

**COMUNE DI CASTEL VOLTURNO
(CASERTA)**

Concessione per Occupazione Spazio Acque Fluviale presso la Foce Volturno con Installazione di Elementi Modulari per Attracco Natanti e Allestimento, sulla Terraferma, di Attrezzature atte alle Attività di Alaggio, Varo e Rimessaggio all'Aperto delle Imbarcazioni.

**Committente: Società BAFFONAUTICA.
Di Viscon e Adele**

**RELAZIONE
GEOLOGICA**

PORTICO di CASERTA Novembre 2017

Il TECNICO
Dr Francesco MARTONE
Geologo



INDICE

Premessa	pag. 3
Geologia generale	pag. 4
Inquadramento idrogeologico	pag. 6
Stabilità dell'area	pag. 7
Fenomeno di liquefazione	pag. 9
Stratigrafia locale	pag. 13
Caratterizzazione geotecnica terreno di fondazione	pag. 14
Prova penetrometrica dinamica	pag. 14
Sismicità	pag. 18
Indagine sismica M.A.S.W.	pag. 19
Strumentazione impiegata	pag. 21
Elaborazione dati	pag. 22
Calcolo VS30 e categoria di suolo	pag. 23
Volume significativo	pag. 28
Conclusioni	pag. 29

ALLEGATI

- 1) Carte tematiche
- 2) Fotografie
- 3) Prova penetrometrica
- 4) Scheda Stratigrafica



PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla ditta "Società BAFFONAUTICA", il sottoscritto dr. Francesco MARTONE regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della regione Campania numero di riferimento 994, (data d'iscrizione 17/09/1992) ha redatto una relazione geologica inerente alla "Concessione per Occupazione Spazio Acque Fluviale presso la Foce Volturmo con Installazione di Elementi Modulari per Attracco Natanti e Allestimento, sulla Terraferma, di Attrezzature atte alle Attività di Alaggio, Varo e Rimessaggio all'Aperto delle Imbarcazioni." nel comune di Castel Volturmo (Caserta), in catasto Terreni al foglio 27, particelle 583, 5322, 707 e 5357.

L'indagine ha avuto come scopo principale, quello di fornire una caratterizzazione geologico-tecnica del substrato dell'area in studio, una descrizione morfologica ed idrogeologica (con indicazione di massima del regime idraulico delle acque sotterranee), basandosi su dati bibliografici, dati di campagna e prove in sito del tipo penetrometrica dinamica eseguita con penetrometro dinamico e prove sismiche di superficie, in modo da stabilire una categoria di suolo ai sensi del d.m. 14.01.2008.

La presente relazione utilizza, i risultati delle seguenti prove in sito:

- n. 1 prova penetrometrica dinamica
- n. 1 sismica di superficie

Gli elaborati grafici relativi alle singole prove ed analisi sono riportati in allegato.

Il presente lavoro, inoltre, si propone di fornire ai tecnici progettisti delle opere in oggetto quanto segue:

- morfologia e stabilità dell'area
- Idrogeologia dell'area
- Stratigrafia del sito e descrizione dei litotipi presenti
- parametri geotecnici dei litotipi interessati dai carichi
- Parametrizzazione sismica

Le indagini in sito sono state effettuate con strumento e procedura operativa in armonia con le norme UNI-ENV 1997-3 (2002), UNI EN ISO 22476-2-3 del 2005, dalla ditta, I.GEO. sas con sede in Pastorano di Caserta.



GEOLOGIA GENERALE

L'area interessata all'indagine è posta all'interno della Piana Campana, limitata a nord dalla dorsale del M. Massiccio e a sud dalle propaggini interne dei M. Lattari. Quest'ampia zona pianeggiante, comprende la bassa Valle del Volturno e la Valle del Sarno, è interrotta dalle alture vulcaniche dei Campi Flegrei e dall'edificio del Somma-Vesuvio ma si estende fino alla cerchia dei rilievi appenninici (M. Maggiore, M.ti Tifatini, M.ti di Sarno e M.ti di Avella) che ne costituiscono i margini nord-orientali ed orientali, mentre ad ovest è limitata dal mare.

La geologia dell'area è essenzialmente legata ai movimenti orogenetici verificatisi tra il Mesozoico ed il Pliocene inf. e che hanno determinato l'intero assetto della catena appenninica carbonatica meridionale.

In seguito, con le fasi distensive avutesi durante il Pliocene sup. ed il Quaternario, si è individuata la depressione (Graben) della Piana Campana; quest'ultima, difatti, è considerata come una zona di sprofondamento tettonico di zolle carbonatiche secondo una serie di faglie ad andamento prevalentemente appenninico (NO-SO) ed antiappenninico (NE-SO) approfonditesi sempre più verso il Tirreno.

Le suddette fasi tettoniche, hanno poi provocato la risalita di margini e la formazione di vari bacini magmatici, la cui particolare evoluzione ha creato apparati vulcanici complessi come quelli del Roccamonfina, del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei.

In particolare l'area interessata dallo studio, all'inizio del Pleistocene era un dominio marino, ma le variabili condizioni paleoambientali trasformarono l'ambiente in deltizio e di acqua salmastra. Si ebbe, quindi, una trasformazione del braccio di mare in laguna e poi in palude, trasformazione favorita anche dalle prime manifestazioni vulcaniche. Infatti, l'opera di colmata della Piana fu infine completata dagli apporti di natura vulcanica e dallo smantellamento e rimaneggiamento delle vulcaniti e delle serie sedimentarie antiche.

Ai margini settentrionali e meridionali della Piana Campana, si estendono i depositi piroclastici dei sopraccitati distretti vulcanici; la fascia mediana è costituita dalle alluvioni del F. Volturno, da sedimenti argillosi, limosi e sabbiosi con intercalazioni di materiali piroclastici rimaneggiati; da terreni umiferi e di colmata delle paludi, soprastanti livelli piroclastici ed intercalazioni torbose.

