



REGIONE
LAZIO



COMUNE DI
TUSCANIA



PROVINCIA DI
VITERBO

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Tuscania", di potenza nominale pari a 33 MW, e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Tuscania (VT)

Titolo elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA

Codice elaborato

F0602FR01

Scala

---:---:---

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni DI SANTO)



Gruppo di lavoro

Ing. Giuseppe MANZI
Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Mariagrazia PIETRAFESA
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Arch. Gaia TELESCA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche



GEOLOGIA

Dott. Geol. Maurizio Giacomino
Via del Ginepro, 23 - 75100 Matera
TEL. 3409134882
PEC: mauriziogiacomino@pec.it

Committente



RENEXIA S.p.a.
Viale Abruzzo 410, 66010 Chieti

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Gennaio 2024	Prima emissione	GIACOMINO	GMA	GDS

1. Premessa

Su incarico conferitomi dalla Società F4 Ingegneria S.r.l., è stata condotta una Campagna di Indagine Geognostica, al fine di accertare le condizioni geologiche, morfologiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche dei terreni presenti a sud-ovest dell'abitato di Tuscania (VT) dove si intende realizzare un parco eolico, denominato "Tuscania" di potenza nominale di 33 MW, composto da n. 5 aerogeneratori con annesse piste, piazzole di stoccaggio, cavidotto e stazione elettrica.

L'esame delle caratteristiche sopra descritte, permette di esprimere una serie di considerazioni sui terreni di sedime interessati dalla costruzione degli aerogeneratori in modo da valutare il loro comportamento in relazione con le strutture di fondazione.

L'acquisizione dei dati tiene conto della vigente normativa tecnica, quale: il D.M. 11.03.1988, la L.R. n.38 del 06/08/1997 e il D.M. 17 gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni), inoltre, rispetta le norme dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – Bacini regionali del Lazio.

L'indagine geognostica è consistita in rilievi geologici e geomorfologici di superficie e nella verifica della pericolosità geologica, geomorfologica ed idrogeologica dell'area.

I parametri fisico meccanici dei terreni interessati dalle strutture in progetto sono stati ottenuti dalle indagini dirette ed indirette eseguite e consultate, come lo studio geologico eseguito dal Dott. Geol. Ciccarelli per il progetto della centrale Solare "Coriandoli" e dal progetto per il parco eolico di Etruria Energy Srl eseguito nel Comune di Piansano.

L'intero lavoro si compone dei seguenti elaborati descrittivi e cartografici:

- | | |
|---|---------------|
| - F0602FR01A - Relazione Geologica | |
| - FO602FT01A – Planimetria Ubicazione indagini | Scala 1:2.000 |
| - FO602FT02A - Carta Geologica | Scala 1:2.000 |
| - FO602FT03A – Carta Geomorfologica | Scala 1:2.000 |
| - FO602FT04A - Carta Idrogeologica | Scala 1:2.000 |
| - FO602FT05A – Profili Geologici | Scala 1:2.000 |
| - FO602FT06A - Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico | Scala 1:5.000 |
| - FO602FT07A – Carta della Microzonazione Sismica | Scala 1:2.000 |

Documentazione specialistica

- A. Alberti e M. Deriu et alii (1967) Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 136, Tuscania.

- D.M. Palladino, S. Simei e R. Triglia et alii (2013) Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 344 Tscania.
- Anno 2018: Relazione geologica e geotecnica Impianto di produzione di energia elettrica da fonte Eolica e relative opere di connessione Comune di Piansano (VT).
- Cianchi E. (*), Nappi G. (**), Pacchiarotti G., et alii (2008) Il Patrimonio Geologico dell'area al contorno del Lago di Bolsena e dell'alto corso del Fiume Marta, i Geositi e lo Sviluppo Sostenibile.
- Dott. Geol. Bruno Bonsignori - Dott. Geol. Marcello Bracciani (2014) Relazione Geologica sui terreni interessati dal "Progetto per ampliamento locale Oleificio Sociale Cooperativo di Canino".
- Dott. Geol. F. G. Rossi, Dott. F. gentili e Geol. D. de Angelis - Carta della Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica "Microzonazione Sismica di I° Livello "Ischia di castro".

2. Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico.

L'area di stretto interesse ricade nella zona di pertinenza dell'Autorità Distrettuale di Bacino dell'Appennino Centrale e precisamente nella zona dei Bacini Regionali del Lazio.

Dalla verifica della Planimetria 2.03 Nord "Aree Sottoposte a tutela per dissesto Idrogeologico" in scala 1:25.000, si evince che nessuna zona di sedime delle n. 5 torri eoliche in progetto ricade in tali aree vincolate, tantomeno le opere a loro connesse come le piste piazzole e stazione elettrica.

Nell'elaborato F0602T06A "Piano stralcio per l'assetto idrogeologico" si riporta uno stralcio delle tavole poc'anzi menzionate.

3. Inquadramento Geologico Tettonico Regionale

L'area del parco eolico in progetto ricade nelle vicinanze del Lago vulcanico di Bolsena, nella zona della caldera di Latera.

L'inquadramento geologico regionale è stato basato sulle informazioni riportate nelle note illustrative della Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia, ISPRA CARG, Foglio n. 344 "Tuscania" e n. 354 "Tarquinia") dove si evince che la zona di stretto interesse ricade all'interno dell'apparato vulcanico Vulsino che da circa un milione di anni ha visto l'alternarsi di periodi eruttivi anche con importanti manifestazioni magmatiche sia fluide che volatili a periodi di calma e quiescenza .

Il primo ciclo fu quello del paleovulcano di Bolsena (0,9-0,7 M.a.); seguito dal gruppo vulcanico di Montefiascone (0,7-0,35 M.a.) ed infine quello di Latera (0,3 –0,03 M.a.).

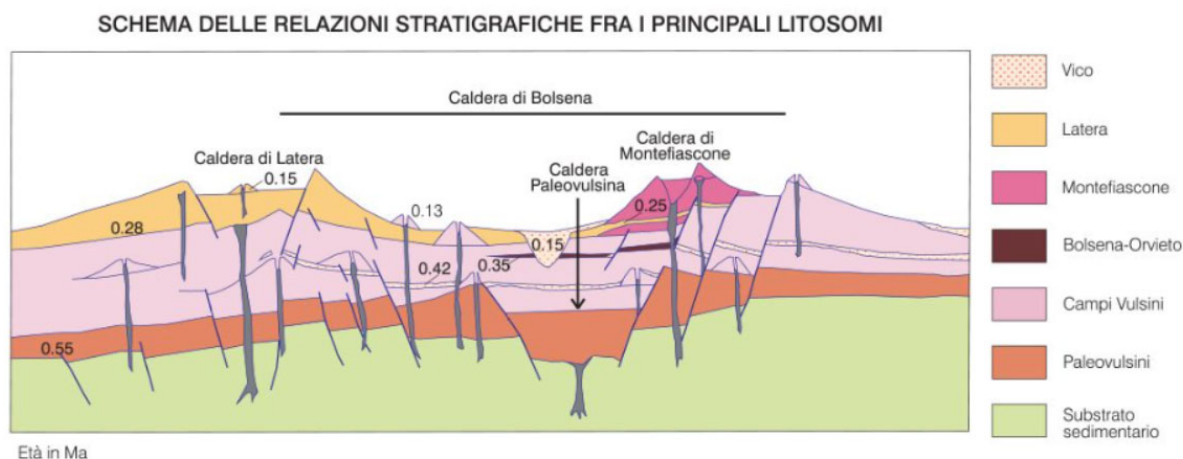
Il vulcanismo associato all'alto contenuto in volatili del magma è stato prevalentemente esplosivo, con attività parossistiche che produssero vasti depositi piroclastici e successivi sprofondamenti vulcano – tettonici, dai quali si formarono le ampie caldere visibili sul territorio.

Il territorio studiato è posto all'esterno della caldera di Bolsena, lungo l'ampio versante sud occidentale che degrada dolcemente verso la costa tirrenica.

Il paesaggio si presenta come un esteso "plateau" vulcanico, inclinato verso occidente, scavato dai frequenti corsi d'acqua, ad andamento principale nord est – sud ovest, e dal quale, verso nord ovest, si innalza il rilievo sedimentario di Monte di Canino

I terreni affioranti nella zona sono terreni composti dai Litosomi vulcanici del Pliocene Inf. – Pleistocene Medio che poggiano sul substrato sedimentario Miocenico e Pliocenico.

Come indicato nello schema riportato di seguito, estratto dalla Carta Geologica d'Italia in Scala 1:50.000 dell'ISPRA "Foglio n. 344 Tuscania e n- 354 "Tarquinia"", al di sopra del substrato sedimentario, tutt'intorno il lago di Bolsena affiorano cinque Litosomi differenti per chimismo e età in seguito soggetto a movimento della tettonica regionale.



