



COMUNE DI APRICENA
PROVINCIA DI FOGGIA



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO

RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE UNICA

D.Lgs. 387/2003

**PROCEDIMENTO UNICO AMBIENTALE
(PUA)**

**Valutazione di Impatto Ambientale
(V.I.A.)**

D.Lgs. 152/2006 ss.mm.ii. (Art.27)

"Norme in materia ambientale"

PROGETTO

PROCINA

DITTA

AIP 1 S.r.l.

Relazione 2G

Titolo dell'allegato:

STUDIO GEOLOGICO

RELAZIONE GEOTECNICA

Scala -

1	EMISSIONE	03/05/2022
REV	DESCRIZIONE	DATA

CARATTERISTICHE GENERALI D'IMPIANTO

GENERATORE - Altezza mozzo: fino a 140 m.

Diametro rotore: fino a 180 m.
Potenza unitaria: fino a 8 MW.

IMPIANTO - Numero generatori: 18

Potenza complessiva: fino a 144 MW.

Il proponente:

AIP 1 S.r.l.
P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
0882/393197
aip1vento@pec.it

Il progettista:

ATS Engineering s.r.l.
P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
0882/393197
atseng@pec.it

Il tecnico:

Geo. Tecnologie S.p.A.
Carmela Serapino
geotecnologie@pec.it



Carmela Serapino
CARMELA SERAPINO
N° 668

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	MODELLO GEOLOGICO DEL SITO DI PROGETTO.....	4
4	CAMPAGNA GEOGNOSTICA	6
4.1	Sismica a rifrazione	6
4.2	Indagine sismica tipo Masw.....	7
4.3	Sondaggi geognostici	9
5	MODELLO GEOTECNICO	11
6	PARAMETRI SISMICI LOCALI.....	16
6.1	Pericolosità sismica di base ai sensi del D.M. 17/01/2018	17
7	CONCLUSIONI	22

1 PREMESSA

La presente relazione geologica, commissionata alla **Geo Tecnologie s.r.l.** dalla **AIP 1 s.r.l.**, è stata redatta per la definizione dei caratteri geotecnici dell'area nella quale è previsto il **“Progetto per la realizzazione di un parco eolico”**, ricadente nel comune di Apricena (Fg). Il parco eolico prevede la realizzazione di n.18 aerogeneratori tutti ricadenti nel territorio comunale di Apricena, a O e S dall'abitato, più precisamente in un'area compresa tra l'autostrada A14, la strada statale 16 e la strada statale 89.

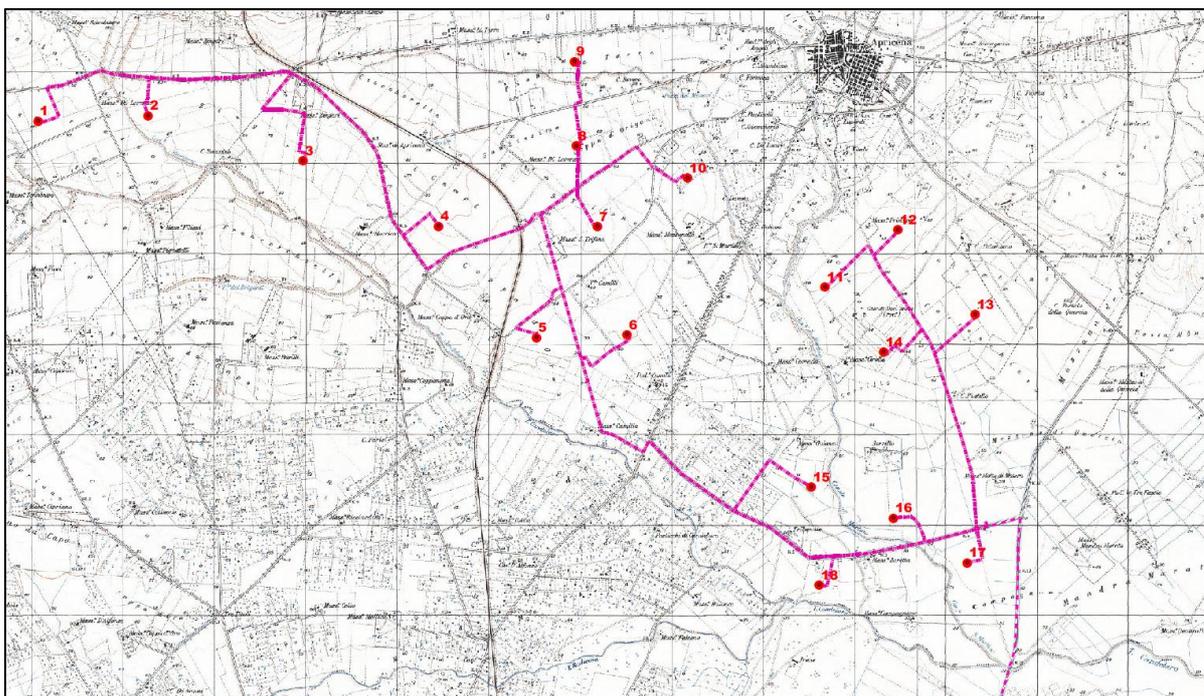


Figura 1 - Ubicazione aerogeneratori

In tale contesto è stata effettuata una campagna geognostica comprensiva di una base sismica a rifrazione di superficie in onde P ed S con elaborazione tomografica, e quattro indagini sismiche di tipo *Masw*.

