

COMUNI DI SAN PANCRAZIO SALENTINO - SAN DONACI - CELLINO SAN MARCO

PROVINCIA DI BRINDISI

PROGETTO AGROVOLTAICO "AGROVOLTAICO AGRIENERGY"

IMMAGINIAMO
IL FUTURO



PROGETTO

ingveprogetti s.r.l.s.

via Geofilo n.7-72023, Mesagne (BR)
email: info@ingveprogetti.it

RESPONSABILE DEL PROGETTO
Ing. Giorgio Vece

COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO DENOMINATO "AGROVOLTAICO AGRIENERGY", SITO NEI COMUNI DI SAN PANCRAZIO SALENTINO (BR) SAN DONACI (BR) E CELLINO SAN MARCO (BR), POTENZA NOMINALE PARI A 44.200,00 KWN E POTENZA DI PICCO (POTENZA MODULI) PARI A 53.146,80 KWP

Oggetto: Relazione Sismica

PROGETTISTA: Dr. Geol. Jean Vincent C. A. STEFANI

NOME FILE: 7Q7I0K8_DocumentazioneSpecialistica_12

SCALA:

TIMBRO E FIRMA:



N°	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	OTTOBRE 2021	PRIMA EMISSIONE	Dr. Geol. Jean Vincent C. A. STEFANI	ING. GIORGIO VECE	
01					
02					
03					



Committente: ALDROSOLAR S.R.L.

Rotonda G.A. Torri, n°9
40127 Bologna(BO)
Cod. Fisc & P. IVA 03920451204

INDICE RELAZIONE SISMICA

1. PREMESSA	pag. 3
2. UBICAZIONE SITO	pag. 3
3. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DELL'AREA	pag. 3
4. INDAGINE SISMICA	pag. 8
5. SISMICITA' DELL'AREA	pag. 6
6. MODELLO SISMICO DELL'AREA DI SEDIME	pag. 11
7. CONCLUSIONI	pag. 12

RELAZIONE SISMICA

1. PREMESSA

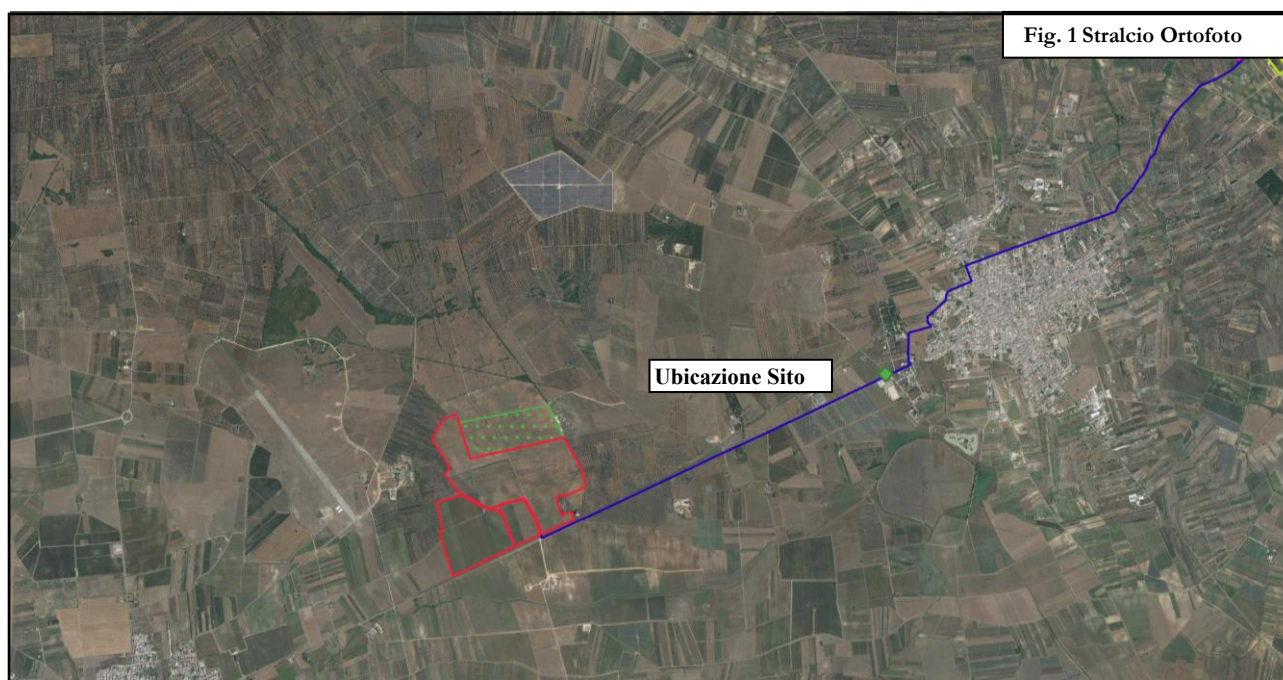
Il seguente lavoro riguarda lo studio sismico di un lotto di un lotto su richiesta della ALDROSOLAR s.r.l.. Lo studio è finalizzato al progetto inerente la realizzazione di un impianto fotovoltaico connesso alla rete elettrica di distribuzione su terreno sito nell'agro di San Pancrazio Salentino (BR).

