terre)	16.22	102.52	339.97
<b>MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in <math>Kg/cm^2</math>)</b> $M = ((Vp * Vp * \rho * (1 + \nu) * (1 - 2 * \nu)) / (1 - \nu))$ (relazione di NAVIER)	6.06	22.56	84.46
<b>Rigidità Sismica (<math>\gamma * Vp</math>) (Tonn/m<sup>2</sup>*sec)</b>	167	353	731
<b>Frequenza dello Strato</b>	21	18	11
<b>Periodo dello Strato</b>	0.05	0.06	0.09
<b>STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (VALIDO PER LE TERRE)</b>			
<b><math>N_{SPT}</math> (Imai and Yoshimura, 1977)</b>	5	23	>50
<b><math>N_{SPT} = 7,24E-07xVs^{3,15}</math> (Formazioni a prevalente componente argillosa)</b>	3	16	>50
<b><math>N_{SPT} = 1,77E-06xVs^{2,80}</math> (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)</b>	1	6	32
<b><math>N_{SPT} = 1,60E-06xVs^{2,90}</math> (Depositi Alluvionali)</b>	2	9	>50
<b><math>\Phi_{min} = Vs_1^{0,44} * 6,2</math> (angolo di resistenza al taglio minimo)</b>	26	35	48
<b><math>\Phi_{max} = Vs_1^{0,44}</math> (angolo di resistenza al taglio massimo)</b>	33	41	54
<b><math>Cu</math> (coesione non drenata in <math>Kg/cm^2 = (Vs/23)^{1/0,475} * 0,010197</math> (Dickenson 1990))</b>	0.36	1.13	3.95
<b><math>Cu = (coesione non drenata = (Vs - 17,5) / 2,63 * 0,010197</math> (Oh et al. 2008))</b>	0.42	0.77	1.44
<b><math>Cu = (coesione non drenata = (Vs / 7,93)^{1/0,63} * 0,010197</math> (Levesques et al. 2007)</b>	0.81	1.92	4.94
<b><math>Cu = (coesione non drenata = (Vs / 187)^{1/0,372} * 0,010197 * 100</math> da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)</b>	0.35	1.48	7.36
<b><math>Cu = (coesione non drenata = (Vs / 228)^{1/0,510} * 0,010197 * 100</math> da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010)</b>	0.31	0.91	2.92
<b>COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO</b>			
<b>B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)</b>	100	100	100
<b>D (ipotesi diametro palo in m)</b>	0.50	0.50	0.50
<b>K = (Coeff. di Winkler in <math>Kg/cm^3</math> --&gt; VESIC 1961) <math>k = E/[B(1-\nu^2)]</math></b>	0.87	3.38	12.56
<b><math>k = 17,2 * Vs^{1,25}</math> <math>Kg/cm^3</math> (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)</b>	0.73	1.44	3.04
<b><math>K_v</math> (Coeff. di Winkler verticale in <math>Kg/cm^3</math> --&gt; <math>K_v = \alpha * 2 * Ed/b</math> dove <math>\alpha = 2 / \log_e(b+2H)/b</math>)</b>	0.07	0.38	2.12
<b><math>K_h</math> (Coeff. di Winkler orizzontale in <math>Kg/cm^3</math> - Chiarugi-Maia)</b>	0.16	4.74	48.16
<b>INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE</b>			
<b><math>F_s</math> (Fattore di sicurezza = <math>Vp/Vs</math>)</b>	2.8	3.6	3.4
<b><math>Q_{ult}</math> (<math>kg/cm^2</math>) = <math>\gamma_{nat} * vs * (0,1)</math> (Keceli 2012)</b>	1.67	3.53	7.31
<b><math>Q_{amm} = Q_{ult} / F_s</math></b>	0.61	0.97	2.14

<b>BASE SISMICA 04 - STIMA DEI MODULI DINAMICI</b>			
	<b>STRATO 1</b>	<b>STRATO 2</b>	<b>STRATO 3</b>
<b>Velocità onde P (m/s):</b>	<b>330</b>	<b>654</b>	<b>1700</b>
<b>Velocità onde S (m/s):</b>	<b>115</b>	<b>220</b>	<b>590</b>
<b>V<sub>LAB</sub> = Velocità onde P di laboratorio (m/s):</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>
<b>SPESSORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>0.80</b>	<b>3.50</b>	<b>15.00</b>
<b>Profondità Media Strato (m)</b>	<b>0.40</b>	<b>2.55</b>	<b>11.80</b>
<b>Modulo di Poisson (<math>\nu</math>)</b>	0.43	0.44	0.43
<b>Densità naturale (<math>\rho</math> in gr/cm<sup>3</sup>) = 0,23xVp<sup>0,25</sup> (Gardner et al., 1974)</b>	1.32	1.57	1.99
<b>Porosità % (<math>\emptyset</math>)</b> (correlazione Rzhovsky e Novik (1971))	47.66%	44.64%	34.86%
<b>MOD. di YOUNG DINAMICO - (<math>E_{din}</math> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	500	2179	19838
<b>MOD. di TAGLIO DINAMICO (<math>G_{din}</math> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> $G_{din} = E_{din}/(2*(1+\nu))$	175	759	6929
<b>MOD. di BULK (K) (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> $K = E_{din}/(3*(1-2*\nu))$	1206	5694	48288
<b>MOD. di YOUNG STATICO (<math>E_{stat}</math> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> (Rzhovsky et alii, 1971)	60	262	2390
<b>MOD. di TAGLIO STATICO (<math>G_{stat}</math> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	21	91	835
<b>MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> (da velocità onde P e densità) $\rho * Vp^2$ (valido per le terre)	14.67	68.37	586.62
<b>MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> $M = ((Vp * Vp * \rho * (1 + \nu) * (1 - 2 * \nu)) / (1 - \nu))$ (relazione di NAVIER)	5.10	22.22	202.30
<b>Rigidità Sismica (<math>\gamma * Vp</math>) (Tonn/m<sup>2</sup>*sec)</b>	<b>152</b>	<b>345</b>	<b>1174</b>
<b>Frequenza dello Strato</b>	<b>36</b>	<b>16</b>	<b>10</b>
<b>Periodo dello Strato</b>	<b>0.03</b>	<b>0.06</b>	<b>0.10</b>
<b>STIMA PARAMETRI GEOTECNICHI (VALIDO PER LE TERRE)</b>			
<b>N<sub>SPT</sub> (Imai and Yoshimura, 1977)</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>&gt;50</b>
<b>N<sub>SPT</sub> = 7,24E-07xVs<sup>3,15</sup> (Formazioni a prevalente componente argillosa)</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>&gt;50</b>
<b>N<sub>SPT</sub> = 1,77E-06xVs<sup>2,80</sup> (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>&gt;50</b>
<b>N<sub>SPT</sub> = 1,60E-06xVs<sup>2,90</sup> (Depositi Alluvionali)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>&gt;50</b>
<b><math>\Phi</math> min = Vs<sup>0,44</sup>-6,2 (angolo di resistenza al taglio minimo)</b>	<b>25</b>	<b>36</b>	<b>58</b>
<b><math>\Phi</math> max = Vs<sup>0,44</sup> (angolo di resistenza al taglio massimo)</b>	<b>31</b>	<b>42</b>	<b>65</b>
<b>Cu (coesione non drenata in Kg/cm<sup>2</sup> = (Vs/23)<sup>1/0,475</sup>*0,010197 (Dickenson 1990))</b>	<b>0.30</b>	<b>1.18</b>	<b>9.44</b>
<b>Cu=(coesione non drenata=(Vs-17,5)/2,63 *0,010197 (Oh et al. 2008))</b>	<b>0.38</b>	<b>0.79</b>	<b>2.22</b>
<b>Cu=(coesione non drenata=(Vs/7,93)<sup>1/0,63</sup> *0,010197 (Levesques et al. 2007)</b>	<b>0.71</b>	<b>1.99</b>	<b>9.53</b>
<b>Cu=(coesione non drenata=(Vs/187)<sup>1/0,372</sup> *0,010197*100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)</b>	<b>0.28</b>	<b>1.58</b>	<b>22.38</b>
<b>Cu=(coesione non drenata=(Vs/228)<sup>1/0,510</sup> *0,010197*100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010)</b>	<b>0.27</b>	<b>0.95</b>	<b>6.58</b>
<b>COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO</b>			
<b>B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>D (ipotesi diametro palo in m)</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>
<b>K = (Coeff. di Winkler in Kg/cm<sup>3</sup>--&gt;VESIC 1961) k=E/[B(1-<math>\nu^2</math>)]</b>	<b>0.74</b>	<b>3.24</b>	<b>29.37</b>
<b>k = 17,2*Vs<sup>1,25</sup> Kg/cm<sup>3</sup>(Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)</b>	<b>0.66</b>	<b>1.49</b>	<b>5.10</b>
<b>K<sub>v</sub> (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm<sup>3</sup> --&gt; K<sub>v</sub> = <math>\alpha^2 * E_d / b</math> dove <math>\alpha^2 = 2 / \log_e(b+2H) / b</math>)</b>	<b>0.04</b>	<b>0.40</b>	<b>6.03</b>
<b>K<sub>h</sub> (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm<sup>3</sup> - Chiarugi-Maia)</b>	<b>0.08</b>	<b>2.55</b>	<b>113.09</b>
<b>INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE</b>			
<b>Fs (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)</b>	<b>2.9</b>	<b>3.0</b>	<b>2.9</b>
<b>Q<sub>ult</sub> (kg/cm<sup>2</sup>) = <math>\gamma_{nat} * v_s * (0,1)</math> (Keceli 2012)</b>	<b>1.52</b>	<b>3.45</b>	<b>11.74</b>
<b>Q<sub>amm</sub>=Q<sub>ult</sub>/Fs</b>	<b>0.53</b>	<b>1.16</b>	<b>4.08</b>

### BASE SISMICA 05 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
<b>Velocità onde P (m/s):</b>	<b>315</b>	<b>786</b>	<b>1650</b>
<b>Velocità onde S (m/s):</b>	<b>100</b>	<b>270</b>	<b>610</b>
<b>V<sub>LAB</sub> = Velocità onde P di laboratorio (m/s):</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>
<b>SPESSORE MEDIO STRATO (m)</b>	<b>1.30</b>	<b>4.00</b>	<b>15.00</b>
<b>Profondità Media Strato (m)</b>	<b>0.65</b>	<b>3.30</b>	<b>12.80</b>
<b>Modulo di Poisson (<math>\nu</math>)</b>	0.44	0.43	0.42
<b>Densità naturale (<math>\rho</math> in gr/cm<sup>3</sup>) = 0,23xVp<sup>0,25</sup> (Gardner et al., 1974)</b>	1.31	1.64	1.98
<b>Porosità % (<math>\emptyset</math>)</b> (correlazione Rzhvesky e Novik (1971))	47.80%	43.40%	35.33%
<b>MOD. di YOUNG DINAMICO - (E<sub>din</sub> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	377	3430	20891
<b>MOD. di TAGLIO DINAMICO (G<sub>din</sub> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> G <sub>din</sub> = E <sub>din</sub> /(2*(1+ $\nu$ ))	131	1197	7352
<b>MOD. di BULK (K) (Kg/cm<sup>2</sup>):</b> K=E <sub>din</sub> /(3*(1-2* $\nu$ ))	1122	8545	43988
<b>MOD. di YOUNG STATICO (E<sub>stat</sub> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> (Rzhvesky et alii, 1971)	45	413	2517
<b>MOD. di TAGLIO STATICO (G<sub>stat</sub> in Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	16	144	886
<b>MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> (da velocità onde P e densità) $\rho * Vp^2$ (valido per le terre)	13.21	103.41	548.51
<b>MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm<sup>2</sup>)</b> M=((Vp*Vp* $\rho$ *(1+ $\nu$ )*(1-2* $\nu$ )/(1- $\nu$ )) (relazione di NAVIER)	3.85	34.97	213.03
<b>Rigidità Sismica (<math>\gamma * Vp</math>) (Tonn/m<sup>2</sup>*sec)</b>	<b>131</b>	<b>443</b>	<b>1205</b>
<b>Frequenza dello Strato</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>10</b>
<b>Periodo dello Strato</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.10</b>
<b>STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (VALIDO PER LE TERRE)</b>			
<b>N<sub>SPT</sub> (Imai and Yoshimura, 1977)</b>	<b>2</b>	<b>47</b>	<b>&gt;50</b>
<b>N<sub>SPT</sub> = 7,24E-07xVs<sup>3,15</sup> (Formazioni a prevalente componente argillosa)</b>	<b>1</b>	<b>33</b>	<b>&gt;50</b>
<b>N<sub>SPT</sub> = 1,77E-06xVs<sup>2,80</sup> (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>&gt;50</b>
<b>N<sub>SPT</sub> = 1,60E-06xVs<sup>2,90</sup> (Depositi Alluvionali)</b>	<b>1</b>	<b>18</b>	<b>&gt;50</b>
<b><math>\Phi</math> min = Vs<sub>1</sub><sup>0,44</sup> * 6,2 (angolo di resistenza al taglio minimo)</b>	<b>23</b>	<b>40</b>	<b>59</b>
<b><math>\Phi</math> max = Vs<sub>1</sub><sup>0,44</sup> (angolo di resistenza al taglio massimo)</b>	<b>30</b>	<b>46</b>	<b>66</b>
<b>Cu (coesione non drenata in Kg/cm<sup>2</sup> = (Vs/23)<sup>1/0,475</sup> * 0,010197 (Dickenson 1990))</b>	<b>0.23</b>	<b>1.82</b>	<b>10.13</b>
<b>Cu=(coesione non drenata=(Vs-17,5)/2,63 * 0,010197 (Oh et al. 2008))</b>	<b>0.32</b>	<b>0.98</b>	<b>2.30</b>
<b>Cu=(coesione non drenata=(Vs/7,93)<sup>1/0,63</sup> * 0,010197 (Levesques et al. 2007)</b>	<b>0.57</b>	<b>2.76</b>	<b>10.05</b>
<b>Cu=(coesione non drenata=(Vs/187)<sup>1/0,372</sup> * 0,010197*100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)</b>	<b>0.19</b>	<b>2.74</b>	<b>24.48</b>
<b>Cu=(coesione non drenata=(Vs/228)<sup>1/0,510</sup> * 0,010197*100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010)</b>	<b>0.20</b>	<b>1.42</b>	<b>7.02</b>
<b>COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO</b>			
<b>B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>D (ipotesi diametro palo in m)</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>
<b>K = (Coeff. di Winkler in Kg/cm<sup>3</sup> --&gt; VESIC 1961) k=E/[B(1-<math>\nu^2</math>)]</b>	<b>0.56</b>	<b>5.08</b>	<b>30.59</b>
<b>k = 17,2*Vs<sup>1,25</sup> Kg/cm<sup>3</sup> (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)</b>	<b>0.55</b>	<b>1.92</b>	<b>5.32</b>
<b>K<sub>v</sub> (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm<sup>3</sup> --&gt; K<sub>v</sub> = <math>\alpha</math> * 2 * Ed/b dove <math>\alpha</math> = 2/log<sub>e</sub>(b+2H)/b)</b>	<b>0.04</b>	<b>0.67</b>	<b>6.35</b>
<b>K<sub>h</sub> (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm<sup>3</sup> - Chiarugi-Maia)</b>	<b>0.12</b>	<b>5.10</b>	<b>112.42</b>
<b>INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE</b>			
<b>Fs (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)</b>	<b>3.2</b>	<b>2.9</b>	<b>2.7</b>
<b>Q<sub>ult</sub> (kg/cm<sup>2</sup>) = <math>\gamma_{nat}</math> * vs * (0,1) (Keceli 2012)</b>	<b>1.31</b>	<b>4.43</b>	<b>12.05</b>
<b>Q<sub>amm</sub> = Q<sub>ult</sub>/Fs</b>	<b>0.41</b>	<b>1.52</b>	<b>4.46</b>

## 10 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE LITOLOGIE PRESENTI NELL'AREA

### 10.1 Classificazione geotecnica dei terreni

Per qualsiasi eventuale calcolo geotecnico da effettuarsi in rapporto ai terreni costituenti il sottosuolo si consiglia di adottare, per i parametri fisico-meccanici, i valori indicati nelle tabelle seguenti dove si riporta una sintesi dei valori dei parametri geotecnici desunti dalle prove penetrometriche unitamente a quelle sismiche. I valori indicati sono da intendersi per "ammassi terrosi" e "ammassi rocciosi" integri.

I terreni costituenti il sottosuolo, considerato che l'area in esame è piuttosto estesa, sono distinguibili in due litologie principali:

- **Depositi detritici**, in cui ricadono le pale P1, P2, P3 e P9 – **Tab. 1**;
- **Depositi di natura argillosa**, in cui ricadono le pale P4, P5, P6, P7, P8, P10 e P11 – **Tab. 2**.

TAB 1 - PARAMETRI GEOTECNICI DEI DEPOSITI DETRITICI	Valore	u.m.
Peso dell'unità di volume ( $\gamma$ )	1,65	g/cm <sup>3</sup>
Angolo di attrito dell'ammasso terroso ( $\phi$ )	25.0	A
Coesione dell'ammasso terroso (C)	0.0	Kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson ( $\delta$ )	0,44	A
Valori velocità sismiche di taglio (onde S)	180	m/s
Modulo di Young statico ( $E_{stat}$ )	170	kg/cm <sup>2</sup>
Modulo di Taglio statico ( $G_{stat}$ )	60	kg/cm <sup>2</sup>
Modulo di Compressione edometrica (M)	100	kg/cm <sup>2</sup>
Kwx o Costante di sottofondo (direzione X)	2	kg/cm <sup>3</sup>
Kwy o Costante di sottofondo (direzione Y)	2	kg/cm <sup>3</sup>
Kwz o Costante di sottofondo (direzione Z)	2	kg/cm <sup>3</sup>

TAB 2 - PARAMETRI GEOTECNICI DEI DEPOSITI ARGILLOSI	Valore	u.m.
Peso dell'unità di volume ( $\gamma$ )	1,90	g/cm <sup>3</sup>
Angolo di attrito dell'ammasso terroso ( $\phi$ )	23.0	A
Coesione dell'ammasso terroso (C)	0.5	Kg/cm <sup>2</sup>
Coesione non drenata ( $C_u$ )	2.5	Kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson ( $\delta$ )	0,42	A
Valori velocità sismiche di taglio (onde S)	400	m/s
Modulo di Young statico ( $E_{stat}$ )	1500	kg/cm <sup>2</sup>
Modulo di Taglio statico ( $G_{stat}$ )	500	kg/cm <sup>2</sup>
Modulo di Compressione edometrica (M)	100	kg/cm <sup>2</sup>
Kwx o Costante di sottofondo (direzione X)	5.0	kg/cm <sup>3</sup>
Kwy o Costante di sottofondo (direzione Y)	5.0	kg/cm <sup>3</sup>
Kwz o Costante di sottofondo (direzione Z)	5.0	kg/cm <sup>3</sup>

## 11 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E COMPATIBILITA' DEL PROGETTO

La presente Relazione Geologica ha come oggetto la realizzazione di un parco eolico in agro del comune di San Giuliano di Puglia, Santa Croce di Magliano e Rotello, tutti in provincia di Campobasso. L'ubicazione del parco eolico, comprendente l'installazione di 11 pale eoliche si estende a partire da circa 2.5 km a est del centro abitato di San Giuliano di Puglia, continuando, sempre verso est per cista 6 Km.

Si tratta di un territorio collinare nei pressi del confine regionale con la Puglia (ad Est), caratterizzato da piani morfologici debolmente inclinati verso mare (ENE), con quote comprese tra i 550 e 200 m s.l.m., la cui continuità è interrotta dalle incisioni fluviali, il più importante dei quali è il Fiume Fortore.

Le Unità Molisane vengono ascritte ad un dominio paleogeografico più o meno articolato di mare profondo, il Bacino Molisano, interposto tra la piattaforma appenninica e quella apula. Il Molise presenta una elevata variabilità altimetrica connessa alla particolare posizione della catena appenninica ed alla particolare posizione nello scenario geologico-strutturale dell'Italia centro-meridionale.

L'area oggetto del presente studio ricade nel Foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. Tutte le opere in progetto si trovano in aree in cui affiorano i termini Plio-Pleistocenici di avansfossa.

L'intero territorio oggetto di indagine ricade all'interno del bacino idrografico del Torrente Fortore, in Molise, quindi sotto la giurisdizione dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore. Per ognuno dei singoli bacini idrografici tale Autorità di Bacino ha predisposto uno specifico piano stralcio

Le aree oggetto di indagine ricadono in zona sismica 2, secondo la normativa regionale vigente della Regione Molise (L. R. 20/05/2004, n. 13 e s.m.i.), denominata "Riclassificazione sismica del territorio Regionale e nuova normativa sismica" che costituisce il recepimento di tale regione dell'Ordinanza C.P.M. del 20 marzo 2003, n. 3274.

In questa fase di progettazione è stata condotta una campagna di indagini con prove penetrometriche e prospezioni sismiche, eseguite in modo mirato e appropriato per verifiche il rapporto terreno-fondazione in accordo e con le modalità previste dalle NTC 2018.

Le indagini hanno evidenziato a seconda della zona, la presenza di depositi detritici con caratteristiche meccaniche scadenti e soggetti a suscettibilità di liquefazione per la presenza, in alcuni punti di una falda superficiale a profondità comprese tra 3.0m e 3.60m e depositi argillosi mediamente consistenti, alterati in superficie ove sono anch'essi caratterizzati da parametri geotecnici scadenti che via via migliorano con la profondità.

Le indagini sismiche, inoltre hanno evidenziato l'assenza di un "bedrock sismico" entro i primi 30m di profondità, pertanto come prevede la norma il parametro determinato coincide con il  $V_{s,30}$ , il quale è risultato essere compreso tra 360m/s e 800m/s conferendo al sottosuolo in esame la categoria di suolo di fondazione "B".

Inoltre, la verifica alla suscettibilità dei terreni a liquefarsi, è stata eseguita ipotizzando valori di magnitudo minore o uguale e/o maggiori di  $M=6.81$ , registrato durante l'evento sismico del 1980 "Irpina-Basilicata", ossia magnitudo statisticamente superiori a quelli storicamente registrati nel Comune di San Giuliano di Puglia.

Anche in questo caso, *Per quanto riguarda il terreno in esame, il fattore  $F_s$  non risulta verificato a partire da valori di  $M=6.6$ , tale valore è inferiore a quello massimo registrato in zona.*

Pertanto, da questa analisi si evince che il sismostrato in questione risulta suscettibile di liquefazione per terremoti di magnitudo 6,6, i quali, dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano DBMI15, se pur in forma rara risultano inferiori a quelli massimi registrati in queste aree e dunque è necessario tenere tale dato in considerazione per il calcolo delle fondazioni.

### *11.1 Compatibilità delle opere in relazione all'ambiente circostante*

Alla luce di quanto evinto dal rilevamento geologico e dalle indagini svolte in sito, il territorio preso in considerazione non presenta incompatibilità di natura geo-litologica, geo-strutturale, idro-geomorfologica e idrogeologica con le opere in progetto (aerogeneratori, stazione elettrica di elevazione, cavidotto interrato e viabilità a servizio del parco eolico).

In fase esecutiva dei lavori, si suggerisce di eseguire eventuali altre indagini laddove è presente il deposito detritico, in corrispondenza del quale, a luoghi sono state individuate falde superficiali. Tali falde, sia dalla verifica da prova sismica che dalla verifica delle prove penetrometriche, risultano responsabili del fenomeno di liquefazione dei terreni; pertanto, sebbene al sottosuolo è stata attribuita la categoria di suolo di fondazione B, sarebbe opportuno uno studio più approfondito di un'eventuale amplificazione del segnale sismico durante un l'evento sismico atteso.



Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

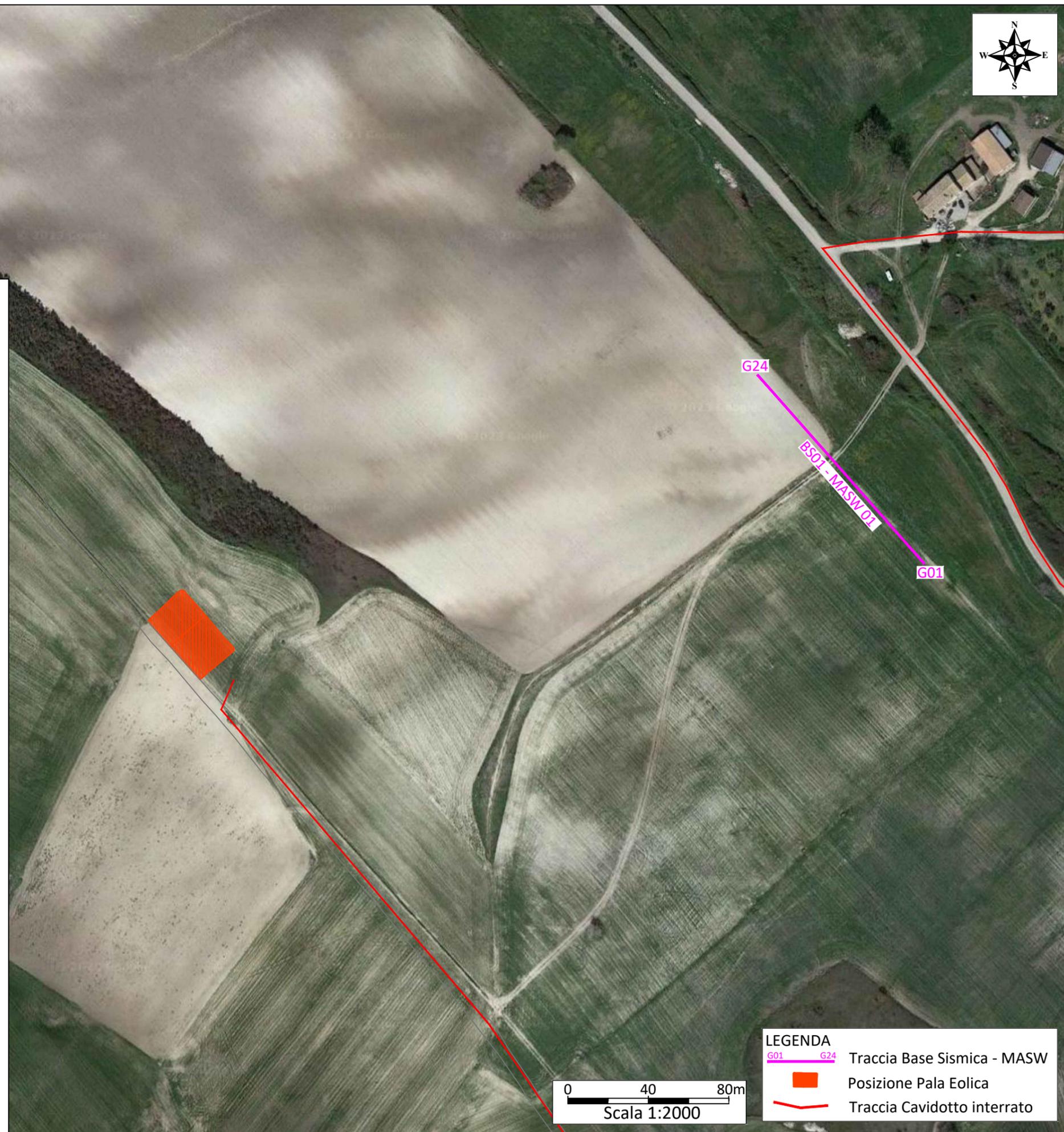
## ALLEGATO 01: PLANIMETRIE

- UBICAZIONE DI DETTAGLIO DELLE PROVE DPSH
- UBICAZIONE DI DETTAGLIO DELLE PROSPEZIONI SISMICHE

# ALLEGATO 01A: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELL'INDAGINE SISMICA - SCALA 1:2000



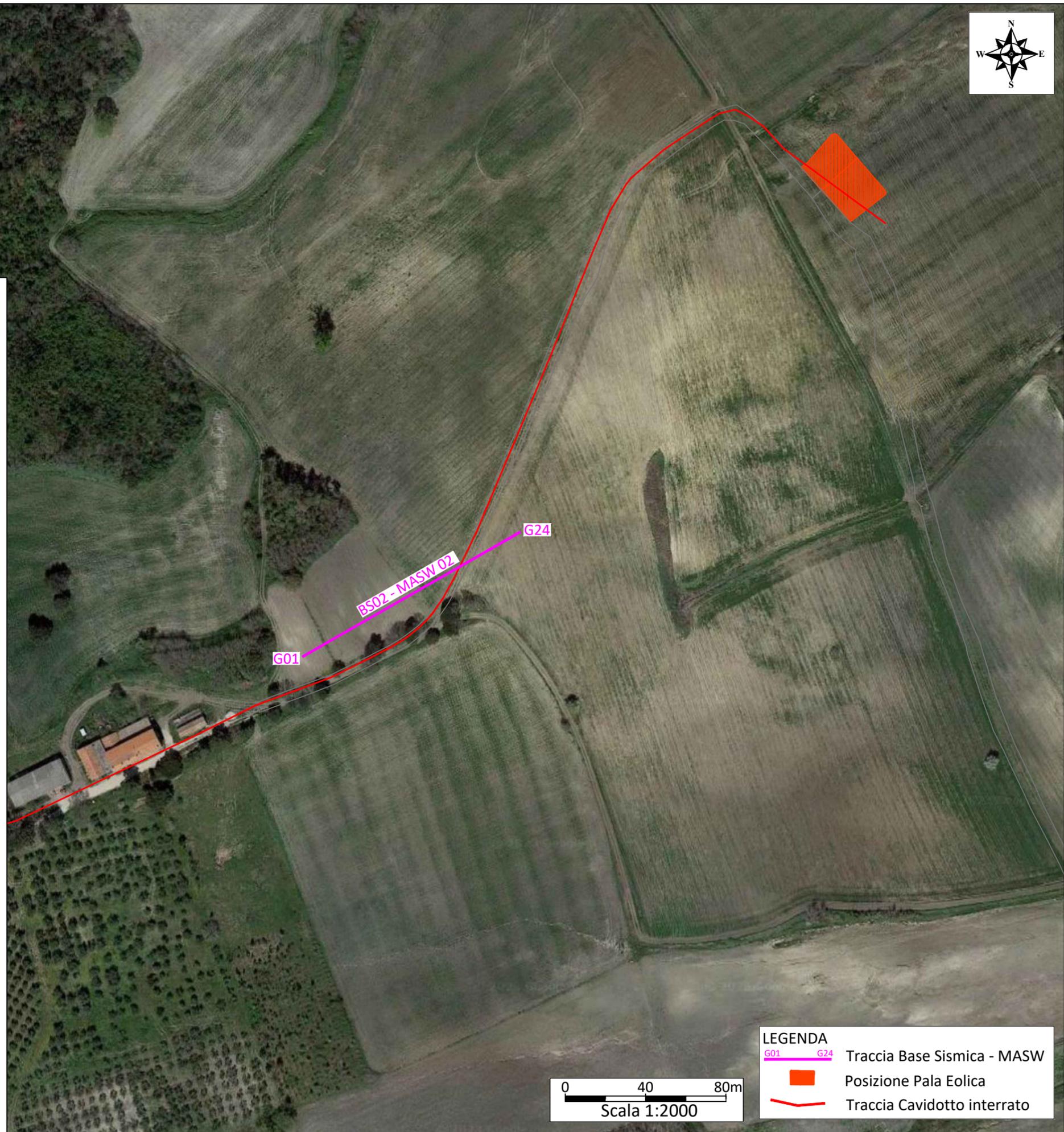
Planimetria di inquadramento - Scala 1:50.000



# ALLEGATO 01B: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELL'INDAGINE SISMICA - SCALA 1:2000



Planimetria di inquadramento - Scala 1:50.000



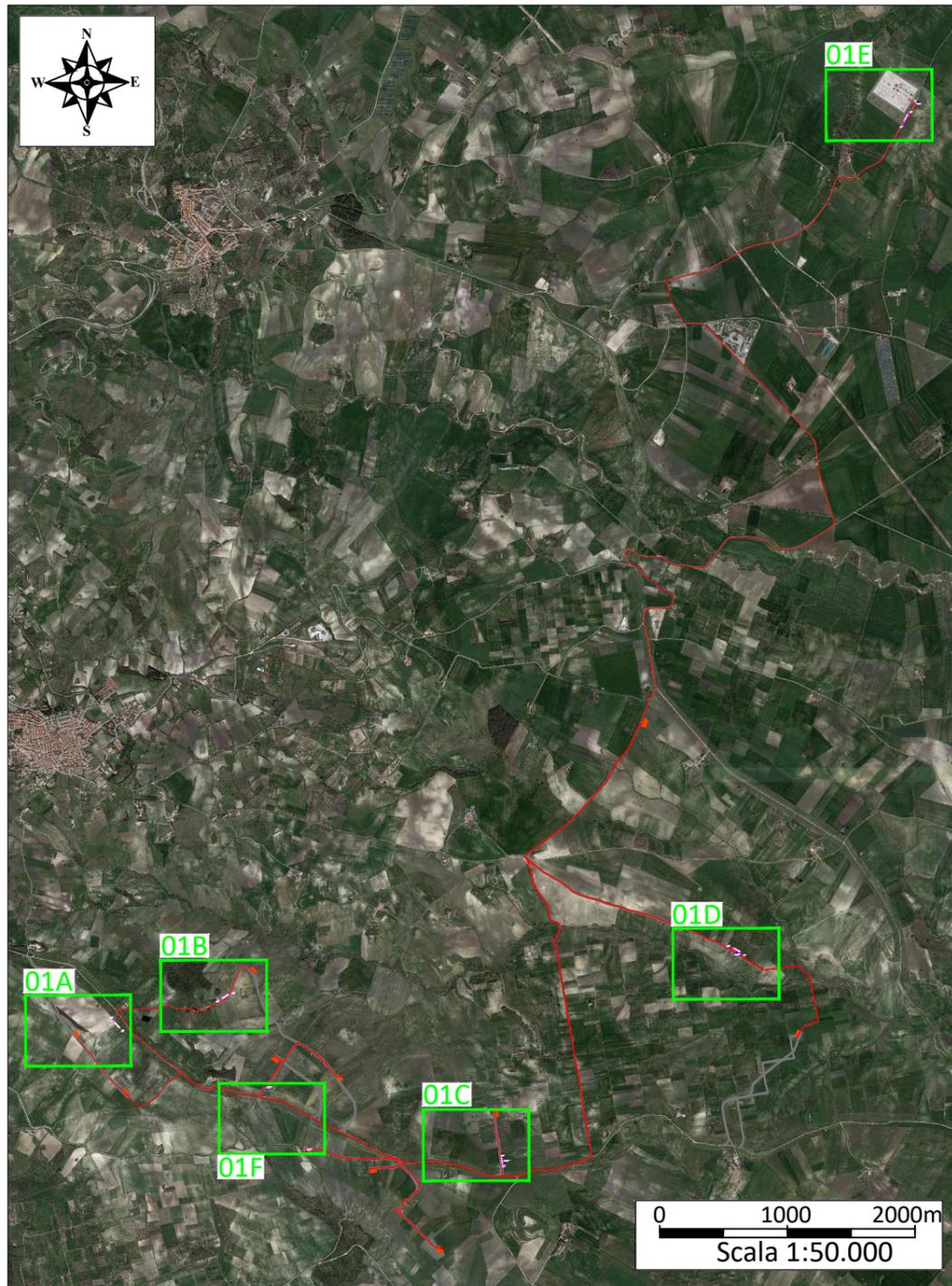
**LEGENDA**

		Traccia Base Sismica - MASW
		Posizione Pala Eolica
		Traccia Cavidotto interrato

# ALLEGATO 01C: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI DIRETTE E INDIRRETTE - SCALA 1:2000



Planimetria di inquadramento - Scala 1:50.000



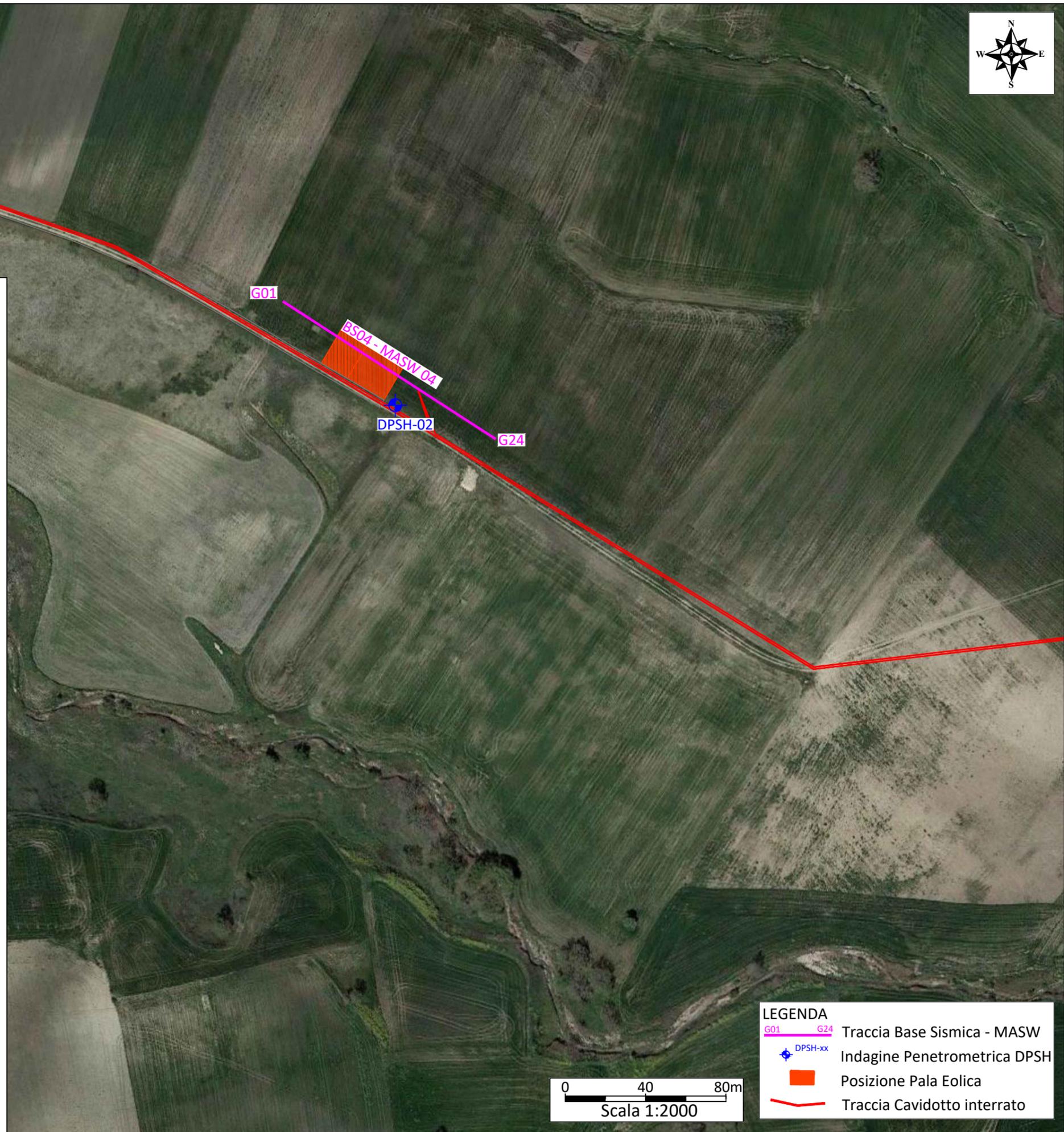
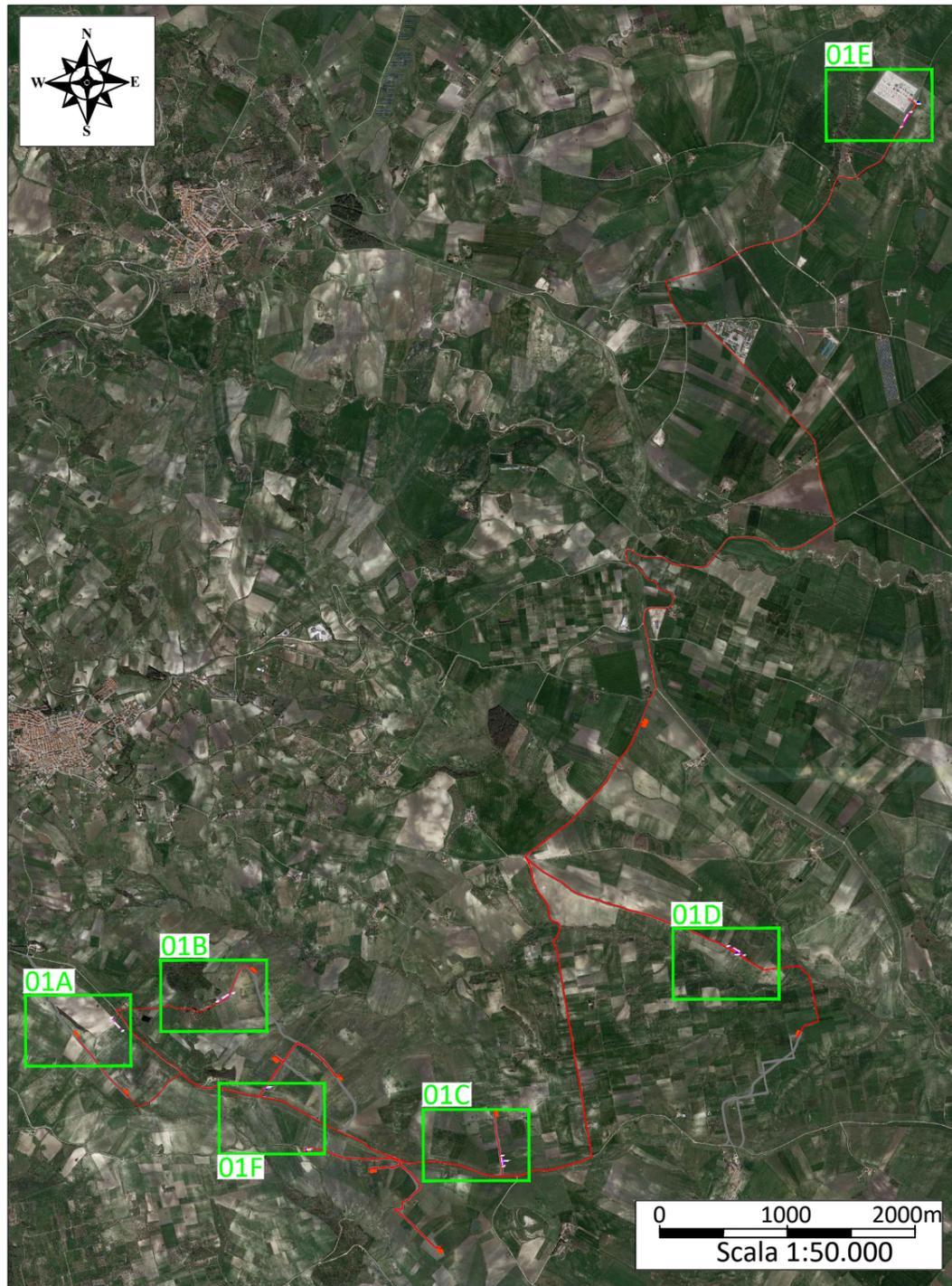
**LEGENDA**

	G01	G24	Traccia Base Sismica - MASW
	DPSH-xx		Indagine Penetrometrica DPSH
			Posizione Pala Eolica
			Traccia Cavidotto interrato

# ALLEGATO 01D: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI DIRETTE E INDIRRETTE - SCALA 1:2000



Planimetria di inquadramento - Scala 1:50.000



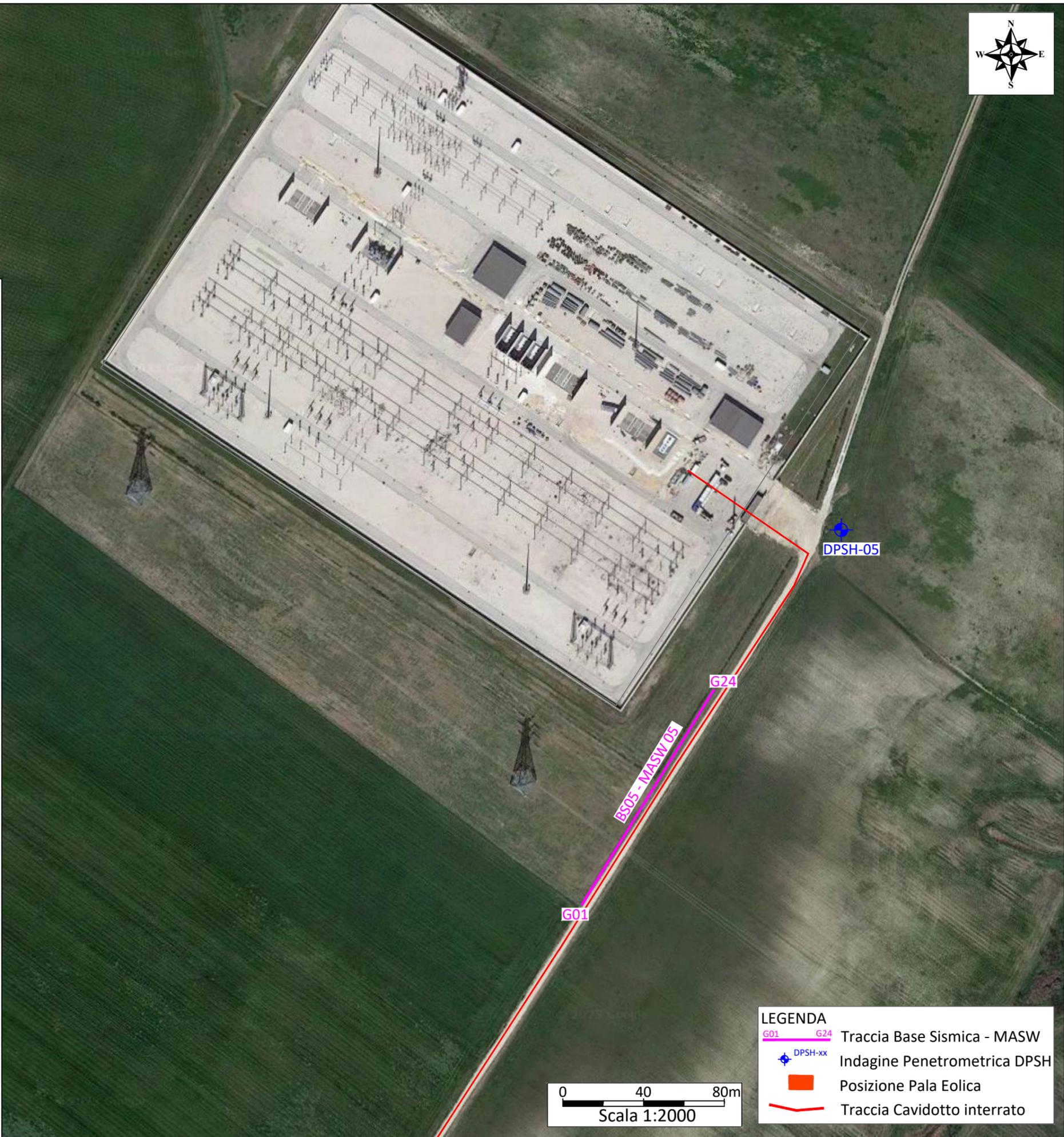
**LEGENDA**

G01	G24	Traccia Base Sismica - MASW
DPSH-xx		Indagine Penetrometrica DPSH
		Posizione Pala Eolica
		Traccia Cavidotto interrato