Conoscendo l'andamento delle onde S nei primi 30 m di profondità, si è stabilita la categoria del sottosuolo; inoltre si sono definiti i parametri dinamici e gli spessori dei litotipi presenti nei pressi delle future posizioni di tre aerogeneratori di progetto.

Si è infine tenuto conto di studi effettuati in aree contigue con medesime caratteristiche geologico-tecniche dei litotipi affioranti e in particolare di due sondaggi geognostici effettuati nell'ambito del *“Progetto per la realizzazione di un parco eolico”* nel comune di San Paolo di Civitate (FG) commissionati dalla stessa Geo Tecnologie s.r.l..

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in conformità con quanto previsto dalla normativa al riguardo, ed in particolare:

- Decreto Ministeriale 14.17.2018. Testo Unitario-Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Istruzione per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009;
- Consiglio superiore dei Lavori Pubblici. Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007;
- Eurocodice 8 (1998)-Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);
- Eurocodice 7.1 (1997). Progettazione geotecnica-Parte I: regole generali.UNI.
- Eurocodice 7.2 (2002). Progettazione geotecnica-Parte II: progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI.
- Eurocodice 7.3 (2002). Progettazione geotecnica-Parte II: progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI.
- Norme Tecniche di Attuazione PAI Adb Puglia (Novembre 2005).

3 MODELLO GEOLOGICO DEL SITO DI PROGETTO

In considerazione del Foglio n. 396 “San Severo” e della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia, le formazioni geologiche affioranti vengono raggruppate in alcune macro-unità distinte in base all’età, alla litologia e all’ambiente di sedimentazione; esse sono: - Unità di Avanfossa; - Depositi Alluvionali. Di seguito saranno descritti i termini formazionali presenti (Fig. 2).

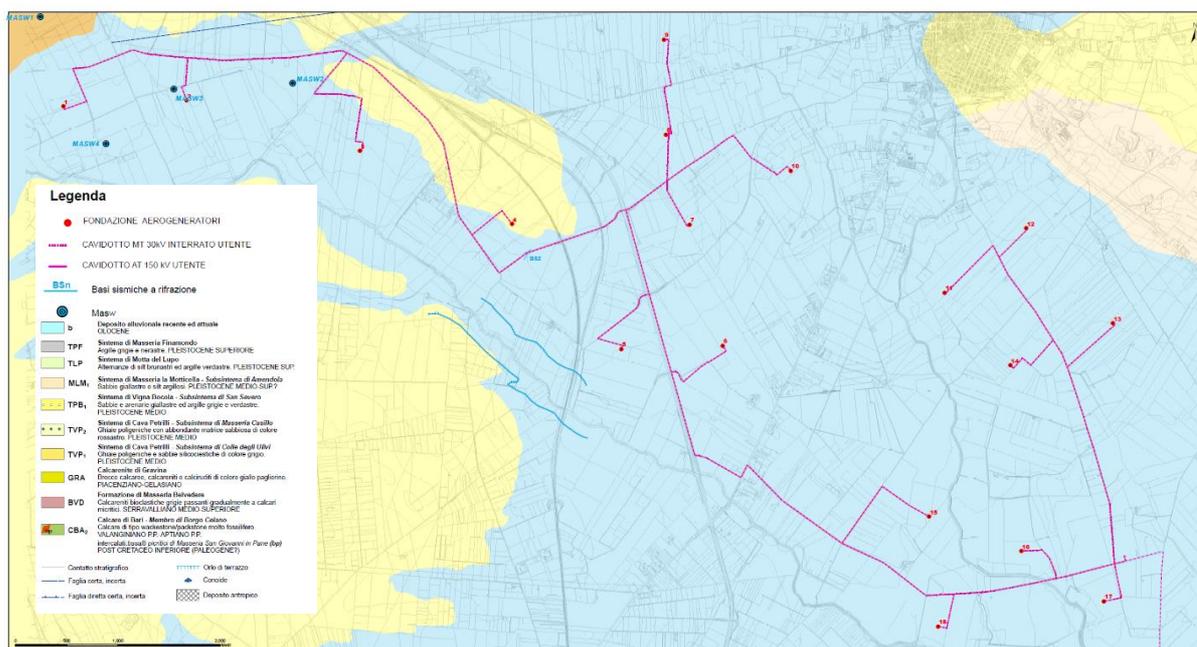


Figura 2 Stralcio carta geologica

- UNITÀ DI AVANFOSSA

- *Calcarene di Gravina (GRA)* - Breccie calcaree derivanti dall'erosione dal substrato calcareo immerse in packstone/grainstone bioclastici passanti gradualmente verso l'alto a calcareniti e calciruditi di colore giallo paglierino organizzate in banchi di spessore metrico con tessitura che varia da grainstone a wackestone in cui si distinguono grossi frammenti di lamellibranchi, briozoi, balanidi, echinidi, coralli, serpulidi, alghe calcaree coralline. Abbondante il contenuto in foraminiferi bentonici mentre i planctonici sono rari o assenti. Limite inferiore: poggia in discordanza sulle formazioni giurassico-cretaciche e sulla formazione di Masseria Belvedere. Il limite superiore è inconforme. La Calcarene di Gravina è ricoperta in discordanza dai depositi del subsintema di San Severo, del sistema di Motta del Lupo a dai depositi continentali tarrazzati di conoide. Da dati di pozzo si ricava che il limite superiore è