I prodotti del Distretto Vulcanico Vulsino sono distribuiti radialmente rispetto alla depressione vulcano - tettonica del lago di Bolsena e nell'ambito della sua evoluzione, sono state distinte cinque zone o complessi vulcanici: il Paleobolsena, il Bolsena, il Montefiascone, il Latera ed il Neobolsena (NAPPI et alii, 1995, NAPPI et alii, 1998, NAPPI et alii, 2004), con meccanismi e scenari eruttivi molteplici: lo spettro delle attività di tipo esplosivo, che comprende quelle di tipo hawaiano, stromboliano, pliniano, idromagmatico e surtseyano è, infatti, pressoché completo.

I depositi relativi a tali meccanismi eruttivi sono rappresentati da scorie saldate, coni di scorie, strati di pomici, ignimbriti, surges, lapilli accrezionali, etc.

Anche i prodotti dell'attività effusiva sono ben rappresentati e riflettono un ampio spettro composizionale, che va dalla serie leucitica a quella shoshonitica. I prodotti più differenziati sono presenti nelle zone del Paleobolsena e del Bolsena, mentre la zona di Montefiascone, in corrispondenza della quale la camera magmatica è situata nella parte superiore del basamento carbonatico, è caratterizzata da prodotti meno differenziati.

L'evoluzione del complesso vulcanico di Latera può essere suddivisa in tre distinte fasi (NAPPI, 1969a). La prima, ha visto il prevalere di flussi lavici; la seconda, di meccanismi eruttivi di tipo esplosivo, con la messa in posto di un gran numero di flussi piroclastici, ai quali è legata la genesi di ignimbriti e "surges". L'attività della terza fase si è concentrata all'interno e lungo il recinto della caldera, con scenari eruttivi di tipo stromboliano, hawaiano ed idro magmatico. La zona di Latera è, quindi, prevalentemente caratterizzata da ignimbriti distribuite radialmente rispetto alla caldera, in modo da formare un vulcano scudo di ignimbriti (SPARKS, 1975).

Questi depositi sono stati studiati ed identificati, da vari ricercatori, a partire dalla fine degli anni '60 (NAPPI, 1969 a e b; SPARKS, 1975; VAREKAMP, 1980; METZELTIN & VEZZOLI, 1983; NAPPI et alii, 1994 a e b; PALLADINO & VALENTINE, 1995, PALLADINO & SIMEI, 2002).

3.1 GEOLOGIA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

L'area di stretto interesse vede l'affioramento di depositi vulcanici appartenenti ai Campi Vulsini e quelli di Latera sovrapposti spesso da deposito eluviali e colluviali e depositi alluvionali.

Come riportato nei profili geologici le n. 5 torri eoliche in progetto saranno ubicate su terreni a composizione vulcanica variabile come specificato di seguito.

A copertura delle valli si trovano dei Depositi Alluvionali composti da Sabbie, limi e Argille con intercalazioni Ghiaiose e occasionali orizzonti terrosi (b).

Spesso sulle spianate affiorano spesse Coltri Eluviali Colluviali composte da coperture detritiche derivanti dal disfacimento in situ di altre unità (AV1).

Dei campi della Caldera di Latera si trovano le seguenti formazioni:

- UNITA' DI ROCCARESPAMPANI: Depositi prevalentemente sabbioso limosi di ambiente fluvio-lacustre e palustre, ricchi di materiale vulcanico a cui si intercalano livelli pomicei e scoriacei sia in giacitura primaria sia rimaneggiati. A tetto sono presenti livelli travertinizzati e travertini. Potenza massima dell'Unità è di 30. (PLEISTOCENE MEDIO)
- UNITA' DEL FOSSO DELLE FAVOLE: Successione complessa di depositi caotici e grossolanamente laminati a matrice sabbiosa limosa e flussi piroclastici a debris flow in cui si intercalano depositi vulcanici e depositi piroclastici di ricaduta stromboliana o pliniana. (PLEISTOCENE MEDIO).
- UNITA' DI POGGIO DELLA SORGENTE: Calcareniti, sabbie e sabbie argillose. All'interno delle intercalazioni sabbioso argillose sono presenti clasti costituiti da materiale intrusivo e calcarenite bioclastica. Spessore massimo della formazione 35 m (PLEISTOCENE INF.).
- UNITA' DEL FOSSO DI SAN SAVINO: Argille e argille limose grigie, con intercalazioni di conglomerati ad elementi eterometrici calcareo marnosi. (PLIOCENE INF.)
- PIETRAFORTE: Marne, marne argillose beige e grige, a scaglie e con fratturazione a saponetta, argille scure e ocracee, argilliti verdognole e rossicce con sottili intercalazioni di calcari verdastri e nerastri, vicino al contatto con le arenarie si trovano sottili strati arenacei. (TURONI ANO-SANTONJANO)

4. Geomorfologia ed Idrogeologia

L'area di stretto interesse sorge tra il margine orientale della conca lacustre occupata dal lago di Bolsena e la caldera di Latera, ad una quota di circa 150 metri s.l.m.

L'area è caratterizzata dalla tipica morfologia di origine vulcanica. Il paesaggio è generalmente collinare, e si osserva la presenza dei fianchi dei vulcani o dalle creste delle caldere che formano alture e che si raccordano dolcemente con le pianure sottostanti.

Il comprensorio, a partire dai bordi lavici della caldera del Bolsena, denota un reticolo idrografico principale di tipo radiale ed un reticolo secondario di tipo dendritico (arborescente) nelle altre zone caratterizzate da depositi detritici.

I dissesti in quest'area sono limitati e legati per lo più a locali e modeste frane da crollo negli areali litoidi e per scalzamento alla base delle scarpate lungo gli alvei più incisi.

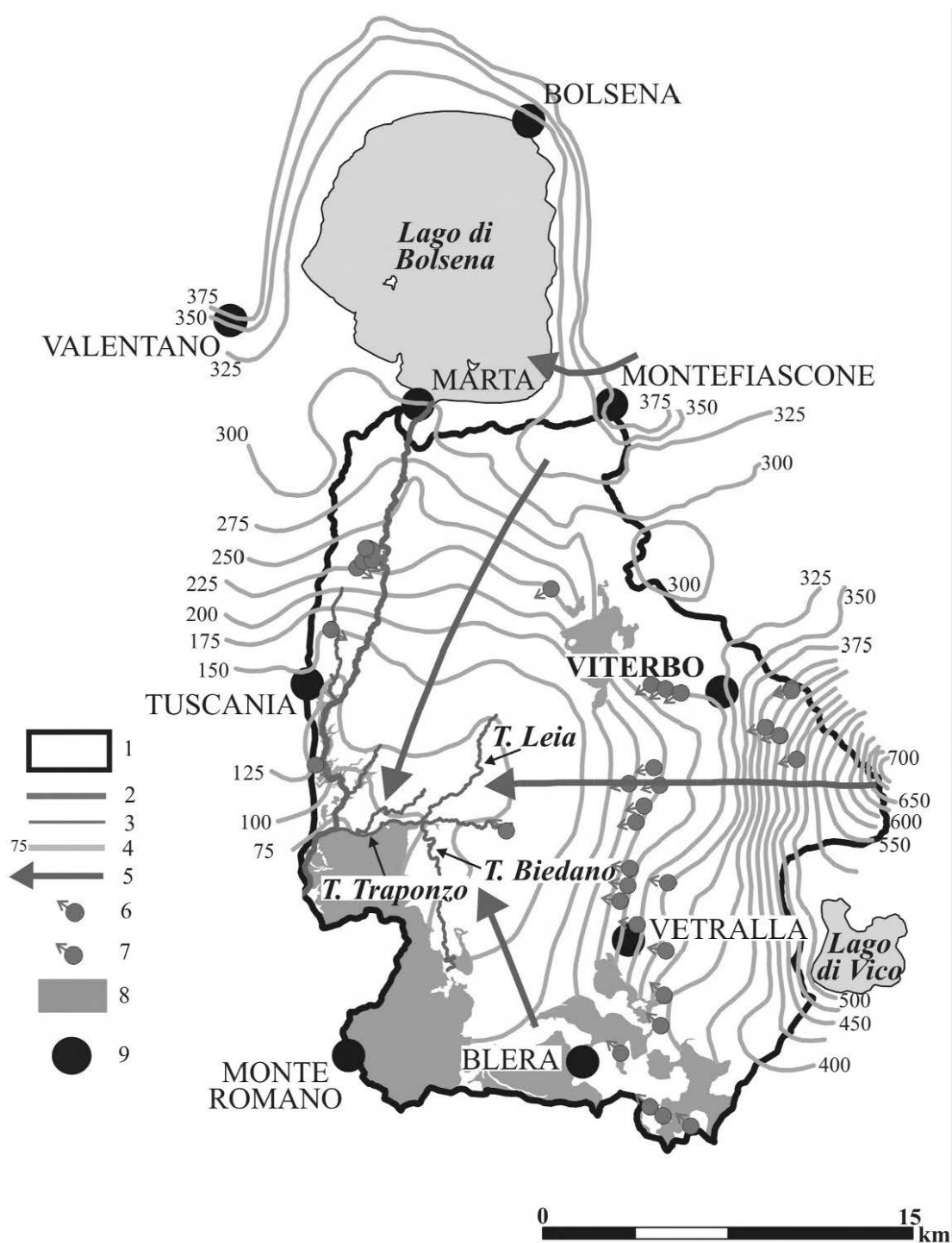
La diversa natura dei terreni presenti nell'area, fa sì che si possano notare diverse unità morfologiche. L'area di progetto è inserita a sud del centro abitato di Tuscania in una zona pianeggiante racchiuso tra le valli del Fosso Capecchio e Fosso Pignattara.