# ALLEGATO 01E: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI DIRETTE E INDIRRETTE - SCALA 1:2000



Planimetria di inquadramento - Scala 1:50.000



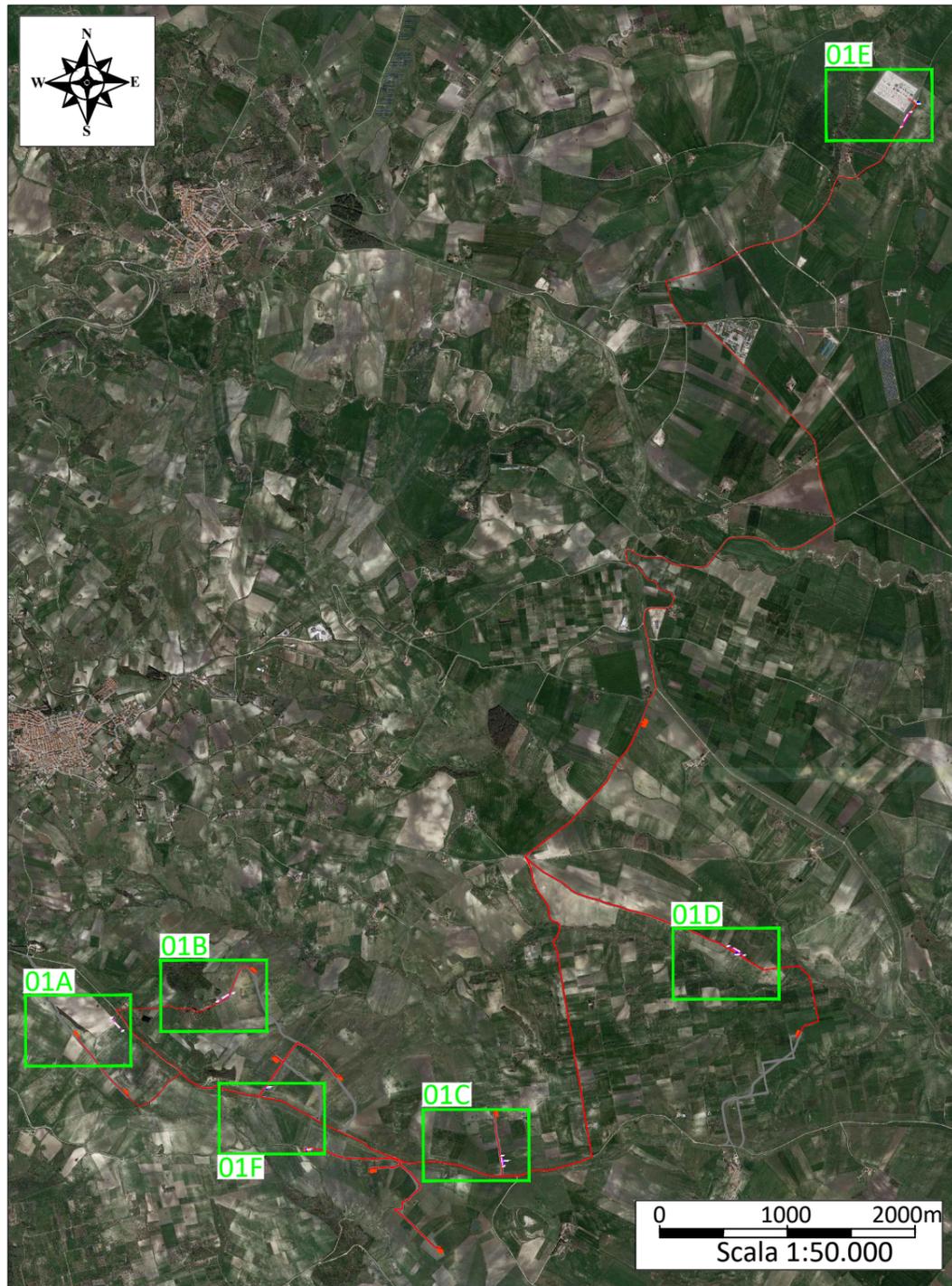
**LEGENDA**

	G01	G24	Traccia Base Sismica - MASW
	DPSH-xx		Indagine Penetrometrica DPSH
			Posizione Pala Eolica
			Traccia Cavidotto interrato

# ALLEGATO 01F: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI DIRETTE - SCALA 1:2000

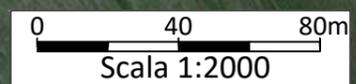


Planimetria di inquadramento - Scala 1:50.000



**LEGENDA**

- DPSH-xx Indagini Penetrometrica DPSH
- Posizione Pala Eolica
- Traccia Cavidotto interrato





Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

## ALLEGATO 02: PROVE DPSH

- NUMERO DI COLPI
- RESISTENZA DINAMICA
- INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA

PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 01	Correlazione	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4
Spessore		1.00m	1.40m	4.80m	0.40m
Coesione non drenata $C_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) (*)	Terzaghi Peck	0,41	0,25	0,89	3,27
Densità relativa $D_r$ (%)	Meyerhof 1957	60,67	42,09	61,83	87,12
Angolo di resistenza al taglio $\phi$ (°)	Peck-Hanson-Thornurber-Meyerhof (1956)	24,09	23,45	26,75	29,06
Modulo Edometrico $E_{ed}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Menzenbach e Malcev	67,48	55,97	96,60	179,40
Peso unità di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Meyerhof et alii	1,61	1,50	1,83	2,05
Peso unità di volume saturo $\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	Terzaghi Peck 1948-1967	1,90	1,88	1,94	2,15
Liquefazione	Seed e Idriss (1971)	---	----	0,98	9,21
Modulo di Poisson $\sigma$	(A.G.I.)	0,39	0,41	0,46	0,37
Classificazione AGI	(A.G.I. - 1977)	Poco addensato	Poco addensato	Moderatamente addensato	Addensato
Modulo di reazione $K_0$	Navfac 1971-1982	1,36	0,76	2,76	5,85
Resistenza punta Penetrometro Statico $Q_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Robertson (1983)	13,22	8,06	26,28	63,45

(\*) Coesione drenata  $C$  (Kg/cm<sup>2</sup>):

Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe

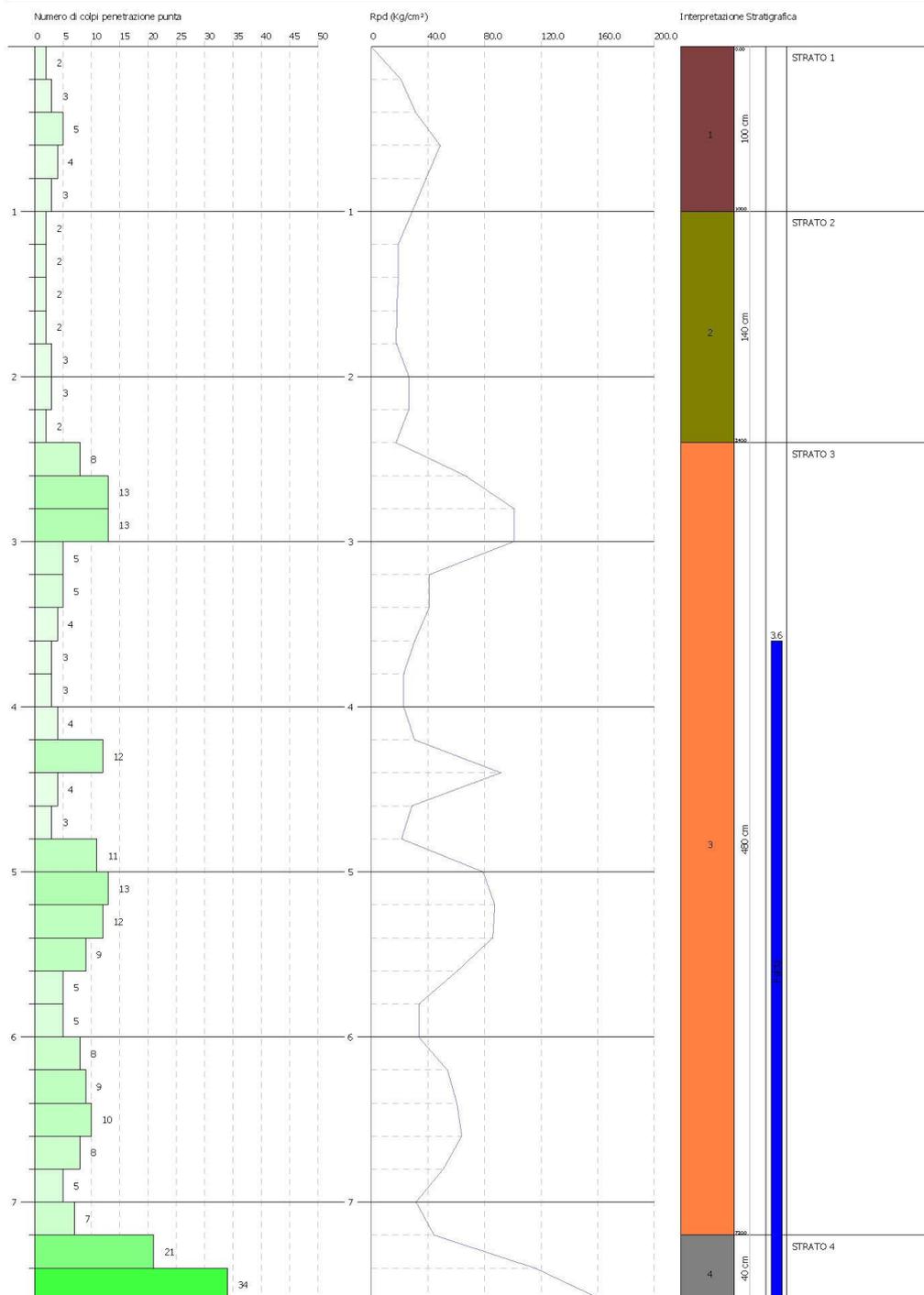
0,00      0,00      0,00      0,10

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... DPH 73 DEEP DRILL

Committente: FRED OLSEN RENEWABLES ITALY SRL  
Cantiere: Realizzazione campo edico  
Località: agrio di San Giuliano di Puglia (CB)

Data: 11/12/2023

Scala 1:32



PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 02	Correlazione	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4
Spessore		0.40m	1.40m	1.40m	1.00m
Coesione non drenata $C_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) (*)	Terzaghi Peck	0,71	0,38	2,24	1,14
Densità relativa $D_r$ (%)	Meyerhof 1957	79,39	54,22	100,00	71,77
Angolo di resistenza al taglio $\phi$ (°)	Peck-Hanson-Thornurber-Meyerhof (1956)	24,78	22,10	28,81	26,20
Modulo Edometrico $E_{ed}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Trofimenkov (1974) Mitchell e Gardner	109,60	63,40	340,72	174,37
Peso unità di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Meyerhof	1,98	1,81	2,03	1,91
Peso unità di volume saturo $\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	Meyerhof	2,18	1,89	2,10	2,00
Liquefazione	Seed e Idriss (1971)	n.a	n.a	n.a.	n.a
Modulo di Poisson $\sigma$	(A.G.I.)	0,40	0,41	0,38	0,39
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Consistente	Moderatamente consistente	Estremamente consistente	Molto consistente
Modulo di reazione $K_0$	Navfac 1971-1982	2,22	1,23	6,04	3,49
Resistenza punta Penetrometro Statico $Q_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Robertson (1983)	21,14	12,08	66,46	33,84

(\*) Coesione drenata  $C$  (Kg/cm<sup>2</sup>):

Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe

0,00

0,00

0,25

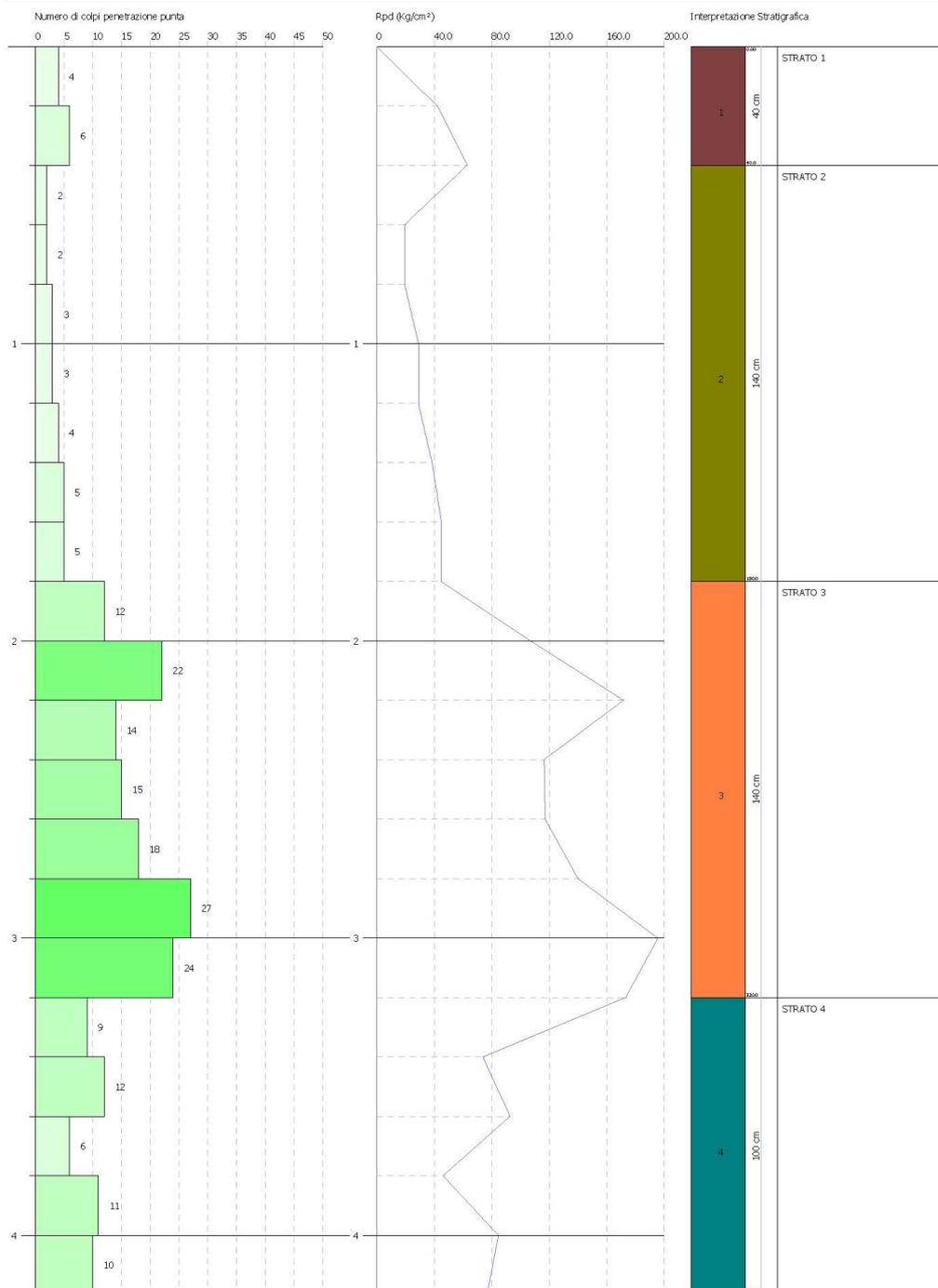
0,05

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... DPH 73 DEEP DRILL

Committente: FRED OLSEN RENEWABLES ITALY SRL  
Cantiere: Realizzazione campo edico  
Località: agro di Santa Croce di Magliano(CB)

Data: 12/12/2023

Scala 1:1B



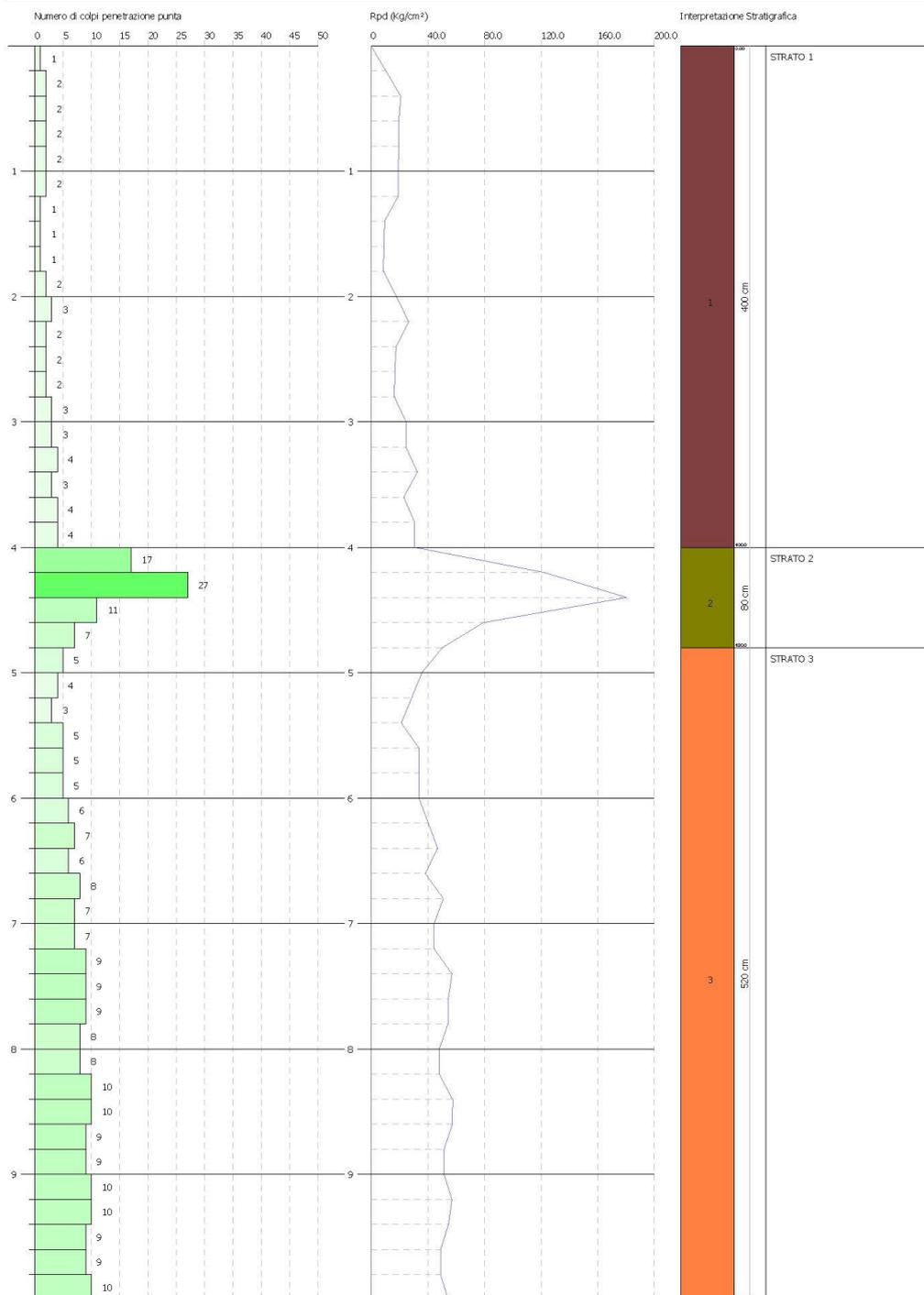
PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 03	Correlazione	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Spessore		4.00m	0.80m	5.20m
Coesione non drenata $C_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) (*)	Terzaghi Peck	0,26	1,84	0,90
Densità relativa $D_r$ (%)	Meyerhof 1957	42,06	90,54	53,16
Angolo di resistenza al taglio $\phi$ (°)	Peck-Hanson-Thornurber-Meyerhof (1956)	24,16	28,50	26,42
Modulo Edometrico $E_{ed}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Menzenbach e Malcev	56,64	159,80	97,59
Peso unità di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Meyerhof et alii	1,50	2,03	1,84
Peso unità di volume saturo $\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	Terzaghi Peck 1948-1967	1,88	2,11	1,94
Liquefazione	Seed e Idriss (1971)	----	----	----
Modulo di Poisson $\sigma$	(A.G.I.)	0,41	0,37	0,39
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Poco addensato	Moderatamente addensato	Moderatamente addensato
Modulo di reazione $K_0$	Navfac 1971-1982	0,79	5,23	2,80
Resistenza punta Penetrometro Statico $Q_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Robertson (1983)	8,36	54,62	26,72
(*) Coesione drenata $C$ (Kg/cm <sup>2</sup> ):	Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe	0,00	0,25	0,00

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
Strumento utilizzato... DPSH 73 DEEP DRILL

Committente: FRED OLSEN RENEWABLES ITALY SRL  
Cantiere: Realizzazione campo edico  
Località: agro di San Giuliano di Puglia (CB)

Data: 11/12/2023

Scala 1:42



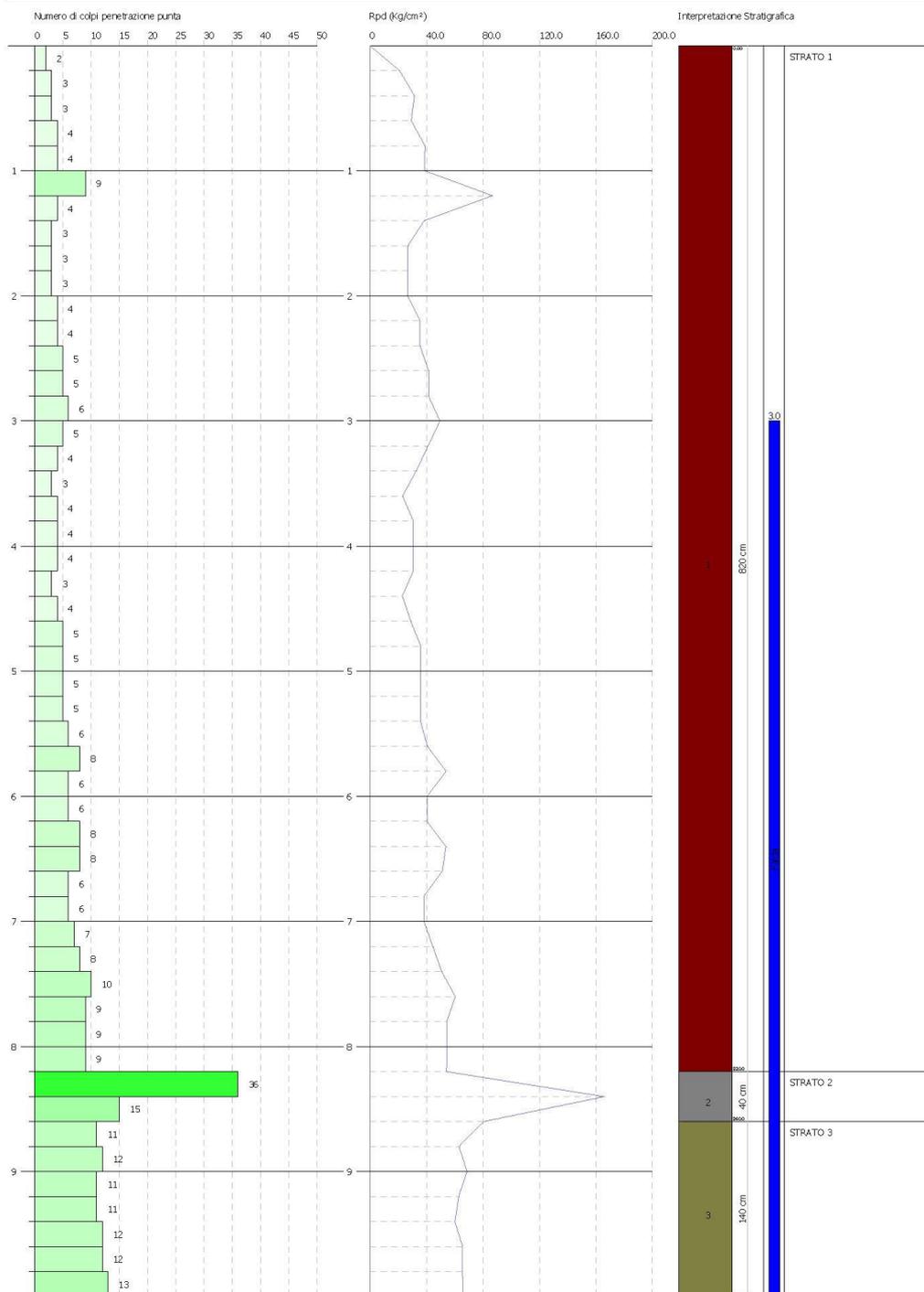
PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 04	Correlazione	Strato 1	Strato 2	Strato 3
Spessore		8.20m	0.40m	1.40m
Coesione non drenata $C_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) (*)	Terzaghi Peck	0,65	3,03	1,39
Densità relativa $D_r$ (%)	Meyerhof 1957	54,70	83,23	62,43
Angolo di resistenza al taglio $\phi$ (°)	Peck-Hanson-Thornurber-Meyerhof (1956)	25,68	30,95	29,00
Modulo Edometrico $E_{ed}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Menzenbach e Malcev	80,68	171,64	117,45
Peso unità di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Meyerhof et alii	1,72	2,04	1,95
Peso unità di volume saturo $\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	Terzaghi Peck 1948-1967	1,92	2,14	1,97
Liquefazione	Seed e Idriss (1971)	0,81	5,02	0,85
Modulo di Poisson $\sigma$	(A.G.I.)	0,39	0,36	0,38
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Poco addensato	Addensato	Moderatamente addensato
Modulo di reazione $K_0$	Navfac 1971-1982	2,01	5,60	3,66
Resistenza punta Penetrometro Statico $Q_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Robertson (1983)	18,14	59,93	35,63
(*) Coesione drenata $C$ (Kg/cm <sup>2</sup> ):	Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe	0,00	0,10	0,00

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4  
Strumento utilizzato... DPH 73 DEEP DRILL

Committente: FRED OLSEN RENEWABLES ITALY SRL  
Cantiere: Realizzazione campo edico  
Località: agro di San Giuliano di Puglia (CB)