concordante con le argille subappennine. l'ambiente di sedimentazione è nel complesso neritico e tende gradualmente ad approfondirsi verso l'alto dove affiorano le facies meno grossolane attribuibili ad ambienti più tranquilli depositi al di sotto del limite di base del moto ondoso. Spessore affiorante: circa 30-40 m. (Piacenziano- Gelasiano)

Su tale formazione è prevista la realizzazione dell'aerogeneratore n. 4.

- DEPOSITO ALLUVIONALE RECENTE ED ATTUALE (*b*)

- Sabbie, limi e argille nerastre all'interno delle principali incisioni. In prossimità del Promontorio del Gargano ed all'interno delle valli fluvio-carsiche sono presenti clasti carbonatici con diametro variabile da 2 mm a 5-10 cm, diffusi o concentrati in lenti. Le conoidi alluvionali sono formate da sedimenti limoso-sabbiosi bruni e rossastri poco o per nulla diagenizzati con clasti carbonatici eterometrici a tessiture variabili da fangosostenuta a clasto-sostenuta. Poggiano sui depositi alluvionali di conoide terrazzati ed in copertura sulle unità più antiche. (Olocene)

Su tale formazione è prevista la realizzazione dei 17 aerogeneratori .

4 CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Per la determinazione delle principali caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nell'area di progetto si è fatto riferimento alla campagna geognostica già svolta nella fase progettuale precedente dalla stessa Geo Tecnologie s.r.l. (giugno 2012).

Tale campagna geognostica è stata integrata da ulteriori indagini geofisiche (profili Masw) eseguite nell'aprile 2013.

Si è infine tenuto conto dei dati di due sondaggi geognostici eseguiti nell'ambito di un altro lavoro svolto dalla Geo Tecnologie s.r.l. in un'area attigua a quella del parco in esame poiché essi attraversano alcuni dei litotipi di nostro interesse.

Nel complesso sono state effettuate quindi le seguenti indagini:

- n.1 stendimento sismico a rifrazione in onde P ed S;
- n.4 stendimenti sismici di tipo MASW;
- n.2 perforazioni a carotaggio continuo della profondità di 20 m cadauna.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella Carta geologica allegata. I risultati delle indagini sono stati utilizzati per redigere la Relazione geotecnica che integra e completa questo studio.

4.1 Sismica a rifrazione

Le indagini sismiche determinano, nelle opportune condizioni del sottosuolo, la velocità di propagazione delle onde elastiche P ed S, convertibili in moduli elastici dei terreni attraversati, in moduli di taglio e nel coefficiente di Poisson ν , conseguentemente, correlabili con le litologie presenti lungo la sezione di studio.

L'indagine geosismica (del tipo "a rifrazione" di superficie) è consistita nell'esecuzione di 1 Base Sismica di superficie, siglata B.S.2, in onde P e S.

La tecnica utilizzata è stata quella degli scoppi coniugati A e B, con scoppio centrale E e ulteriori 2 scoppi intermedi F e G per un totale di 5 punti di scoppio per ciascuna Base.

Per quanto riguarda la geometria adottata nelle Basi, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di 5,0 m; i punti di scoppio A e B sono a 2,5 m rispettivamente dal geofono G1 e dal G24, in posizione esterna allo stendimento geofonico, lo scoppio E è posto al centro dello stendimento stesso (fra i geofoni G12 e G13), gli scoppi F e G sono intermedi fra gli scoppi esterni e quello centrale (rispettivamente fra i geofoni G6 e G7 e fra i geofoni G18 e G19). Quindi, l'intero stendimento per ognuna di queste Basi risulta di 120 m in onde P e di 120 m in onde S.

Complessivamente, pertanto, sono state eseguite prospezioni sismiche per 240 m in onde P e per altrettanti 240 m in onde S. La profondità di investigazione raggiunta è valutabile in circa 30 m dal piano campagna.

I sismogrammi sperimentali, registrati sul disco fisso del computer portatile in campagna, sono stati letti, elaborati ed interpretati utilizzando un procedimento informatico basato sull'utilizzo di due programmi della Interpex Limited (Firstpix e Gremix). Per le onde S, il rilievo dei tempi di primo arrivo è stato condotto anche per confronto delle tracce sismiche ottenute da scoppi bidirezionali eseguiti in uno stesso punto (ed indicati ad esempio con A+ e A-). I tempi di primo arrivo delle onde così ottenuti, sono riportati nei diagrammi tempi-distanze .

