



CENTRALE EOLICA OFFSHORE BRINDISI PARCO EOLICO MARINO ANTISTANTE LE COSTE DI BRINDISI - SAN PIETRO VERNOTICO E TORCHIAROLO

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO	TITOLO	SCALA
PRO-REL-20	RELAZIONE GEOTECNICA	

Responsabile Progetto: Prof. Giuseppe Calò

Committente



TG Energie rinnovabili S.r.l.
Ravenna via Zuccherificio n.10
P.IVA 02260730391

Timbro e firma

TG Energie rinnovabili
Il Presidente

Gruppo di progettazione

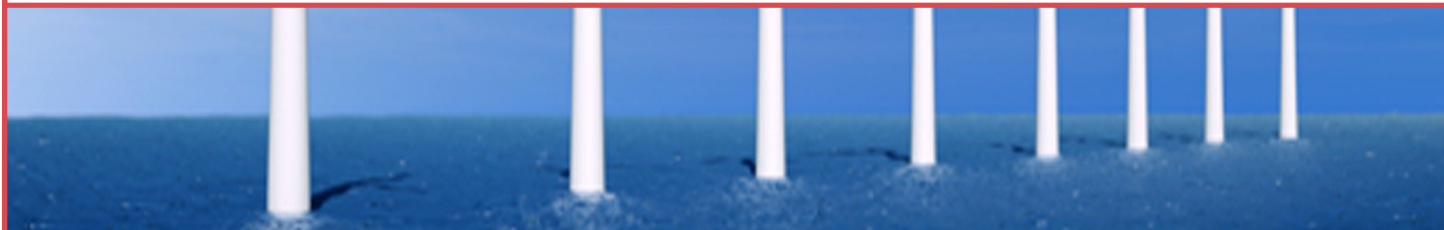


ELABORAZIONE DOCUMENTO A CURA DI

Prof. Giuseppe CALO'

Geom. Giuseppe TAURINO

Via Beatrice Acquaviva D'Aragona n.5
73020 Cavallino (LE) - Italy
☎ Office Phone: +39 0832 612690
☎ Office Fax: +39 0832 612649
✉ E-mail: info@geoambientesrl.it
www.geoambientesrl.it



GESTIONE DOCUMENTO

Rif. DWG		Prot. n.	
Disk/dir.		Data Prot.	
N° revisione	01	N° edizione	
Data revisione	00-00-2013	Data edizione	

Il presente documento è proprietà riservata di TG S.r.l. Ai sensi dell'art. 2575 C.C. è vietata la riproduzione, la pubblicazione e l'utilizzo senza espressa autorizzazione.

INDICE

1	PREMESSA	1
2	PERFORAZIONI DI SONDAGGIO.....	3
3	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DEL TIPO S.P.T.....	11
4	INDAGINE SISMICA DI SUPERFICIE CON IL METODO MASW.....	13
4.1	METODOLOGIA DI INDAGINE.....	13
4.2	SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE	15
4.3	RISULTATI D'INDAGINE.....	17
5	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	21
6	CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	23
7	RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	26
8	FONTI DOCUMENTALI E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	27

1 PREMESSA

Nella presente relazione, che fa parte integrante dello studio geologico per il progetto di realizzazione di un parco eolico offshore al largo del tratto di costa adriatica compresa tra Brindisi sud e Torre San Gennaro, si espongono i risultati delle indagini geognostiche eseguite al fine di caratterizzare, dal punto di vista lito-stratigrafico e geotecnico, il sito in cui è prevista la realizzazione della sottostazione di trasformazione.

All'interno del sito di progetto sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

1. n. 2 perforazioni di sondaggio a carotaggio continuo della profondità di 15 e 11 metri;
2. n. 5 prove penetrometriche dinamiche del tipo S.P.T.;
3. n. 1 indagine sismica del tipo MASW.

Nella [Fig. 1](#) di seguito allegata è riportata l'ubicazione del sito di progetto, mentre in [Fig. 2](#) sono indicati i punti di esecuzione delle indagini.

Mediante le perforazioni di sondaggio è stato ricostruito il profilo litologico e stratigrafico dei terreni di fondazione. I fori di sondaggio hanno inoltre permesso di misurare la profondità della falda superficiale rispetto al p.c..

Attraverso l'esecuzione delle prove S.P.T. si è potuto invece valutare lo stato di consistenza dei terreni di fondazione e ricavare alcuni parametri di interesse geotecnico.

L'indagine sismica è stata infine espletata al fine di classificare i suoli di fondazione ai sensi delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni.



Fig. 1 – Ubicazione del sito di progetto.