Data: 11/12/2023

Scala 1:42



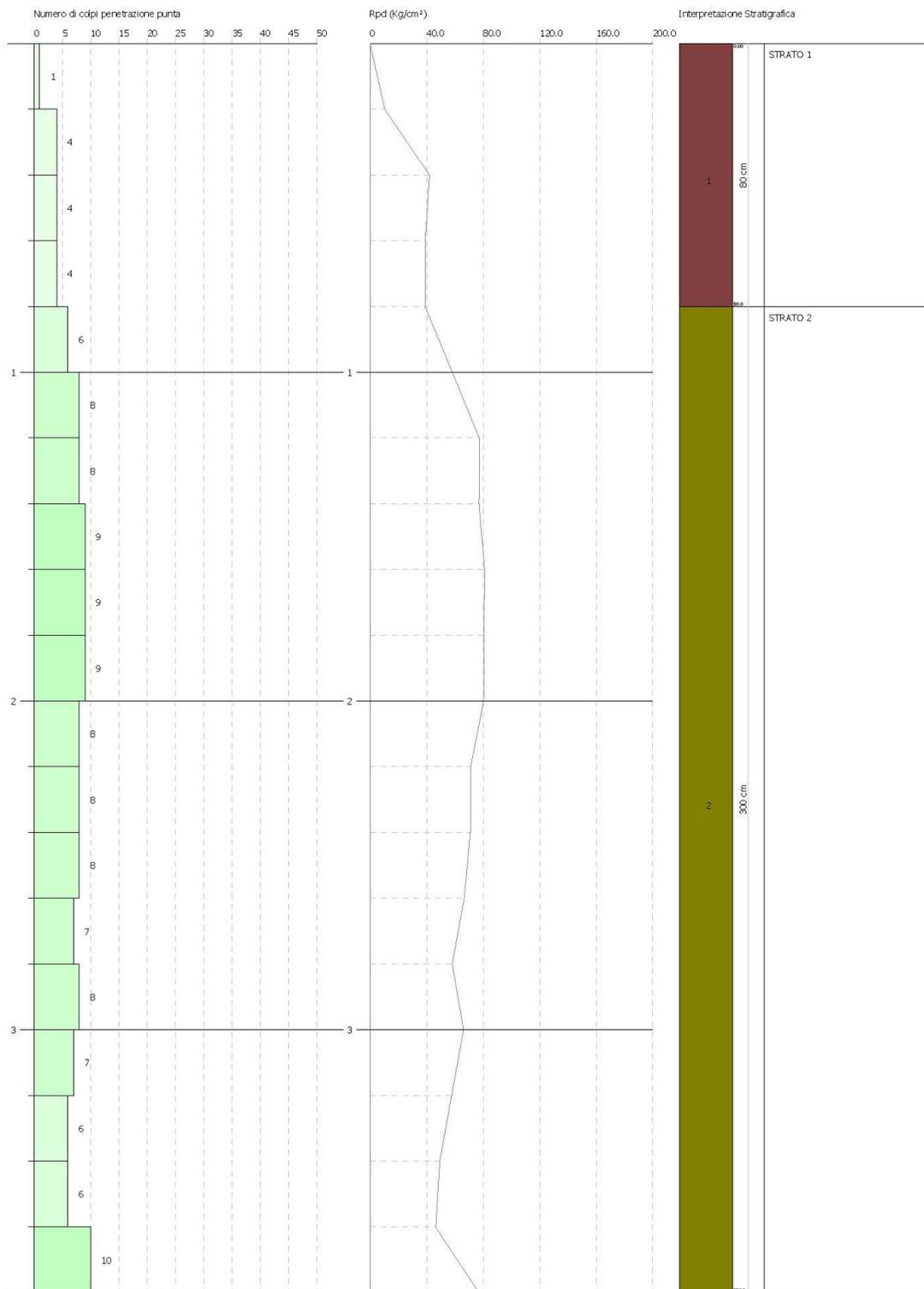
PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 05	Correlazione	Strato 1	Strato 2
Spessore		0,80m	3,00m
Coesione non drenata $C_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) (*)	Terzaghi Peck	0,36	0,93
Densità relativa $D_r$ (%)	Meyerhof 1957	57,21	72,54
Angolo di resistenza al taglio $\phi$ (°)	Peck-Hanson-Thornurber-Meyerhof (1956)	23,70	25,75
Modulo Edometrico $E_{ed}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Menzenbach e Malcev	63,59	99,28
Peso unità di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Meyerhof et alii	1,57	1,89
Peso unità di volume saturo $\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	Terzaghi Peck 1948-1967	1,85	1,94
Liquefazione	Seed e Idriss (1971)	----	-----
Modulo di Poisson $\sigma$	(A.G.I.)	0,40	0,39
Classificazione AGI	(A.G.I. – 1977)	Poco addensato	Moderatamente addensato
Modulo di reazione $K_0$	Navfac 1971-1982	1,16	2,88
Resistenza punta Penetrometro Statico $Q_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Robertson (1983)	11,40	27,48
(*) Coesione drenata $C$ (Kg/cm <sup>2</sup> ):	Valori desunti sulla base delle risultanze di indagini svolte in aree limitrofe con condizioni geologiche analoghe	0,00	0,00

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr. 5  
Strumento utilizzato... DFGH 73 DEEP DRILL

Committente: FRED OLSEN RENEWABLES ITALY SRL  
Cantiere: Realizzazione campo edico  
Località: agro di Rotello (CB)

Data: 13/12/2023

Scala 1:16





Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

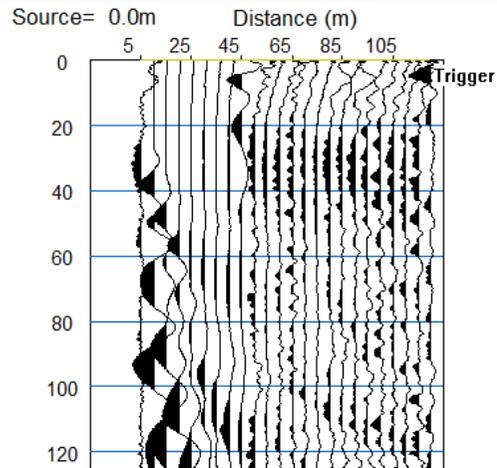
Certificate No: IT/0146Q/0283

## ALLEGATO 03A: PROSPEZIONI SIMICHE A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P

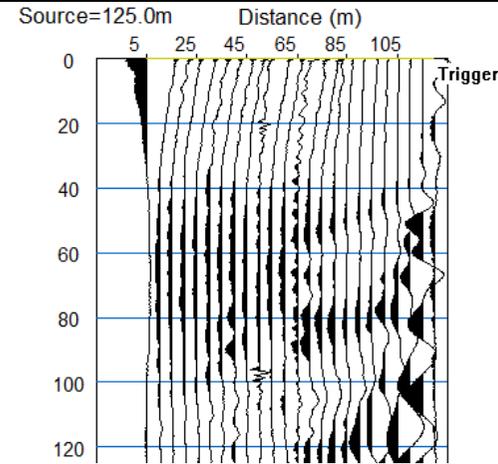
- SISMOGRAMMI IN ONDE P
- DROMOCRONE IN ONDE P
- SEZIONI TOMOGRAFICHE E MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI

Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" - BASE SISMICA BS01 - ONDE P