L'interpretazione congiunta delle dromocrone, effettuata anch'essa con l'ausilio dell'elaboratore e con metodologia GRM (programma Gremix), ha fornito i valori delle velocità (in m/sec) delle onde P e S ed i valori delle profondità (in m) dei rifrattori (discontinuità fisiche) nei sismostrati lungo i profili in esame; questi dati hanno consentito l'elaborazione delle Sezioni Sismostratigrafiche (che presentano un modello a tre strati).

Le velocità delle onde sismiche nei sismostrati e le profondità dei rifrattori individuati sono leggibili graficamente nelle stesse sezioni. Per comodità di lettura le velocità V_p e V_s nonché gli spessori medi h calcolati lungo le sezioni sono riportati nella tabella seguente:

BASE B.S.2	V_p (m/sec)	h (m)	V_s (m/sec)
<i>sismostrato 1</i>	290	1.1	120
<i>sismostrato 2</i>	640	6.8	250
<i>sismostrato 3</i>	1080	-	540

Tabella 1 Velocità delle onde P ed S e ricostruzione sismostratigrafica per lo stendimento effettuato

Maggiori dettagli sui risultati ottenuti dalle prove sismiche a rifrazione verranno forniti nel <Cap. 5. Modello geotecnico>.

4.2 Indagine sismica tipo Masw

L'indagine geosismica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è consistita nell'esecuzione di 4 Profili, siglati:

- *MASW1, MASW2, MASW3 e MASW4* effettuati nei pressi degli aerogeneratori.

Per quanto riguarda la geometria adottata per le indagini, sono stati utilizzati 24 geofoni disposti sul terreno con una spaziatura di 1,5 m; sono state effettuate diverse registrazioni in due punti di scoppio siglati P5 e P10 posti rispettivamente a 5 e a 10 m dal geofono G1, lungo lo stesso allineamento, in posizione esterna allo stendimento geofonico. Quindi, l'intero stendimento per il Profilo eseguito risulta di 44,5 m.

La profondità di investigazione raggiunta è valutabile in circa 30 m dal piano campagna e la verticale indagata passa all'incirca dalla metà dello stendimento geofonico (grosso modo tra i geofoni G12 e G13). Delle diverse registrazioni eseguite è stata individuata quella con il migliore rapporto segnale/rumore ed è stata elaborata ed interpretata utilizzando un procedimento informatico basato sull'utilizzo del software *winMASW* della Eliosoft. Ottenuto il grafico *Frequenza/Velocità di Fase* si è proceduto con il picking (cioè con la selezione dei punti di massima intensità del segnale); questa operazione ha consentito di ottenere la *curva di dispersione* la cui inversione ha fornito infine il profilo verticale delle Vs. Va notato che il processo di inversione della *curva di dispersione* può portare a più di una soluzione e quindi a più di una sequenza sismostratigrafica, ma la velocità media ponderale calcolata fino a 30 m di profondità (o comunque per 30 m di profondità a partire dal piano di fondazione presunto) non cambia in maniera significativa. Pertanto, il valore di Vs30 ottenuto è da considerarsi attendibile e valido, mentre la sequenza sismostratigrafica desunta può presentare un margine di variabilità negli spessori e nelle velocità dei singoli sismostrati più o meno significativo. Di seguito si riporta in Tabella 2 la sequenza sismostratigrafica ottenuta nei quattro siti di prova (dove Vs è la velocità delle onde S in m/sec dell'iesimo strato, z è la profondità in metri del letto dell'iesimo strato, h è lo spessore in metri dell'iesimo strato).

MASW1	Vs (m/sec)	z (m)	h (m)
strato 1	211	1.0	1.0
strato 2	145	2.2	1.2
strato 3	220	3.8	1.6
strato 4	342	5.7	1.9
strato 5	378	8.2	2.5
strato 6	314	11.2	3.0
strato 7	261	15.0	3.8
strato 8	573	19.8	4.8
strato 9	720	25.8	6.0
strato 10	985	30.0	4.2
MASW2	Vs (m/sec)	z (m)	h (m)
strato 1	296	5.4	5.4
strato 2	423	16.4	11.0
strato 3	626	30.0	13.6
MASW3	Vs (m/sec)	z (m)	h (m)
strato 1	184	3.7	3.7
strato 2	394	15.7	12.0
strato 3	698	30.0	14.3
MASW4	Vs (m/sec)	z (m)	h (m)
strato 1	179	2.4	2.4
strato 2	447	15.4	13.0
strato 3	1228	30.0	14.6

Tabella 2 Sequenza sismostratigrafica ottenuta

Ulteriori indicazioni sui risultati delle prove Masw verranno forniti nel <Cap. 6. Parametri sismici locali>.

4.3 Sondaggi geognostici

Le perforazioni a carotaggio continuo alle quali si fa riferimento, siglate S1 ed S2, sono state effettuate dalla ditta *INGEO s.r.l.* (Certificazione Ministeriale n.5036) nell'ambito del "Progetto per la realizzazione di un parco eolico" nel comune di San Paolo di Civitate (FO) ed hanno entrambe una lunghezza di 20 m. Tali perforazioni, la cui ubicazione è riportata nell'allegato *Colonne stratigrafiche*, sono state eseguite "a secco", compatibilmente con le caratteristiche dei terreni attraversati con carotiere semplice e manovre di lunghezza tale da garantire il massimo recupero di materiale ed il minimo disturbo.