La completa scomparsa dell'ambiente palustre si è poi avuta, in tempi più recenti, per opera dell'uomo mediante opere di bonifica. La fascia di piana interessata è caratterizzata dalla presenza del fiume Volturno, che taglia con il suo corso



meandriforme l'intera area, e da una serie di canali di bonifica: le opere di canalizzazione più rilevanti sono certamente quelle dei Regi Lagni e del Canale Agnena che fungono da dreno per le acque del Nolano e del casertano andando a sfociare in mare tra il lago Patria, la foce del fiume Volturno e Mondragone. Ad ovest, lungo il litorale, la piana è orlata dalla fascia di dune costiere che si diramano dal Lago Patria fino a Mondragone. La deposizione dei vari ordini di cordoni dunali, riconoscibili dove la mano dell'uomo non ha apportato sostanziali modifiche, testimonia le variazioni della linea di costa attivatesi con la regressione marina a partire dalla metà dell'Olocene che ha assestato il livello del mare alle quote attuali.

I sedimenti presenti sono rappresentati da uno strato di torbe che in alcuni punti presenta uno spessore notevole, ricoperto da uno strato di limi e sabbie limose. Il litorale è interessato in tutto l'arco dell'anno da una corrente litoranea che scorre da NO a SE. I venti al suolo hanno un andamento irregolare, mentre in inverno prevalgono quelli provenienti da N-NE, in primavera ed in estate quelli di E-SE.

I materiali sabbiosi provenienti dal fiume Volturno sono distribuiti prevalentemente verso Sud, poi sono rimossi in modo vario dai venti nelle diverse direzioni. Tale situazione non determina una differenziazione di ambiente sedimentario tra la spiaggia e le dune, poiché il moto ondoso e il vento determinano nell'area un continuo scambio tra i depositi di spiaggia e i depositi di duna.

Dal punto di vista litologico, le formazioni affioranti sull'intero territorio possono essere raggruppate in un'unica formazione:

1. *Suoli argillosi e limosi chiari di colmata di alvei abbandonati dal fiume Volturno.*

Dal punto di vista morfologico, l'area si presenta completamente pianeggiante ad un'altitudine variabile da -2 mslm a circa 15 metri s.l.m.

Nel rilevamento effettuato non sono state evidenziate cavità sotterranee sia naturali che antropiche, né sono stati osservati fenomeni di instabilità legati a dissesti profondi.

In particolare per il territorio di Castel Volturno, determinante per l'attuale assetto stratigrafico, la variabilità della linea di costa migrata nel corso degli anni in funzione degli apporti terrigeni del fiume Volturno e delle oscillazioni del livello marino.



INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area in esame appartiene all'unità idrogeologica della Piana del Volturno - Regi Lagni. Il bacino idrico deve considerarsi come porzione dell'enorme bacino delimitato dalle propaggini dell'Appennino e che interessa tutta la pianura Campana, con una circolazione idrica che dai massicci carbonatici defluisce verso il mare.

L'alimentazione della falda è dovuta principalmente alle acque provenienti dai complessi carbonatici dell'Appennino Campano, i quali sono tamponati alla base da materiali relativamente impermeabili e pertanto riversano i loro flussi idrici nel complesso dei depositi piroclastici e dei sedimenti alluvionali della piana, per poi defluire verso il mare.

In quest'enorme pila di sedimenti, che raggiunge spessori di oltre 3000 metri, si possono distinguere, come detto nel paragrafo precedente, alternanze di livelli a varia litologia e granulometria, il cui andamento è lenticolare.

La circolazione idrica sotterranea avviene, quindi, per falde sovrapposte contenute nei livelli a granulometria più grossolana.

Il deflusso delle acque sotterranee è condizionato inoltre dalla presenza dei numerosi alvei che solcano la piana, in particolar modo il Fiume Volturno, i Regi Lagni e il Torrente Agnena.

Il livello della falda freatica subisce notevoli escursioni stagionali e nei periodi di scarsa piovosità si ferma a qualche metro di profondità.

In particolare la falda è stata rinvenuta ad una profondità di **circa 1,0-1.50 metri dal p. campagna.**

In questo quadro idrogeologico, rivestono un ruolo fondamentale i canali di bonifica dove la falda trova il suo recapito, per essere poi riversata nei suddetti alvei e quindi in mare.



STABILITA' DELL' AREA

Nell'area interessata dal progetto di edificazione, le indagini di superficie eseguite, non hanno evidenziato la presenza di cavità sotterranee non utilizzate, e nemmeno sono stati osservati fenomeni di instabilità legati a dissesti profondi (crolli di cavità).

Nell'area le modeste pendenze determinate dalla pianura non consentono l'instaurarsi di fenomeni gravitativi sia profondi sia superficiali, pertanto la zona si ritiene stabile da un punto di vista geomorfologico e statico. In base a queste osservazioni i terreni esaminati sono perimetrati dall'Autorità di Bacino "Liri Garigliano Volturno" come **"area non soggetta a rischio frane (area stabile)"**