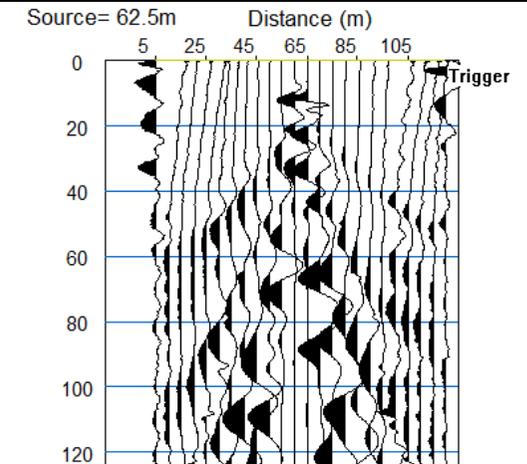
Sismogramma scoppio A



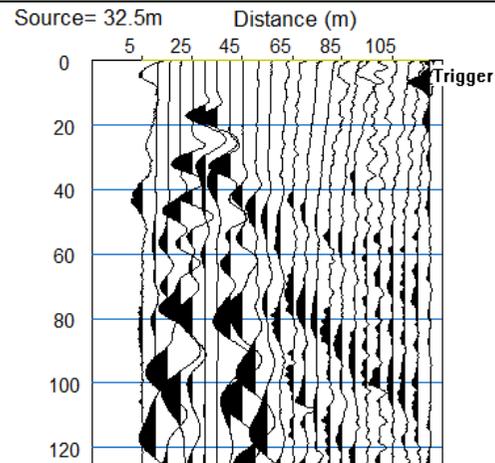
Sismogramma scoppio B



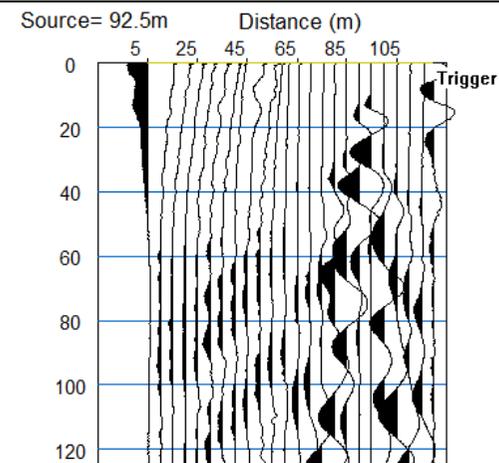
Sismogramma scoppio C



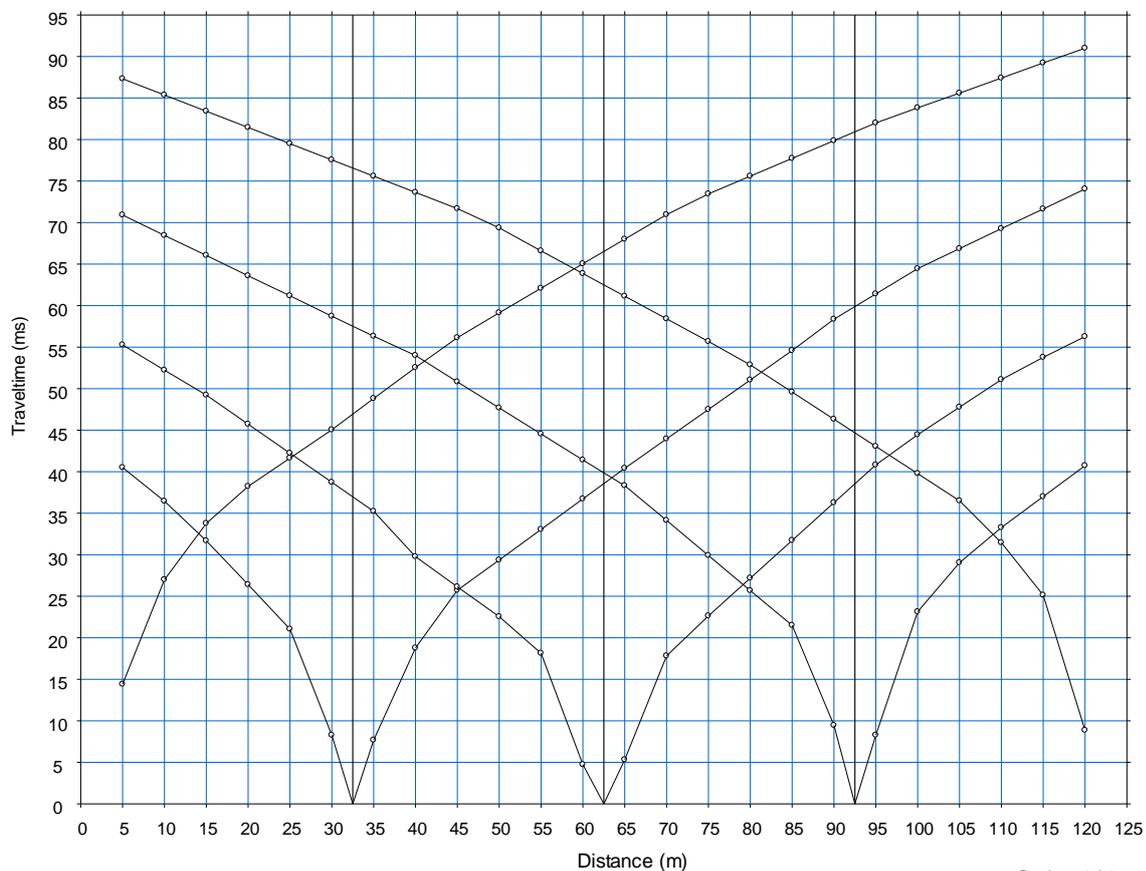
Sismogramma scoppio D



Sismogramma scoppio E

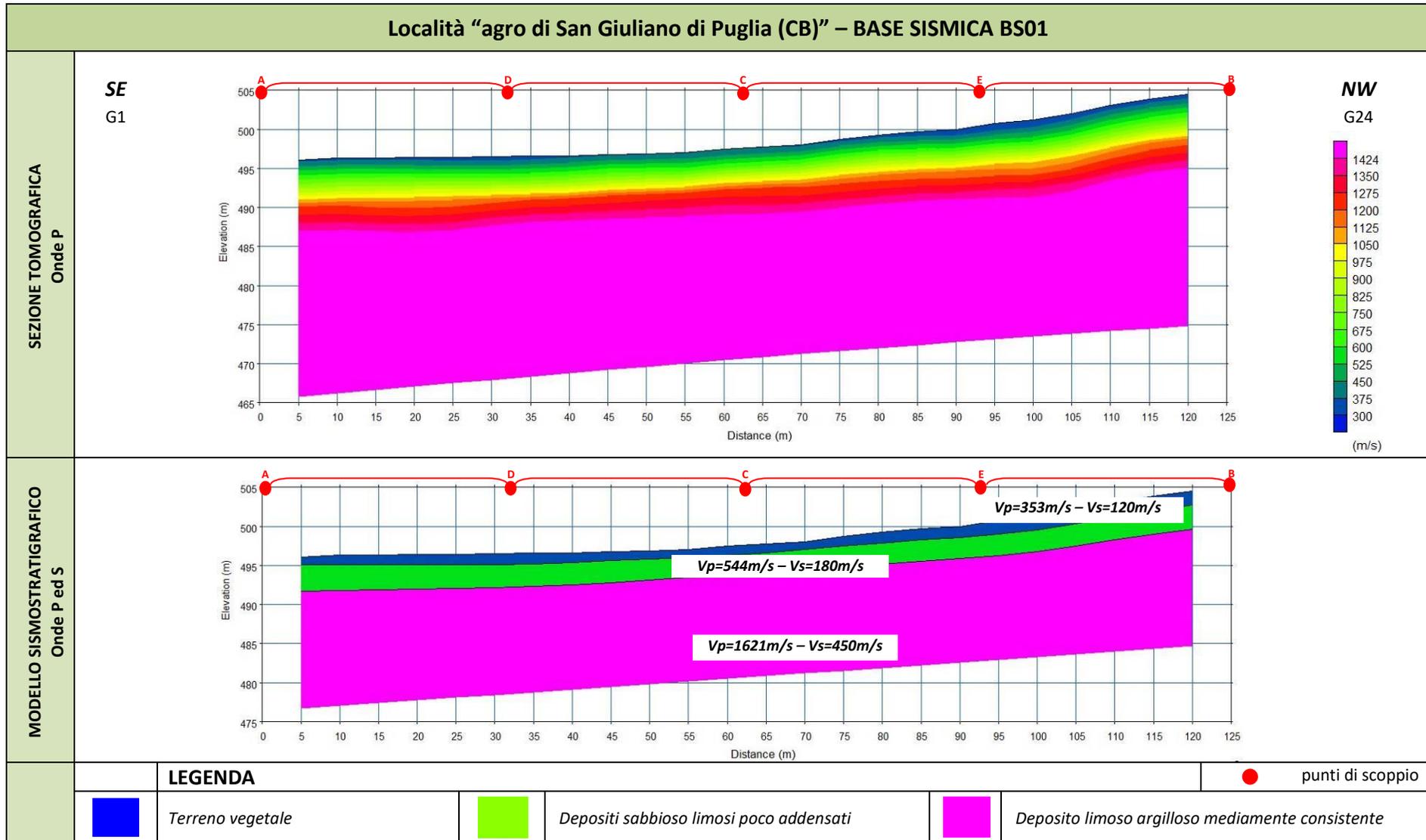


**Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" - DROMOCRONE BS01**



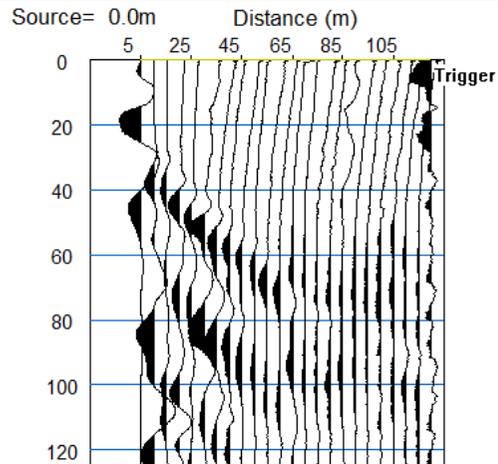
**BS01 – onde P**

Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" – BASE SISMICA BS01

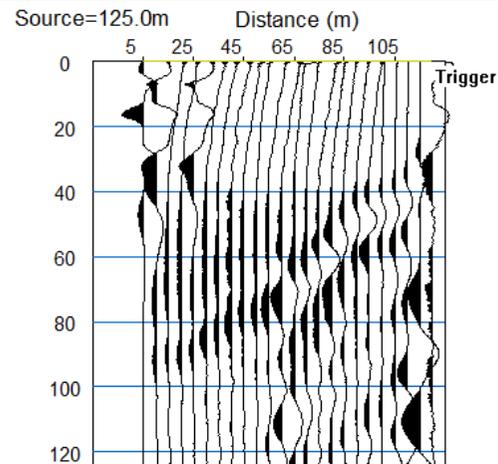


**Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" - BASE SISMICA BS02 - ONDE P**

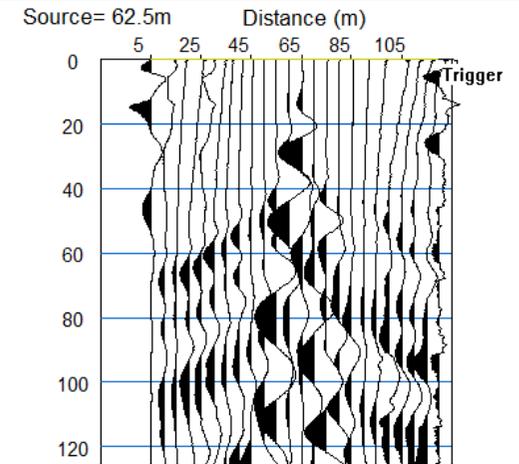
**Sismogramma scoppio A**



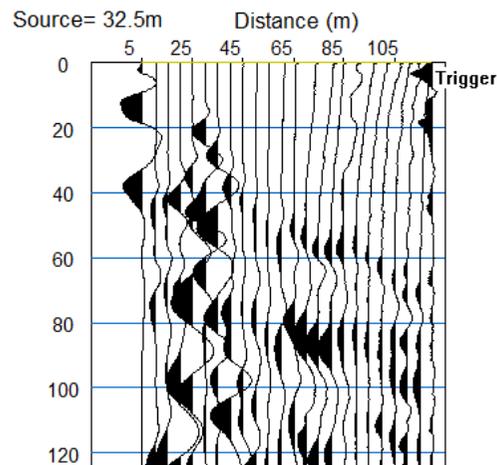
**Sismogramma scoppio B**



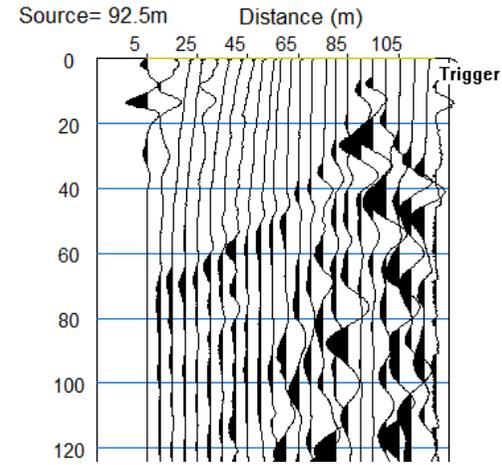
**Sismogramma scoppio C**



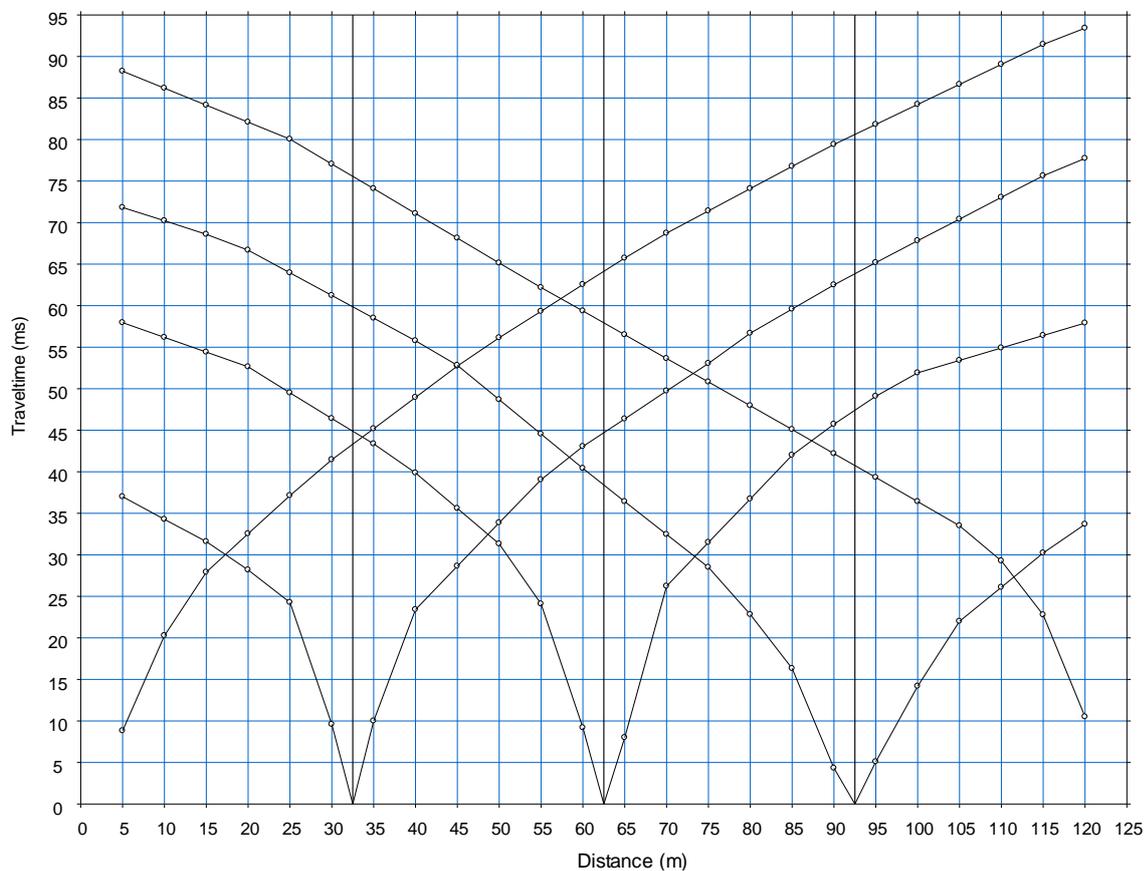
**Sismogramma scoppio D**



**Sismogramma scoppio E**

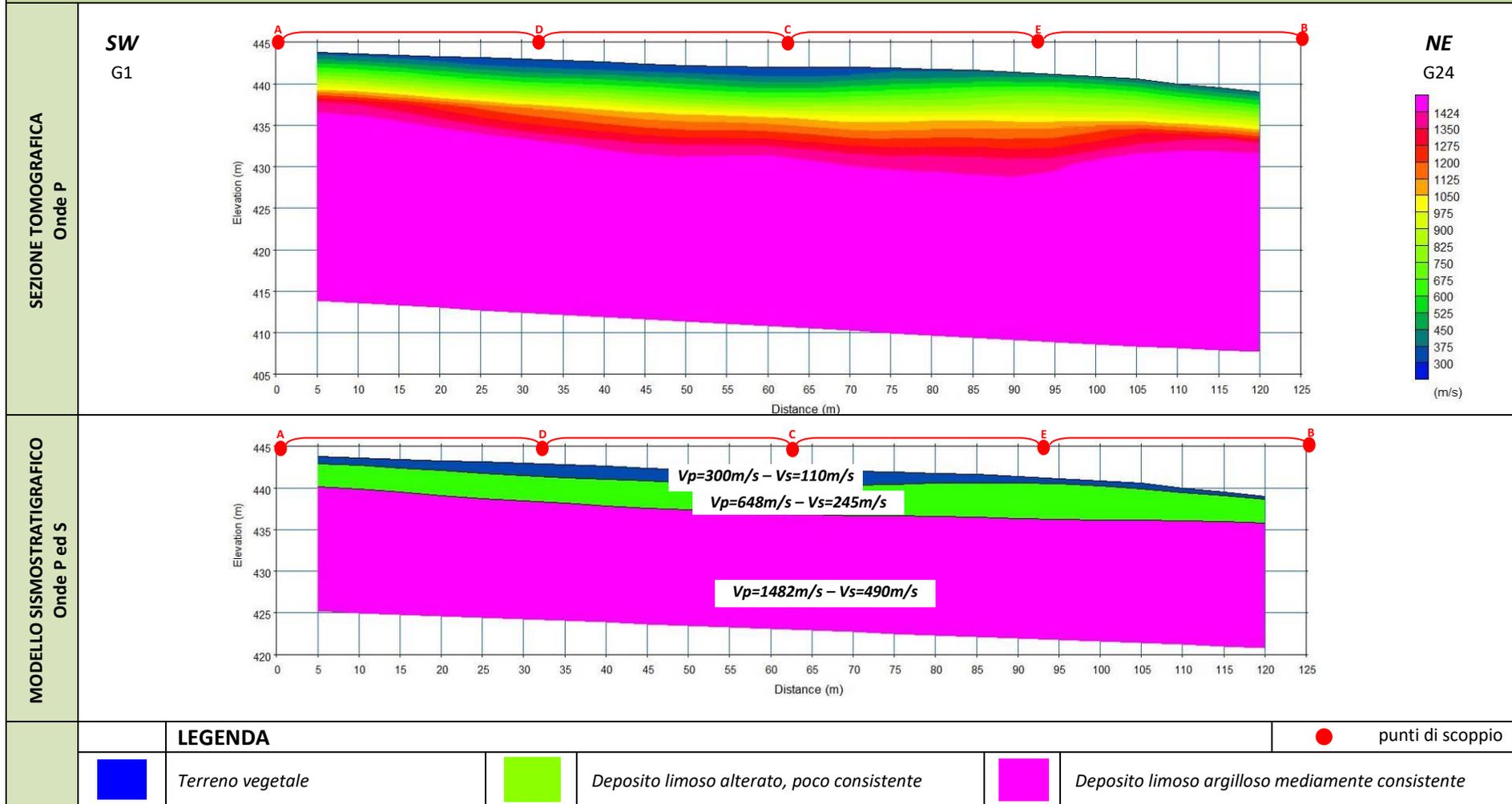


**Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" - DROMOCRONE BS02**



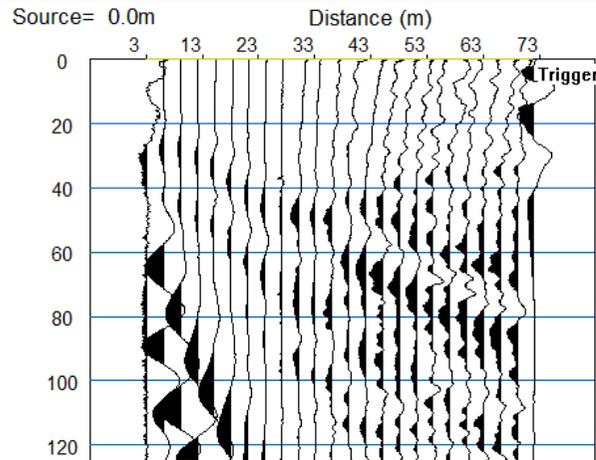
**BS02 – onde P**

Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" – BASE SISMICA BS02

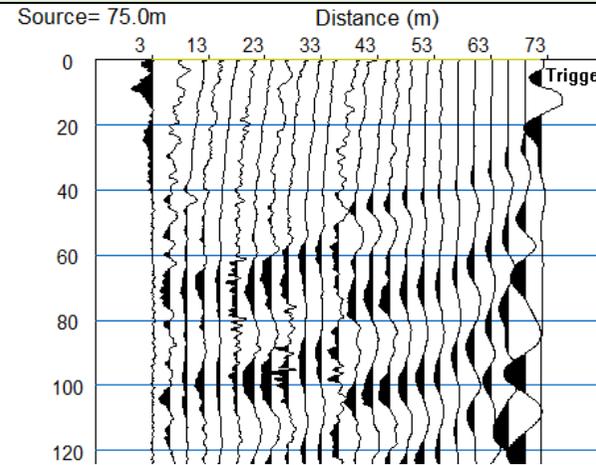


**Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" - BASE SISMICA BS03 - ONDE P**

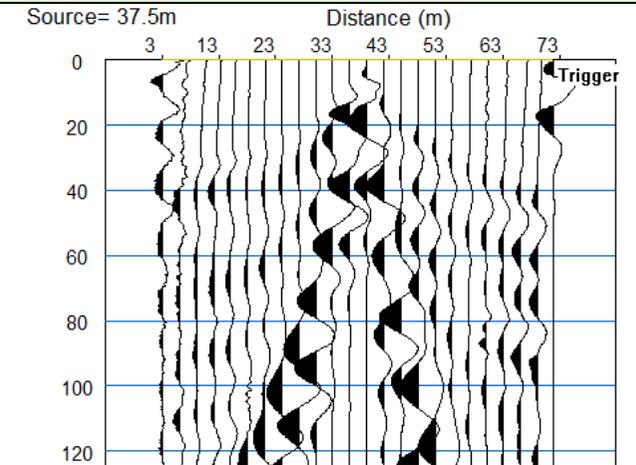
Sismogramma scoppio A



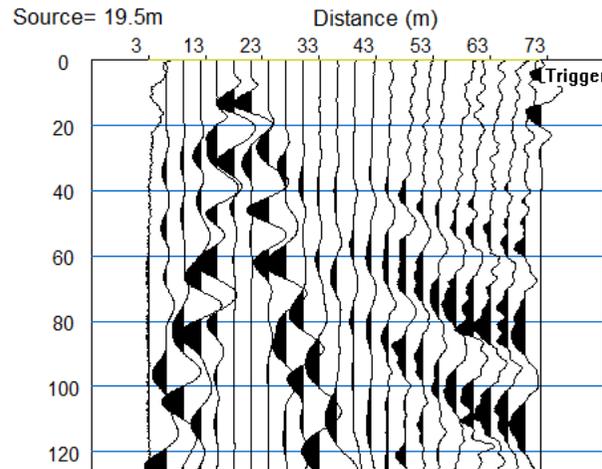
Sismogramma scoppio B



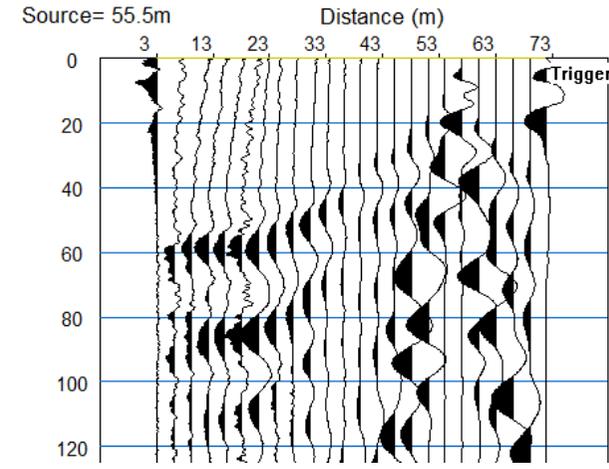
Sismogramma scoppio C



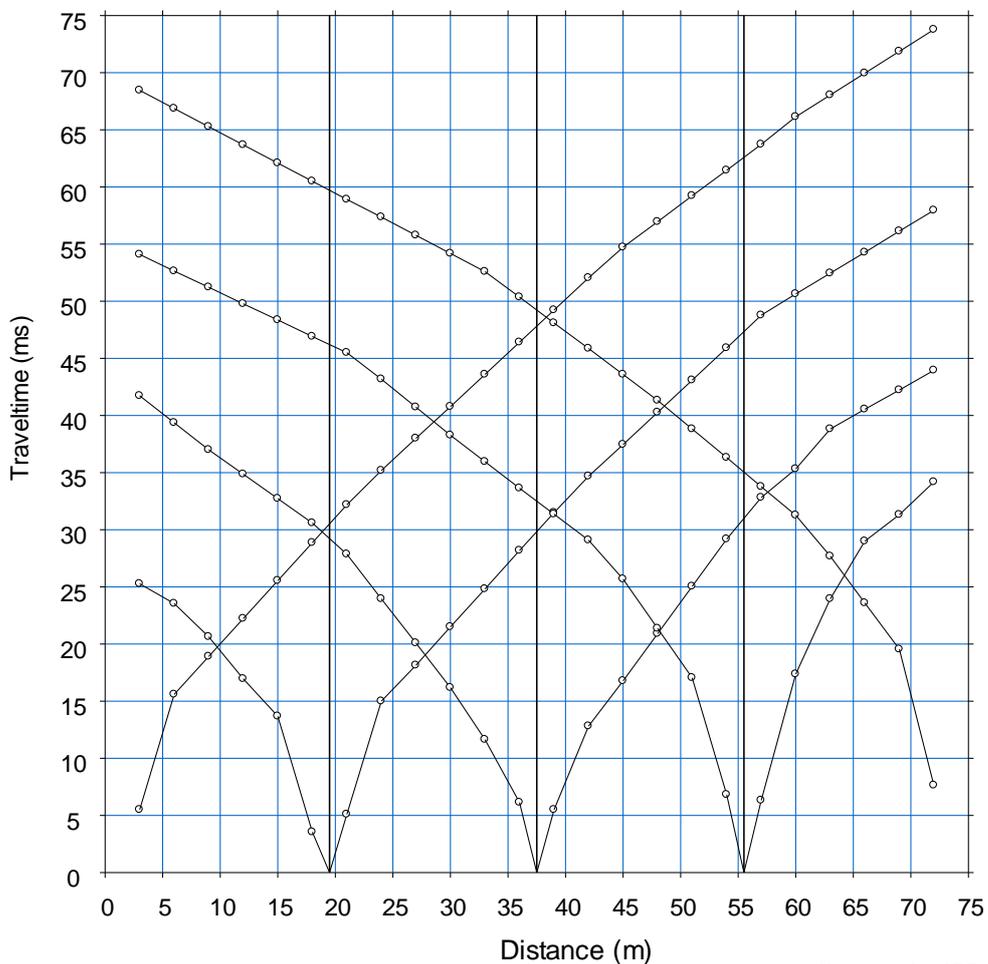
Sismogramma scoppio D



Sismogramma scoppio E

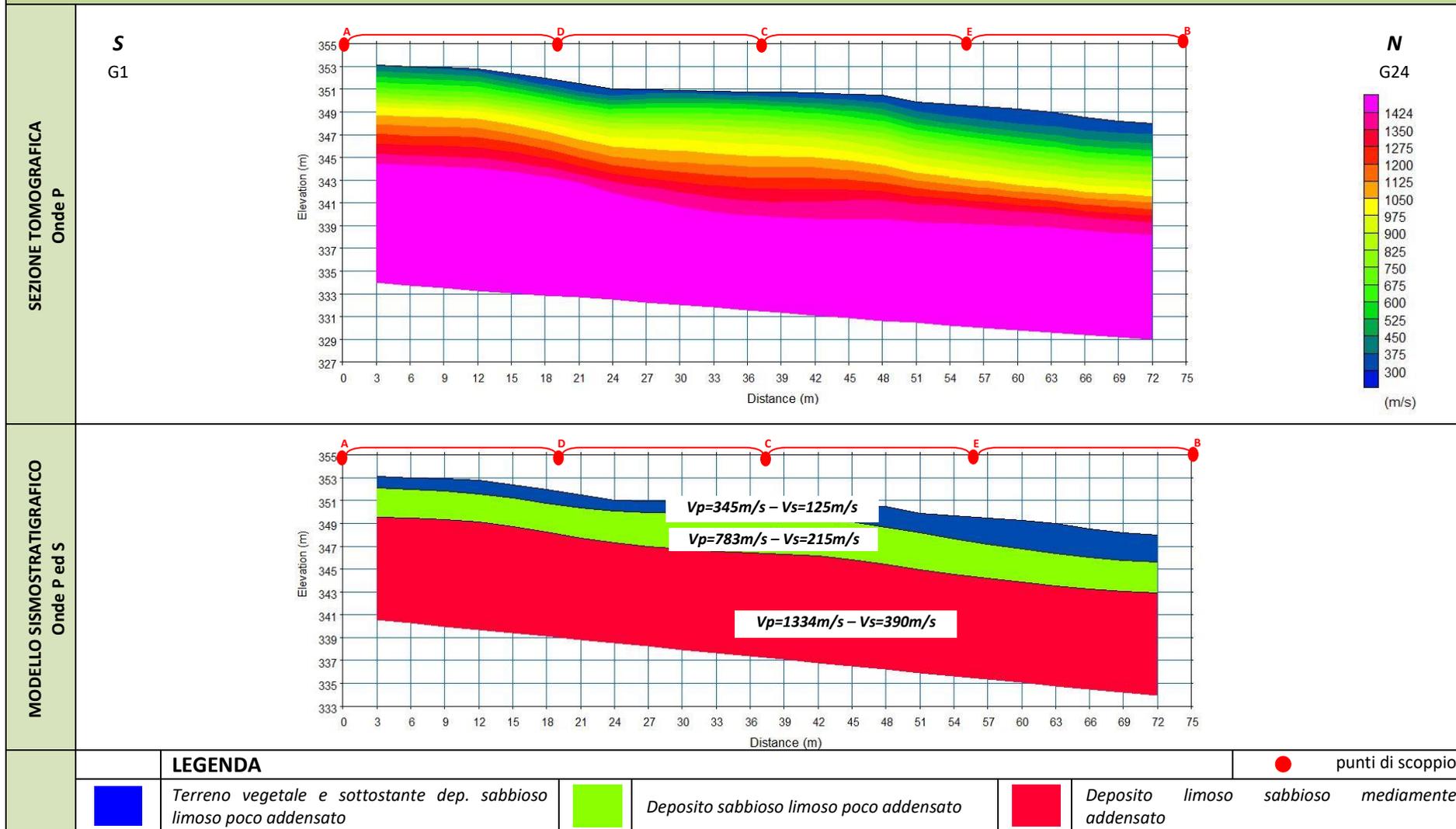


**Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" - DROMOCRONE BS03**



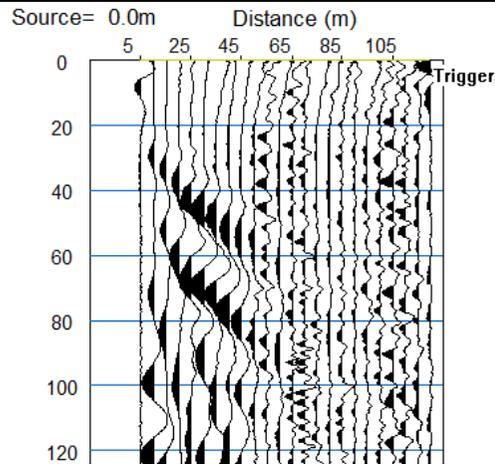
**BS03 – onde P**

Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" – BASE SISMICA BS03

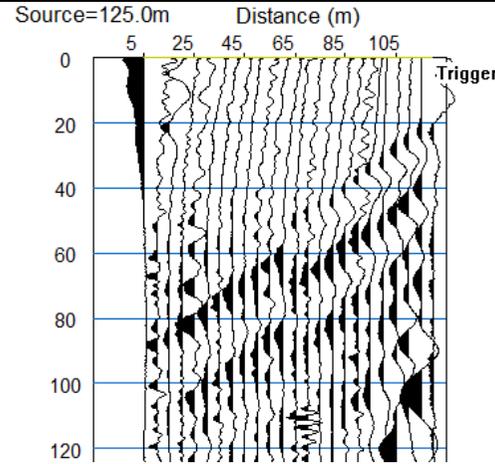


Località "agro di Santa Croce di Magliano (CB)" - BASE SISMICA BS04 - ONDE P

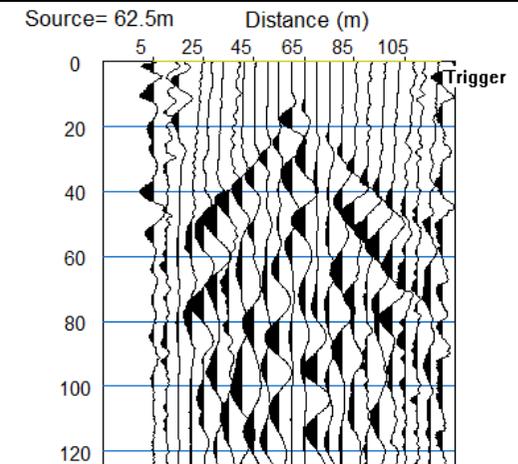
Sismogramma scoppio A



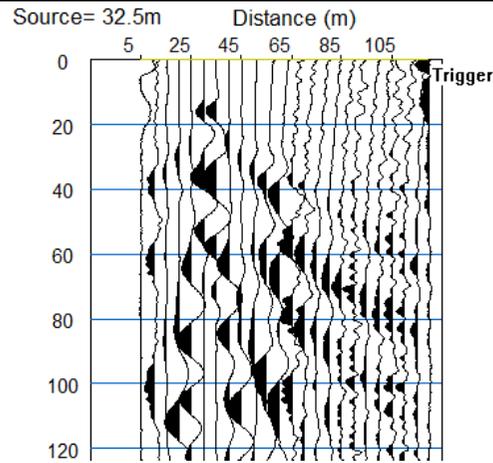
Sismogramma scoppio B



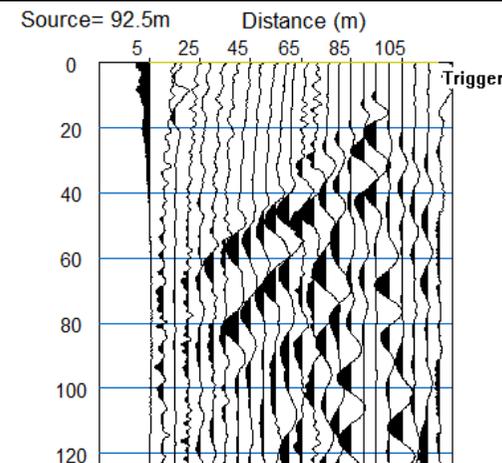