La sonda impiegata è di tipo tradizionale a rotazione con testa idraulica in grado di agire sia in rotazione che con percussione in modo da poter inserire anche l'eventuale tubazione di rivestimento senza o con poca circolazione di fluido.

Il carotiere utilizzato è di tipo a pareti sottili con diametro di 80 mm.

Le "carote" estratte sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di scomparti divisori e coperchio, opportunamente siglate e fotografate.

Sono state inoltre eseguite prove penetrometriche SPT, impiegando un campionatore standard a punta chiusa e prove scissometriche (Vane test) mediante l'uso di uno scissometro ad alta capacità.

I risultati delle suddette prove, assieme alla descrizione delle colonne stratigrafiche e alla quota della superficie piezometrica per i due sondaggi, vengono riportati nell'allegato *Colonne litostratigrafiche*.

Infine, sono stati prelevati n.4 campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e litotecniche dei suoli che costituiranno le fondazioni delle opere di progetto. Nell'allegato *Prove di laboratorio* viene riportata la tabella riassuntiva delle prove effettuate sui 4 campioni e i certificati di laboratorio relativi al campione di sabbia i cui parametri verranno utilizzati nel capitolo 5 Modello geotecnico.

5 MODELLO GEOTECNICO

Sulla scorta delle risultanze delle indagini dirette e indirette effettuate sul sito di progetto o in aree attigue, è stato possibile caratterizzare, dal punto di vista geotecnico, alcuni orizzonti litologici che costituiranno il terreno di fondazione delle opere da realizzare.

Inoltre, considerando i valori di velocità delle onde sismiche P ottenuti dalle Basi sismiche eseguite, sono stati ricavati i moduli dinamici del sottosuolo in esame e relativi a ciascun orizzonte sismico individuato; tali parametri sono: il Coefficiente di Poisson (ν), il Modulo di Young (**E**, in Kg/cm²), il Modulo di Taglio (**G**, in Kg/cm²) e il Modulo di compressibilità (**K**, in Kg/cm²); è stata calcolata anche la Rigidità Sismica **R** (definita come il prodotto fra peso di volume e velocità delle onde S, in t/m³*Km/sec).

L'elaborazione dei risultati ottenuti ha permesso di ricostruire la successione litologica che è possibile prevedere nel sottosuolo dell'area in esame; in particolare essa, a partire dall'alto, è costituita da tre sismo strati (Figg. 2 e 3):

B.S.2:

Dall'alto verso il basso sono stati individuati 3 sismostrati:

- **ammasso superficiale** ($V_p = 290$ m/sec, $V_s = 120$ m/sec, spessore circa 1,1 m), rappresentato da un ammasso "prevalentemente terroso", correlabile a terreno vegetale e/o di riporto, sabbioso-limoso con qualche elemento lapideo, aerato, molto poco addensato e compatto, eterogeneo lateralmente;

- **ammasso intermedio** ($V_p = 640$ m/sec, $V_s = 250$ m/sec, spessore circa 6,8 m), rappresentato da un ammasso "prevalentemente terroso", correlabile a sabbie dallo stato sciolto a poco cementate, con livelli di conglomerati e di argille, da poco a mediamente addensato e compatto, eterogeneo lateralmente;

- **ammasso di base** ($V_p = 1080$ m/sec, $V_s = 540$ m/sec, spessore >20 m), rappresentato da un ammasso "prevalentemente terroso", correlabile a sabbie a variabile grado di cementazione, con livelli di conglomerati e di argille, da mediamente a molto addensato e compatto, eterogeneo lateralmente.