Il pianoro è allungato in direzione sud-ovest tra le quote medie assolute di 145 e 155 m slm; quindi, in un contesto pianeggiante privo di segni di instabilità e di possibili modificazioni morfologiche nel tempo.

Gli alvei dei due fossi si presentano poco incisi con scarpate di modeste altezze, infatti, solo piccole scarpate sono presenti vicino le Torri Eoliche T04 e T05, ma comunque poste a distanza di sicurezza sia delle fondazioni che dalle aree di utilizzo temporaneo come le piste e piazzole di stoccaggio.

Dal punto di vista idrogeologico, le principali rocce serbatoio dell'area esaminata si identificano nelle unità vulcaniche e piroclastiche, in considerazione della notevole estensione e spessore di esse e del loro grado di permeabilità relativa.

I litotipi vulcanici e piroclastici, infatti, sono dotati di una permeabilità per porosità e fessurazione da media ad alta, se confrontata con quelli delle unità sedimentarie. Queste ultime, raggruppabili nel complesso argilloso-sabbioso-conglomeratico ed in quello marnoso-calcareo-arenaceo, sono caratterizzate da una permeabilità relativamente bassa e svolgono il ruolo di substrato impermeabile e di limite laterale dell'acquifero vulcanico.



Le modalità di flusso nell'acquifero vulcanico sono ricavabili dalle ricostruzioni piezometriche disponibili per l'area e dall'entità e tipo di recapito delle acque sotterranee (CAPELLI et alii, 2005; BAIOCCHI et alii, 2006).

Le ricostruzioni piezometriche dell'acquifero vulcanico consentono di riconoscere, alla scala del bacino, un'unica superficie piezometrica radiale convergente sia nell'intorno del Lago di Bolsena che verso il basso corso del Fiume Marta ed il Torrente Traponzo, a valle del lago.

Lo spartiacque non sempre coincide con quello superficiale, avendo il bacino idrogeologico estensione maggiore rispetto a quello idrografico.

I rapporti tra acque superficiali ed acque sotterranee evidenziano alimentazione dall'acquifero verso il lago per gran parte del suo perimetro, ad eccezione del bordo meridionale, dove è il lago ad alimentare la falda. Il deflusso del Fiume Marta è sostenuto, oltre che dagli efflussi del Lago di Bolsena, dalle acque sotterranee soprattutto nella parte terminale del bacino analizzato. Infatti, nel Marta è stato stimato un deflusso di base pari a circa 3 m³/s, equivalente a circa il 63% del deflusso totale medio annuo.

Le uscite di acqua dal sistema hanno recapito principalmente nel fiume e secondariamente nelle sorgenti: su questa valutazione incidono pesantemente i prelievi per uso irriguo, che sottraggono al sistema circa il 19% della potenzialità idrica complessiva.

Nell'area in esame sono presenti anche sorgenti di acque minerali e termali (CAMPONESCHI & NOLASCO, 1986; DUCHI & MINISSALE, 1995; DUCHI et alii, 2003), espressione di circuiti idrici sotterranei più profondi di quelli trattati ed influenzati dall'anomalia geotermica che caratterizza la regione (CALAMAI et alii, 1976).

Queste sorgenti, sebbene di ridotta portata (generalmente non superiore ad alcuni litri al secondo), assumono importanza anche quale espressione della eterogeneità delle caratteristiche idrogeologiche dell'area.

5. Campagna di Indagini Geognostiche

La campagna di indagini geognostiche è stata strutturata in relazione alla natura dei litotipi affioranti ed ha visto l'esecuzione di prove sismiche indirette che hanno interessato l'area di sedime degli aerogeneratori in progetto.

L'allegato F0602FT01A - "Planimetria ubicazione indagini" riporta in scala 1:2.000 l'intero progetto del Parco Eolico dove sono indicate l'ubicazione delle indagini eseguite e l'ubicazione delle nuove torri eoliche e del cavidotto.

5.1 SISMICA A RIFRAZIONE CON TECNICA MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del terreno.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono di tipo dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse frequenze si propagano con diverse velocità di fase (o di gruppo) apparente (Achenbach, J D, 1999, Aki, K and Richards, P G, 1980) ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile alla specificità che le onde ad alta frequenza hanno di propagarsi negli strati più superficiali, fornendo quindi informazioni sulla parte più alta del terreno, mentre le onde a bassa frequenza, propagandosi negli strati più profondi, restituiscono indicazioni sulla parte più bassa del terreno. Il metodo MASW è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del terreno (energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da un array lineare di geofoni. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5÷10 Hz e 70÷100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del terreno, generalmente compreso nei primi 30÷50 mt, in funzione della rigidità del terreno e della caratteristica della sorgente.

Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Per il caso in esame, è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, della ditta PASI Srl modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati e una sorgente ad impatto verticale per la generazione di onde Rayleigh rilevate da 12 geofoni aventi frequenza pari a 4,5 Hz con una spaziatura di 3 mt per tutti gli stendimenti, denominati di seguito rispettivamente MASW01, MASW02, MASW03, MASW04, MASW05, considerando

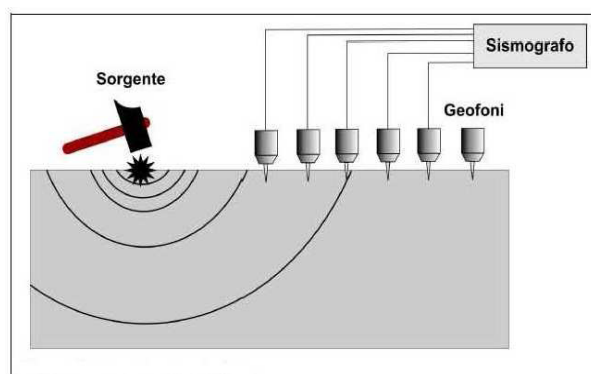


Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW (Onde di Rayleigh)

le stesse linee utilizzate per le acquisizioni delle indagini di sismica a rifrazione. Sono stati effettuati, per ogni singola indagine, n 4 battute per l'acquisizione dei sismogrammi utilizzando degli offset minimi rispettivamente a -5 mt e -10 mt dal 1° geofono e +5 mt e +10 mt dal 12° geofono.

L'intervallo di campionamento è stato pari a 1 ms (millisecondo) con un tempo di registrazione di 2 secondi. Lo schema organizzativo della prova è riportato in Figura 2, mentre per l'ubicazione dei profili sismici si faccia riferimento in allegato alla T01 "Planimetria Ubicazione Indagini". La procedura adottata per ricostruire la distribuzione delle onde di taglio nel terreno (VS) può essere così descritta:

1. Acquisizione dei sismogrammi contenenti le onde di superficie (onde di Rayleigh con componente verticale) per un intervallo di tempo sufficiente e un'adeguata frequenza di campionamento;
2. Processing dei sismogrammi acquisiti individuando le onde di superficie utili alla costruzione dello spettro di velocità ed individuazione delle curve di dispersione;
3. Inversione dei dati usando un modello di terreno che permetta di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed ulteriori parametri in funzione della profondità compatibile con il contesto geologico in esame. Tale inversione avviene attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici che rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global search methods o soft computing).

Per il trattamento e l'analisi dei dati acquisiti in situ si è utilizzato il software "WinMASW 3C" release 7.1 della Eliosoft Srl.

Stendimento Sismico MASW01

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo shot effettuato a -10 mt dal 1° geofono (Figura 3) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Fig. 4).