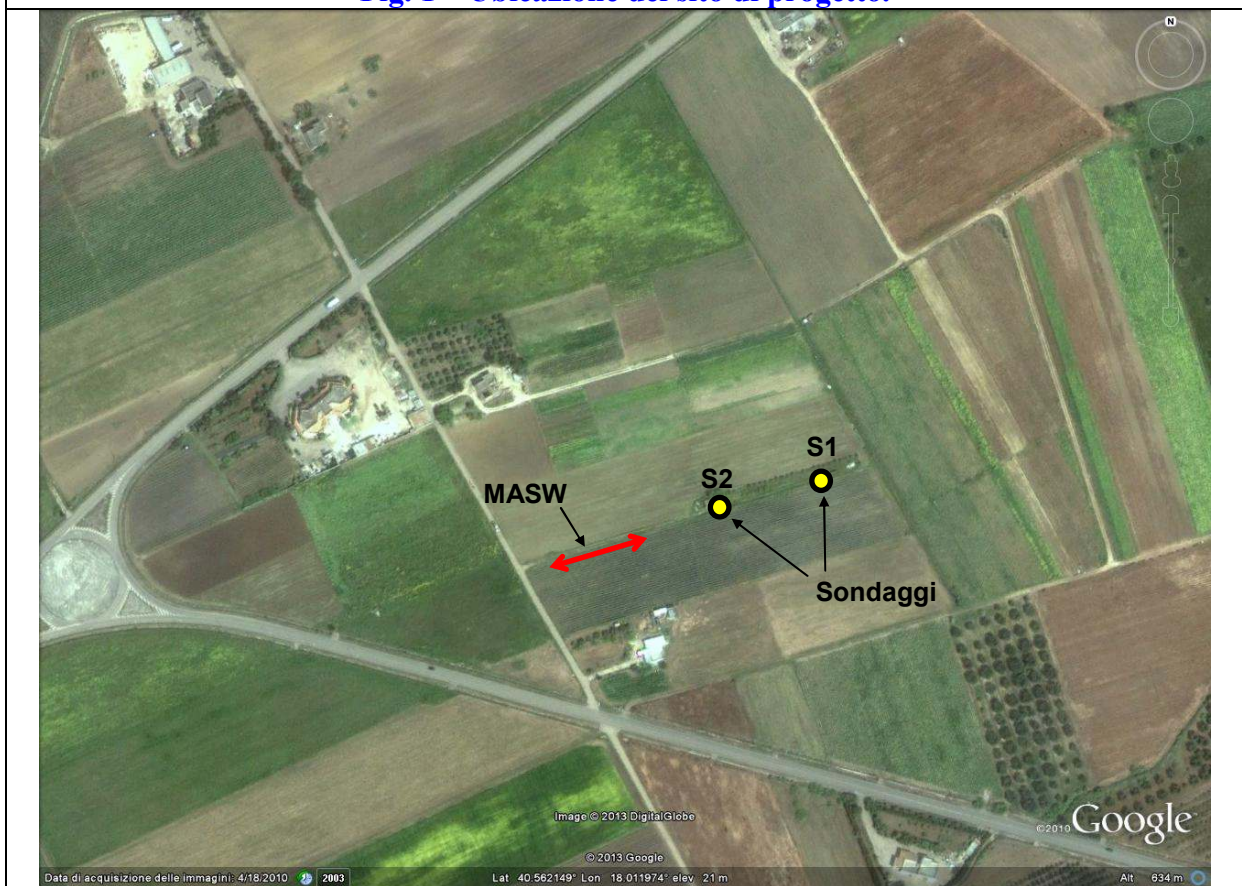


Fig. 2 – Ubicazione dei punti di indagine.

2 PERFORAZIONI DI SONDAGGIO

In data 1 marzo 2013, la ditta TRIVELSONDA di Squinzano (LE) ha effettuato, all'interno del sito di progetto (v. [Fig. 2](#)), n. 2 perforazioni di sondaggio a carotaggio continuo.

I sondaggi, identificati con le sigle S1 e S2, sono stati effettuati con una sonda cingolata mod. Mustang (v. [Foto 1 e 5](#)) e con un carotiere di diametro Φ 101 mm.

Le profondità d'indagine raggiunte con i sondaggi sono di 15 metri per il sondaggio S1 e di 11 metri per il sondaggio S2.

Come si può osservare nelle stratigrafie e nella documentazione fotografica di seguito allegata, le successioni stratigrafiche intercettate dai due sondaggi presentano alcune differenze, limitatamente ai livelli più superficiali.

Nel sondaggio S1 (v. [Foto 2-3-4](#)) è stata riscontrata la seguente stratigrafia:

1. strato superficiale, dello spessore di 1,5 metri, costituito da limi sabbioso-argillosi di colore grigio scuro;
2. strato medio-superiore, dello spessore di circa 3,5 metri, costituito da sabbie fini limoso-argillose, di colore grigio-nocciola, contenenti piccole concrezioni nodulari calcaree di colore bianco e di aspetto pulverulento;
3. un livello medio-inferiore, dello spessore di circa 4 metri, costituito da sabbie a granulometria mediofine, lievemente limose, di colore giallo-nocciola, contenenti concrezioni nodulari e sottili livelli calcarenitici dello stesso colore e di identica composizione granulometria;
4. un livello basale, costituito da limi sabbioso-argillosi di colore grigio chiaro passanti inferiormente a limi argillosi ed argille di colore grigio-azzurro.

La stratigrafia del sondaggio S2 (v. [Foto 6-7-8](#)) è invece costituita da:

1. uno strato superficiale, dello spessore di soli 60 cm, costituito da terreno vegetale di colore marroncino;
2. uno strato intermedio, dello spessore di circa 9 metri, costituito da sabbie a granulometria medio-fine, lievemente limose, di colore giallo-nocciola, contenenti concrezioni nodulari e sottili livelli calcarenitici;
3. un livello basale, costituito da limi sabbioso-argillosi di colore grigio chiaro.

Lo strato superficiale rinvenuto nel sondaggio S1 appare costituito da terreni di probabile ambiente alluvionale o palustre, verosimilmente depositatisi in una piccola depressione acquitrinosa.

I terreni di cui ai punti 2. e 3. del sondaggio S1 e quelli di cui al punto 2. del sondaggio S2, sono tutti attribuibili alla formazione dei "Depositi Marini Terrazzati", del Pleistocene sup..

Il livello argilloso basale, rinvenuto in entrambi i sondaggi intorno ai 9 metri di profondità, è invece riferibile all'unità delle "Argille Subappennine", del Pleistocene inf..

In linea generale, entrambi i profili stratigrafici risultano perfettamente compatibili con le condizioni generali di assetto stratigrafico dell'area, così come ricostruite e descritte in altro elaborato (v. Relazione geologica - [Elab. PRO-REL-19](#)).

Indubbiamente, la presenza di una lente superficiale di depositi alluvionali/palustri, pone delle

problematiche connesse alla variabilità orizzontale dei terreni di fondazione ed alla contestuale risposta differenziale che terreni di diversa natura possono sviluppare se sottoposti a sollecitazioni di carico.

All'interno dei due fori di sondaggio sono stati eseguiti dei rilievi freaticometrici finalizzati a determinare la quota della superficie piezometrica della falda superficiale, la quale è stata rinvenuta ad una profondità di appena 30 cm rispetto al p.c..

Sebbene tale circostanza sia sicuramente legata alle copiose e prolungate precipitazioni avvenute nei giorni precedenti, essa comunque dimostra che, seppur occasionalmente, la falda superficiale può localmente risalire fino a quote prossime al p.c..

Committente: GEOAMBIENTE S.R.L.

Data: 01/03/2013

Località: Cerano (BR)

Quota p.c.: 20 m s.l.m.

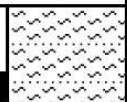
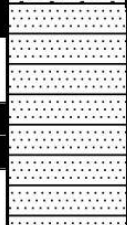
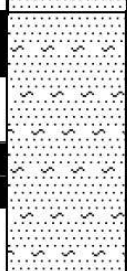

Perforazione: Rotazione a carotaggio continuo

Diametro: Ø 101 mm

Perforatore/Operatore: F. Intrepido

Controllo: Dott. Geol. P. Rescio

Attrezzo: Sonda Mustang

Prof. (m dal p.c.)	Profilo Stratigrafico	DESCRIZIONE LITOLOGICA	N _{SPT}	Falda (m dal p.c.)	Campioni
1,50		Limo sabbioso-argilloso di colore grigio scuro.	SPT-1 12	0,30	
5,00		Sabbie fini limoso-argillose, di colore grigio-nocciola contenenti concrezioni nodulari biancastre di dimensioni centimetriche. A 4,95 m rinvenuto sottile strato calcarenitico di colore biancastro.	SPT-2 31 SPT-3 >50 (R)		
9,20		Sabbie a grana medio-fine, debolmente limose, di colore giallo-nocciola, contenenti concrezioni nodulari di dimensioni centimetriche e sottili strati calcarenitici poco cementati.			
15,00		Limi sabbioso-argilloso di colore grigio-avana passanti inferiormente a limi argillosi ed argille di colore grigio-azzurro.			C1 11,30 -12,00

Committente: GEOAMBIENTE S.R.L.