Sismogramma scoppio C



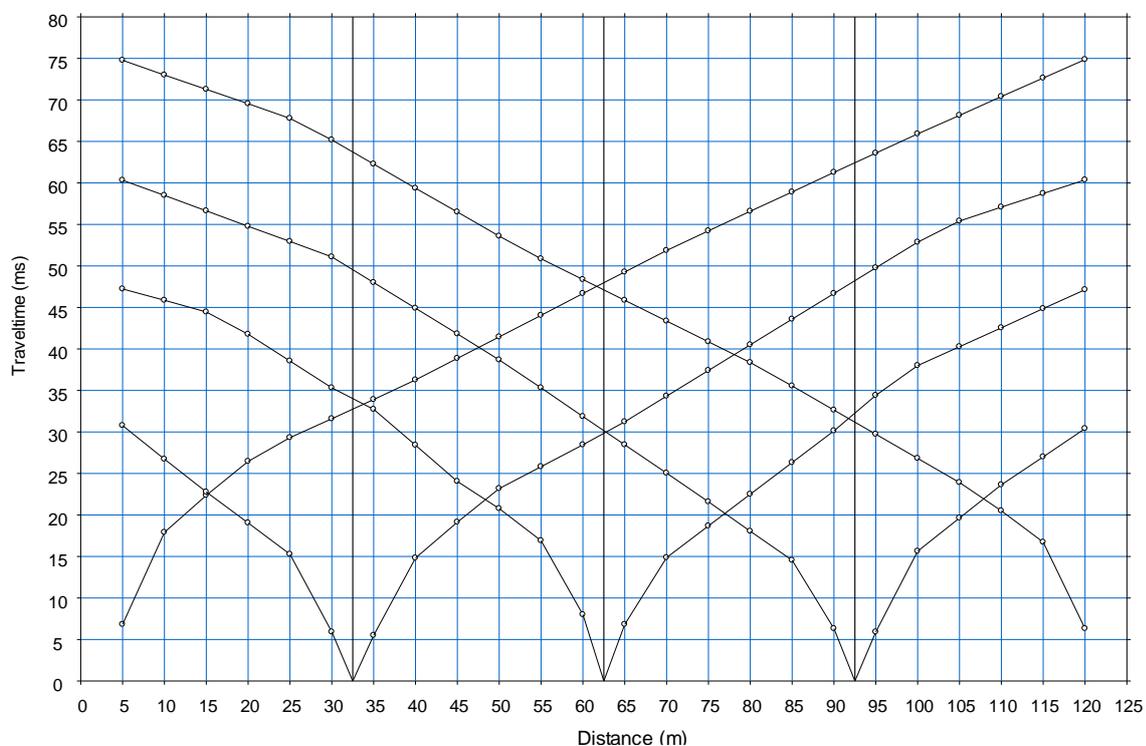
Sismogramma scoppio D



Sismogramma scoppio E

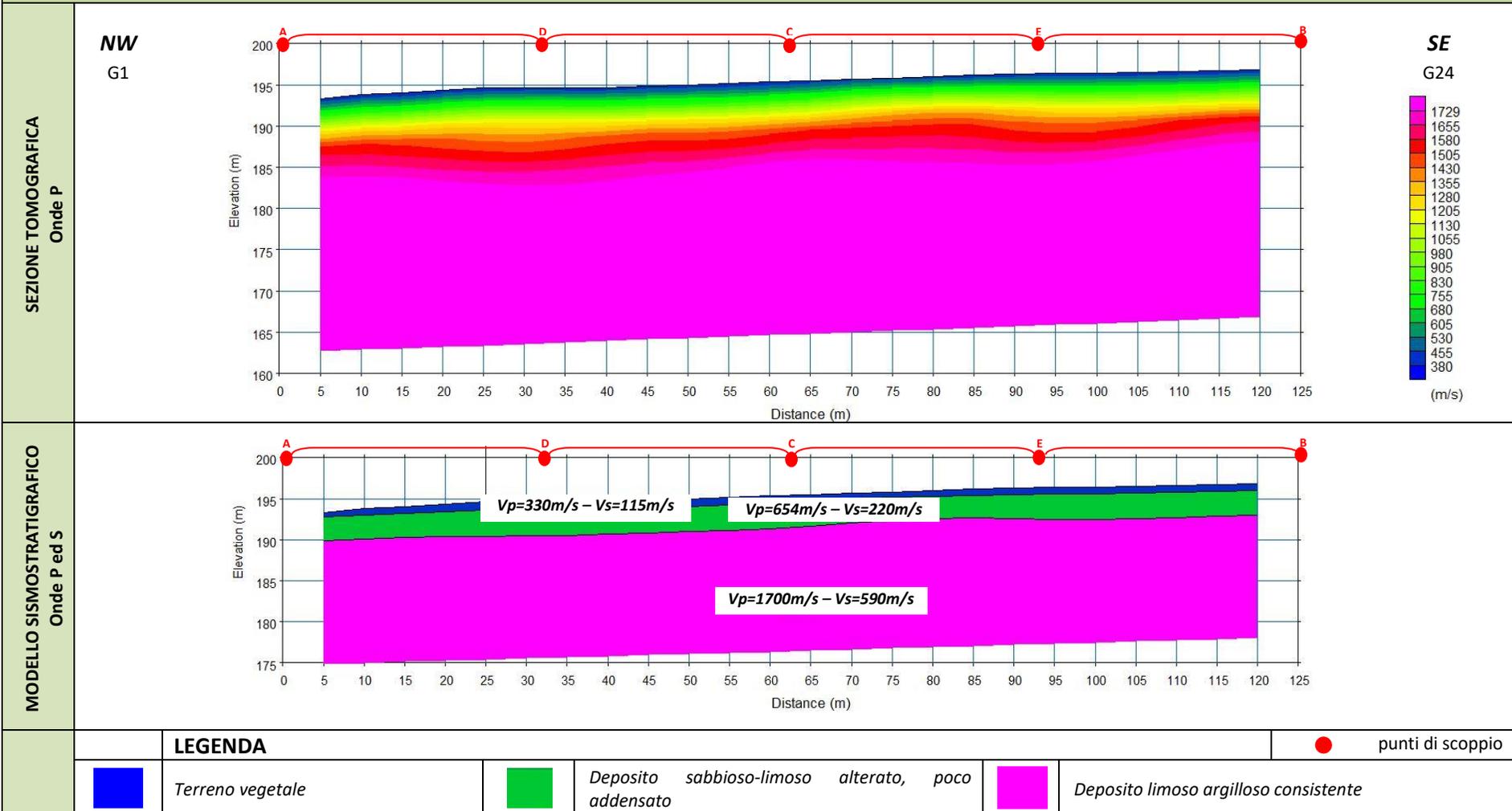


**Località "agro di Santa Croce di Magliano (CB)" - DROMOCRONE BS04**



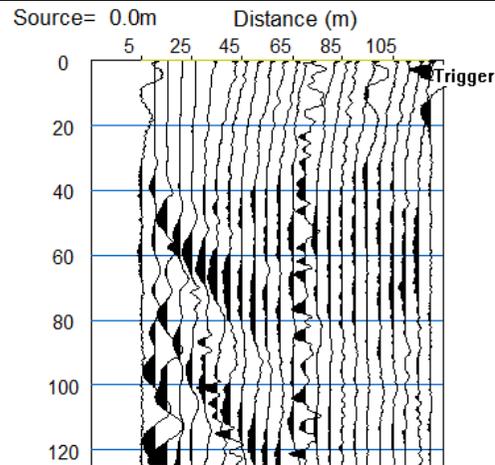
**BS04 – onde P**

Località "agro di Santa Croce di Magliano (CB)" – BASE SISMICA BS04

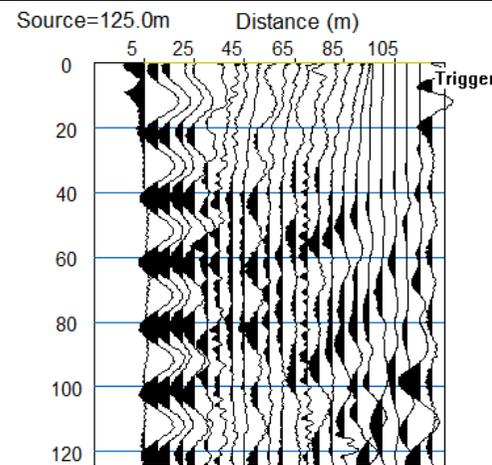


**Località "agro di Rotello (CB)" - BASE SISMICA BS05 - ONDE P**

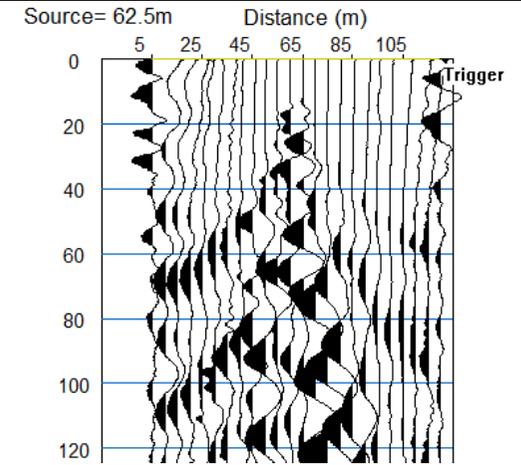
**Sismogramma scoppio A**



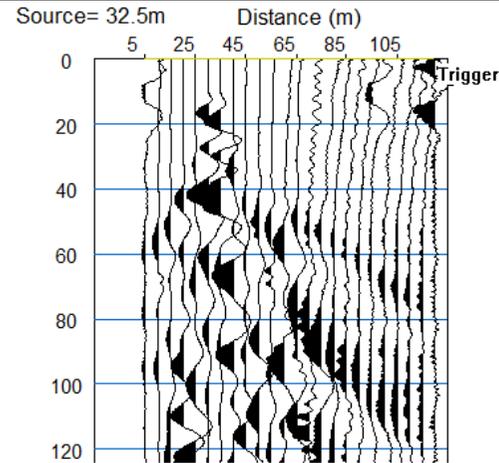
**Sismogramma scoppio B**



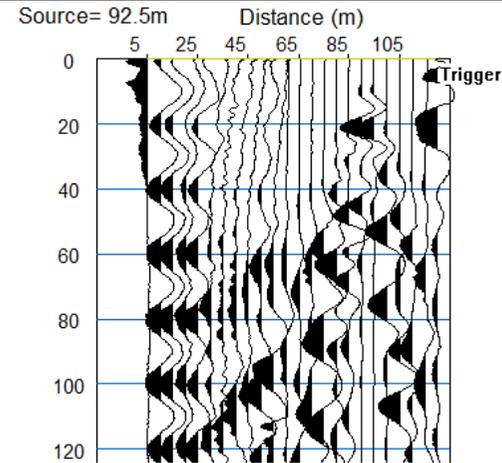
**Sismogramma scoppio C**



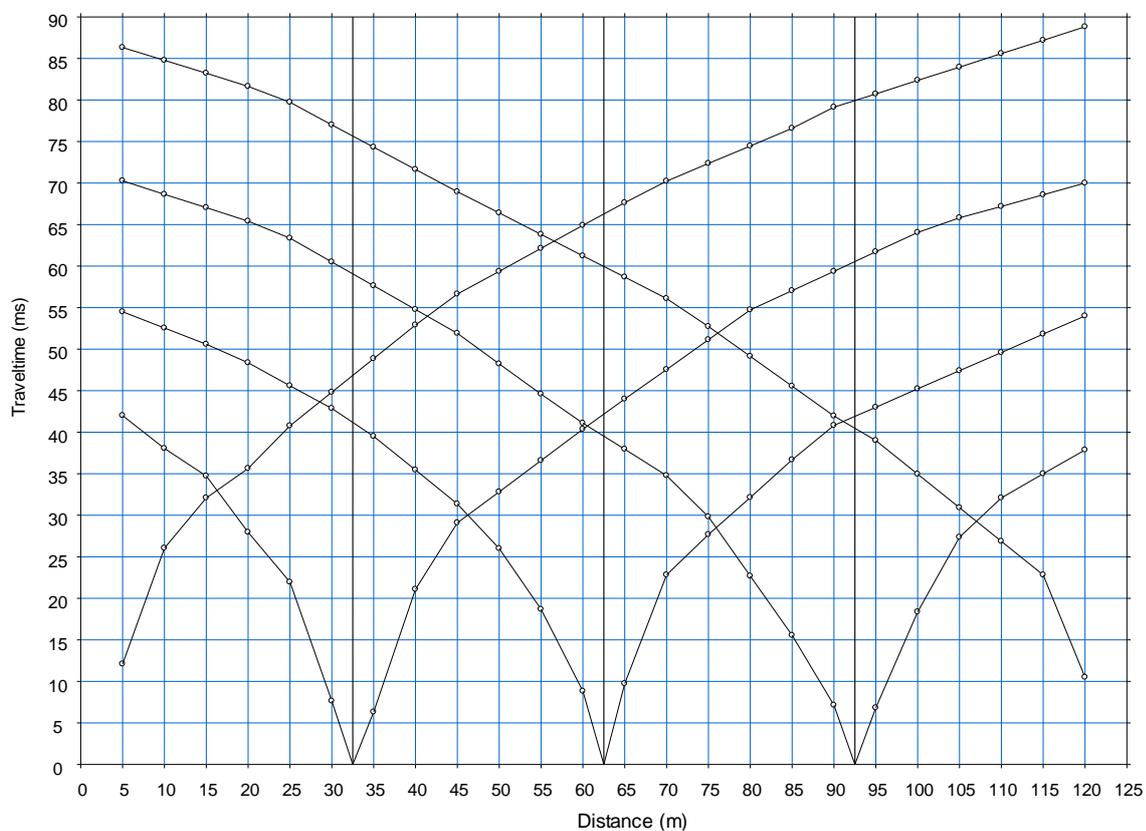
**Sismogramma scoppio D**



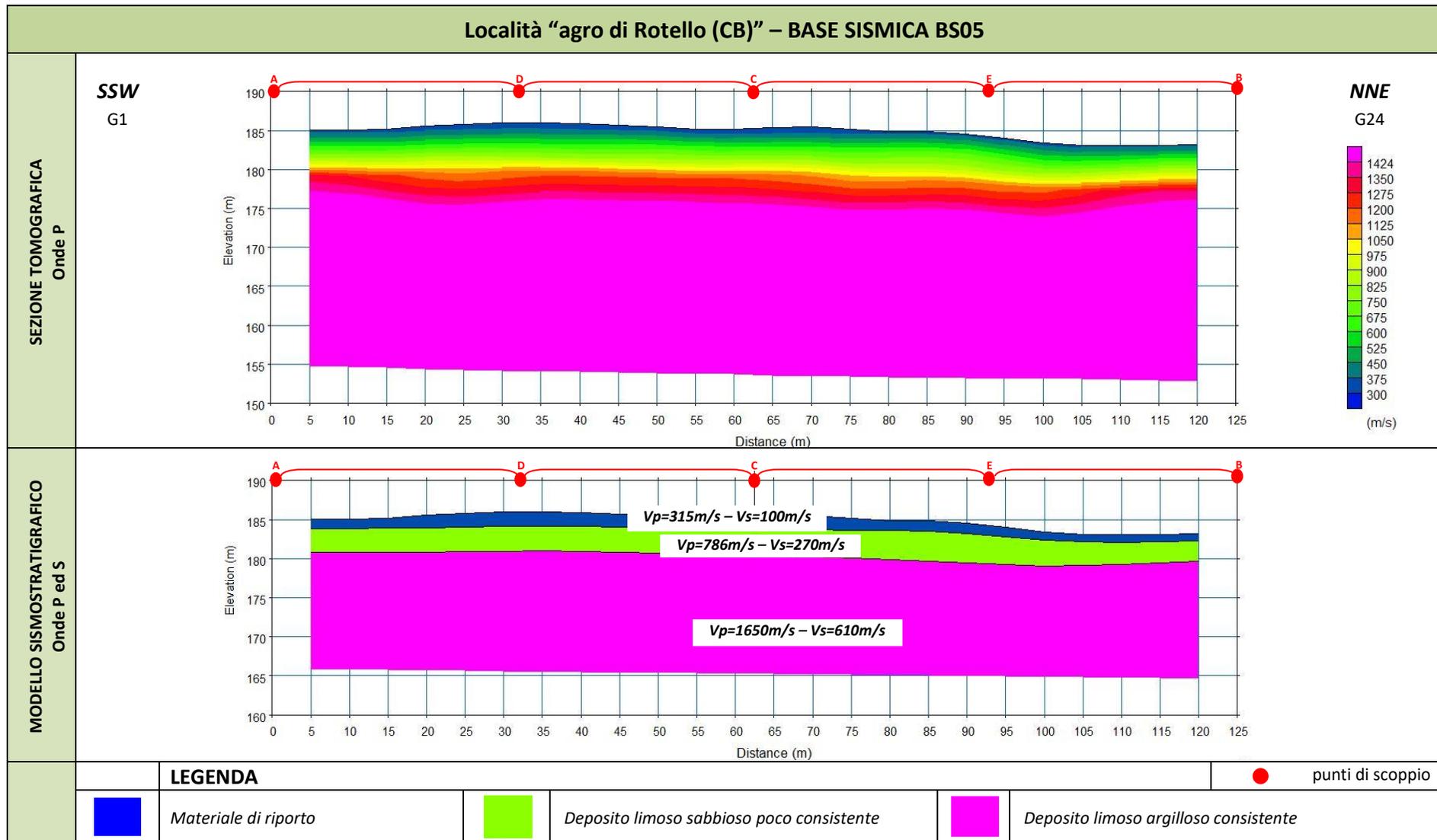
**Sismogramma scoppio E**



**Località "agro di Rotello (CB)" - DROMOCRONE BS05**



**BS05 - onde P**





Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

## ALLEGATO 03B - PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VS,EQ

- ELABORATI INDAGINI MASW
  - SISMOGRAMMI MEDI
  - SPETTRI DELLE FREQUENZE
  - CURVE DI DISPERSIONE
  - PROFILI VS
  - TABELLE VALORI VS

Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" – MASW01

SISMOGRAMMA MEDIO – MASW 01

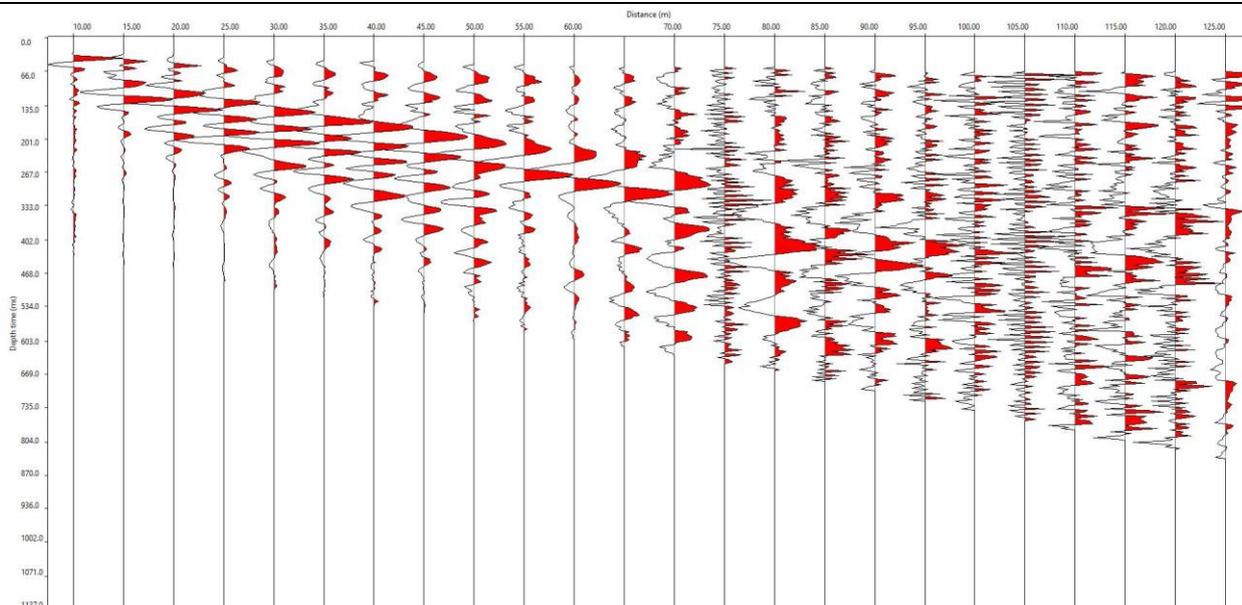
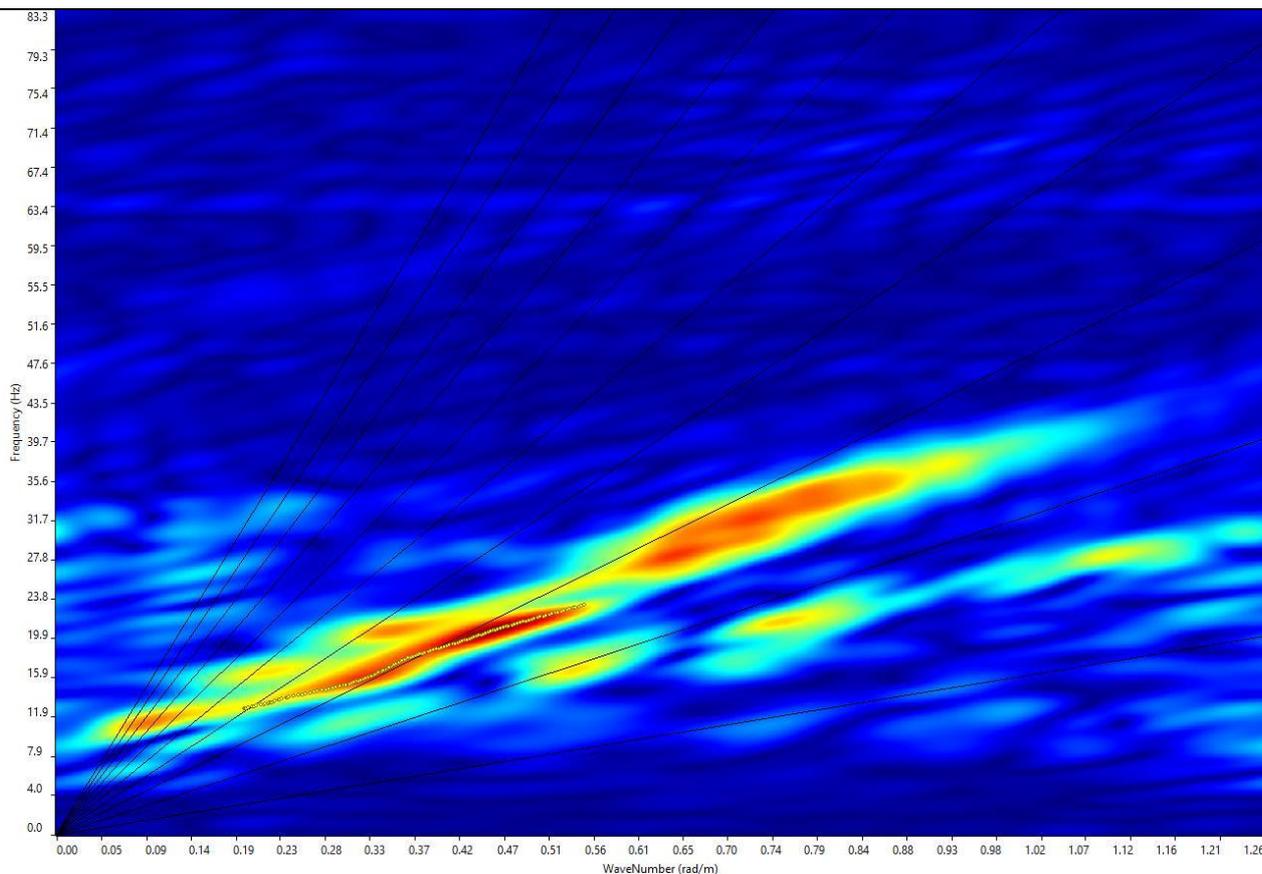
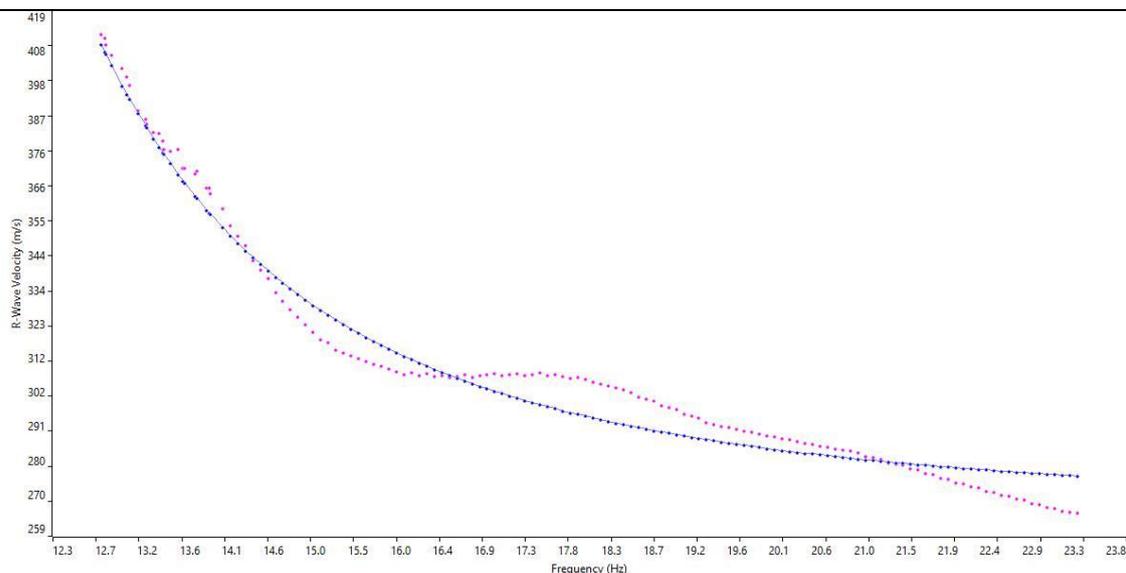


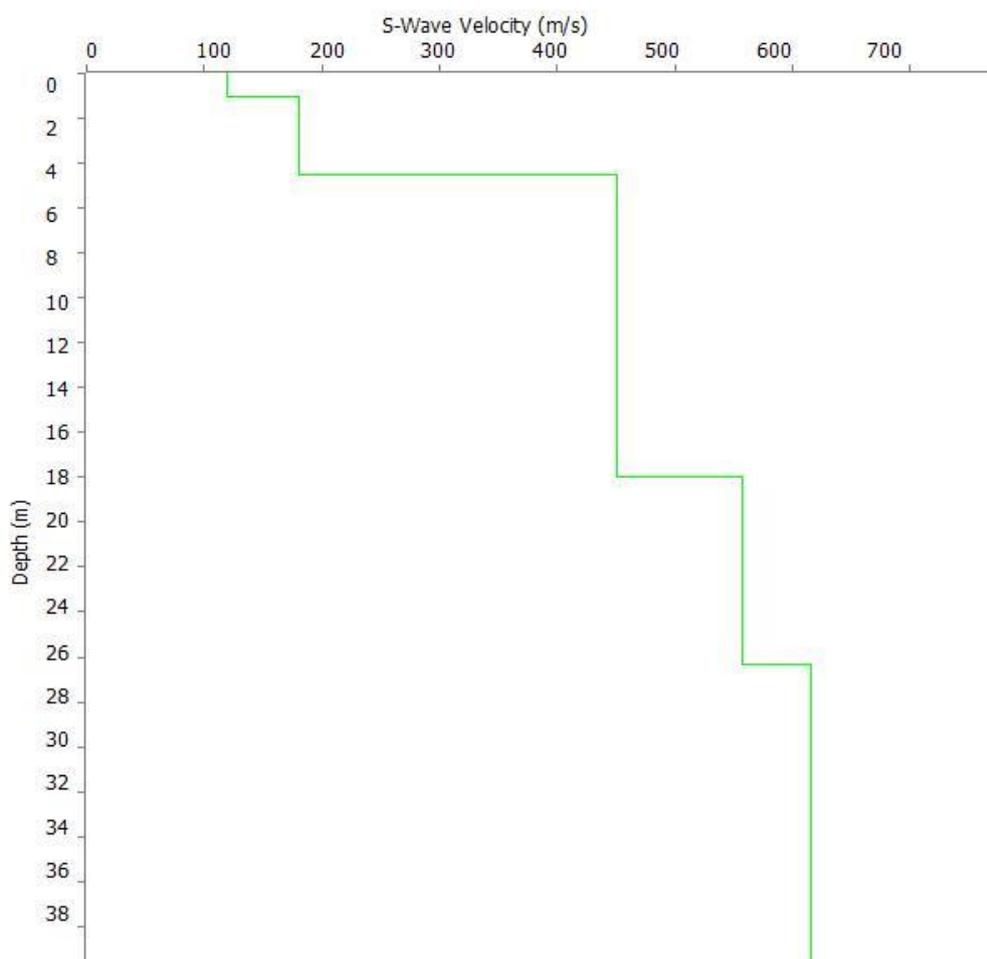
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE – MASW 01



### CURVA DI DISPERSIONE – MASW 01



### ROFILO VS – MASW 01



**Categoria "B" –  $V_{s,eq}=V_{s,30}=381\text{m/s}$ , calcolato a partire dal p.c.**



Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

**N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S**

		Thickness	Depth	Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	1.00	0.00 <input type="checkbox"/>	120
Layer 2	<input type="checkbox"/>	3.50	1.00 <input type="checkbox"/>	180
Layer 3	<input type="checkbox"/>	13.50	4.50 <input type="checkbox"/>	450
Layer 4	<input type="checkbox"/>	8.33	18.00 <input type="checkbox"/>	557
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF	26.33 <input type="checkbox"/>	615

Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" – MASW02

SISMOGRAMMA MEDIO – MASW 02

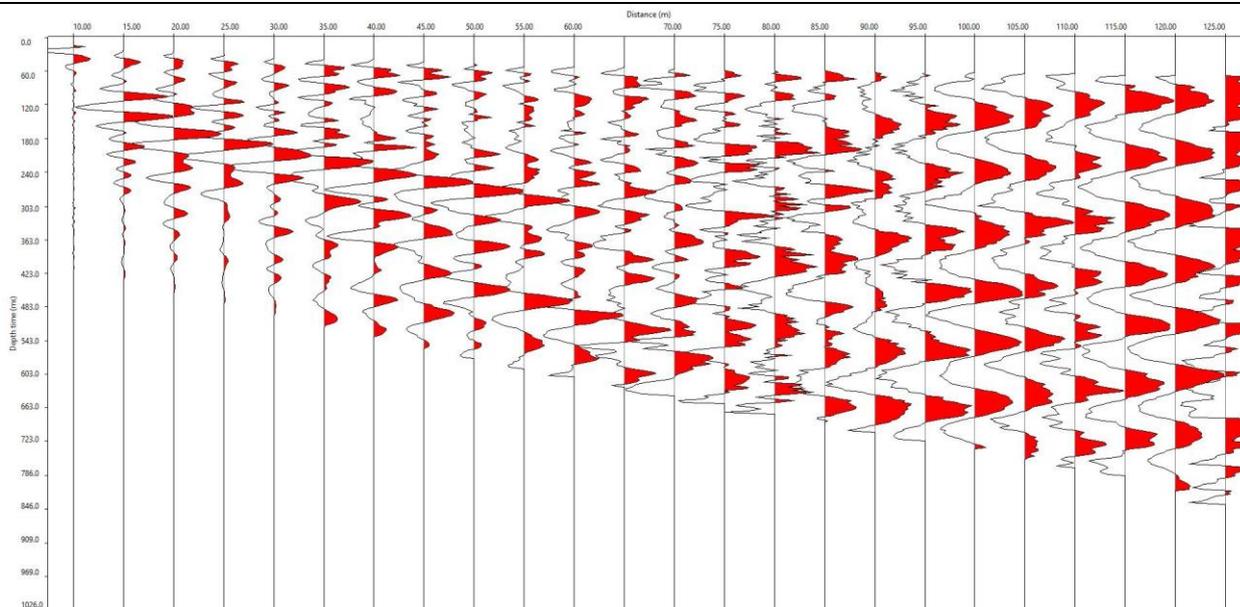
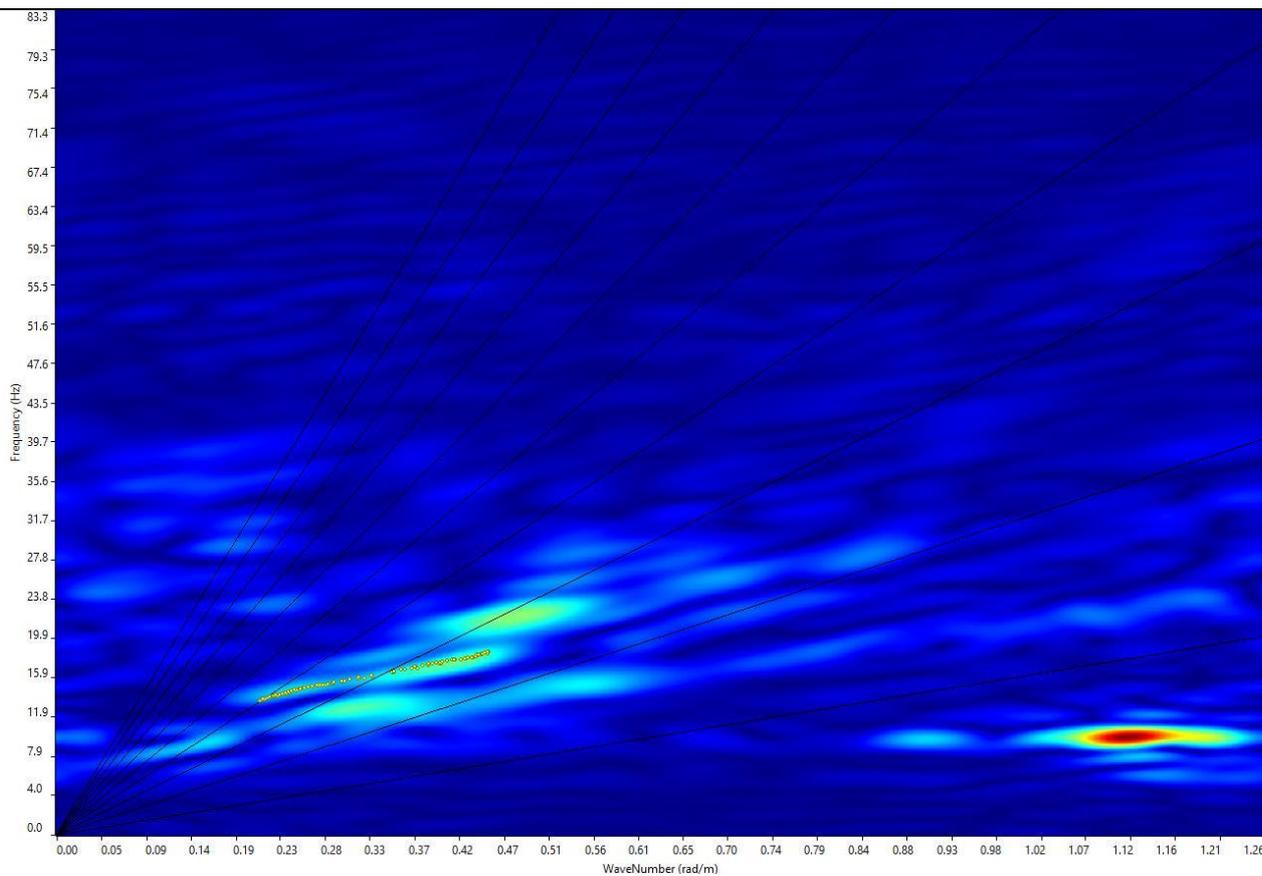
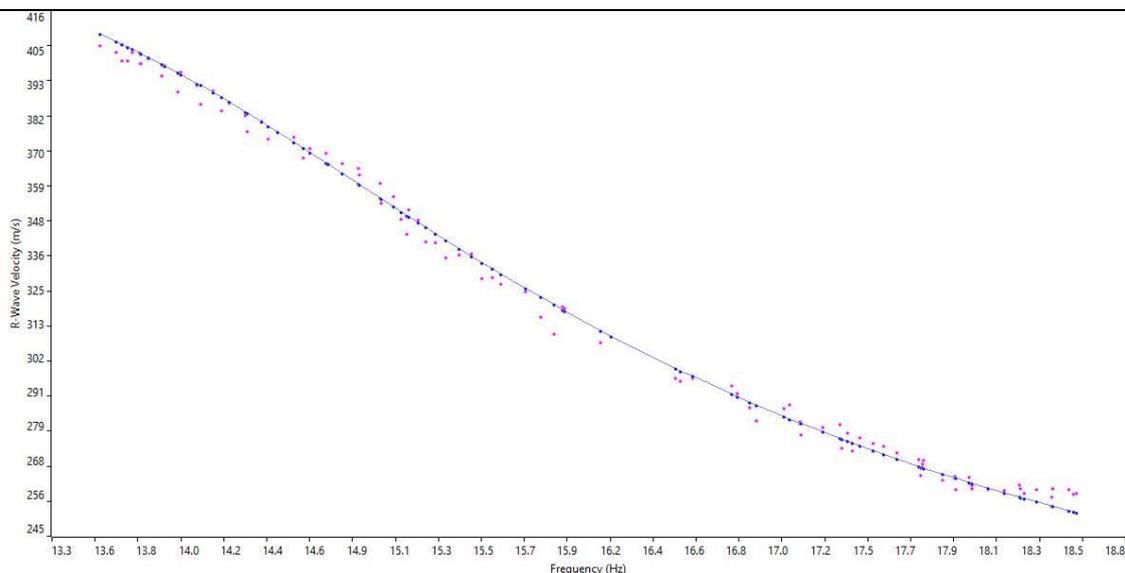


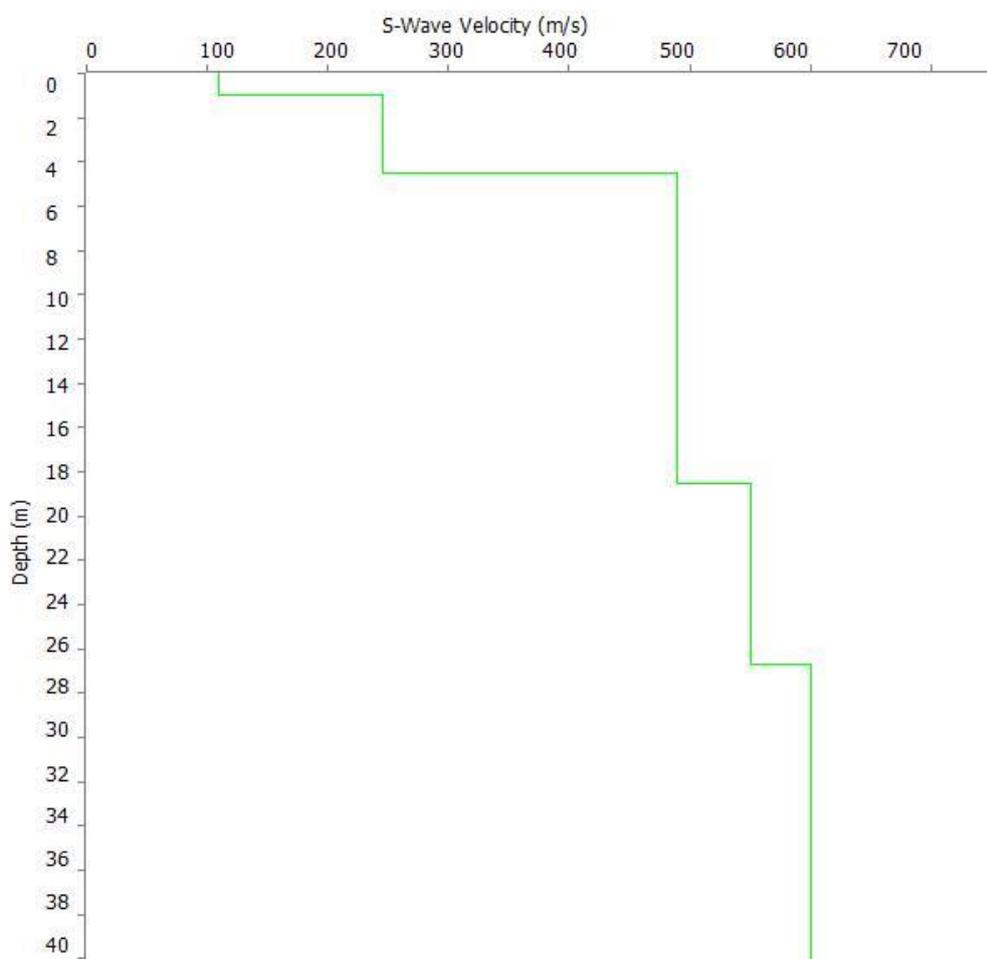
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE – MASW 02



### CURVA DI DISPERSIONE – MASW 02



### ROFILO VS – MASW 02



**Categoria "B" –  $V_{s,eq}=V_{s,30}= 415\text{m/s}$ , calcolato a partire dal p.c.**



Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

**N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S**

		Thickness		Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	1.00		0.00	<input type="checkbox"/>	110
Layer 2	<input type="checkbox"/>	3.50		1.00	<input type="checkbox"/>	245
Layer 3	<input type="checkbox"/>	14.00		4.50	<input type="checkbox"/>	490
Layer 4	<input type="checkbox"/>	8.20		18.50	<input type="checkbox"/>	550
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF		26.70	<input type="checkbox"/>	600

Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)" – MASW03

SISMOGRAMMA MEDIO – MASW 03

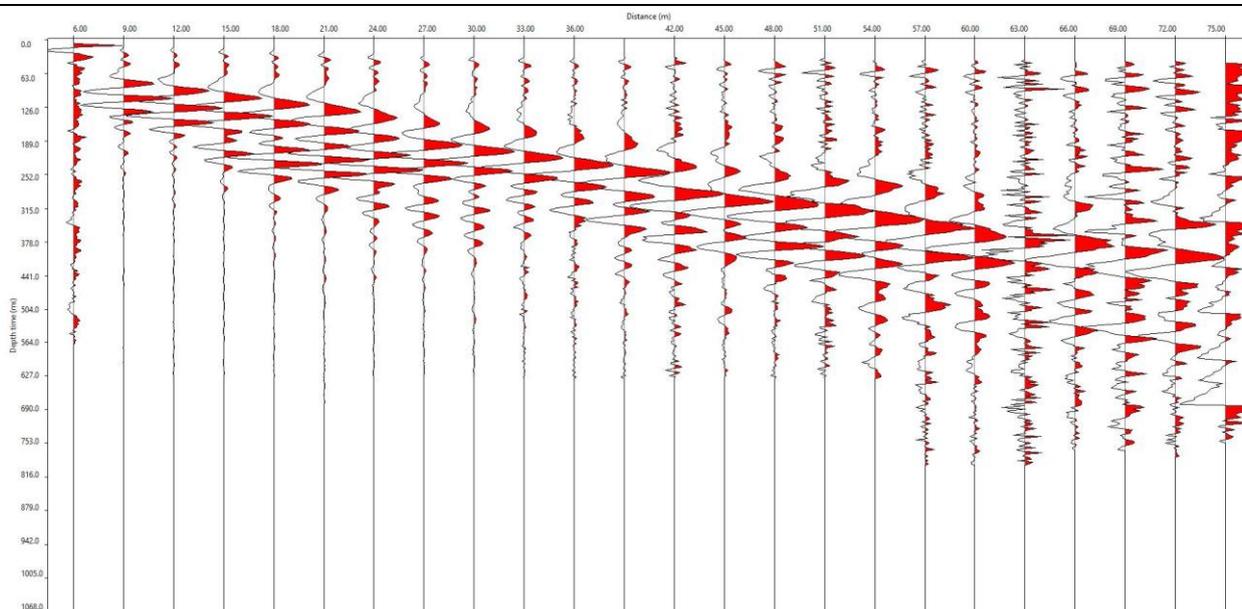
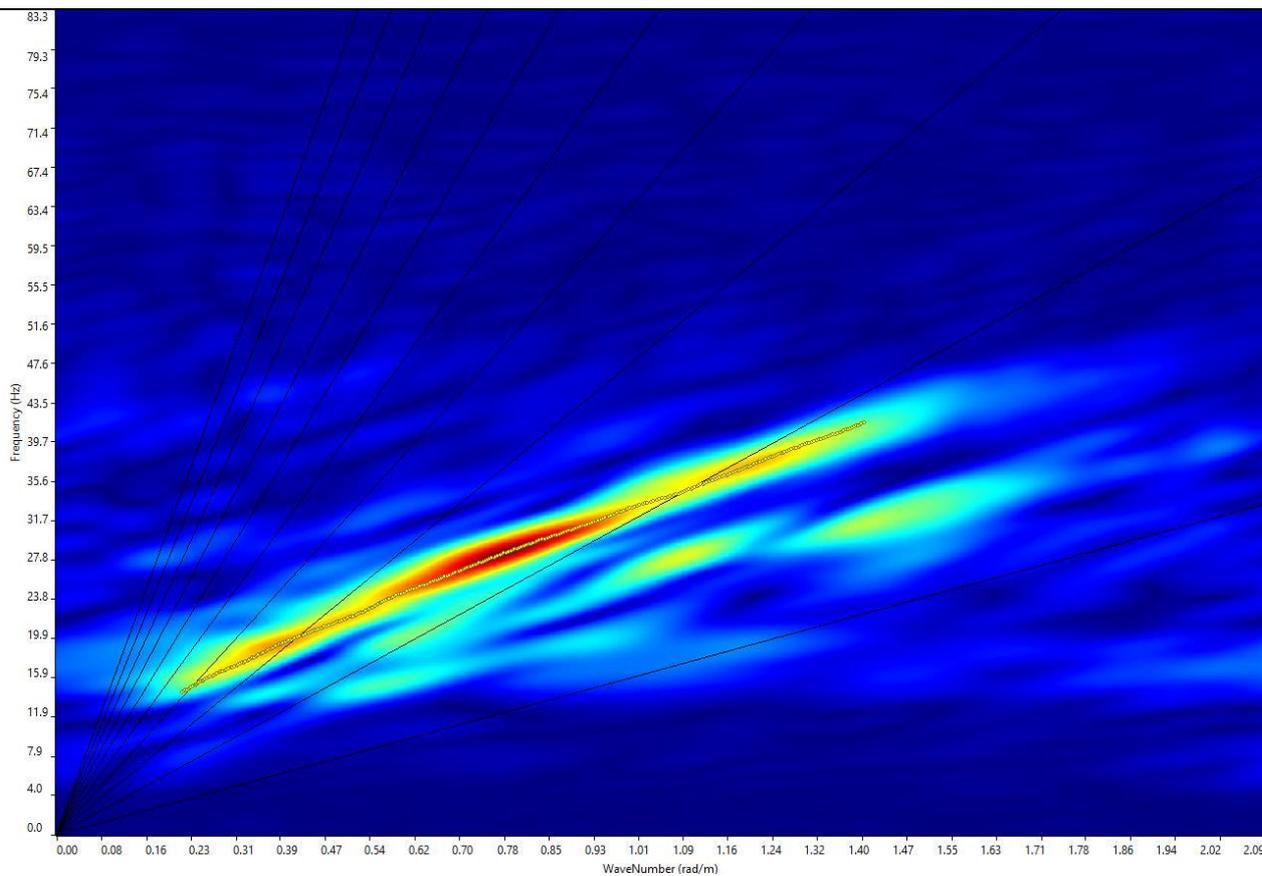
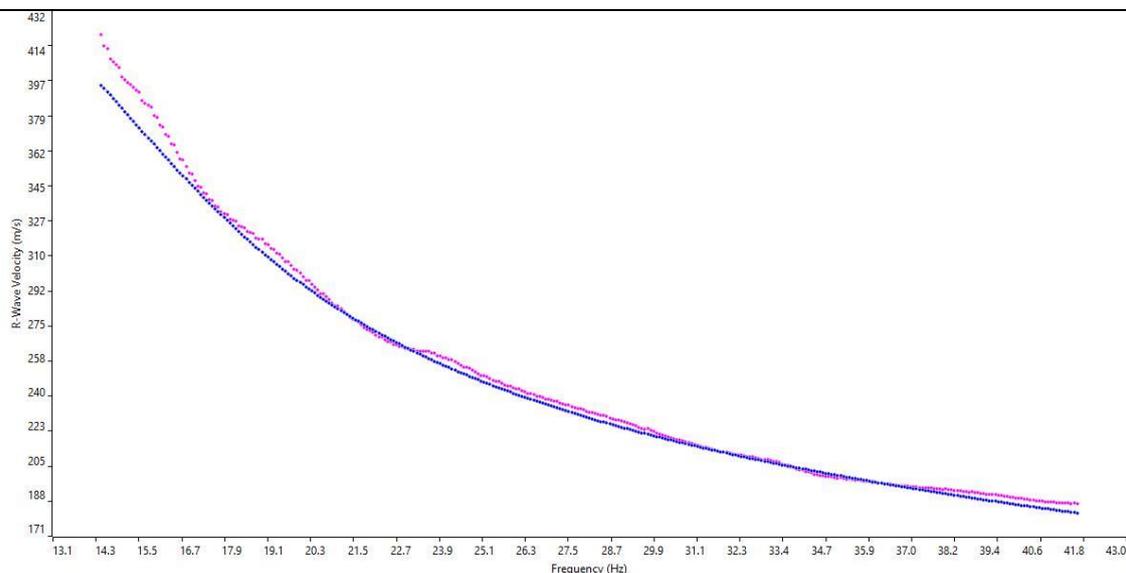


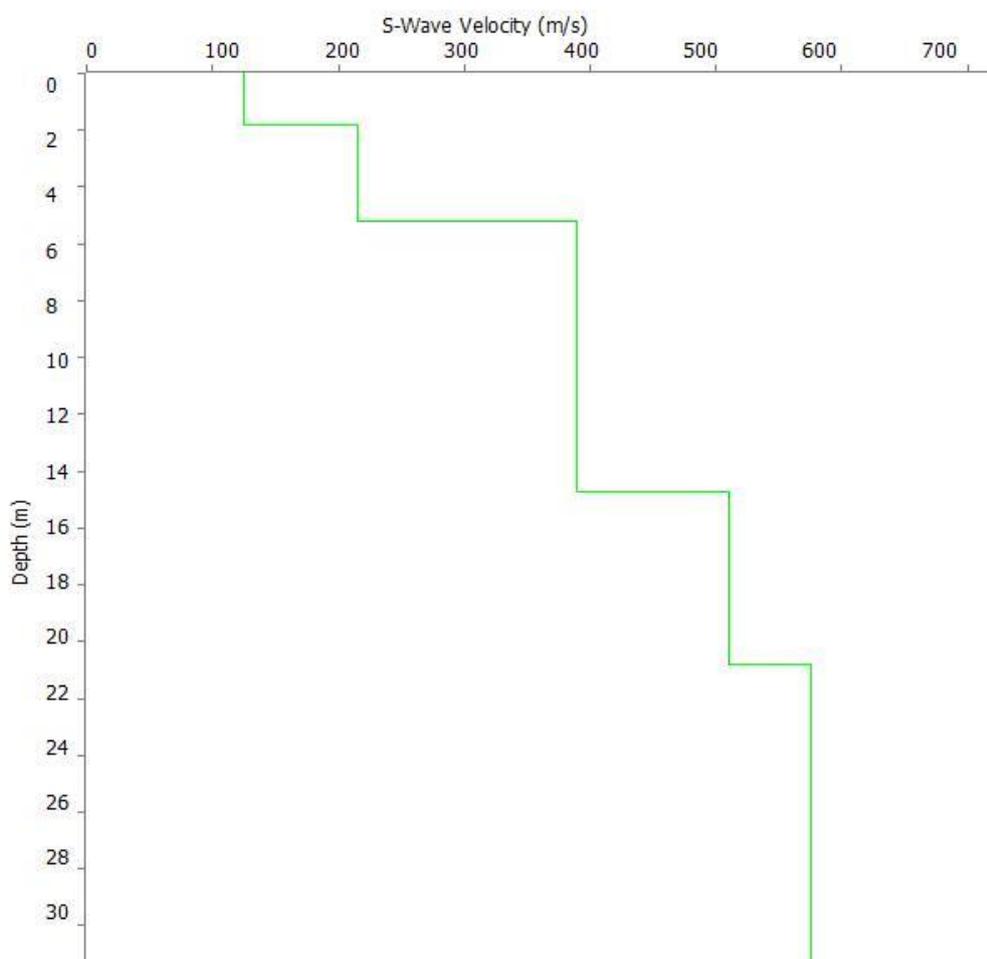
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE – MASW 03



### CURVA DI DISPERSIONE – MASW 03



### ROFILO VS – MASW 03



**Categoria "B" –  $V_{s,eq}=V_{s,30}= 363\text{m/s}$ , calcolato a partire dal p.c.**

**N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S**

		Thickness	Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	1.80	0.00	<input type="checkbox"/>	125
Layer 2	<input type="checkbox"/>	3.40	1.80	<input type="checkbox"/>	215
Layer 3	<input type="checkbox"/>	9.50	5.20	<input type="checkbox"/>	390
Layer 4	<input type="checkbox"/>	6.10	14.70	<input type="checkbox"/>	510
Layer 5	<input type="checkbox"/>	INF	20.80	<input type="checkbox"/>	575