Le indagini sono state svolte in accordo alla Normativa D.M. n. 8 del 17/01/2018. La presente relazione ha anche come contenuti la definizione del terreno in materia di prevenzione sismica.

I dati sismici sono stati acquisiti mediante indagini geognostiche con l'uso del metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), effettuati sul sito, oltre che dallo studio della cartografia geologica disponibile dell'area (Fig. 203 Brindisi del Servizio Geologico d'Italia alla scala 1:100.000).

2. UBICAZIONE SITO

Il sito di studio è ubicato nell'agro di San Pancrazio Salentino (cfr. Fig. 1). Topograficamente, l'area ricade nella II N.E. "San Donaci" del foglio 203, edito dall'I.G.M. Il sito ha coordinate UTM WGS84 33N di Y: 4479898 di Latitudine N e X: 744000 di Longitudine E rispetto al meridiano di Greenwich, per una altitudine variabile tra 40 e 43 metri s.l.m. in catasto il sito ricade al Foglio n° 24 p.lle: 132, 135, 40, parte della 129 e foglio 17 p.lle 2, 36, e parte delle p.lle 29, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 38.



3. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DELL'AREA

La stratigrafia dell'area è stata ottenuta tramite rilevamento geologico di superficie, dalla lettura della cartografia geologica disponibile dell'area (Foglio 203 Brindisi) e da indagini sismiche effettuate sul sito.

In affioramento si rinviene del terreno vegetale e alluvionale limoso dello spessore medio variabile da 0,5 – 1,0 metri.

Al di sotto si rinvergono le Calcareniti di Gravina, costituiti da sabbia calcarea mediamente o ben cementate e piuttosto compatta per spessori medi di 5 – 10 metri.

Nella parte Sud-Ovest del sito si rinvennero dopo lo strato di terreno vegetale, le Calcareniti dei Depositi Marini Terrazzati, costituiti da sabbie calcaree e calcarenitiche mediamente cementate di spessore massimo di almeno 5 metri. Queste ultime poggiano sulle Calcareniti di Gravina.

STRATIGRAFIA GEOLOGICA E TECNICA DEL SITO					
Profondità dal p.c. (mt.)	Potenza strati (mt.)	Colonna Stratigrafica	Descrizione Geolitologica	Angolo attrito (°)	Falda Acquifera
0,5 - 1,0	0,5 - 1,0		Terreno vegetale e alluvionale	13	
5,5 - 11	5,0 - 10		Calcareniti di Gravina costituite da arenarie mediamente cementate con granulometria da media a grossolana, colorazione bianco giallastra (Pliocene Superiore)	26 - 30	
oltre 30 metri			Calcere di Altamura fratturato, con riempimenti di terra rossa. (Cretaceo Superiore)	36 - 40	<u>39 - 40 mt.</u>