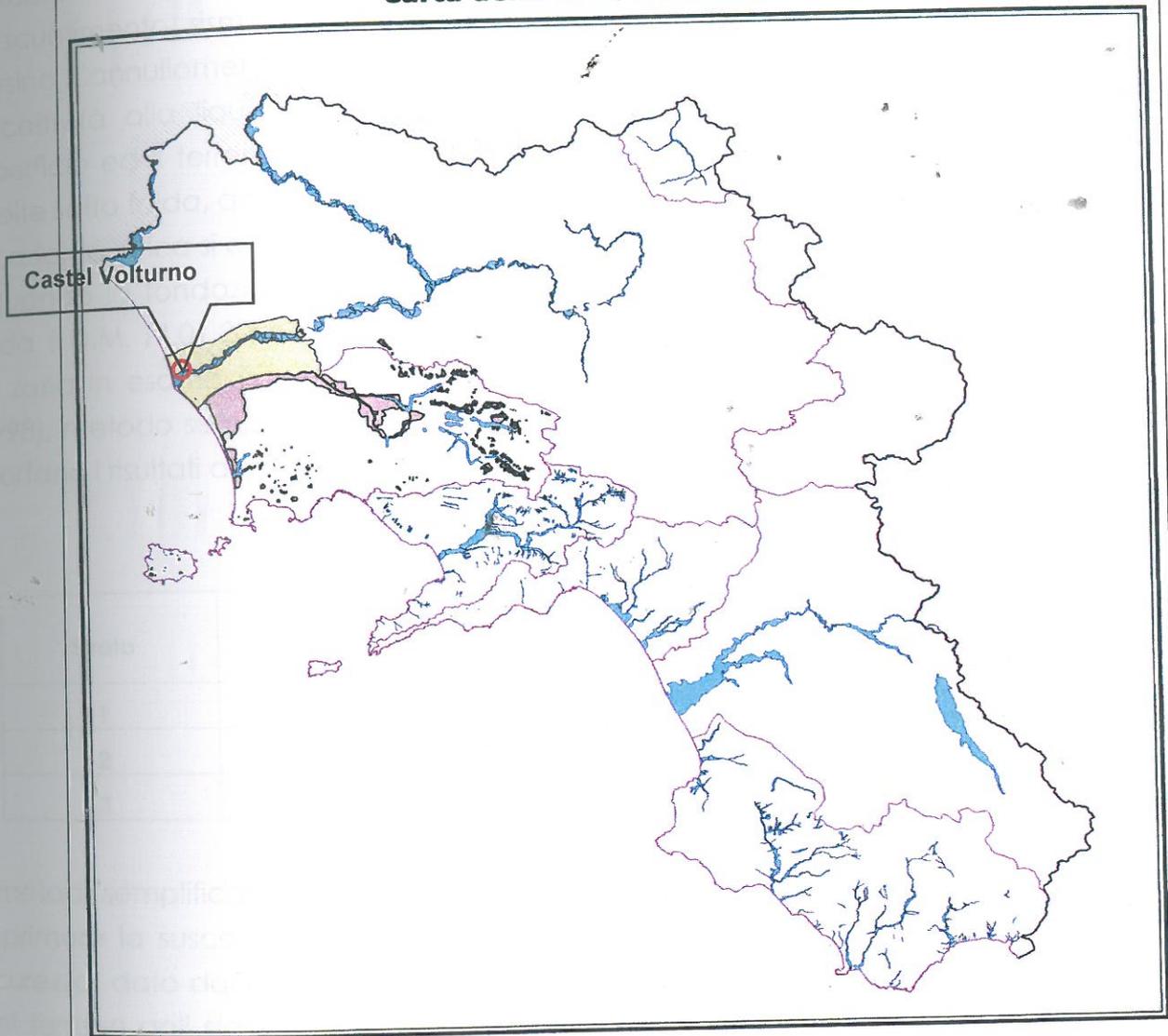
Per quanto concerne il RISCHIO IDRAULICO, con riferimento alla carta delle aree inondabili, il sito in oggetto rientra tra le **"aree soggette a rischio alluvioni"** La carta delle aree inondabili è stata elaborata dal Settore Difesa del Suolo - Regione Campania ed è basata anche essa sui Piani Stralcio delle Autorità di Bacino della Regione Campania. Questa carta è stata ottenuta accorpando le fasce a differente grado di pericolosità idraulica, e pertanto indica tutte le aree potenzialmente soggette ad alluvionamento, del territorio regionale.

Area ricadente in fascia "A"





Carta delle Aree Inondabili



- Aree inondabili
- AdB Nord-Occidentale
Pericolosità da invasione per fenomeni di trasporto liquido e solido da alluvionamento
- AdB Liri-Garigliano e Volturno
Aree di retroargine

AdB	Aree Inondabili		
	(km ²)	% nel bacino	% in Regione
Liri Garigliano - Volturno	355,2	6,4	0,026
Interr. Sele	119,2	4,7	0,009
Nord-Occidentale	188,0	13,4	0,014
Sinistra Sele	41,0	2,6	0,003
Destra Sele	19,2	2,8	0,001
Sarno	48,5	7,0	0,004
Trigno, Biferno, Fortore etc.	3,2	1,3	0,000
Puglia	0,0	0,0	0,000



VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Il termine di liquefazione denota una riduzione di resistenza a taglio e/o rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa."

La falda idrica si colloca a profondità di circa 1-1,50 metro dal p.c.

Quando la fondazione è posta a profondità minori 15 metri dal livello medio della falda il D.M. 14.01.2008 impone la verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione.. La zona in esame è verificata alla liquefazione con il metodo di Andrus e Stokoe (1998), metodo semplificato basato su dati provenienti da prove sismiche. Di seguito si riportano i risultati della prova MASW.

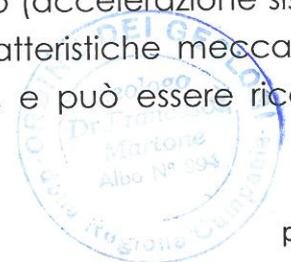
modello sismico monodimensionale

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]
1	5.25	5,25	140	320
2	12.77	12.77	188	403
3	semispazio	semispazio	355	690

I metodi semplificati, tra i quali il metodo di Andrus e Stokoe (1998), permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra CRR (Cyclic Resistance Ratio), che indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico, e CSR (Cyclic Stress Ratio), che rappresenta la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto), mentre CRR è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato



direttamente attraverso correlazioni con i valori delle velocità delle onde S.
La grandezza CSR viene ricavata attraverso la relazione:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF}$$

dove:

a_{max} = accelerazione sismica massima = $a_g \times S$, dove $S = S_s$ (coefficiente stratigrafico) $\times S_T$ (coefficiente topografico);

g = accelerazione di gravità = 9.807 m/s²;

σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;

σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;

r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema:

$r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m

$r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m

$r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m

$r_d = 0.5$ per $z > 30$ m

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma, ricavabile con la

relazione $MSF = \left(\frac{M}{7.5}\right)^{-2.56}$ se $M \leq 7.5$ o con la formula $MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$ se $M > 7.5$.