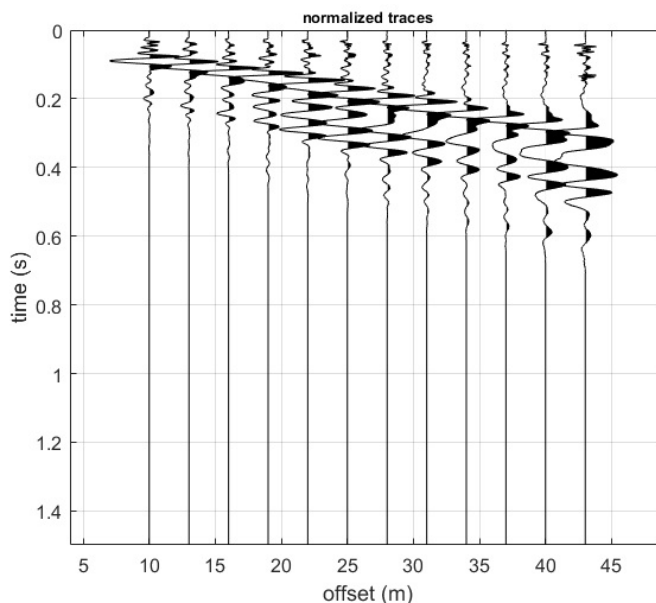


Figura 3-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

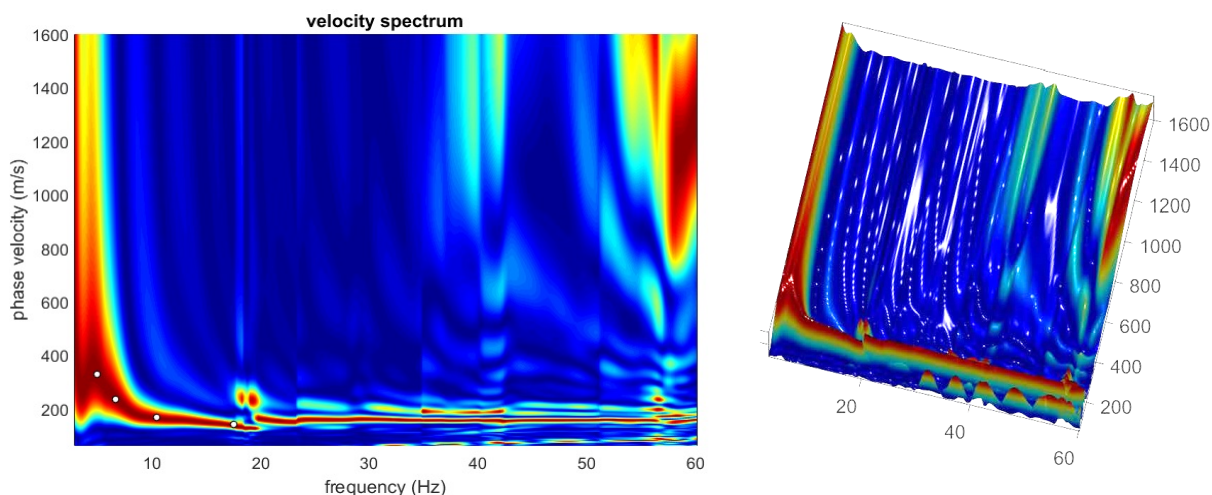


Figura 4-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio VS in funzione della profondità (Figura 5). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 16,50 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), Figura 7, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, Figura

6. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente al “misfit evolution” (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 8.

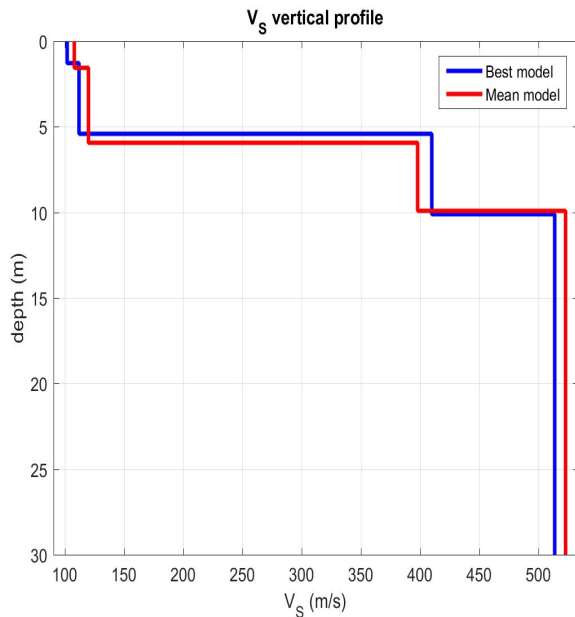


Figura 5-Profilo $V_{s, equ} = 301$ m/sec calcolato a partire dal piano campagna

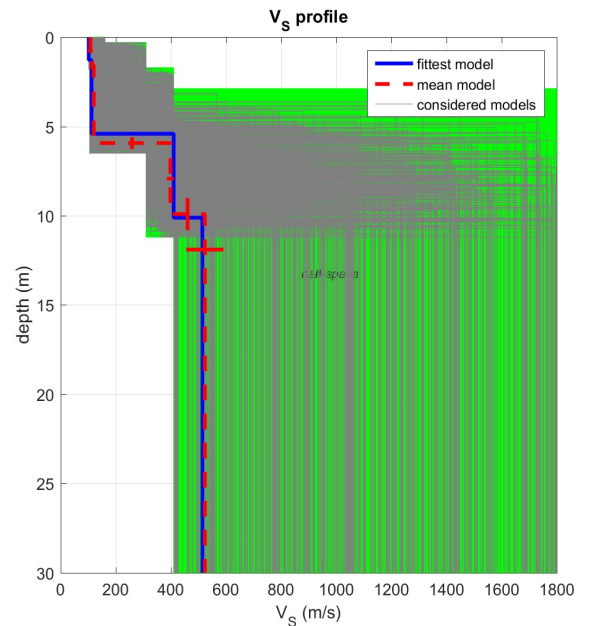


Figura 6-Modelli testati durante il processo di inversione

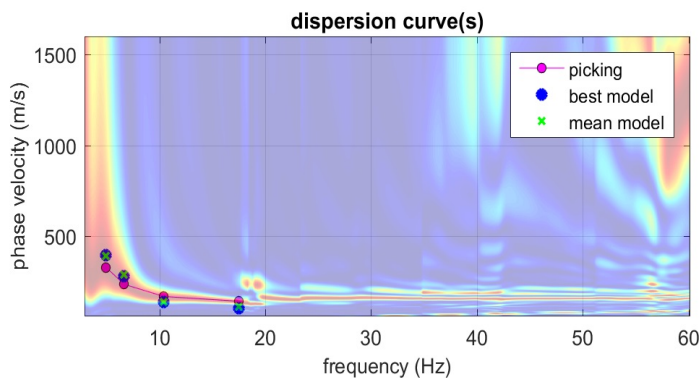


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

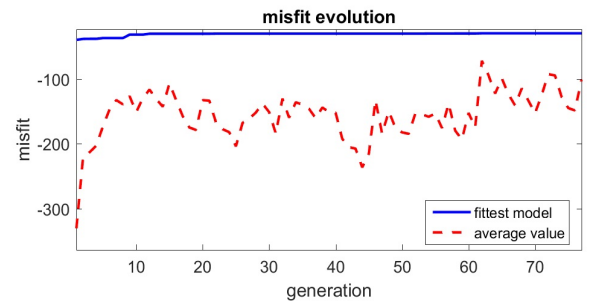


Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

Stendimento Sismico MASW02

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo shot effettuato a +5 mt dal 12° geofono (Figura 9) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 10).