Fig. 2 Stratigrafia dell'area

STRATIGRAFIA GEOLOGICA E TECNICA DEL SITO					
Profondità dal p.c. (mt.)	Potenza strati (mt.)	Colonna Stratigrafica	Descrizione Geolitologica	Angolo attrito (°)	Falda Acquifera
0,5 - 1,0	0,5 - 1,0		Terreno vegetale e alluvionale	13	
1,5 - 6	1,0 - 5,0		Calcareniti di colore giallastre del Deposito Marino Terrazzato (Pleistocene Medio-Superiore)	26 - 28	
11 - 16	10		Calcareniti di Gravina costituite da arenarie mediamente cementate con granulometria da media a grossolana, colorazione bianco giallastra (Pliocene Superiore)	26 - 30	
oltre 30 metri			Calcere di Altamura fratturato, con riempimenti di terra rossa. (Cretaceo Superiore)	36 - 40	<u>37 - 39 mt.</u>

Fig. 3 Stratigrafia dell'area zona S-O

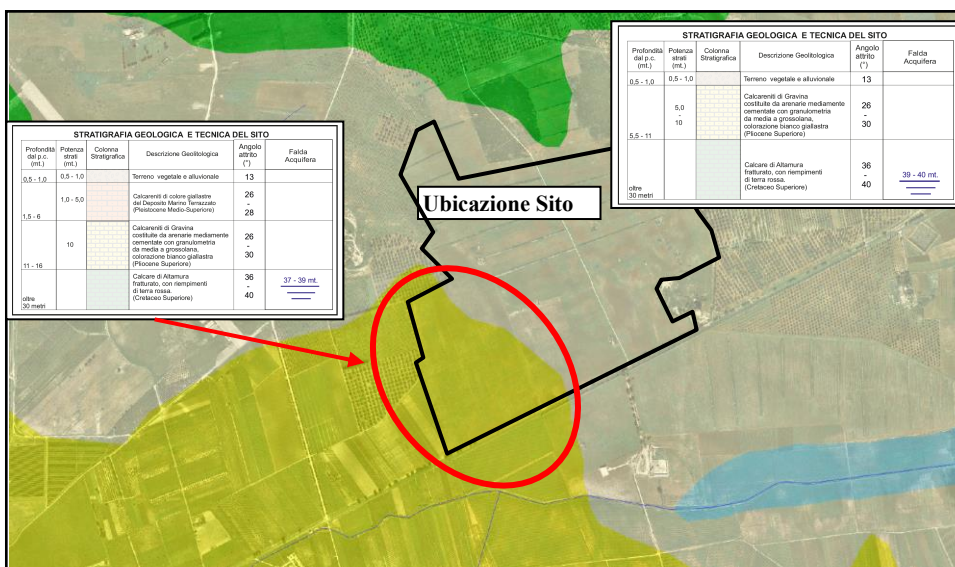


Fig. 4 planimetria Stratigrafia dell'area

4. INDAGINE SISMICA

Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dell'area sono state ottenute elaborando i dati provenienti da un'indagine geognostica indiretta (sismica MASW) eseguita sul sito.

RIEPILOGO INDAGINI ESEGUITE	
Tipologia	Caratteristiche indagate
Sismiche MASW e a Rifrazione	Stratigrafiche, Vseq e Geotecniche

Indagine MASW

Cenni sulla teoria del metodo sismico

Il metodo di esplorazione sismica utilizza la propagazione delle onde meccaniche per caratterizzare le proprietà elastiche del sottosuolo e quindi la geometria dei mezzi attraversati. La tecnica di base consiste nel generare delle onde meccaniche, mediante sorgenti poste in punti opportunamente scelti sulla superficie topografica, e nel misurare i tempi impiegati dalle perturbazioni elastiche per raggiungere i geofoni, anch'essi opportunamente posizionati sulla superficie topografica. In particolare, l'esplorazione eseguita con il metodo della rifrazione si basa sull'analisi del tempo di arrivo dell'onda diretta e delle onde di testa; queste ultime sono onde rifratte che si determinano nel caso in cui la velocità di propagazione delle onde è crescente con la profondità, quando l'angolo di incidenza è critico. L'obiettivo principale del metodo sismico tomografico a rifrazione è quello di determinare la velocità e le sue variazioni nel mezzo indagato, utilizzando i tempi di viaggio ottenuti da un rilievo di sismica a rifrazione.

La relazione tra velocità dell'onda sismica e tempi di viaggio del raggio sismico è, per un set di M raggi: $\delta \mathbf{t} = \mathbf{A} \delta \mathbf{v}$ (1)

dove $\delta \mathbf{t}$ = vettore tempi di viaggio residui ($t_{\text{osservati}} - t_{\text{calcolati}}$), \mathbf{A} = matrice Jacobiana $\partial t_i / \partial v_j$, e $\delta \mathbf{v}$ = vettore velocità di perturbazione.