La resistenza alla liquefazione di un deposito sabbioso è valutata attraverso la stima delle velocità delle onde S, utilizzando il metodo di Andrus e Stokoe (1997).

La relazione è la seguente:

$$CRR = 0.03 \left(\frac{V_{s1}}{100}\right)^2 + \frac{0.9}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{0.9}{V_{s1}} \quad \text{dove:}$$

V_{s1} (m/s) = velocità delle onde S nello strato corretta = $V_s \left(\frac{1}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.25}$, dove V_s è la velocità

misurata e σ'_{v0} (kg/cmq) è la pressione verticale efficace a metà strato;

V_{s1}^* (m/s) = valore critico delle velocità delle onde S nel deposito, oltre il quale non si verifica la liquefazione, ricavabile attraverso il seguente schema:

V_{s1}^* (m/s) = 220 se la percentuale di fine (FC) < 5%;

V_{s1}^* (m/s) = 210 se FC = 20%;

V_{s1}^* (m/s) = 200 se FC > 35%;

interpolando per valori intermedi di FC.



Il deposito risulta liquefacibile se il rapporto fra CRR e CSR (F_s) è minore di 1,25. Il terremoto di progetto, cioè l'evento sismico di riferimento rispetto al quale effettuare la stima della suscettibilità del terreno alla liquefazione è stato determinato dal lavoro "Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R- ϵ " a cura di D. Spallarossa, S. Barani. In tale lavoro, l'analisi di disaggregazione è stata condotta per 16852 siti corrispondenti ai nodi della griglia adottata per la redazione delle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

Nel caso specifico è stata ricavata una magnitudo di riferimento (**M**) pari a **6,45**.

Il valore dell'accelerazione massima attesa al suolo a_{max} dipende come detto in precedenza da a_g (accelerazione massima su suolo rigido), da S_s (coefficiente stratigrafico) e da S_T (coefficiente topografico).

Nella tabella successiva vengono forniti, per le coordinate del sito d'interesse e per i periodi di ritorno di riferimento, i valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* da normativa.

Posizione del sito	
Latitudine	Longitudine
41.029478	13.936511

Per le verifiche di stabilità alla liquefazione, il valore di a_g da considerare è quello corrispondente allo stato limite ultimo Salvaguardia della vita (SLV) con T_R pari a 475 anni. Il coefficiente stratigrafico (S_s) dipende dalle categorie di sottosuolo, definite dal D.M. 14/01/2008 nelle Tab. 3.2.II e Tab. 3.2.III.

La categoria di sottosuolo per il sito oggetto è "C" con un **Vs30 pari a 215 m/sec**, il coefficiente stratigrafico (**S_s**) vale **1,5** e il coefficiente topografico (**S_T**) è pari a **1**.

Nella seguente tabella è riportata l'accelerazione massima attesa per il sito analizzato.

Ubicazione	Accelerazione su suolo rigido a_g	Coefficiente stratigrafico S_s	Coefficiente topografico S_T	Accelerazione max attesa al sito a_{max}
Sito in esame	0,092	1,5	1,0	0,138

Si riporta di seguito la tabella di calcolo ottenuta dalla valutazione del rischio alla liquefazione del terreno relativamente al sito in esame.



VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

METODO DI ANDRUS E STOKOE

Profondità (m)	Spessore (m)	γ_n (t/mc)	Vs (m/s)	σ_{vo} (Kpa)	σ'_{vo} (Kpa)	FC (%)	V^*_{s1} (m/s)	V_{s1} (m/s)	rd
1,00	1,00	1,60	140,01	7,85	7,85	0	220	264,55	0,99
5,25	4,25	1,70	140,01	51,12	30,28	0	220	188,75	0,96
18,02	12,77	1,70	188,6	192,99	88,70	0	220	194,34	0,86
30,00	11,98	1,80	355,21	405,17	179,52	0	220	306,87	0,77
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

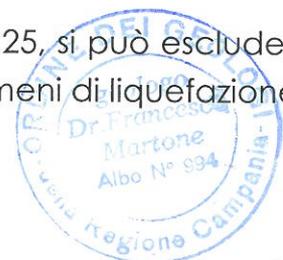
CRR	CSR	FS
0,1857	0,0592	***
0,1316	0,0966	1,36
0,1443	0,1119	1,29
0,2681	0,1037	2,58
---	---	---
---	---	---

M	6,45
MSF	1,47
a_{max}/g	0,135

Falda (m)	1,00
-----------	------

γ_n	Peso di volume del terreno
Vs	Velocità di propagazione onde S
σ_{vo}	Tensione verticale
σ'_{vo}	Tensione verticale efficace
FC	Frazione fine (< 0,075 mm)
V^*_{s1}	Velocità critica delle onde S in funzione di FC
V_{s1}	Velocità delle onde S normalizzata
rd	Coefficiente funzione della profondità
M	Magnitudo del sisma di riferimento
MSF	Coefficiente correttivo per terremoti di magnitudo diversa da 7.5
a_{max}/g	Accelerazione orizzontale massima attesa al suolo in condizioni di campo libero
g	Accelerazione di gravità
CRR	Resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico
CSR	Sforzo di taglio ciclico equivalente normalizzato, generato dal terremoto di progetto
FS	Fattore di sicurezza

Dato che i valori del fattore di sicurezza (F_s) sono superiori a 1,25, si può escludere che nei terreni costituenti la zona in esame possano verificarsi fenomeni di liquefazione.