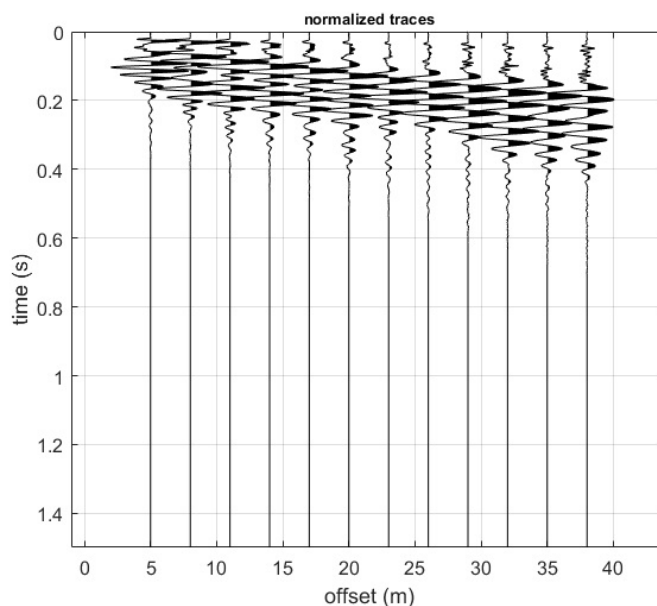


Figura 9-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

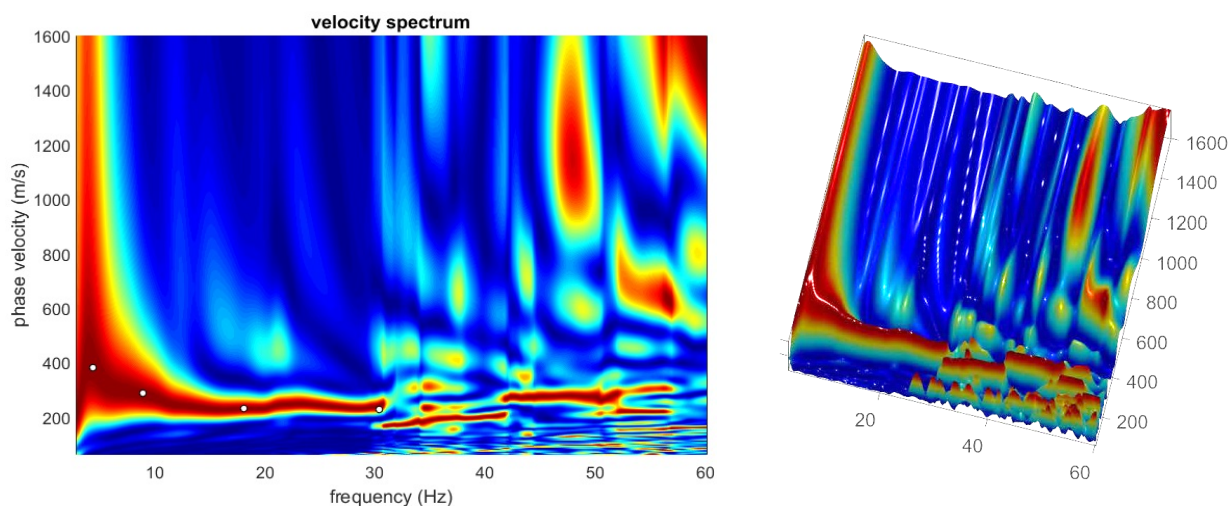


Figura 10-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio VS in funzione della profondità (Figura 11). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 16,50 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), Figura 13, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, Figura 12. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente al "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 14.

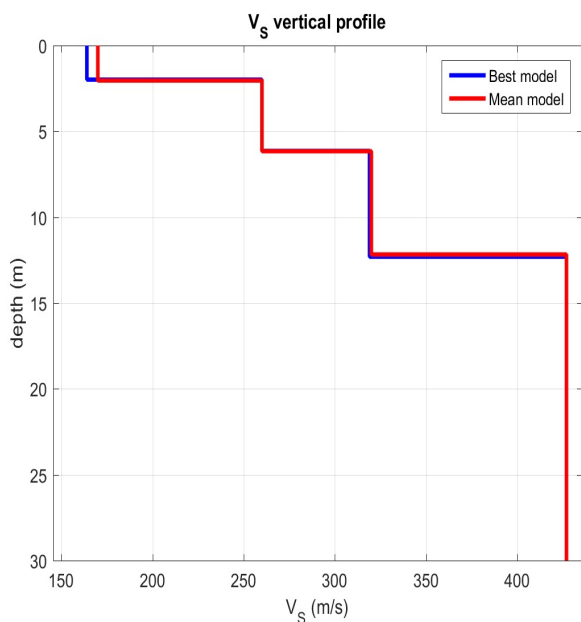


Figura 11-Profilo $V_{s, equ} = 338$ m/sec calcolato a partire dal piano campagna

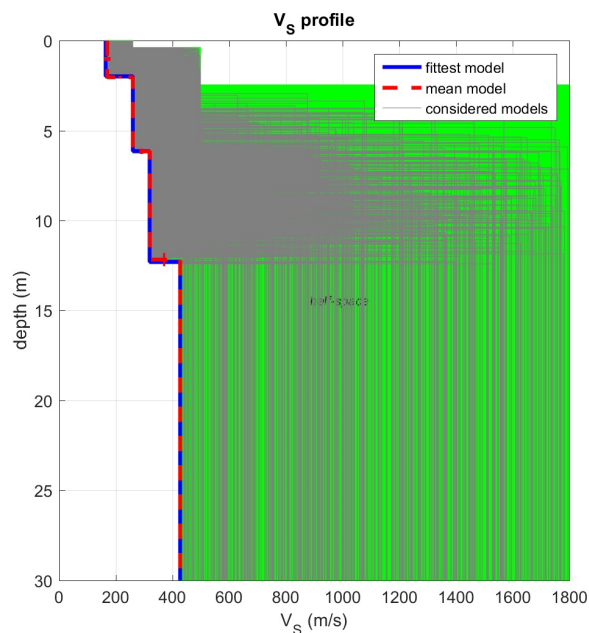


Figura 12-Modelli testati durante il processo di inversione

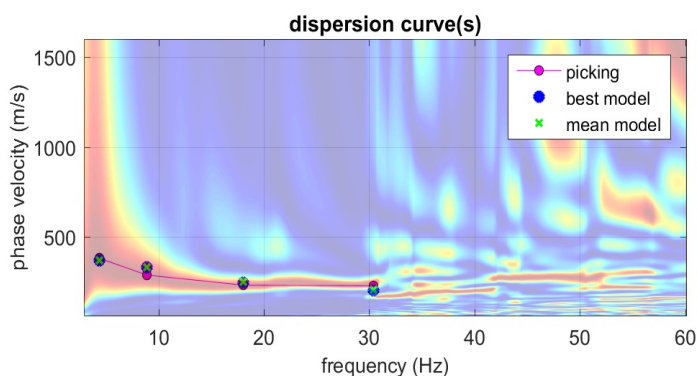


Figura 13-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

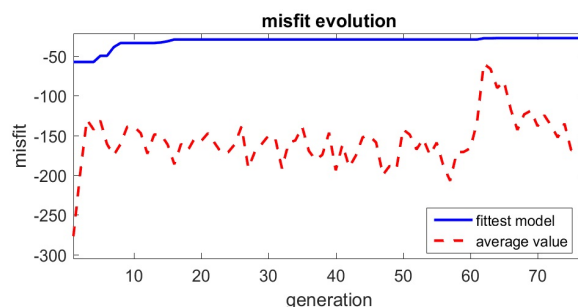


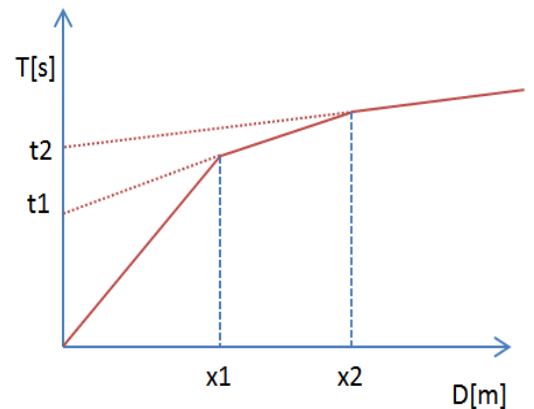
Figura 14-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

5.2 SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P E SH

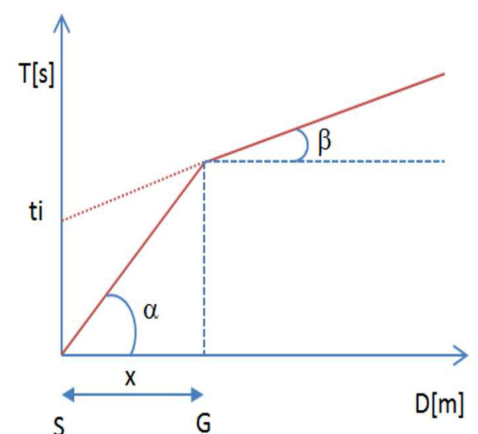
Per la ricostruzione del modello geologico-stratigrafico del sito e la parametrizzazione geomeccanica del volume significativo di terreno relativo all'intervento si è fatto riferimento alle informazioni fornite dall'esecuzione n° 10 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e n° 5 prospezioni sismiche MASW le cui posizioni sono riportate in allegato T01 “Planimetria Ubicazione Indagini”. Le prove sono state realizzate nelle immediate vicinanze dei futuri siti di realizzazione degli impianti eolici in progetto e, in accordo con la committenza, in maniera tale da investigare il terreno di sedime cercando un giusto compromesso tra la profondità massima di investigazione e gli spazi fisici a disposizione.

Le indagini di sismica a rifrazione (P e/o S), consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide

su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). Altro scopo è quello di tarare e vincolare l'altro metodo di indagine (MASW) per tutto lo spessore investigato dall'indagine sismica, contribuendo a diminuire l'incertezza sulla determinazione delle velocità delle onde sismiche V_s . La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione tradizionale e quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formula matematica è: $v_2 \sin\theta_i = v_1 \sin\theta_r$. Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità. Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite d'incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'angolo limite è definito come: $\theta_i = \arcsin(v_1/v_2)$.



Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posta in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione: $T = x_i/V_1$, dove x_i



e la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come: $V_1 = 1/\tan\alpha$. I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette. La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati punti di ginocchio e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi. Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Le indagini sono state condotte utilizzando la seguente strumentazione:

- Sismografo con 24 canali, della ditta "PASI Srl" modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati mediante laptop;
- Sorgente di energizzazione costituita da un maglio del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in alluminio posta direttamente sul piano campagna per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV;
- n 12 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione pari a 4,5 Hz.