Un approccio alternativo è quello che introduce il concetto di lentezza dell'onda.

Se si definisce la lentezza dell'onda come $u(x) = v^{-1}(x)$, allora la (1) diventa: $\mathbf{t} = \mathbf{A} \mathbf{u}$ (2)

dove \mathbf{t} = vettore tempi di viaggio osservati, $\mathbf{A} = dl_{ij}$ = matrice delle lunghezze dei percorsi parziali, \mathbf{u} = vettore valori della lentezza.

Gli elementi A_{ij} rappresentano la lunghezza del percorso dell'i-esimo raggio nella j-esima cella. Pertanto note le velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo è possibile stabilire la qualità di una formazione geologica.

Attraverso l'utilizzo delle velocità di propagazione delle onde P ed S, si può stimare i valori di densità di massa (ρ) delle formazioni geologiche indagate. La relazione empirica utilizzata per la stima di ρ è: $\rho = 0.23 V_p^{0.25}$. E' possibile il calcolo del coefficiente di Poisson (σ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G). E Modulo Elastico statico: $(E_d - 0.97)/8.3$

$$\sigma = \frac{0.5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1} \quad E_d = \rho V_s^2 \frac{\left(3 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 4 \right)}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 4} \quad G = \rho V_s^2$$

Esecuzione delle indagini

Le indagini sono state eseguite con un sismografo Doremi con 24 canali e geofoni verticali con frequenza propria di 4.5Hz ; la energizzazione è stata eseguita con un martello da 5kg.

Le attrezzature utilizzate nell'acquisizione dei dati sismici sono i seguenti:

- 1) Avvolgicavo contenente l'intera catena strumentale, 2) Geofoni, 3) Unità di testa o interfaccia, 4) Geofono start, 5) Prolunga per il geofono start

Le indagini sono state eseguite con un sismografo Doremi con 2 canali e geofoni verticali con frequenza propria di 4.5Hz; la energizzazione è stata eseguita con un martello da 5kg. Scopo dell'indagine è mettere in evidenza possibili variazioni del campo di velocità dell'onda P eventualmente correlabili ai parametri caratterizzanti una formazione rocciosa.

Per stimare la distribuzione di V_p è stata utilizzata una tecnica di acquisizione tomografica con l'uso di una disposizione in superficie di n geofoni ed m sorgenti. La geometria scelta per l'acquisizione è costituita da un allineamento di 12 geofoni distanti tra loro 5 m: sull'allineamento sono posizionati $n=3$ punti di energizzazione (Fig. 5).

La tecnica di acquisizione consente di determinare la velocità media di propagazione in ognuna delle N ($N \leq nxm$) celle elementari che ricoprono il sito indagato.

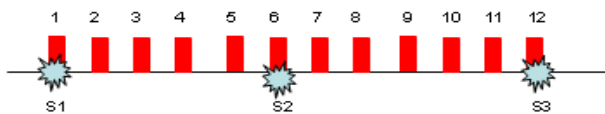


Fig. 5: Geometria di acquisizione dei rilievi sismici tomografici a rifrazione: geofoni: 1, 2,, 12; punti di energizzazione S1, S2, S3.

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 6 e 7b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig. 6 e 7a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig. 6 e 7c.

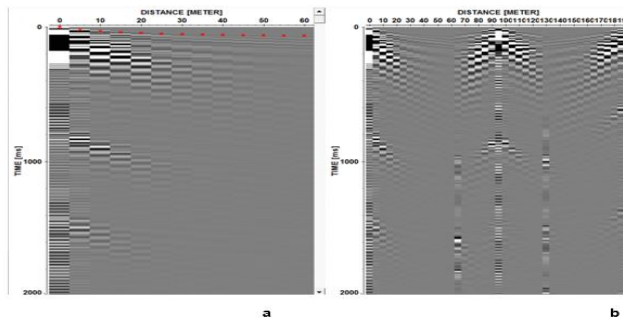
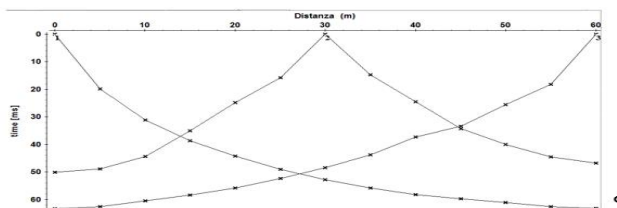