Data: 01/03/2013

Località: Cerano (BR)

Quota p.c.: 20 m s.l.m.

Perforazione: Rotazione a carotaggio continuo

Diametro: Ø 101 mm

Perforatore/Operatore: F. Intrepido

Controllo: Dott. Geol. P. Rescio

Attrezzo: Sonda Mustang

Prof. (m dal p.c.)	Profilo Stratigrafico	DESCRIZIONE LITOLOGICA	N _{SPT}	Falda (m dal p.c.)	Campioni
0,60		Limo sabbioso di colore marroncino (terreno vegetale).		0,30	
		Sabbie a grana medio-fine, debolmente limose, di colore giallo-nocciola, contenenti concrezioni nodulari di dimensioni centimetriche e sottili strati calcarenitici poco cementati.	SPT-4 12 SPT-5 32		
9,80		Limi sabbioso-argillosi di colore grigio.			
11,00					C2 10,50 -11,00



Foto 1 – Fase di esecuzione del sondaggio S1.



Foto 2 – Sondaggio S1: cassetta n. 1 (da 0 a 5 m)



Foto 3 – Sondaggio S1: cassetta n. 2 (da 5 a 10 m)



Foto 4 – Sondaggio S1: cassetta n. 1 (da 10 a 15 m)



Foto 5 – Fase di esecuzione del sondaggio S2.



Foto 6 – Sondaggio S2: cassetta n. 1 (da 0 a 5 m)



Foto 7 – Sondaggio S2: cassetta n. 2 (da 5 a 10 m)



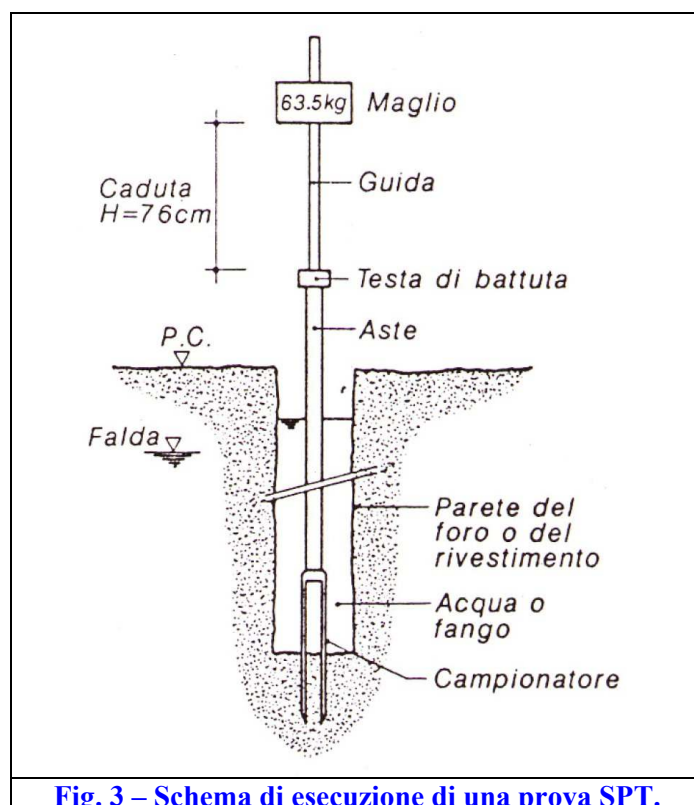
Foto 8 – Sondaggio S2: cassetta n. 3 (da 10 a 11 m)

3 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DEL TIPO S.P.T.

Le prove S.P.T. (“Standard Penetration Test”) sono delle prove penetrometriche dinamiche che vengono effettuate all’interno di perforazioni di sondaggio utilizzando delle attrezzature e delle procedure esecutive rigorosamente standardizzate.

Le prove consistono nell’infissione a percussione, sul fondo della perforazione di sondaggio, di un campionatore a pareti grosse standardizzato (campionatore di tipo “Raymond”, con diametro esterno di 50 mm, diametro interno di 35 mm e lunghezza di 533 mm). L’infissione avviene con l’ausilio di un maglio del peso di 63,5 kg, che viene lasciato cadere, da un’altezza di 76 cm, sulla testa della colonna di aste posta al di sopra del campionatore, con un ritmo compreso tra 10 e 25 colpi al minuto.

Le modalità esecutive della prova sono schematizzate in [Fig. 3](#).



In ogni prova si procede all’infissione del campionatore per 3 tratte distinte da 15 cm cadauna (per un totale di 45 cm), misurando, per ciascuna di esse, il numero di colpi: si definisce con il termine di “resistenza dinamica” il numero di colpi N_{spt} necessario a determinare l’infissione del campionatore negli ultimi 30 cm.

All’interno dei due sondaggi sono state eseguite complessivamente n. 5 prove S.P.T., di cui tre nel sondaggio S1 (SPT-1-2-3) e due nel sondaggio S2 (SPT-4-5).

In [Tabella 1](#) sono sintetizzati i risultati delle prove S.P.T., nonché i valori di densità relativa e di angolo di resistenza al taglio di picco ricavati applicando alcune delle più note correlazioni empiriche desunte dalla bibliografia tecnica specializzata (A.G.I., 1977; Squeglia et Al., 2006). Si precisa che la prova SPT-3 è andata a rifiuto ($N > 50$) in quanto ha intercettato uno

strato calcarenitico ben cementato.

TABELLA 1					
	Profondità (m dal p.c.)	N. di colpi totale	N_{SPT}	D_r [Skempton, 1986]	φ [Meyerhof,1956]
SPT-1	1,50 ÷ 1,95	6+7+5	12	61%	33°
SPT-2	3,50 ÷ 3,95	19+18+13	31	84%	36°
SPT-3	5,00 ÷ 5,45	21+33+39	R	-	-
SPT-4	2,00 ÷ 2,45	6+5+7	12	61%	33°
SPT-5	3,00 ÷ 3,45	12+15+17	32	85%	37°

Per la stima dei valori di D_r e ϕ , sono stati utilizzati dei valori di N_{SPT} preventivamente modificati applicando la correzione litostatica (Skempton, 1986) e quella di Terzaghi-Peck (1948) per sabbie fini sotto falda.

La densità relativa, ricavata con il metodo di Skempton (1986), indica che i terreni sabbiosi risultano mediamente addensati ($D_r \sim 60\%$) fino a circa 3 metri di profondità dal p.c.. A profondità superiori i valori di densità relativa sono quelli tipici di depositi sabbiosi abbastanza compatti ($D_r \sim 80\%$).

L'angolo di resistenza al taglio di picco è stato invece valutato utilizzando la correlazione di Meyerhof (1956) valida per terreni sabbiosi a granulometria fine e contenenti frazione limosa in quantità superiore al 5%.

I valori dell'angolo di resistenza al taglio ricavati dalle prove S.P.T. ($33^\circ \div 37^\circ$) rientrano nell'intervallo che tipicamente caratterizza la facies sabbiosa dei "Depositi Marini Terrazzati" affiorante nella Piana di Brindisi.