La distanza intergeofonica è stata posta pari a 4 mt per tutti gli stendimenti realizzati, denominati di seguito rispettivamente ST01, ST02, ST03, ST04, ST05 e ST06, con punti di battuta A e B posti a 5 mt rispettivamente dal 1° e dal 12° geofono, in posizione esterna allo stendimento, la battuta C posta al centro dello stendimento (fra il 6° e il 7° geofono), mentre le altre due battute intermedie D ed E poste rispettivamente tra 3° e 4° geofono e tra il 9° e il 10° geofono come riportato in Figura 1:

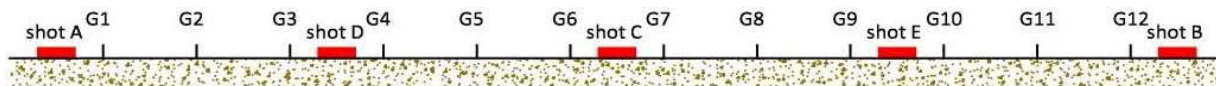


Figura 1-Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione

In fase di acquisizione dei sismogrammi è stato applicato un filtro passa alto, con frequenza di taglio pari a 10 Hz, per una migliore ricezione dei segnali. L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- Inserimento delle geometrie mediante il software EasyRefract (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);

- Applicazione di un filtro “low-pass” per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- Picking dei primi arrivi;
- Definizione delle dromocrone;
- Calcolo dromocrone traslate;
- Definizione del modello sismostratigrafico.

Bisogna precisare che, l’elaborazione dei dati di sismica a rifrazione rappresentano l’andamento dei sismostrati lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ed il modello sismostratigrafico che ne deriva rappresenta 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. Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell’indagine sismica è importante puntualizzare che:

1. 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;
2. La risoluzione del metodo è funzione della profondità d’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 $h < 0,25 * z$;
3. 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;
4. 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 1, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P tipici di alcuni litotipi ricorrenti.

Litotipo	V _P (m/sec)	Litotipo	V _P (m/sec)
Areato superficiale	300-800	Calcere cristallino	5700-6400
Argille	1100-2900	Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Sabbia asciutta	200-1000	Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Sabbie umida	600-1800	Arenaria	1400-4500
Terreni alluvionali sciolti	400-2100	Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Acqua	1400-1500	Anidride	3500-5500
Calcere fratturato	700-4200	Gesso	1800-4000
Calcere compatto	2800-6400	Gneiss e scisti	3500-7500

Tabella 1-Valori di velocità tipiche delle onde di compressione P (da “Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo” di Carrara-Rapolla-Roberti, “Il manuale del geologo” di Cassadio-Elmi)

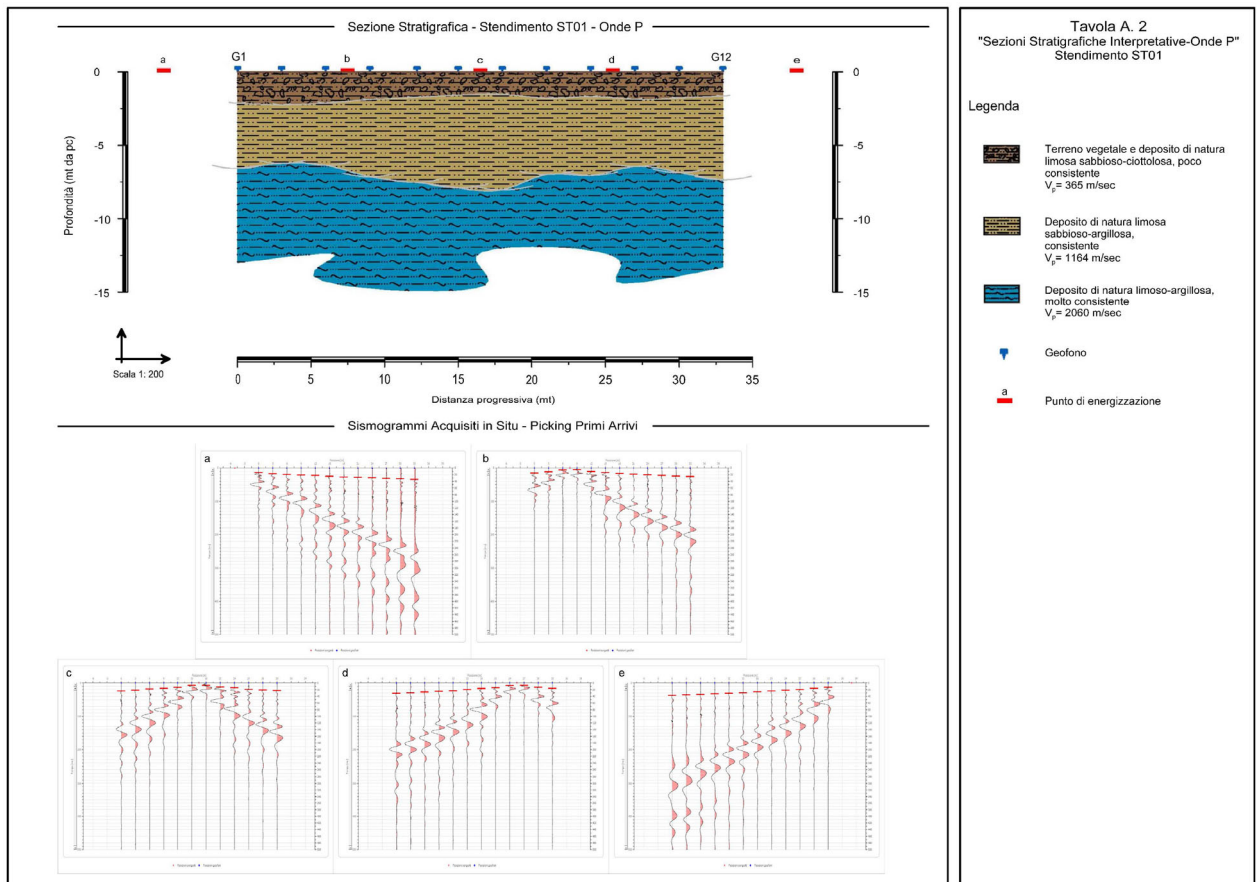
Stendimento Sismico ST01

Lo stendimento è stato realizzato su di un’area destinata a seminativo agricolo, senza variazione altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 mt. Per

l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P".

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. Sismostrato A: terreno vegetale e deposito di natura limosa sabbioso-ciottolosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 365 m/sec per una profondità media di circa -1,80 mt da pc;
2. Sismostrato B: deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1164 m/sec per una profondità media di circa -7,00 mt da pc;
3. Sismostrato C: deposito di natura limoso-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2060 m/sec sino a fine indagine (\approx -12 mt da pc).

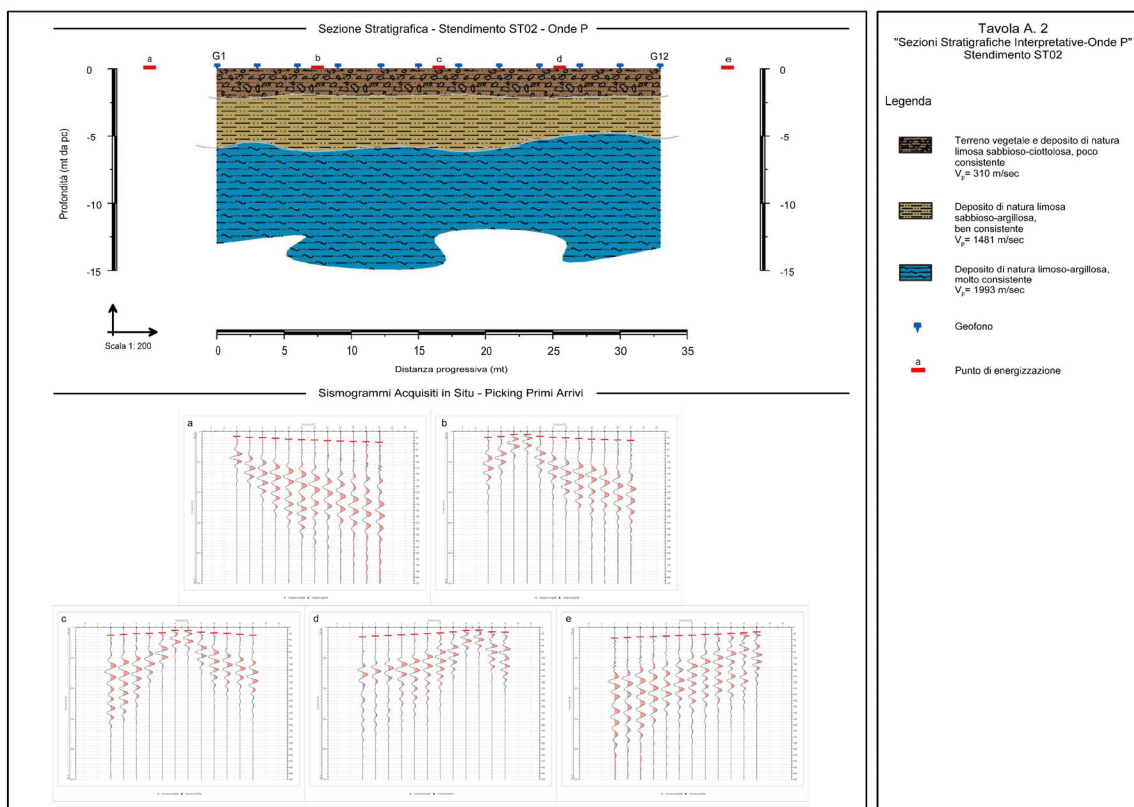


Stendimento Sismico ST02

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a terreno incolto, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 mt. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P".