Località "agro di Santa Croce di Magliano (CB)" – MASW04

SISMOGRAMMA MEDIO – MASW 04

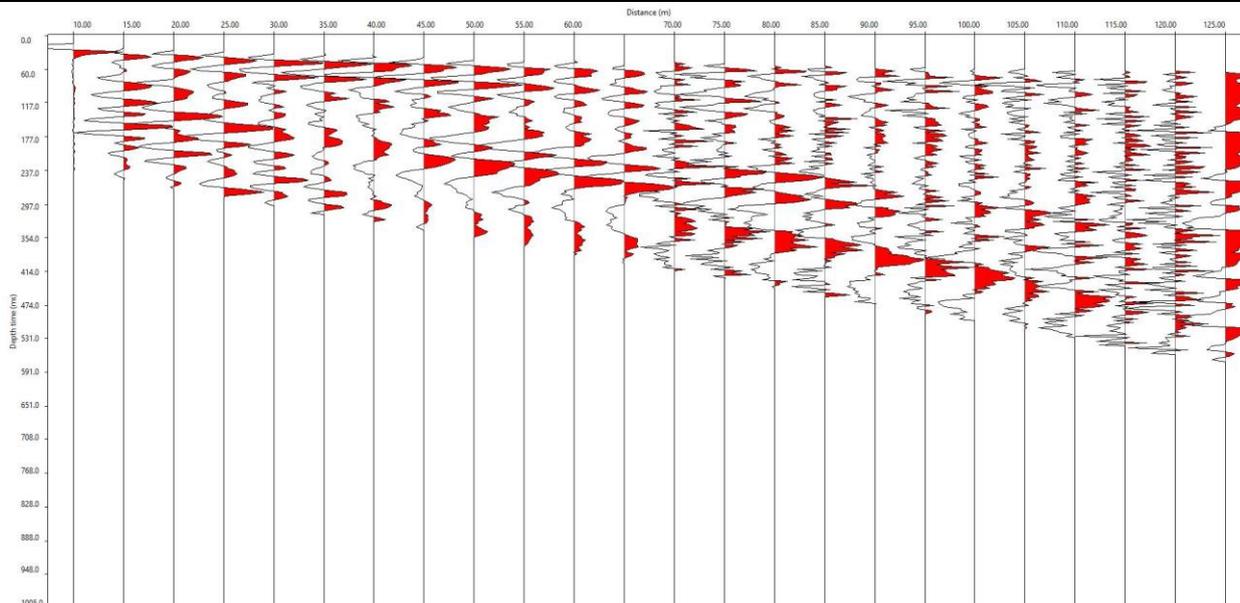
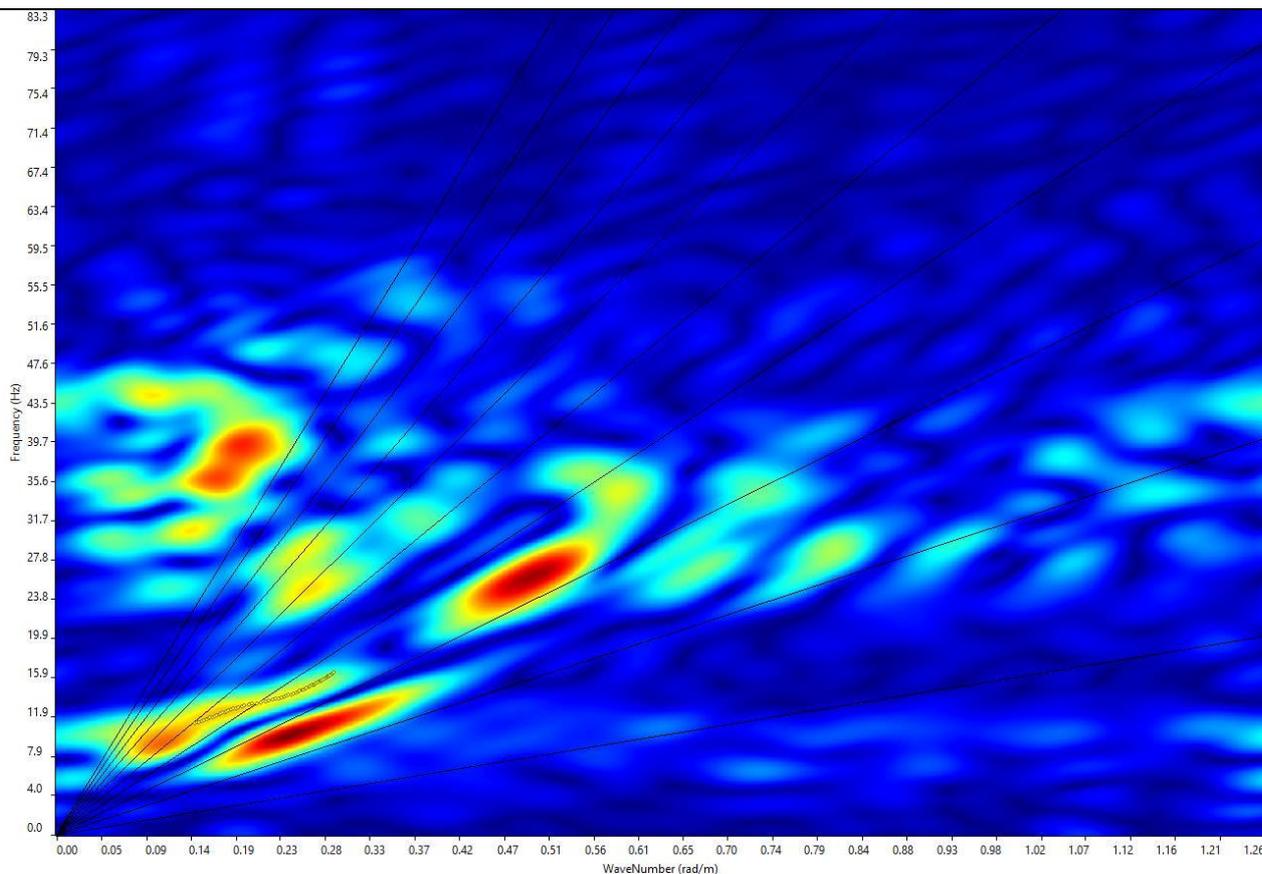
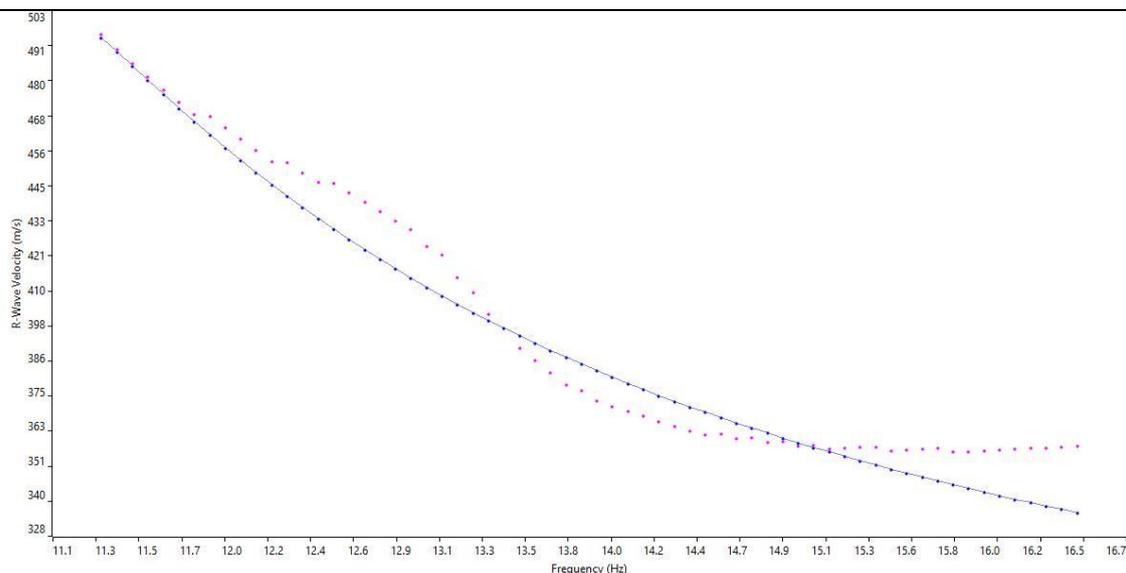


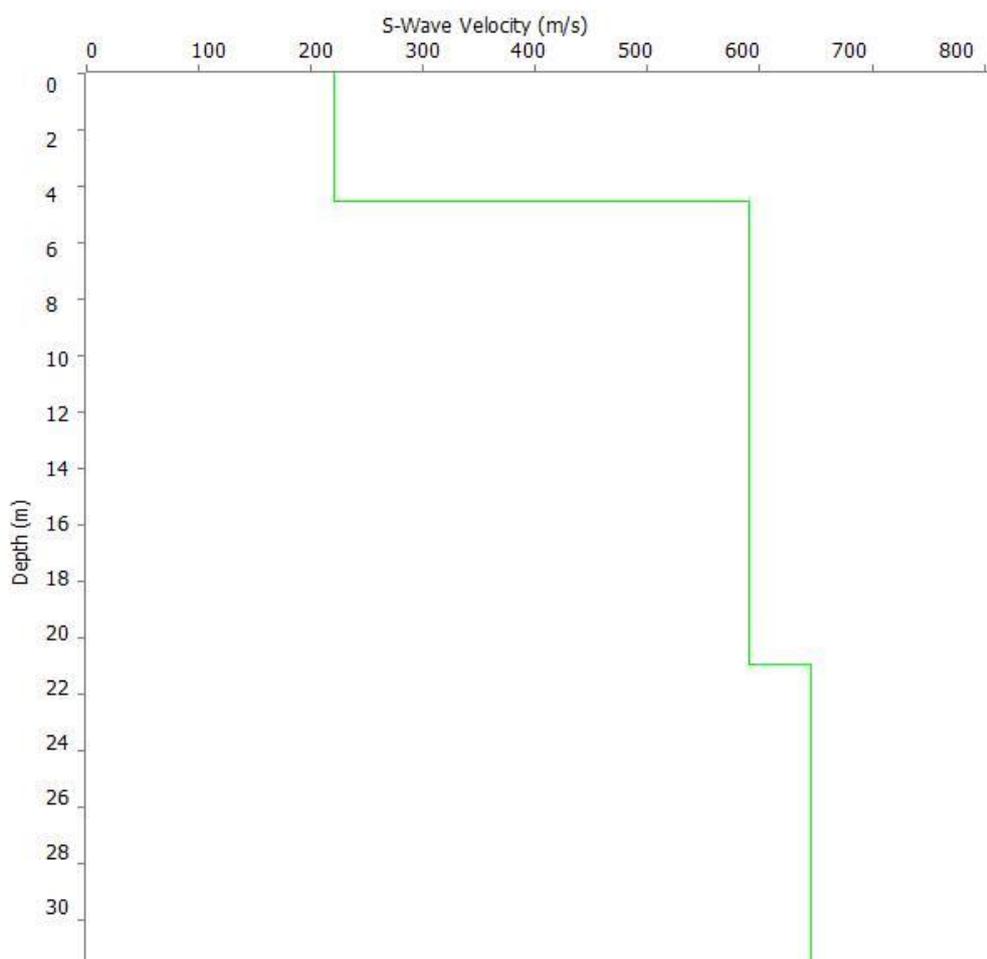
GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE – MASW 04



### CURVA DI DISPERSIONE – MASW 04



### ROFILO VS – MASW 04



**Categoria "B" –  $V_{s,eq}=V_{s,30}= 481\text{m/s}$ , calcolato a partire dal p.c.**



Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

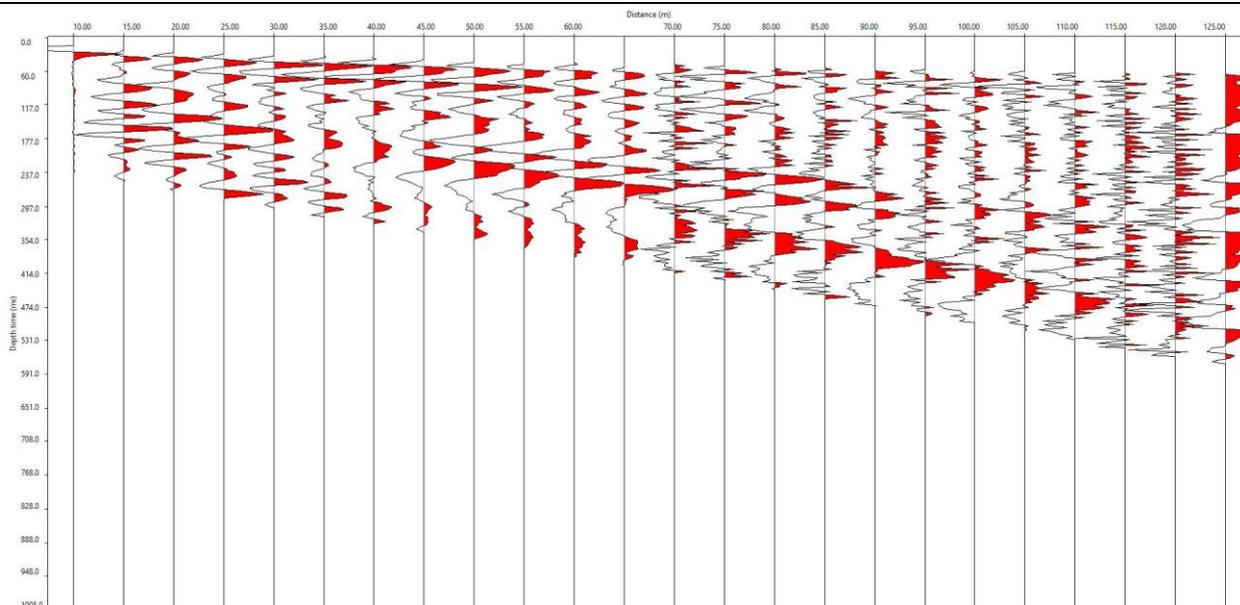
Certificate No: IT/0146Q/0283

**N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S**

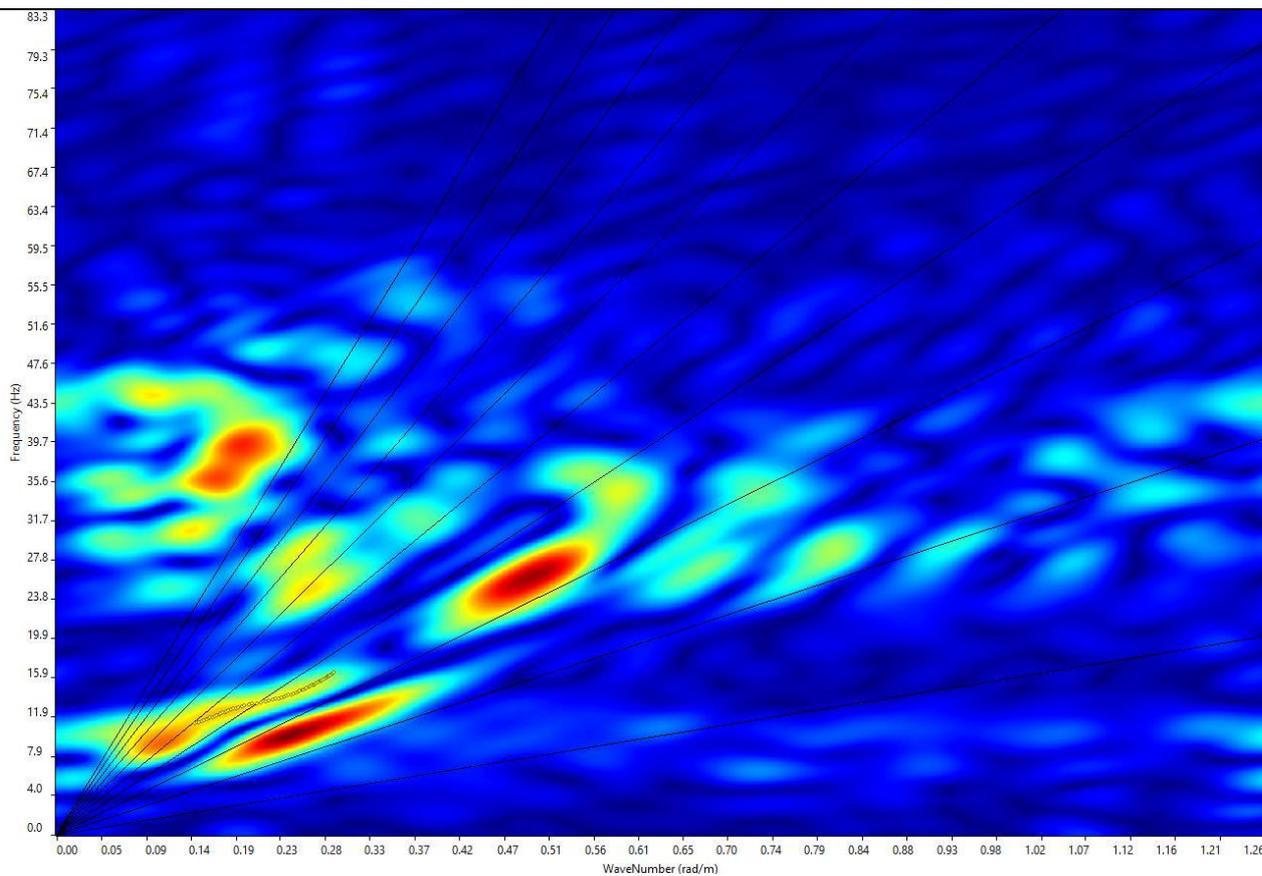
		Thickness	Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	4.50	0.00	<input type="checkbox"/>	220
Layer 2	<input type="checkbox"/>	16.44	4.50	<input type="checkbox"/>	590
Layer 3	<input type="checkbox"/>	INF	20.94	<input type="checkbox"/>	645

### Località "agro di Rotello (CB)" – MASW05

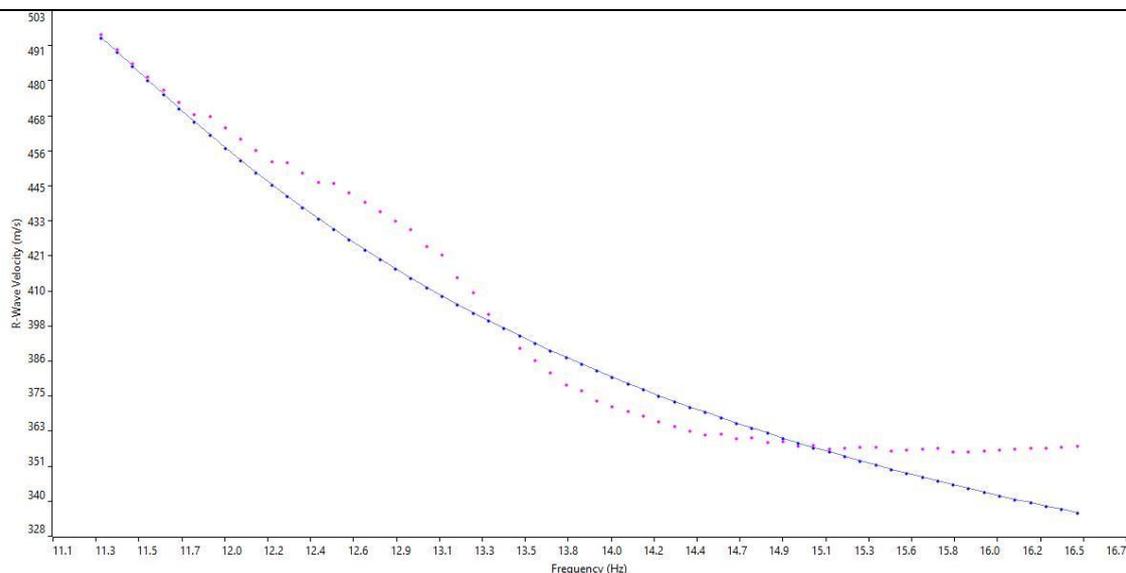
#### SISMOGRAMMA MEDIO – MASW 05



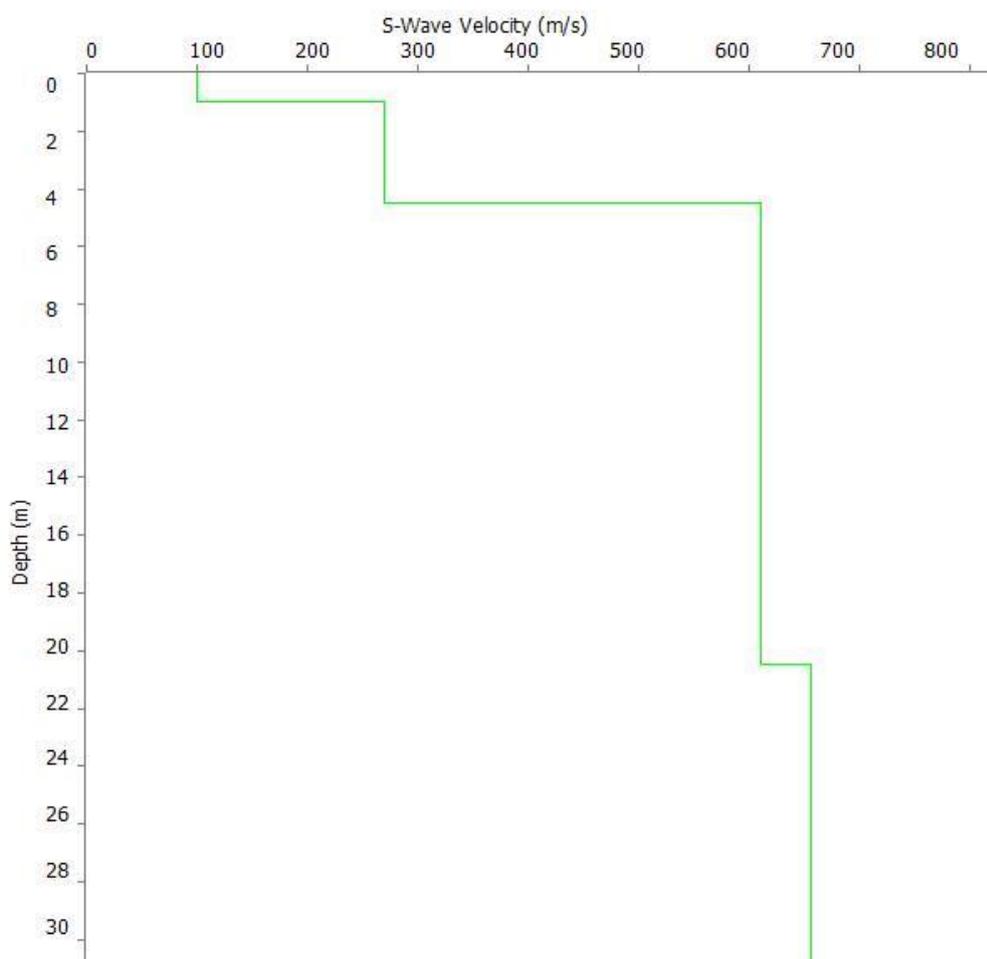
#### GRAFICO F-K CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE – MASW 05



### CURVA DI DISPERSIONE – MASW 05



### ROFILO VS – MASW 05



**Categoria "B" –  $V_{s,eq}=V_{s,30}= 471\text{m/s}$ , calcolato a partire dal p.c.**



Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

**N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S**

		Thickness	Depth		Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/>	1.00	0.00	<input type="checkbox"/>	100
Layer 2	<input type="checkbox"/>	3.50	1.00	<input type="checkbox"/>	270
Layer 3	<input type="checkbox"/>	15.97	4.50	<input type="checkbox"/>	610
Layer 4	<input type="checkbox"/>	INF	20.47	<input type="checkbox"/>	655



Cat. OS20A Class. I  
Cat. OS20B Class. IV



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

## ALLEGATO 04: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

- PROVE PENETROMETRICHE DPSH
- PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P
- PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VS,EQ: MASW

**PROVE PENETROMETRICHE DPSH: DPSH01, DPSH02, DPSH03, DPSH04 e DPSH05**

Località "agro di San Giuliano di Puglia, agro di S. Croce di M. e agro di Rotello (CB)"

**Ubicazione DPSH 01**



**Ubicazione DPSH 02**



**Ubicazione DPSH 03**



**Ubicazione DPSH 04**



**Ubicazione DPSH 05**



**INDAGINI SISIMICHE DI SUPERFICIE: BS01÷BS05 in onde P E MASW01÷MASW05**

BS01 e BS02 – MASW 01 e MASW02 - Località "agro di San Giuliano di Puglia (CB)"

**BS01 e MASW01, con p.to di vista dal geofono G1**



**BS01 e MASW 01, con p.to di vista dal geofono G24**



**BS01 e MASW 01, particolare della strumentazione**



**BS02 e MASW 02, con p.to di vista dal geofono G1**



**BS02 e MASW 02, con p.to di vista dal geofono G24**



**BS02 e MASW 02, particolare della strumentazione**



**BS03 e BS04 – MASW 03 e MASW04 - Località "agro di San Giuliano di Puglia A Santa Croce di Magliano (CB)"**

**BS03 e MASW03, con p.to di vista dal geofono G1**



**BS03 e MASW 03, con p.to di vista dal geofono G24**



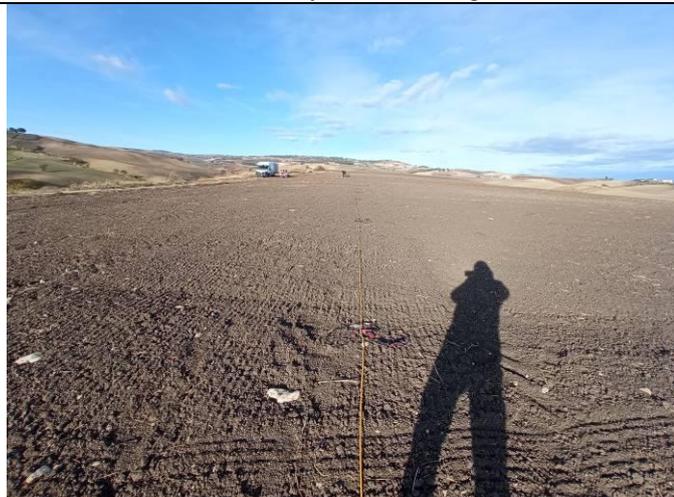
**BS03 e MASW 03, particolare della strumentazione**



**BS04 e MASW 04, con p.to di vista dal geofono G1**



**BS04 e MASW 04, con p.to di vista dal geofono G24**



**BS04 e MASW 04, particolare della strumentazione**



**BS05 – MASW05 - Località "agro di Rotello (CB)"**

**BS05 e MASW05, con p.to di vista dal geofono G1**



**BS03 e MASW 03, con p.to di vista dal geofono G24**



**BS05 e MASW 05, particolare della strumentazione**