STRATIGRAFICA LOCALE

Dall'osservazione diretta delle pareti di uno scavo posto nelle vicinanze del sito in oggetto integrata con i dati ottenuti dalle prove penetrometriche e da indicazioni bibliografiche, è stata ricavata la seguente successione litostratigrafica locale di seguito riportata:

- da mt. 0.00 a circa mt. 0.60: Terreno vegetale allo stato molto sciolto
- da circa mt. 0.60 a circa mt. 2.0: Limi sabbiosi e sabbie limose allo stato molto sciolto
- da circa mt. 2.0 a circa mt. 4.0: Limi sabbiosi a tratti argillosi allo stato molto sciolto
- da circa mt. 4.0 a circa mt. 4.80: Sabbie limose e limi sabbiosi allo stato sciolto.
- da circa mt. 4.80 a circa mt. 5.20: Limi sabbiosi a tratti argillosi allo stato molto sciolto.
- da circa mt. 5.20 a circa mt. 6.60: Sabbie limose e limi sabbiosi allo stato sciolto.
- da circa mt. 6.60 a circa mt. 8.20: Sabbie limose e limi sabbiosi allo stato da sciolto a compatto
- da circa mt. 8.20 a circa mt. 8.80: Limi sabbiosi e sabbie limose a tratti argillose allo stato molto sciolto
- da circa mt. 8.80 a circa mt. 14.0: Limi sabbiosi e sabbie limose allo stato sciolto

La presenza di terreni di colmata e cordoni dunali (limi argillosi; sabbie e sabbie limose; argille limose) legati all'evoluzione del fiume Volturno ed all'interazione del sistema Fiume-costa-mare, fino a profondità maggiori di 30 mt, è confermata dalla bibliografia.



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

La caratterizzazione geotecnica consiste nella formulazione di un modello geomeccanico dei terreni di fondazione, tale da ricondurre la complessa situazione naturale a schemi più semplici facilmente utilizzabili per i calcoli di progetto, essa è stata esplicitata mediante indagini in sito consistenti in:

- n° 1 prova penetrometrica dinamica pesante.
- n° 1 prova sismica di superficie

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

La prova penetrometrica pesante, è stata eseguita con un penetrometro dinamico pesante "DPHS PAGANI" avente le seguenti caratteristiche:

- peso del maglio = 63.50 (Kg)
- altezza di caduta = 75 (cm)
- peso delle aste = 8.0 (Kg)
- sezione punta conica = 20 (cmq)
- angolo al vertice = 90°
- lunghezza delle aste = 1.0 (mt)

La prova consiste nell'inghiottire nel terreno, attraverso un dispositivo di battuta con sganciamento automatico, una batteria d'aste con alla base una punta conica, e contare il numero di colpi necessari all'avanzamento d'ogni 20 cm della stessa.

La penetrazione dinamica della punta battuta nel terreno consente il riconoscimento delle relative caratteristiche meccaniche. Il DPHS può fornire dati sempre attendibili laddove è nota la situazione geologica e stratigrafica.

Parametro caratteristico dello stato di addensamento dei terreni incoerenti è la resistenza di rottura dinamica alla punta "Rd" ricavabile direttamente dalla formula degli "Olandesi":

$$Rd = \frac{(M \times M^* \times h)}{A^* \times e^* \times (M + P)}$$

dove:



- R_d = resistenza dinamica.
- M = Peso del maglio.
- h = altezza di caduta del maglio.
- A = sezione della punta conica.
- e = $20/N$ con N numero di colpi, mediato alla profondità d'interesse.
- P = peso delle aste

In funzione di R_d , attraverso correlazioni di carattere empirico, è possibile ricavare le caratteristiche meccaniche dei terreni.

Il largo utilizzo del penetrometro dinamico pesante (DPHS) e le relative numerose esperienze di carattere professionale evidenziano precisi elementi di correlazione tra le prove DPHS ed SPT, quindi allo stato attuale delle conoscenze si può porre

$$NSPT (30cm) = 1.52 \times N_{DPHS} (20cm)$$

E' possibile quindi utilizzare la vasta bibliografia esistente e di sicura attendibilità, sviluppata sulle prove SPT da numerosi A.A., per effettuare correlazioni empiriche tra N_{SPT} e le caratteristiche geotecniche dei terreni. In funzione di N_{SPT} sono stati ricavati i valori della densità relativa (D_r) (Fig.1) e dell'angolo d'attrito (ϕ) (Fig.2) utilizzando le curve sperimentali di Meyerhof e Terzaghi-Peck come da tabella di seguito riportata.