Infatti, i dati di bibliografia (Cherubini et Al., 1987; Gentile et Al., 1996) assegnano a tali terreni valori del peso di volume di circa $1,7 \div 1,9$ ton/mc ed angoli d'attrito che variano tra 31° e 38° , spesso associati a modesti valori di coesione (raramente superiori a $0,1$ kg/cm²), determinati dalla costante presenza di una certa percentuale di frazione granulometrica fine (limo e/o argilla).

4 INDAGINE SISMICA DI SUPERFICIE CON IL METODO MASW

Com'è noto, le Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con il D.M. 14/01/2008, hanno introdotto l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del sottosuolo basata sul parametro Vs30, ovvero sul valore della velocità delle onde di taglio mediato sui primi 30 metri di terreno.

In particolare, l'attuale normativa prevede la determinazione del parametro Vs30 al fine di pervenire ad una classificazione del sottosuolo in una delle sette categorie indicate al par. 3.2.2 delle N.T.C. 2008. Ad ognuna delle predette categorie corrispondono specifici coefficienti per la determinazione dello spettro elastico di risposta necessario alla definizione dell'azione sismica di progetto.

Nel caso in esame, la velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) nel sottosuolo del sito di progetto è stata misurata mediante l'esecuzione di un'indagine sismica di superficie di tipo MASW, che ha consentito di ricostruire il profilo delle velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo dell'area investigata.

4.1 Metodologia di indagine

Lungo la linea di stendimento indicata in [Fig. 2](#), è stata eseguita un'indagine sismica di superficie con il metodo MASW, al fine di valutare le proprietà fisiche e le caratteristiche dinamiche dei terreni presenti nel sottosuolo del sito di progetto, attraverso la determinazione di un modello di distribuzione delle velocità di propagazione delle onde Sh nel sottosuolo.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che consente di ricostruire il profilo di velocità delle onde di taglio verticali (Vs) nel sottosuolo basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh (onde Sh), che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. Inoltre, all'interno di un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase.

Nel metodo di indagine MASW le onde superficiali generate in un punto della superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori (v. [Fig. 4](#)). Attraverso questo metodo si ottiene una velocità di fase apparente (o curva di dispersione) sperimentale nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, ricavando così informazioni sulla parte superficiale del suolo (primi 30 ÷ 50 metri di profondità in funzione della rigidità del suolo).

Le prospezioni sismiche basate sul metodo MASW consistono in 3 fasi:

1. acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente e/o rumore di fondo, lungo uno stendimento (v. [Fig. 4](#));
2. ricostruzione delle curve di dispersione (grafico delle velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh (v. [Fig. 5a](#));
3. applicazione del procedimento di inversione numerica delle curve di dispersione per ottenere i profili verticali delle Vs (v. [Fig. 5b](#)).

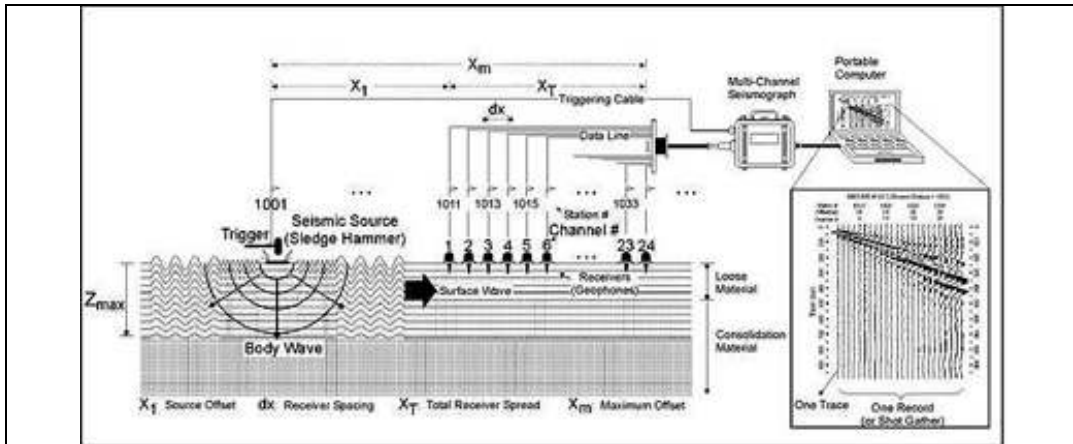
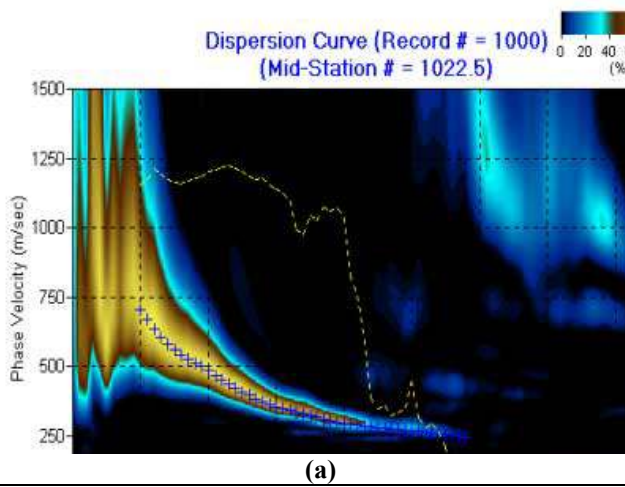


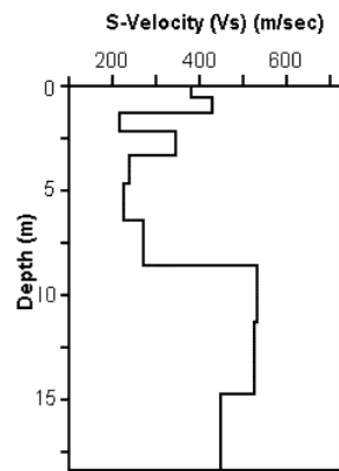
Fig. 4 – Schema di acquisizione dei segnali sismici con il metodo MASW.

2. Dispersion Curve Extraction--Frequency-Phase



(a)

3. Inversion--Depth-Vs



(b)

Fig. 5 – (a) Curva di dispersione velocità di fase – frequenza; (b) profilo verticale delle velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).