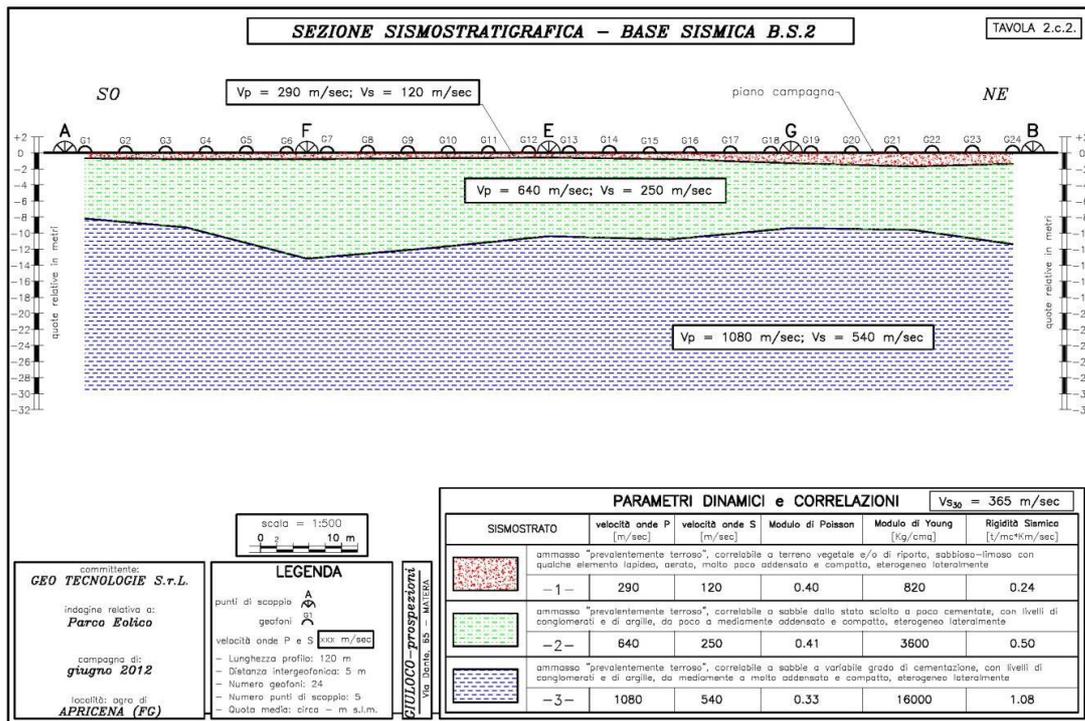


Figura 4 Sezione sismostratigrafica B.S.2.

Nell'elaborazione tomografica relativa alla Base Sismica B.S.2 (Fig. 5), l'andamento delle curve ad uguale velocità di propagazione delle onde sismiche (isolinee) risulta molto irregolare, sia in superficie che in profondità, con:

- una sottile e quasi continua coltre superficiale “lenta” (colore del retino tendente dal giallo al rosso, limite inferiore intorno all’isolina 500 m/sec) caratterizzata da isolinee ad andamento solo blandamente irregolare, che evidenziano quindi una debole eterogeneità laterale delle caratteristiche elastiche dei litotipi che la costituiscono; lo spessore è sempre esiguo (<1 m); questo orizzonte è correlabile a terreno vegetale e/o di riporto, sabbioso-limoso con qualche elemento lapideo;

- una coltre intermedia relativamente più “veloce” (colore del retino dal verde al ciano, limite superiore intorno all’isolina 500 m/sec, limite inferiore intorno all’isolina 1000 m/sec) e dove la velocità aumenta rapidamente con la profondità nella parte alta (fino alla 700 m/sec), più lentamente con la profondità nella parte bassa, caratterizzata da isolinee ad andamento poco regolare che suggeriscono una certa eterogeneità laterale; lo spessore di questa coltre è intorno ai 10-12 m di spessore e aumenta verso la parte terminale del profilo indagato; questo orizzonte è correlabile a sabbie dallo stato sciolto a poco cementate, con livelli di conglomerati e di argille;

- un substrato ancora più “veloce” (colore del retino tendente al blu, limite superiore intorno all’isolina 1000 m/sec e limite inferiore a fondo sezione) e dove la velocità aumenta poco rapidamente con la profondità, caratterizzato da isolinee ad andamento ancora poco regolare che evidenziano delle variazioni laterali nel grado di addensamento e compattezza (e di cementazione) dei litotipi; questo orizzonte è correlabile a sabbie a variabile grado di cementazione, con livelli di conglomerati e di argille.

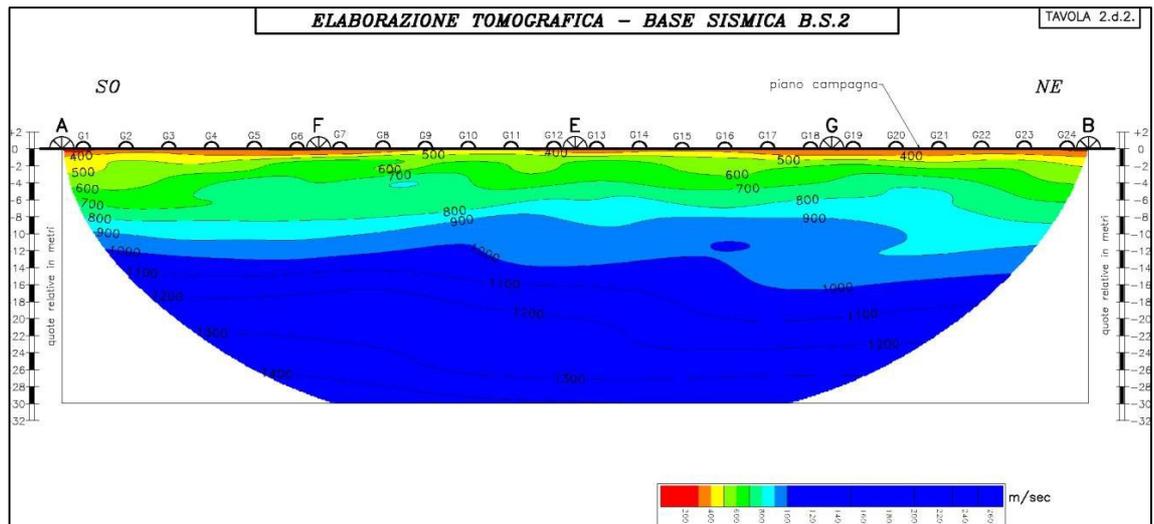


Figura 5 Elaborazione tomografica della base sismica B.S.2.