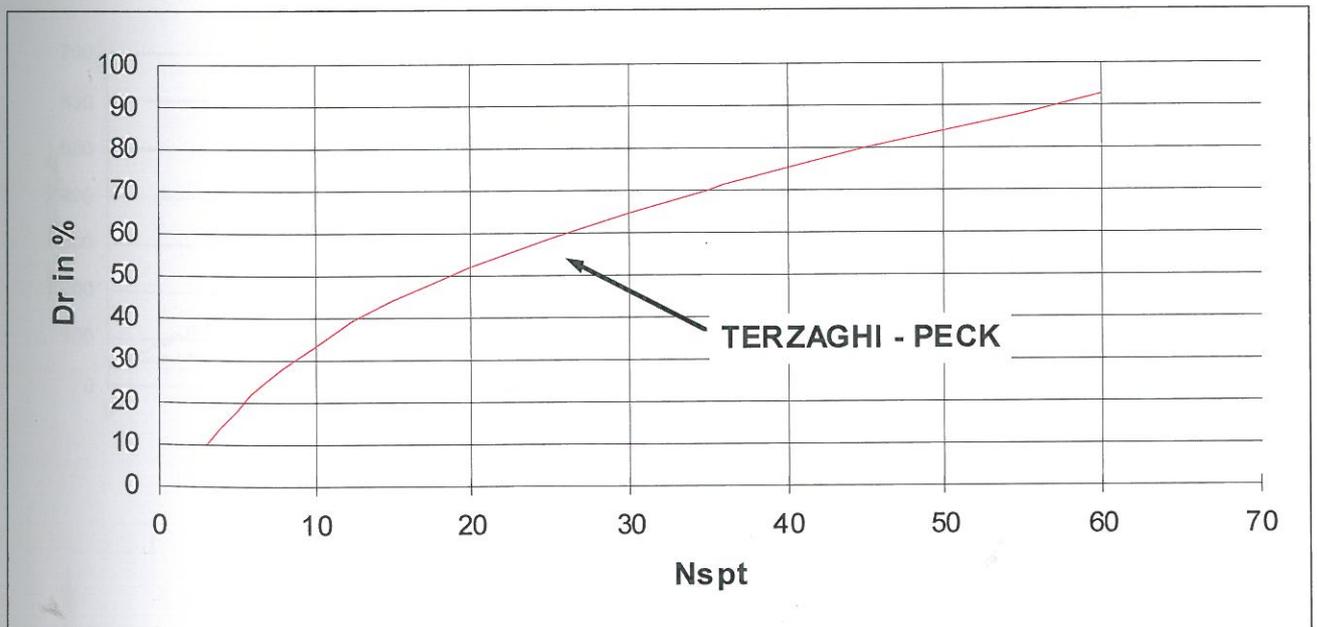


Fig. 1 La Densità relativa in funzione di Nspt



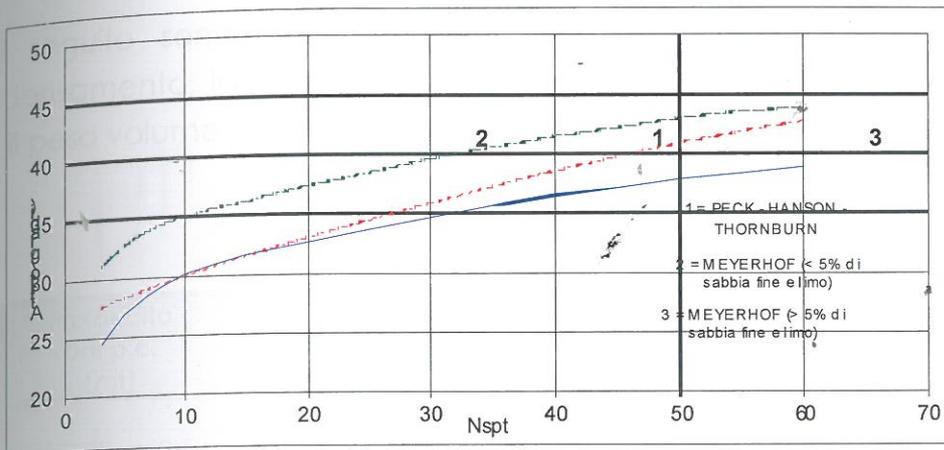


Fig. 2 Angolo d'attrito ϕ in funzione di N_{spt}

Inoltre è stato valutato anche il modulo edometrico (E_{ed}) in funzione di N_{SPT} , con le modalità descritte da Mezenbach e Malcev come da Fig. 3, nella quale si attribuisce notevole importanza all'ambiente granulometrico.

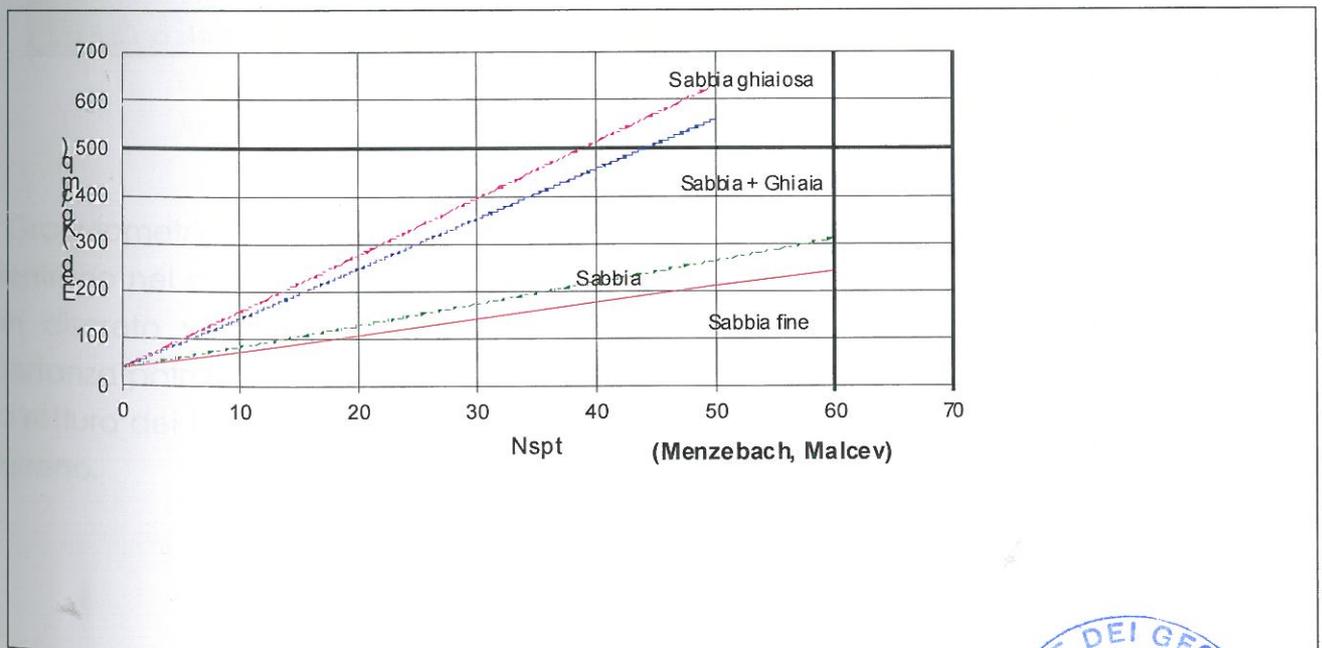


Fig. 3 Variazione del Modulo edometrico in funzione di N_{spt}



Di seguito sono schematizzati, accorpati per strati omogenei, lo stato di addensamento, la densità relativa, l'angolo di attrito interno, il modulo edometrico ed il peso volume naturale (da bibliografia) dei terreni investigati.