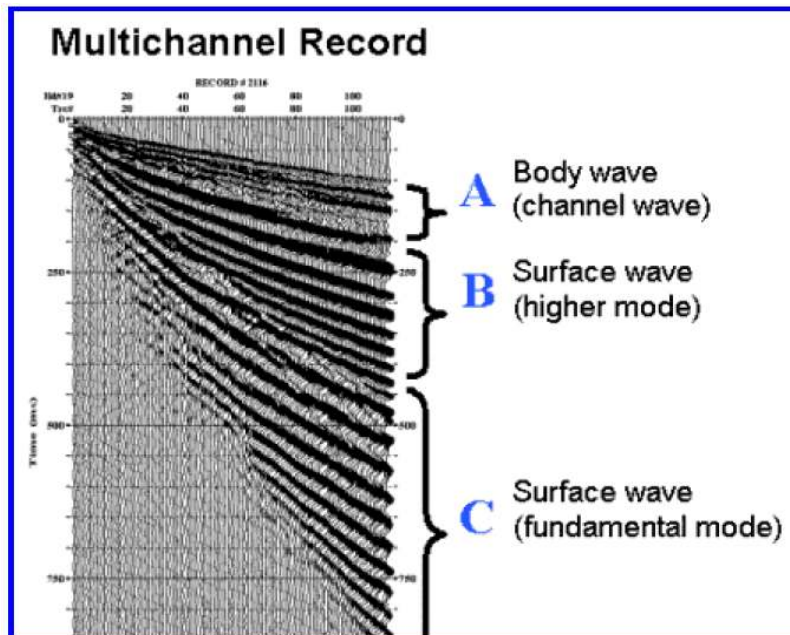


Fig. 6 – Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW risiede nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte le onde sismiche dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh, evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.

Le proprietà della dispersione delle onde di volume e superficiali sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione del campo d'onda (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici), che converte direttamente i segnali acquisiti (v. [Fig. 6](#)) in un'immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico.

4.2 Specifiche tecniche della strumentazione

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo MAE A3000-S 24 bit 16 canali (v. [Foto 9](#)), uno strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione e riflessione) e non convenzionali di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) o SASW (Spectral Analysis of Surface Waves).



Foto 9 – Sismografo utilizzato per l'esecuzione dell'indagine MASW.



Foto 10 – Geofono da 4,5 Hz infisso nel terreno e collegato allo stendimento.



Foto 11 – Particolare della linea di stendimento.



Foto 12 – Fase di esecuzione dell'indagine.

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche d'indagine di tipo non convenzionale. La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'indagine è stata eseguita utilizzando n. 16 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz (v. [Foto 10](#)) posizionati lungo la linea di stendimento con interasse di 2 metri (v. [Foto 11](#)). L'impulso di energizzazione del suolo è stato fornito con l'ausilio di una massa battente del peso di 8 Kg e di una piastra metallica in lega di alluminio (v. [Foto 12](#)).

Le tracce registrate hanno una lunghezza temporale $T = 2$ s ed un passo di campionamento $dt = 1$ ms. La frequenza di campionamento è pari a 1000 Hz mentre la frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da $f_{\text{Nyquist}} = 1/2dt = 500$ Hz, infine la frequenza minima dei segnali è data da $f_{\text{min}} = 1/T = 0.5$ Hz.

Per l'elaborazione dei dati acquisiti in campagna è stato utilizzato il software WinMASW 4.1 della Eliosoft Geophysical Software & Services.

4.3 Risultati d'indagine

La prospezione sismica di superficie effettuata con Metodo MASW presso il sito di progetto ha consentito di ricostruire il profilo delle velocità di propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo fino alla profondità di circa 30 metri rispetto al p.c..

Il procedimento di elaborazione dei dati è stato condotto, con l'ausilio del software WinMASW, partendo dal sismogramma di acquisizione delle onde superficiali (v. [Fig. 7a](#)), ricostruendo la curva di dispersione (v. [Fig. 7b](#)) ed effettuando infine la procedura d'inversione numerica che consente di ottenere il profilo verticale di variazione della velocità di propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo (v. [Fig. 8](#)).

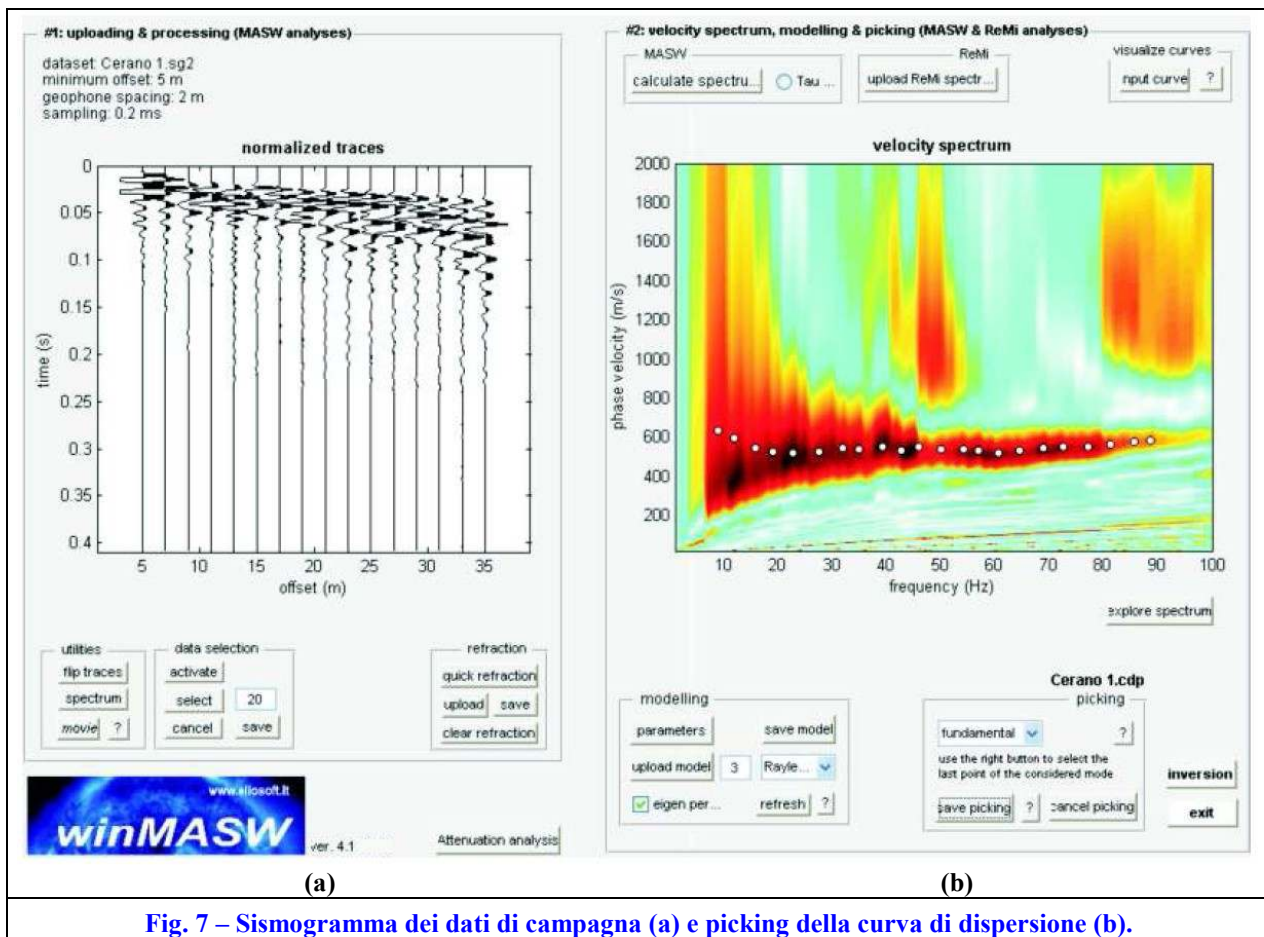


Fig. 7 – Sismogramma dei dati di campagna (a) e picking della curva di dispersione (b).