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. Sismostrato A: terreno vegetale e deposito di natura limosa sabbioso-ciottolosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 310 m/sec per una profondità media di circa -2,10 mt da pc;
2. Sismostrato B: deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1481 m/sec per una profondità media di circa -5,70 mt da pc;
3. Sismostrato C: deposito di natura limoso-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1993 m/sec sino a fine indagine (\approx -12 mt da pc).



6. Considerazioni sulla Sismicità dell'aera

6.1 PARAMETRI SISMICI DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO

La zona sismica per il territorio del Comune di Tuscania, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009, successivamente modificata con la D.G.R. n. 571 del 2 agosto 2019 è.

Zona sismica 2B	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti. La sottozona 2B indica un valore di $a_g < 0,20g$.
----------------------------	---

Con l'entrata in vigore del D.M. 17/01/2018 e ancor prima del D.M. 14/01/2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Quindi per la stima della pericolosità sismica di base, si determinano le coordinate geografiche del sito di interesse, si sceglie la maglia di riferimento, e si ricavano i valori dei parametri spettrali come media pesata dei valori corrispondenti ai vertici della maglia (forniti in allegato al D.M. 17.01.2018), moltiplicati per le distanze dal punto.

Le nuove Norme Tecniche per le costruzioni del 2018 forniscono, per l'intero territorio nazionale, i parametri da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica. Tali parametri sono forniti in corrispondenza dei nodi, posti ad una distanza massima di 10 km, all'interno di un reticolo che copre l'intero territorio nazionale. I valori forniti di **ag**, **Tr**, **Fo** e **Tc** da utilizzare per la risposta sismica del sito sono riferiti al substrato, inteso come litotipo con $V_s > 800$ m/sec.

L'azione sismica sulle costruzioni viene dunque valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale (categoria A nelle NTC). La "pericolosità sismica di base" costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Come anzi detto, essa, in un generico sito viene descritta in termini di valori di accelerazione orizzontale massima **ag** e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, sopra definito, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi pe-

riodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri: a_g accelerazione orizzontale massima del terreno; F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno TR considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- F_0 e T_c i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento, previste dalle NTC, scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è impostata operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare: la vita di riferimento VR della costruzione, le probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR, associate a ciascuno degli stati limite considerati. Si possono così individuare, partendo dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

In relazione alle indagini geognostiche eseguite comparate con quelle consultate eseguite in precedenza dell'area di stretto interesse, di seguito si riporta una tabella sinottica con indicazione della categoria di suolo e alla categoria topografica associato a ciascun suolo di fondazione delle torri eoliche in progetto.

AEROGENERATORE	CATEGORIA DI SUOLO	CATEGORIA TOPOGRAFICA
T01	C	T1
T02	C	T1
T03	C	T1
T04	C	T1
T05	C	T1

Di seguito si riporta i Parametri sismici dei terreni di sedime delle torri eoliche T01, T02 E T03 che ricadono sia su terreni di categoria Di Suolo "C" con coefficiente topografico "T1" in quan-

do la pendenza massima dei versanti su cui saranno installati le torri eoliche è sempre molto bassa sempre inferiore al 10 %.

PARAMETRI SISMICI DELLE AREE DI UBICAZIONE DELLE TORRI EOLICHE T01, T02 e T03 IN PROGETTO RICADENTI NEL TERRITORIO COMUNALE DI TUSCANIA E RIENTRANTI NELLA MAGIA DI 10 Km DI LATO CON LE SEGUENTI COORDINATE AI VERTICI

Sito 1	ID: 26282	Lat: 42,3724	Lon: 11,7981	Distanza: 2636,629
Sito 2	ID: 26283	Lat: 42,3734	Lon: 11,8658	Distanza: 3189,587
Sito 3	ID: 26061	Lat: 42,4234	Lon: 11,8645	Distanza: 5614,261
Sito 4	ID: 26060	Lat: 42,4224	Lon: 11,7967	Distanza: 5317,437

Categoria sottosuolo: C
Periodo di riferimento: 50 anni

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr:30 [anni]
ag: 0,040 g
Fo: 2,527
Tc*: 0,237 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,132 g
Fo: 2,458
Tc*: 0,279 [s]

Categoria topografica: T1

Coefficiente cu: 1

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,052 g
Fo: 2,478
Tc*: 0,254[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
g: 0,168 g
Fo: 2,5487
Tc*: 0,284 [s]

COEFFICIENTI SISMICI

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,690
St: 1,000
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0,590
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,650
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,765
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,490
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,048
Kv: 0,024
Amax: 1,945
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,450
Cc: 1,590
St: 1,000
Kh: 0,058
Kv: 0,029
Amax: 2,383
Beta: 0,240

PARAMETRI SISMICI DELLE AREE DI UBICAZIONE DELLE TORRI EOLICHE T04 e T05 IN PROGETTO RICADENTI NEL TERRITORIO COMUNALE DI TUSCANIA E RIENTRANTI NELLA MAGIA DI 10 Km DI LATO CON LE SEGUENTI COORDINATE AI VERTICI

Sito 1	ID: 26282	Lat: 42,3724	Lon: 11,7981	Distanza: 2675,512
Sito 2	ID: 26283	Lat: 42,3734	Lon: 11,8658	Distanza: 3184,530
Sito 3	ID: 26505	Lat: 42,3234	Lon: 11,8671	Distanza: 5554,638
Sito 4	ID: 26504	Lat: 42,3224	Lon: 11,7994	Distanza: 5280,198

Categoria sottosuolo: C
Periodo di riferimento: 50 anni

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr:30 [anni]
ag: 0,038 g
Fo: 2,542
Tc*: 0,232 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,1262 g
Fo: 2,460
Tc*: 0,280 [s]

Categoria topografica: T1

Coefficiente cu: 1

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,050 g
Fo: 2,476
Tc*: 0,256[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
g: 0,161 g
Fo: 2,486
Tc*: 0,285 [s]

COEFFICIENTI SISMICI

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1.700
St: 1,000
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0.564
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,650
St: 1,000
Kh: 0,015
Kv: 0,007
Amax: 0.729
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,046
Kv: 0,023
Amax: 1.860
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,460
Cc: 1,590
St: 1,000
Kh: 0,056
Kv: 0,028
Amax: 2.303
Beta: 0,240

6.2 MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO

Nella progettazione di nuove opere o di interventi su opere esistenti, gli studi di Microzonazione Sismica evidenziano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento sismico atteso legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e di fenomeni di instabilità e deformazione permanente che possono essere attivati dal sisma.

Gli studi di Microzonazione Sismica, quindi, possono offrire elementi conoscitivi utili per la progettazione di opere, con differente incisività in funzione del livello di approfondimento e delle caratteristiche delle opere stesse, indirizzando alla scelta delle indagini di dettaglio.

Nel presente studio è stato eseguito un approfondimento di I° livello, mappando l'intera zona circostante l'area di sedime del parco eolico in progetto in zone a suscettibilità sismica differente.

Come riportato nell'elaborato T07 - Carta della Microzonazione Sismica in scala 1:5.000, l'area di sedime del parco eolico in progetto è diviso in varie zone sismiche differenti tutte classificate **Zone Stabili (b) suscettibili di amplificazioni locali.**

6.3 VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI SEDIME

Per la classificazione sismica dei terreni di sedime come terreni stabili soggetti ad amplificazione locale e non in zone suscettibili di instabilità, è stata presa in considerazione anche la potenziale suscettibilità alla liquefazione dei terreni.

Nelle NTC del 17-01-2018 vengono elencati tutti i casi di esclusione dalla verifica a Liquefazione dei terreni.

Dalla verifica eseguita emerge che i terreni di sedime del parco in progetto presentano una variabilità granulometrica, la quale in nessun caso può essere classificata sabbia sciolta o terreno prettamente sabbioso.

Infatti, dalla abbondante bibliografia esistente risulta che i terreni di sedime sono composti da sabbie argillose sabbia con clasti vulcanici e livelli cementati; inoltre, dalla verifica diretta di campagna è emerso che la falda freatica presente accumulatasi nei terreni sabbioso limosi nella zona di stretto interesse è stabilmente presente ad una profondità superiore ai 15.0 mt.