Fig. 6: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico. A - B



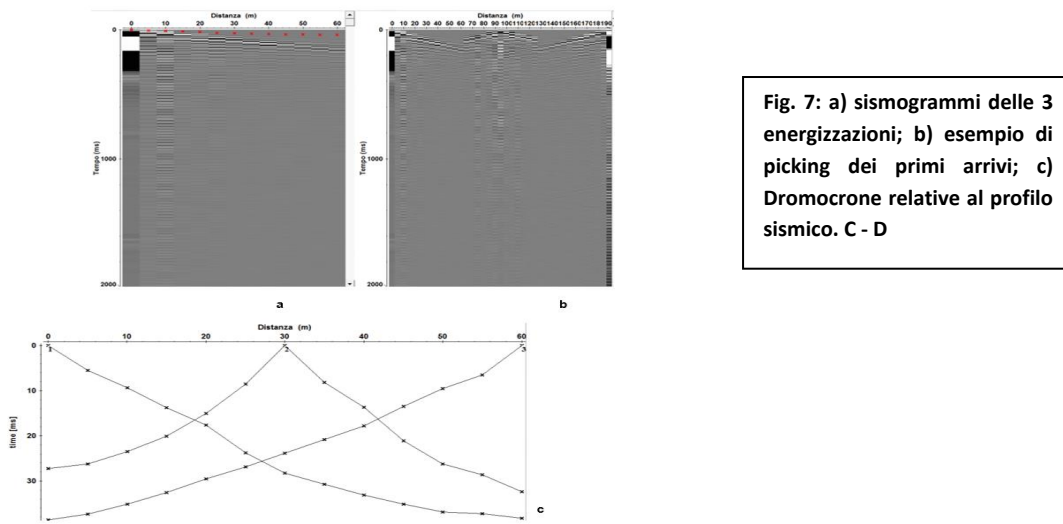


Fig. 7: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico. C - D

La elaborazione delle stesse mediante algoritmi sofisticati permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità V_p (Fig. 8 e 9).

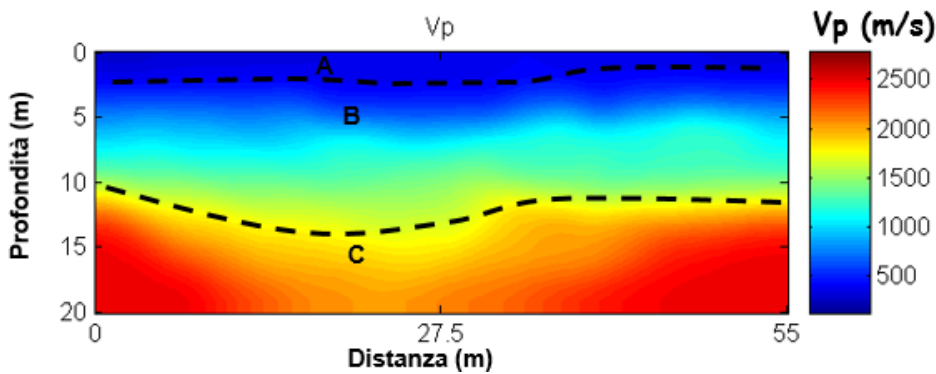


Fig. 8: Modello di distribuzione delle velocità V_p a varie profondità STESA SISMICA A - B