Profondità Dal p.c. (mt)	Angolo di attrito (gradi)	Modulo edometrico (Kg/cmq)	Stato di addensamento	Densità relativa (%)	Peso Volume (gr/cm ³)*
da 0.00 a 0.60	23	12	Molto sciolto	7	1.7
da 0.60 a 2.00	23	12	Molto sciolto	7	1.7
da 2.00 a 4.00	24	22	Molto Sciolto	12	1.7
da 4.00 a 4.80	27	42	Sciolto	22	1.8
da 4.80 a 5.20	24	18	Molto Sciolto	10	1.7
da 5.20 a 6.60	27	42	Sciolto	22	1.8
da 6.60 a 8.20	29	60	Sciolto/compatto	30	1.8
da 8.20 a 8.80	25	24	Molto Sciolto	13	1.7
Da 8.80 a 14.0	28	50	Sciolto	25	1.8

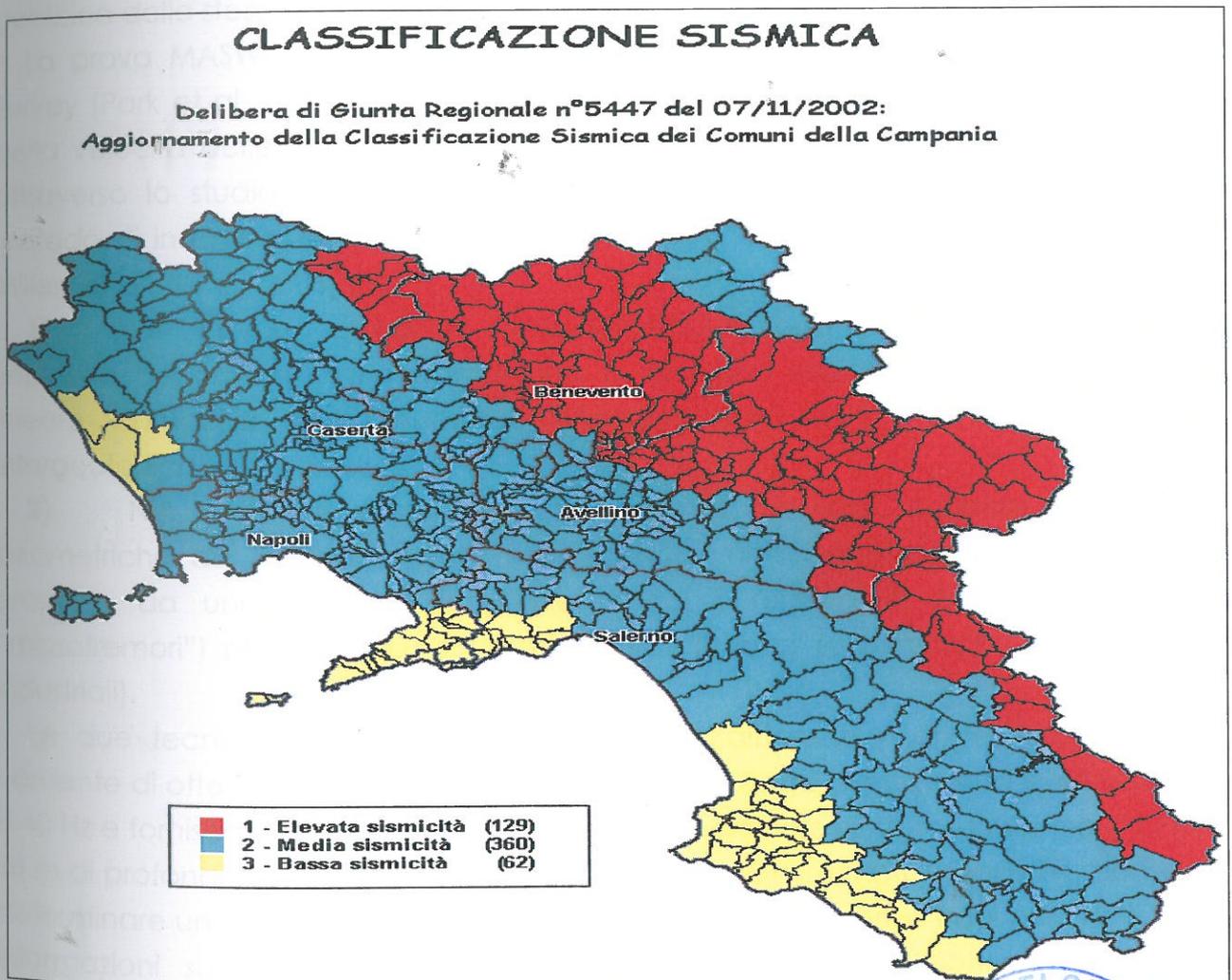
Granulometricamente i terreni esaminati, di natura essenzialmente piroclastica, rientrano nel campo delle sabbie limose e sabbie limose ghiaiose, caratterizzati da un discreto valore del coefficiente di permeabilità, quindi i calcoli relativi alla portanza potranno essere condotti in termini "drenati", cioè quella condizione in cui la rottura dei terreni avviene senza creare pressioni d'acqua tra i granuli costituenti il terreno.