6.2 MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO

Per la stabilità geologico-tecnica del sito in esame si è anche focalizzata l'attenzione nel verificare la presenza di faglie sismogenetiche attive, sia il rilevamento di campagna, sia la lettura della bibliografia e cartografia geologica dell'area permettono di escludere la presenza di faglie attive che possano originare fratture superficiali che rendano instabile e pericoloso il sito per le opere in progetto.

Anche la presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA “ITaly HAZard from Capable faults”, disponibile on-line. Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

7. Considerazioni sui terreni di fondazione degli aerogeneratori in progetto

Il parco eolico in progetto è composto da n. 5 aerogeneratori disposti sulla piana racchiusa tra la valle del Fosso Capecchio e Fosso Pignattara presente a sud dell'abitato di Tarquinia.

In essa affiorano terreni di sedimentazione vulcanica composti da terreni prevalentemente sabbioso limosi di ambiente fluvio-lacustre ricchi di materiale vulcanico e depositi caotici grossolanamente laminati a matrice sabbiosa e flussi piroclastici.

I terreni presenti in questa piana sono terreni con discrete caratteristiche geotecniche; le cui caratteristiche sono state recuperate da analisi geotecniche rivenienti da indagini geognostiche precedenti, come il sondaggio geognostico eseguito per la progettazione del Parco Fotovoltaico di Pianzano allegato di seguito, oppure dalle indagini geotecniche eseguite sui depositi tufacei come indicato appresso.

6. PROVE DI LABORATORIO

Il campione indisturbato da cui sono state eseguite le prove di laboratorio è stato prelevato in parete manualmente e sagomato a regola d'arte per ricavare dei cubi di roccia da sottoporre a determinazioni fisiche e meccaniche. Il prelievo è stato eseguito sullo stesso litotipo sulla rupe occidentale di Canino, a circa 1km verso Nord, in occasione di un precedente lavoro svolto in data gennaio 2000.

Le prime hanno fornito un peso di volume medio $\gamma = 1.35 \text{ t/m}^3$

Le seconde sono consistite in prove di “compressione ad espansione laterale libera” (ELL) che hanno fornito un valore di tensione a rottura $\sigma = 28 \text{ kg/cm}^2$.

Tale grandezza caratterizza la resistenza a rottura della porzione integra della roccia, di conseguenza non è rappresentativa alla scala dell'ammasso roccioso che risulta minore a causa di porzioni di debolezza (meno cementate) o di piani di discontinuità.

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO COMUNE DI PIANSANO						
COMMITTENTE: ETRURIA ENERGY SRL AEROGENERATORE N. 24 GEOLOGO RESPONSABILE: EMMA BERNARDINI-347 6256318 IMPRESA AFFIDATARIA - ESECUTRICE: GEOVIT SAS - F.B. S.r.l.					METODO DI PERFORAZIONE: Carotaggio Continuo diametro 101mm	
DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA					DATA: 23.04.2009-24.04.2009	
Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Falda Di base	Campione	SPT	Classificazione Al sensi della D.G.R. N. 387 del 22.05.2009
0.30m		Terreno vegetale	Assente	C1	-3.50m 2-3-4	2B
6.50m		Piroclastite sabbiosa, leggermente limosa con inclusi scoriacei di colore marroncino-grigiastro				
9.00m		Lave di colore grigio scuro, fratturate		C2	-7.00m	
14.0m		Piroclastite sabbiosa di colore grigio con abbondanti inclusi lavici				
22.5m		Lave di colore grigio scuro, fratturate				
28.5m		Piroclastite sabbiosa di colore grigio amaranto con abbondanti inclusi lavici e scoriacei				
29.00m		Lava grigio scuro, fratturata				

PROVE DI LABORATORIO	
Campione n.: 1	
Peso nell'unità di volume: 17,785 KN/mc	
Umidità naturale: 30,59 %	
Prova di taglio diretto:	
C': 16,90 Kpa	
φ': 23,33°	
Categoria di terreno da SPT:D	

Di seguito si riportano i parametri di input utili per la determinazione delle fondazioni di cui dotate le strutture in progetto, desunti dalla bibliografia ufficiale e da campioni analizzati in laboratorio geotecnico come riportato nel capitolo precedente.

7.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

Per l'enorme estensione dell'area del Parco Eolico in progetto, per la variabilità dei terreni affioranti, da bibliografia consultata, si impone la presenza costante della falda freatica ad una profondità di -20.00 mt dal piano campagna, anche se la sua presenza e la sua profondità reale non è stata in questa fase verificata

- **- Valori medi (Vm) dei depositi prevalentemente sabbiosi limosi ricchi di materiale vulcanico**
 - Peso di volume naturale $P_v = 1.75 \text{ gr/cm}^3$
 - Coesione drenata $c' = 0,16 \text{ kg/cm}^2$
 - Angolo di attrito interno $\phi = 23.33^\circ$

- **- Valori medi (Vm) dei depositi piroclastici caotici e grossolanamente laminati**
 - Peso di volume naturale $P_v = 1.70 \text{ gr/cm}^3$
 - Coesione drenata $c' = 0,10 \text{ kg/cm}^2$
 - Angolo di attrito interno $\phi = 20.00^\circ$

8. Analisi di stabilità di versante

I n. 5 aerogeneratori e la sottostazione elettrica sono ubicati in zone pianeggianti o poco inclinate e lontani da versanti o cigli di scarpata la cui pendenza necessita di essere investigata tramite l'esecuzione di verifiche specifiche di stabilità di versante.

Particolare attenzione deve essere posta alla regimentazione delle acque meteoriche per evitare che, il loro ruscellamento selvaggio e la loro infiltrazione negli strati più superficiali possa innescare fenomeni di instabilità.

Comunque in fase esecutiva devono essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche nonché verifica di stabilità dei versanti sia ante che post opera.

Allo stato non esiste alcuna alterazione antropica (gallerie o cavità artificiali) che possa mutare completamente il regime statico dei terreni sedime di fondazione e la sua capacità portante.

9. Considerazioni conclusive

I lavori in progetto prevedono la costruzione di n. 5 macchine eoliche disposte su un'area pianeggiante compresa tra le valli del Fosso Capecchio e Fosso Pignattara presenti a sud-ovest dell'abitato di Tuscania, in cui affiorano terreni vulcanici dell'apparato Vulsino.

Tali opere trasmettono al terreno di fondazione un discreto carico unitario; pertanto, allo scopo di assicurare una buona stabilità del complesso terreno-fondazione, in relazione agli scarichi a livello d'imposta, le strutture fondali dovranno assolvere a vari compiti quali:

- avere una sufficiente superficie di contatto;
- avere una sufficiente sezione inerziale;
- avere adeguata rigidità tale da assorbire eventuali cedimenti.

La verifica delle fondazione deve necessariamente tenere conto dei fattori inerenti la stabilità dell'opera; composizione geotecnica dell'area di sedime; portanza del terreno; geologia della zona direttamente interessata e quella delle zone circostanti; stato di addensamento; compressibilità del terreno; permeabilità; falda acquifera; distribuzione nel terreno delle tensioni indotte; spessore dello strato reagente; zonazione sismica; consolidazione; condizioni orografiche e geomorfologiche; stabilità del versante; assetto intrafissurale del terreno di sedime.

L'ubicazione degli aerogeneratori, riportata in tutti gli elaborati cartografici, evidenzia l'ottima disposizione degli stesse in relazione alla litologia dei terreni affioranti e alla geomorfologia delle zone interessate.

In conclusione, dalle risultanze ottenute riportate nella presente relazione, sulla base degli elementi a disposizione derivanti dai dati fisici e meccanici ottenuti nella campagna di indagine eseguita, dai rilievi geologici e geomorfologici di superficie, considerando altresì le discrete qualità portanti del terreno, si evince che l'area in esame, da un punto di vista geologico-tecnico è idonea per la realizzazione del parco eolico in progetto.

Matera 19 gennaio 2024

Il Geologo
Dott. Maurizio Giacomino

INDICE

1. Premessa	1
2. Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico.....	3
3. Inquadramento Geologico Tettonico Regionale.....	4
3.1 Geologia dell'Area Oggetto di studio	5
4. Geomorfologia ed Idrogeologia	7
5. Campagna di Indagini Geognostiche.....	10
5.1 SISMICA A RIFRAZIONE CON TECNICA MASW	10
Acquisizione ed Interpretazione dei Dati	11
Stendimento Sismico MASW01	11
Stendimento Sismico MASW02	13
5.2 SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P E SH	15
Acquisizione ed Interpretazione dei Dati	17
Stendimento Sismico ST01	18
Stendimento Sismico ST02	20
6. Considerazioni sulla Sismicità dell'aera	21
6.1 PARAMETRI SISMICI DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO	21
6.2 MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO.....	24
6.3 VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI SEDIME.....	24
6.2 MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO.....	25
7. Considerazioni sui terreni di fondazione degli aereogeneratori in progetto	26
7.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO.....	28
8. Analisi di stabilità di versante	29
9. Considerazioni conclusive.....	30