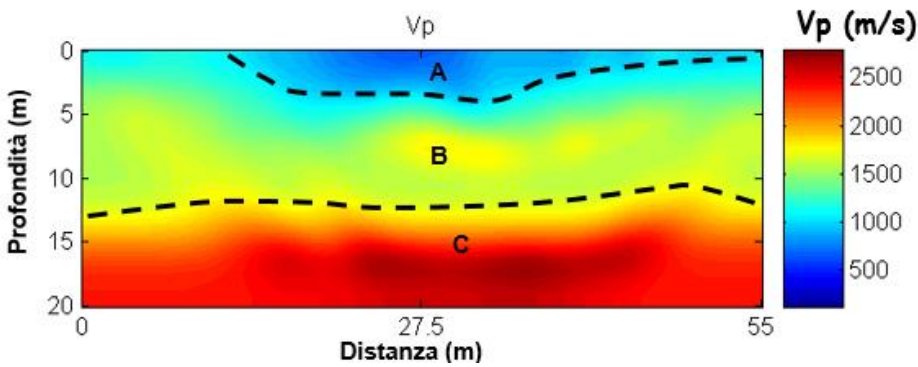


Fig. 9: Modello di distribuzione delle velocità V_p a varie profondità STESA SISMICA C - D



Fig. 10: Ubicazione indagini geonostiche



Foto 1 Stendimento sismico 1 (A-B)



Foto 2 Stendimento sismico 2 (C-D)

5. SISMICITA' DELL'AREA

Il sito di studio ricade nel territorio del comune di San Pancrazio Salentino, che ricade in zona sismica 4 della aggiornata classificazione sismica nazionale (PCM del 20.03.03 n° 3274 e e DGR Puglia n. 153/2004).

Di seguito si riportano i terremoti che hanno fatto risentire i loro effetti nel territorio di Torre S. Susanna che è l'abitato più vicino a San Pancrazio Salentino per la quale è stato possibile reperire dei dati: Fonte "Catalogo dei forti terremoti italiani dal 461 a.c. al 1980", edito dall'INGV

Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
NC	1627 07 30 10 50	Gargano	CFTI	65	10	6.73
5	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	CFTI	1317	10	6.89
4-5	1990 05 05 07 21 17	POTENTINO	BMING	1374	7	5.84

Tab. 1 indice dei terremoti che hanno fatto risentire i loro effetti su Torre S. Susanna

Il D.M. n. 8 del 17/01/2018 ha stabilito che le indagini geognostiche devono anche classificare il terreno di fondazione dal punto di vista della sua risposta alle azioni sismiche. Per poter definire la categoria di suolo fra le 5 previste al punto 3.2, ai fini della attribuzione dei parametri previsti al punto 3.2.2, è necessario oltre ad effettuare la stratigrafia, valutare la velocità di propagazione delle onde mediante microzonazione sismica.

Nel nostro caso sono stati presi in riferimento i dati desunti da un'indagine geognostica di tipo sismico con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) effettuata sul sito.

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo **P**, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo **Rayleigh**. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama *dispersione*. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**Vs**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di **Rayleigh** è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Per ottenere un profilo verticale di velocità **Vs** bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di *dispersione*, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz). Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde **S (Vs)** è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- 1) acquisizione dei dati sperimentali; 2) estrazione della curva di dispersione; 3) inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D), che descrive la variazione di Vs con la profondità.

I risultati di questa prova, attribuiscono il terreno alla categoria B (Tab. 3.2.II).

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

Per quanto riguarda le condizioni topografiche per configurazioni superficiali semplici si può adottare la categoria T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ (Tab. 3.2.III). Per quanto concerne la sensitività dei terreni alla liquefazione, dato che i terreni affioranti hanno una consistenza lapidea, il sito ha una sensitività alla liquefazione nulla.

Di seguito si riportano i parametri sismici dell'area, calcolati considerando la classe d'uso dell'edificio pari a Classe II ove: **F₀** Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale ed ha valore minimo pari a 2,2, **T_C** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro dato da: $T_C = C_C \cdot T_C^*$, dove T_C^* è definito al § 3.2 della norma e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, **A_g** accelerazione orizzontale massima al suolo, **S_s** coefficiente stratigrafico, **S_t** coefficiente topografico, **C_c** coefficiente che modifica il valore del periodo **T_c**, **K_h** è coefficiente orizzontale dell'azione sismica e **K_v** coefficiente verticale dell'azione sismica La Vita Nominale è pari a 50 anni; Coefficiente della Classe d'uso $C_u = 1,0$; Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_r = V_N \times C_u = 50$ anni

PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA METODO HAZARD1 APPLICATO ALL'AREA DI STUDIO

FASE I (PT1)