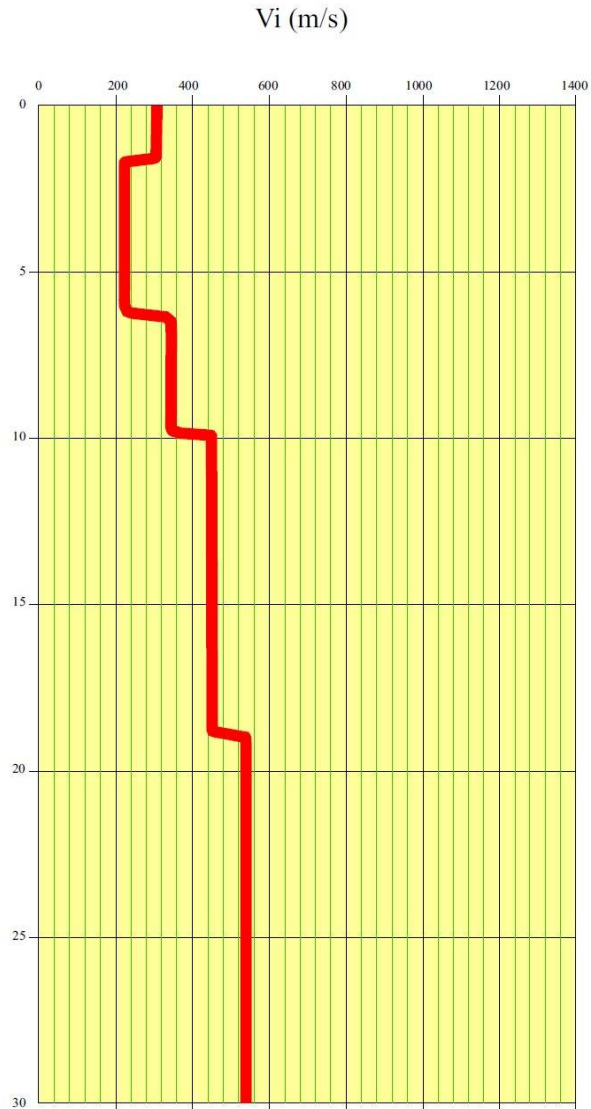
I risultati d'indagine evidenziano l'esistenza, in superficie, di terreni molli per uno spessore di circa 6 metri, poggianti su depositi che aumentano progressivamente di compattezza in funzione della profondità. In particolare, è stato possibile distinguere i seguenti sismostrati:

- primo sismostrato superficiale caratterizzato da $V_s = 307,90$ m/s fino alla profondità di circa 1 metro di profondità dal p.c.;
- secondo sismostrato, dello spessore di circa 5 metri (da -1 a -6 metri rispetto al p.c.), con $V_s = 240,30$ m/s;
- terzo sismostrato, dello spessore di circa 4 metri (da -6 a -10 metri rispetto al p.c.), con una $V_s = 350,20$ m/s;
- quarto sismostrato, dello spessore di circa 9 metri (da -10 a -19 metri rispetto al p.c.), con una $V_s = 460,40$ m/s;
- quinto sismostrato, di spessore indefinito, con velocità delle onde di taglio di circa 525 m/s.

CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI SECONDO NTC 2008

MASW Cerano (BR)

Profondità [m]	N° strati	V_i [m/s]
1.00	1	307,90
2.00	2	240,30
3.00	2	240,30
4.00	2	240,30
5.00	2	240,30
6.00	2	240,30
7.00	3	350,20
8.00	3	350,20
9.00	3	350,20
10.00	3	350,20
11.00	4	460,40
12.00	4	460,40
13.00	4	460,40
14.00	4	460,40
15.00	4	460,40
16.00	4	460,40
17.00	4	460,40
18.00	4	460,40
19.00	4	460,40
20.00	5	525,30
21.00	5	525,30
22.00	5	525,30
23.00	5	525,30
24.00	5	525,30
25.00	5	525,30
26.00	5	525,30
27.00	5	525,30
28.00	5	525,30
29.00	5	525,30
30.00	5	525,30



$V_{s30} = 395,77 \text{ m/s}$

DESCRIZIONE

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Fig. 8 – Distribuzione verticale delle velocità di propagazione delle onde S e classificazione del suolo ai sensi delle N.T.C. 2008.

Confrontando i risultati dell'indagine sismica con le stratigrafie dei due sondaggi eseguiti all'interno del sito di progetto, si possono effettuare delle utili correlazioni.

Infatti, i primi due sismostrati sono correlabili con i depositi sabbioso-limosi mediamente addensati presenti nella parte alta dei "Depositi Marini Terrazzati" e verosimilmente resi poco consistenti dalla presenza della falda superficiale, il cui livello freatico, a causa delle forti

piogge verificatesi pochi giorni prima dell'indagine sismica, era risalito fino quasi alla quota del p.c..

Il terzo sismostrato è invece riferibile alla parte bassa dei “Depositi Marini Terrazzati”, caratterizzata localmente da una composizione più schiettamente sabbioso-calcarenitica.

Il quarto e il quinto sismostrato sono infine entrambi stratigraficamente collocabili all'interno della formazione argillosa delle “Argille Subappennine”.

5 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Come accennato nel capitolo precedente, coerentemente con quanto indicato nell'Eurocodice 8, le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde di taglio (V_s) nella copertura che dello spessore della stessa. A tale scopo sono state definite n. 7 categorie di suoli di fondazione - indicate e descritte in [Tabella 2](#) - ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

TABELLA 2	
Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>
S1	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < Cu_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.</i>
S2	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i>

In siffatta classificazione viene enfatizzata l'importanza della velocità di propagazione delle onde elastiche trasversali (V_s) che, com'è noto, è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

Sulla base dei dati acquisiti mediante l'esecuzione di specifiche indagini geognostiche, il richiesto valore della velocità delle onde di taglio mediato sui primi 30 metri di terreno (V_{s30}) viene ottenuto applicando la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i è lo spessore in metri dello strato i -esimo, V_i è la velocità delle onde di taglio dello

strato i -esimo e N è il numero di strati.

Nel caso specifico, il valore del parametro V_{s30} caratteristico del profilo stratigrafico presente all'interno del sito di progetto, è stato ricavato mediante elaborazione analitica ed interpretativa dei dati acquisiti con l'indagine sismica di tipo MASW.