Nella tabella seguente è stato indicato il valore dei parametri dinamici calcolati assumendo come valore di peso di volume 2 (γ , in g/cm³); per ottenere i rispettivi valori dei parametri dinamici basta moltiplicare per 2 il singolo valore e dividere il tutto per il valore del peso di volume associato ad ogni sismostrato.

<i>BASE B.S.2</i>	<i>Vp (m/sec)</i>	<i>Vs (m/sec)</i>	<i>v</i>	<i>γ</i>	<i>E</i>	<i>G</i>	<i>K</i>	<i>R</i>
<i>sismostrato 1</i>	310	120	0.41	2.00	830	290	1600	0.24
<i>sismostrato 2</i>	760	210	0.46	2.00	2600	900	11000	0.42
<i>sismostrato 3</i>	1520	390	0.46	2.00	9100	3100	43000	0.78

Tabella 3 Parametri dinamici ricavati dalla B.S.2.

I dati dell’indagine sismica hanno, inoltre, permesso di calcolare i valori di Rigidità Sismica dei singoli orizzonti al fine di valutare ad esempio l’amplificazione sismica locale.

È possibile indicare, quindi, i seguenti parametri per le varie litologie utili ai fini delle indicazioni sull’interazione terreno-struttura e sulla stabilità dell’area oggetto dell’intervento.

In tale paragrafo vengono forniti i parametri geotecnici delle varie litologie interessate dalle opere in progetto, senza fornire un modello geotecnico specifico per singolo aerogeneratore o per gruppo di aerogeneratori.

Per quanto riguarda gli aerogeneratori sui depositi sabbiosi il modello geotecnico è a tre strati.

Il primo strato dello spessore circa di 1 m è costituito da terreno agrario di natura sabbioso-limosa con qualche elemento lapideo, aerato, molto poco addensato e compatto, eterogeneo lateralmente, potrebbe presentare le seguenti caratteristiche geotecniche:

Peso di volume γ (kN/m ³)	16,0
Coesione c' (kN/m ²)	0
Angolo di attrito interno Φ (°)	24

Il secondo orizzonte, presenta spessori dai 4 ai 6 m, è costituito da depositi sabbiosi dallo stato sciolto a poco cementate, con livelli di conglomerati e di argille, da poco a mediamente addensato e compatto, eterogeneo lateralmente; considerando dati provenienti da analisi di laboratorio effettuate su campioni dello stesso litotipo prelevati in aree contigue a quelle di progetto (crf. *Prove di laboratorio*), dovrebbe presentare le seguenti caratteristiche geotecniche:

Peso di volume γ (kN/m ³)	19,6
Coesione c' (kN/m ²)	27
Angolo di attrito interno Φ (°)	23

Il terzo orizzonte è costituito da sabbie a variabile grado di cementazione, con livelli di conglomerati e di argille, da mediamente a molto addensate e compatte, eterogenee lateralmente, potrebbe presentare le seguenti caratteristiche geotecniche:

Peso di volume γ (kN/m ³)	19,5
Coesione c' (kN/m ²)	30
Angolo di attrito interno Φ (°)	24

Per i terreni ghiaioso-conglomeratici, i parametri geotecnici potrebbero essere i seguenti:

Peso di volume γ (kN/m ³)	20,0
Angolo di attrito interno Φ (°)	30

Per quanto riguarda i depositi fluviali terrazzati limo-sabbiosi si ipotizzano, sempre in base a dati provenienti da studi in aree contigue, i seguenti parametri geotecnici:

Peso di volume γ (kN/m ³)	18,0
Coesione c' (kN/m ²)	20
Angolo di attrito interno Φ (°)	24

Infine, per il litotipo calcarenitico si possono utilizzare i seguenti parametri geotecnici:

Peso di volume γ (kN/m ³)	20,0
Coesione c' (kN/m ²)	150
Angolo di attrito interno Φ (°)	28

6 PARAMETRI SISMICI LOCALI

L'accelerazione sismica è influenzata dalle condizioni stratigrafiche del suolo:

Categorie di sottosuolo:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (*volume significativo* di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (m/s). Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso in esame sono stati desunti i parametri riportati nella tabella seguente sulla base dei dati di input (che dovranno essere confermati dal progettista delle strutture):

Le indagini sismiche effettuate sono state opportunamente ubicate per indagare i vari tipi litologici affioranti coprendo al meglio l'areale del parco. Ne è risultato che il sottosuolo dell'area in esame è associabile alla categoria B (Tab. 4).

BASE SISMICA	V_{s30} (m/sec)
B.S.1	530
B.S.2	365
Profilo MASW	V_{s30} (m/sec)
MASW1	390
MASW2	456
MASW3	421
MASW4	556

Tabella 4 Valori delle V_{s30} ottenuti dalle prove sismiche.

6.1 Pericolosità sismica di base ai sensi del D.M. 17/01/2018

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Per i valori di a_g , F_0 e T_c necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli allegati A e B delle NTC 2008 ed eventuali successivi aggiornamenti, *la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:*

☞ in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopraccitate;

☞ in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (distanti non più di 10 km);

☞ per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno dell'azione sismica T_R 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 in seguito (e specificati nelle 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.