1) Inclinazione dell'area <10% (Peso +2); 2) Litologia - Roccia semicoerente (calcareni), (Peso +6); 3) Giacitura degli strati – Strati orizzontali (Peso +10); 4) Uso del suolo – Area agricola (Peso -2)

Somma dei pesi parziali: 16 (Situazione Limitata)

PESO PT1 = + 1,0

FASE II (PT2)

1) Processi gravitativi – Nessun fenomeno franoso (Peso 0); 2) Acque superficiali – Area interessata da possibili fenomeni di allagamento (Peso +2); 3) Falda freatica superiore a 10 mt. dal p.c. (Peso 0); 4) Morfotettonica – Area con pendenze nulle (Peso 0); 5) Caratteristica tecnica dei terreni – Roccia tenera (Peso +3)

Somma dei pesi parziali: 5 (Classe di instabilità Bassa)

PESO PT2 = +1,0

FASE III (PT3)

Fattore di amplificazione – Fattore di amplificazione $\geq 1,2$ (Instabilità medio) PESO PT3 +2,0

La pericolosità sismica globale è data, dalla somma algebrica dei 3 pesi parziali. In questo caso:

$$P_{tot} = PT1 + PT2 + PT3 = 1,0 + 1,0 + 2,0 = 5,0 \text{ (Rischio sismico Medio-Bassa)}$$

Questo valore appare adeguato rispetto alle condizioni geologiche del sito.

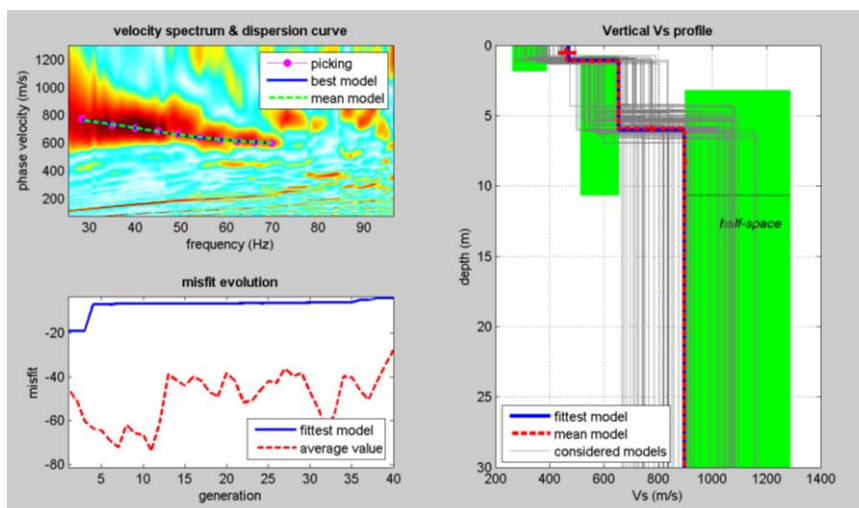


Fig. 11 andamento delle onde S con la profondità Vs eq misurato pari a 540 m/s per i primi 6 - 7 metri di profondità

Parametri Sismici

<i>STATO LIMITE CONSIDERATO</i>	Prob. Di Superamento (%)	Tr (anni)	Ag (g)	Fo (-)	Tc (s)
<i>Stato Limite di Esercizio (SLO)</i>	81	30	0,015	2,317	0,158
<i>Stato Limite di Esercizio (SLD)</i>	63	50	0,020	2,344	0,229
<i>Stato Limite Ultimo (SLV)</i>	10	475	0,049	2,516	0,465
<i>Stato Limite Ultimo (SLC)</i>	5	975	0,060	2,636	0,520

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,182	0,200
SLD	1,200	1,480	1,000	0,005	0,002	0,240	0,200
SLV	1,200	1,280	1,000	0,012	0,006	0,579	0,200
SLC	1,200	1,250	1,000	0,014	0,007	0,705	0,200

6. MODELLO SISMICO DELL'AREA DI SEDIME

Il modello geotecnico dell'area di sedime rinveniente dall'analisi delle indagini geognostiche eseguite è il seguente (i dati delle profondità sono una media dei valori individuati):