Il valore del parametro V_{s30} calcolato in base ai risultati d'indagine lungo il profilo di stendimento e la corrispondente categorie di suolo sono le seguenti:

$$\text{Profilo Cerano 1} \quad V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} = 395,77 \text{ m/s} \quad [\text{suolo di categoria B}]$$

In base a tale valore, i terreni studiati rientrano quindi nella **CATEGORIA B**, ovvero “*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine)*”.

6 CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Sulla scorta dei risultati delle indagini geognostiche effettuate all'interno del sito di progetto, si ritiene opportuno prevedere, per l'edificio della sottostazione, delle fondazioni continue del tipo a platea.

La scelta di siffatta tipologia fondale è motivata da tre differenti considerazioni:

1. la presenza di terreni di fondazione costituiti da sabbie-limose mediamente addensate e complessivamente poco consistenti;
2. l'esistenza di una falda freatica superficiale che, nella stagione piovosa, risale localmente fino quasi a lambire il piano campagna;
3. l'esistenza di variazioni litologiche laterali determinate dalla presenza di sacche di depositi palustri.

Particolarmente problematica viene considerata soprattutto la circostanza di cui al punto 3., in quanto è noto che i depositi palustri (costituiti generalmente da limi e/o argille organiche) sono caratterizzati da elevati valori di compressibilità. Nel caso in cui una parte delle fondazioni dovesse poggiare su depositi palustri, si potrebbero verificare cedimenti differenziali di entità significativa.

Nell'ipotesi di adottare una fondazione continua a platea, di forma rettangolare, delle dimensioni di 50 x 60 metri, si è proceduto al calcolo della capacità portante dei terreni di fondazione con le formule di Meyerhof, Hansen ed Eurocodice 7.

La capacità portante dei terreni di fondazione è stata calcolata assegnando agli stessi un peso di volume di 1,8 ton/mc, un angolo di resistenza al taglio $\varphi' = 33^\circ$, imponendo $c' = 0$ e considerando la presenza di falda superficiale attestata a 30 cm rispetto al p.c..

Si precisa che il calcolo è stato eseguito con il metodo delle tensioni ammissibili, ai sensi del cap. 2.7 delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, in quanto il sito di progetto ricade in Zona 4 e l'edificio della sottostazione è classificabile come costruzione di Tipo 2 in Classe d'uso I.

I risultati della procedura di calcolo, condotta con l'ausilio del software "GeoUtility" prodotto dalla GEOSTRU S.r.l., sono illustrati nelle [Tabelle 3-4-5-6](#) e in [Fig. 9](#).

TABELLA 3 – DATI DI INPUT		
Coefficiente di Sicurezza	3,00	
Forma impronta fondazione	RETTANGOLARE	
Lato B fondazione	5000	cm
Lato L fondazione	6000	cm
Affondamento piano di posa Df	100	cm
Affondamento della falda Dw	30	cm
Angolo Ø attrito terreno	33,0	°
Coesione terreno	0,000	daN/cm²
Peso di volume g terreno	1800	daN/m³
Peso specifico gs terreno saturo	2100	daN/m³
Peso specifico g' efficace terreno	1119	daN/m³
Peso specifico w dell'acqua	981	daN/m³

TABELLA 4 – RISULTATI DI CALCOLO		
Formula di MEYERHOF:		
$Qult = c Nc Sc Dc + [g Df + g'(Df-Dw)] Nq Sq Dq + 0,5 g' B Ng Sg Dg + w(Df-Dw)$		
Pressione Ammissibile (Qu/Coef.Sic.)	24,26	daN/cm ²
Nc (Coeff. portata)	0,00	
Sc (Coeff. forma)	1,57	
Dc (Coeff. prof.)	1,01	
Nq (Coeff. portata)	26,09	
Sq (Coeff. forma)	1,28	
Dq (Coeff. prof.)	1,00	
Ng (Coeff. portata)	26,17	
Sg (Coeff. forma)	1,28	
Dg (Coeff. prof.)	1,00	
Stima Coeff. di Winkler (Bowles):		
$Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]$		
Kwink	29,11	daN/cm ³

TABELLA 5 – RISULTATI DI CALCOLO		
Formula di HANSEN:		
$Qult = c Nc Sc Dc + [g Df + g'(Df-Dw)] Nq Sq Dq + 0,5 g B Ng Sg Dg + w(Df-Dw)$		
Pressione Ammissibile (Qu/Coef.Sic.)	12,64	daN/cm ²
Nc (Coeff. portata)	0,00	
Sc (Coeff. forma)	0,00	
Dc (Coeff. prof.)	1,01	
Nq (Coeff. portata)	26,09	
Sq (Coeff. forma)	1,54	
Dq (Coeff. prof.)	1,01	
Ng (Coeff. portata)	24,44	
Sg (Coeff. forma)	0,67	
Dg (Coeff. prof.)	1,00	
Stima Coeff. di Winkler (Bowles):		
$Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]$		
Kwink	15,17	daN/cm ³

TABELLA 6 – RISULTATI DI CALCOLO		
Formula EUROCODICE 7:		
$Qult = c Nc Sc + [g Df + g'(Df-Dw)] Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg + w(Df-Dw)$		
Pressione Ammissibile (Qu/Coef.Sic.)	18,11	daN/cm ²
Nc (Coeff. portata)	0,00	
Sc (Coeff. forma)	0,00	
Nq (Coeff. portata)	26,09	
Sq (Coeff. forma)	1,45	
Ng (Coeff. portata)	32,59	
Sg (Coeff. forma)	0,75	
Stima Coeff. di Winkler (Bowles):		
$Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]$		
Kwink	21,74	daN/cm ³