Allo stato attuale la “pericolosità sismica di base” è stata definita su tutto il territorio nazionale dall'INGV attraverso un reticolo di riferimento con una maglia avente passo <10 km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso fra 30 e 2475 anni, estremi inclusi. I dati sono disponibili sono consultabili sul sito web <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Le azioni di progetto quindi si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste nella vigente normativa (NCT) sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri seguenti:

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o : 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.

I suddetti parametri si determinano sulla base del reticolo definendo, innanzitutto, la vita di riferimento V_R (dipendente dalla vita nominale e dalla classe d'uso di una costruzione) e la probabilità di eccedenza nella vita P_{VR} di riferimento associate a ciascuno degli stati limite considerati e quindi calcolando il periodo di ritorno di riferimento T_R . Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati dalla Normativa, sono riportate nella successiva tabella:

Stati limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi di riferimento, i valori dei parametri (F_0 , a_g e T_c^*) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame secondo quanto indicato nell'Allegato A delle NTC. La determinazione dei parametri sismici può essere effettuata mediante l'utilizzo di alcuni software come "Spettri di risposta 1.03" disponibile all'indirizzo web: <http://www.infrastrutture.gov.it> oppure il software "Geostru PS" (disponibile http://www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx) che permettono di ottenere i dati relativi sismici inserendo le *coordinate geografiche relative all'area in esame, la classe d'uso dell'opera e la sua vita nominale*.

Sito in esame:

Coordinate geografiche a centro dell'area = *Latitudine: 40.710538°; Longitudine: 16.868193°*

- Vita nominale (V_n) = **50 anni**
- Classe d'uso: **II**
- Coefficiente d'uso C_u : **1**
- Categoria sottosuolo : **B**
- Categoria topografica : **T1**

Siti di riferimento:

Sito 1 ID: 28998 Lat: 41,7708 Lon: 15,3004 Distanza: 4097,413

Sito 2 ID: 28999 Lat: 41,7697 Lon: 15,3674 Distanza: 2676,337

Sito 3 ID: 28777 Lat: 41,8197 Lon: 15,3689 Distanza: 4155,206

Sito 4 ID: 28776 Lat: 41,8208 Lon: 15,3019 Distanza: 5185,465

Di seguito si riportano i relativi parametri sismici associati ai diversi stati limite.

The screenshot displays a software interface for seismic analysis. On the left is a map showing a red square area with vertices labeled 1, 2, 3, and 4. The central panel, titled 'Stati limite', shows a table of seismic parameters for different limit states (SLO, SLD, SLV, SLC) based on a 'Classe Edificio' of 'II. Affollamento normale'. The right panel, 'Coefficienti sismici', shows various seismic coefficients for different categories and limit states.

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,057	2.460	0,280
Danno (SLD)	50	0,075	2.487	0,292
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,206	2.452	0,331
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,272	2.431	0,341
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,14
CC Coeff. funz categoria	1,42	1,41	1,37	1,36
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]	0,6			
kh	0,014	0,018	0,069	0,087
kv	0,007	0,009	0,035	0,043
Am _{ax} [m/s ²]	0,667	0,878	2,423	3,039
Beta	0,200	0,200	0,280	0,280

Parametri sismici

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,057 g
 Fo: 2,460
 Tc*: 0,280 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,075 g
 Fo: 2,487
 Tc*: 0,292 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0,206 g
 Fo: 2,452
 Tc*: 0,331 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,272	g
Fo:	2,431	
Tc*:	0,341	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,420
St:	1,000
Kh:	0,014
Kv:	0,007
Amax:	0,667
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,000
Kh:	0,018
Kv:	0,009
Amax:	0,878
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,370
St:	1,000
Kh:	0,069
Kv:	0,035
Amax:	2,423
Beta:	0,280

SLC:

Ss:	1,140
Cc:	1,360
St:	1,000
Kh:	0,087
Kv:	0,043
Amax:	3,039
Beta:	0,280

7 CONCLUSIONI

Ai fini del **“Progetto per la realizzazione di un parco eolico”**, ubicato nel territorio comunale di Apricena (Fg), sono stati analizzati gli aspetti geotecnici per la realizzazione del parco in oggetto e relative opere annesse.

Le basi sismiche effettuate hanno fornito i valori delle velocità delle onde P ed S e dei parametri dinamici relativi ai terreni attraversati dalle stesse, ed inoltre hanno consentito di valutare indicativamente gli spessori dei litotipi in questione.

Sulla base di dati ricavati dalle indagini geognostiche svolte nelle varie fasi progettuali, si sono parametrizzati i depositi che saranno interessati dalle fondazioni delle opere in progetto.

Le caratteristiche geotecniche di alcuni dei litotipi presenti in zona potrebbero non essere quelle citate in tale studio, poiché acquisite da lavori effettuati nelle vicinanze del sito in questione, quindi per una migliore caratterizzazione geotecnica dei terreni ivi presenti, in fase esecutiva, si dovranno effettuare ulteriori indagini geologiche (sondaggi geognostici), che ci potranno dare certezze anche sugli spessori dei vari orizzonti.

Ai fini delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del gennaio 2018 la categoria di suolo indagata è la B.