- ◆ terreno vegetale (spessore circa 0,5 – 1,0 m.) (Sismostrato A) (Fig. 10 e 11)
- ◆ Calcareniti dei D.M.T. (spessore circa 1,0 – 5,0 m.) (Sismostrato A e B) (Fig. 10)
- ◆ Calcareniti di Gravina (spessore circa 5 – 10 mt.) (Sismostrato B) (Fig. 10 e 11)
- ◆ Calcarea di Altamura (Sismostrato C) (Fig. 10 e 11)

TABELLA RIEPILOGATIVA

STRATO	V _P (m/s)	V _S (m/s)	Coeff. di Poisson (μ)	γ Densità Naturale g/cm ³	E Modulo Elastico dinamico (Mpa)	Bulk	Angolo di attrito(ψ)(°)	G ₀ Modulo Taglio (Mpa)	Modulo Lamé	R Rigidità sismica
A	600	265	0.38	1.6	310	356	14 – 28	112	351	4.2
B	1400	670	0.35	1.7	2123	2441	22 – 32	785	1858	11.7
C	2000	1000	0.33	2.0	5333	6133	36	2000	4000	20

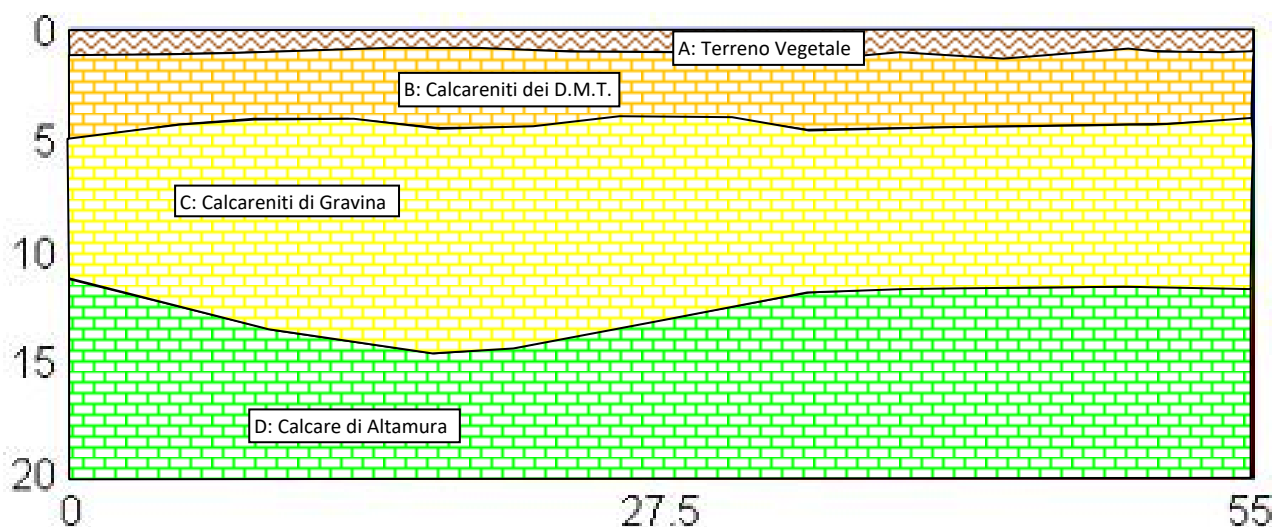


Fig. 12 Modello Geologico e Geotecnico e Sezione longitudinale area di sedime

7. CONCLUSIONI

Dallo studio geologico e geotecnico effettuato sul sito si evince quanto segue:

- 1) La geologia dell'area è caratterizzata dopo uno strato di terreno vegetale e alluvionale dello spessore di 1,0 e 1,5 metri, da Sabbie calcarenitiche da mediamente a scarsamente cementate per spessori di 3,5 – 5,0 metri e poi da Limi sabbioso argillosi per uno spessore di circa 25 metri;
- 2) Il sito ricade in zona sismica 4 della aggiornata classificazione sismica nazionale (PCM del 20.03.03 n° 3274 e Allegato 1 all'ordinanza 3274);
- 3) La categoria sismica attribuita al sedime fondale è Categoria B;
- 4) La pericolosità sismica globale è pari a 4,0 cioè un Rischio Sismico Medio-Basso;

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Jean Vincent C. A. STEFANI