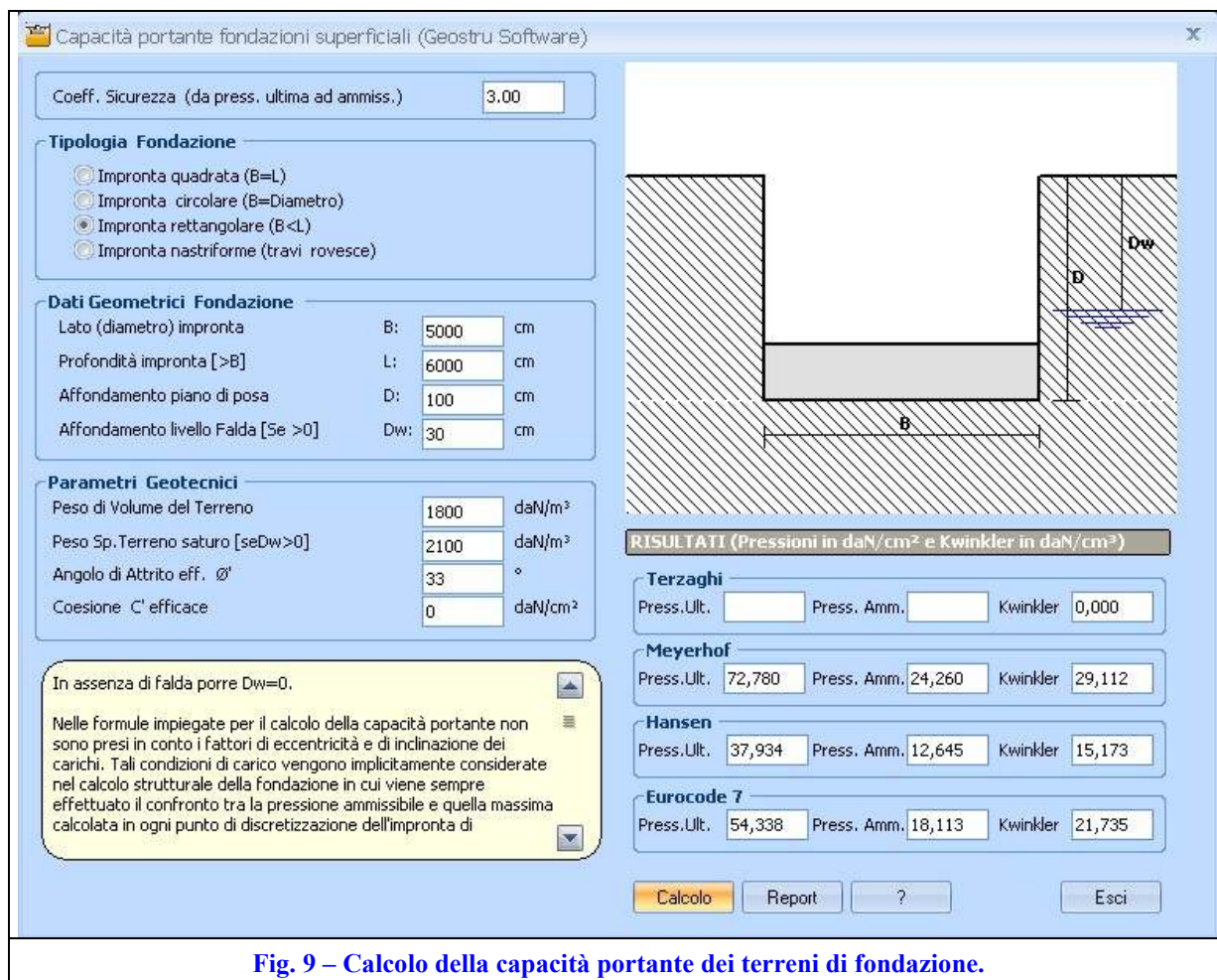


Fig. 9 – Calcolo della capacità portante dei terreni di fondazione.

Nella presente trattazione si prende come riferimento, in via precauzionale, il valore più basso di capacità portante tra i tre ottenuti, ovvero quello restituito dalla formula di Hansen di cui alla [Tab. 5](#). Pertanto, il valore della pressione ammissibile per la fondazione a platea ipotizzata è pari a 12,64 daN/cm², ovvero c.a. 12,7 Kg/cm².

7 RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati dell'indagine geologico-tecnica eseguita in loc. "Cerano", all'interno dell'area individuata come sito di progetto per la sottostazione di trasformazione, possono essere così sintetizzati:

1. il sito di progetto si colloca nell'ambito del dominio di affioramento della facies sabbioso-argillosa dei "Depositi Marini Terrazzati", del Pleistocene medio-sup.;
2. la successione stratigrafica locale, ricostruita sulla base dei risultati di n. 2 perforazioni di sondaggio, è costituita, partendo dall'alto, da terreni sabbioso-argillosi a grana fine (fino a circa -5 metri dal p.c.), da terreni sabbiosi parzialmente cementati (tra -5 e -10 metri dal p.c.) e da terreni limoso argillosi (oltre -10 metri dal p.c.);
3. tuttavia, su di una parte dell'area indagata sono stati rinvenuti anche terreni di probabile ambiente palustre per uno spessore pari a circa 1,5 metri;
4. nel sottosuolo è presente una falda superficiale la cui superficie piezometrica è stata rinvenuta, all'interno dei fori di sondaggio, ad appena 30 cm dal p.c. (ovvero a circa +20 metri s.l.m.);
5. la caratterizzazione geotecnica dei terreni più superficiali (fino a 3 metri di profondità dal p.c.), ha evidenziato la locale presenza di sabbie limoso-argillose a granulometria fine, mediamente addensate, con peso di volume di circa 1,8 ton/mc ed angolo di resistenza al taglio di picco dell'ordine di 33°;
6. in base ai risultati dell'indagine sismica di tipo MASW eseguita all'interno del sito di progetto, i terreni di fondazione sono stati classificati (ai sensi del D.M. 14/01/2008) in Categoria B, ovvero "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine)*";
7. in considerazione delle circostanze espresse ai precedenti punti 3., 4. e 5., si è ritenuto opportuno prevedere l'adozione di fondazioni continue del tipo a platea.

Si precisa che, nel caso specifico, non avendo esatta conoscenza della distribuzione areale e, soprattutto, delle variazioni di spessore dei terreni palustri, si è preferito adottare un approccio cautelativo, prevedendo delle fondazioni di tipo continuo. Scelte differenti potranno eventualmente essere adottate in fase esecutiva, purché supportate da una campagna di indagini geognostiche più completa, articolata e puntuale rispetto a quella condotta in questa fase di progetto.

Lecce, marzo 2013

GEOAMBIENTE S.R.L.

Dott. Geol. Giuseppe CALO'
(Albo Geologi Regione Puglia n. 148)

Dott. Geol. Donato LUCREZIO
(Albo Geologi Regione Puglia n. 362)

8 FONTI DOCUMENTALI E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Associazione Geotecnica Italiana - *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*. Roma, 1977.
- Boaga J. & Iliceto V. – *Metodologia per la definizione di modelli di Vs del sottosuolo e loro influenza nella risposta sismica di sito*. Atti del Workshop in Geofisica, Rovereto, 11/12/2009.
- Cherubini C., Margiotta B., Sgura A. & Walsh N. – *Caratteri geologico-tecnici dei terreni della città di Brindisi*. Mem. Soc. Geol. It. n. 37, 1987.
- Gentile G.N., Monterisi L., Ventrella N.A. – *Erosione del litorale adriatico ed arretramento della falesia a sud di Brindisi (Puglia)*. Memorie Società Geologica Italiana n. 51, 1996.
- Ministero delle Infrastrutture – *Norme tecniche per le costruzioni*. Allegato al D.M. 14 gennaio 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04/02/2008, Supplemento Ordinario n. 30.
- Roma V. - *Seismic Geotechnical Site Characterizations by means of MASW method*. XII Italian Seismic Engineering Conference, Pisa, 10-14 June 2007.
- Squeglia N, Pallara O., Mensi E. – *Caratterizzazione meccanica dei depositi di terreni mediante prove penetrometriche dinamiche*. Atti del Convegno I.A.R.G. 2006, Pisa 26 – 28 giugno 2006.