SISMICITA' GEOLOGICA

Con delibera 5447 del 7 novembre 2002 la Giunta Regionale della Campania ha approvato l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale. Tutti i comuni campani risultano classificati come sismici. In particolare sono state individuate 3 zone sismiche. Alle tre categorie sismiche corrispondono diversi gradi di sismicità.

L'area oggetto d'intervento è a bassa sismicità, 3° categoria sismica, "Zona con pericolosità sismica **bassa**, che può essere soggetta a scuotimenti modesti, con accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 e **ag** variabile tra $0.05 \leq ag \leq 0.15g$



INDAGINE GEOFISICA "MASW"

Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z). Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito-specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008). Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh. Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

1) Nel "metodo attivo" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel "metodo passivo" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m). La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione



dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 35-40 m di profondità sempre in funzione della rigidità degli strati). L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita con tecnica MASW ATTIVA utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 12 geofoni con spaziatura come da tabella seguente.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo con trasmissione digitale del segnale geofonico.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata della prova MASW attiva.

Caratteristiche della strumentazione

- 1 geofono trigger, 12 Geofoni verticali "Geospace" con $f = 4.5$ Hz
- Cavo sismico con 12 canali con digitalizzazione del segnale geofonico analogico.
- Interfaccia di acquisizione dei dati digitali inviati dai canali.
- Sorgente Mazza battente da 10 kg su piattello metallico.



ATTREZZATURA DI PROVA

Le indagini sismiche sono state eseguite utilizzando un sismografo modello SYSMATRACK (n° serie: M044046) della MAE Srl, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

Configurazione:	12 Canali
Alimentazione:	Batteria esterna 12 V 1 A
Conversione A/D:	24 bit con un convertitore sigma-delta dedicato Al Singolo canale
Guadagno:	0, 6, 12, 18, 24, 30, 36 dB configurabili a software per i Singoli Canali
Intervallo di campionamento:	0.0667, 0.1333, 0.2666, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 mS
Memoria di registrazione:	10922 campioni
Formato dei dati:	SEG-2 standard
Sistema operativo:	Windows XP Embedded



ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione WINMASW 4.1 standard di Eliosoft.. Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze.

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali. L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito all'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità (**Figura A**).

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata.

Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA

- Spaziatura tra i geofoni 3.0 m;
- Distanza sorgente 1° geofono 3.0 metri;
- Tempo di campionamento 1.0 ms;
- Tempo di registrazione 2 s



modello sismico monodimensionale

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]
1	5.25	5,25	140	320
2	12.77	12.77	188	403
3	semispazio	semispazio	355	690

CALCOLO DELLE Vs30 e CATEGORIA DI SUOLO

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio. Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H e V indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore riferito alla quota p.c.

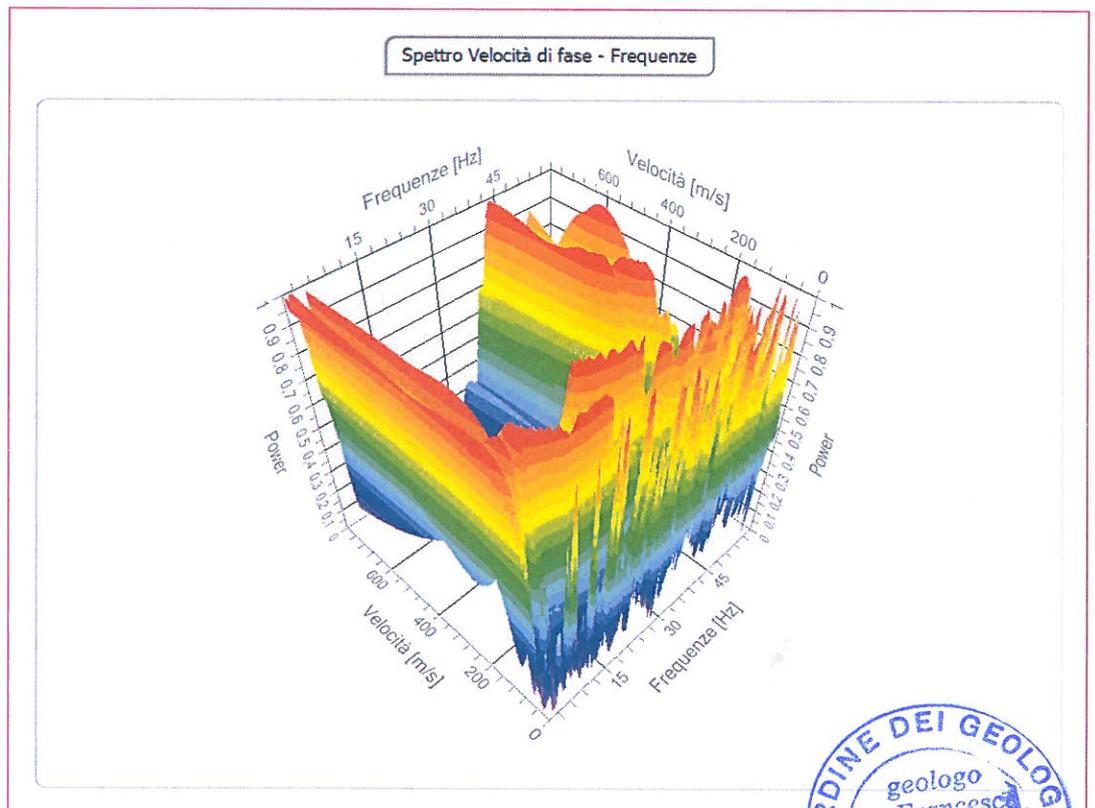
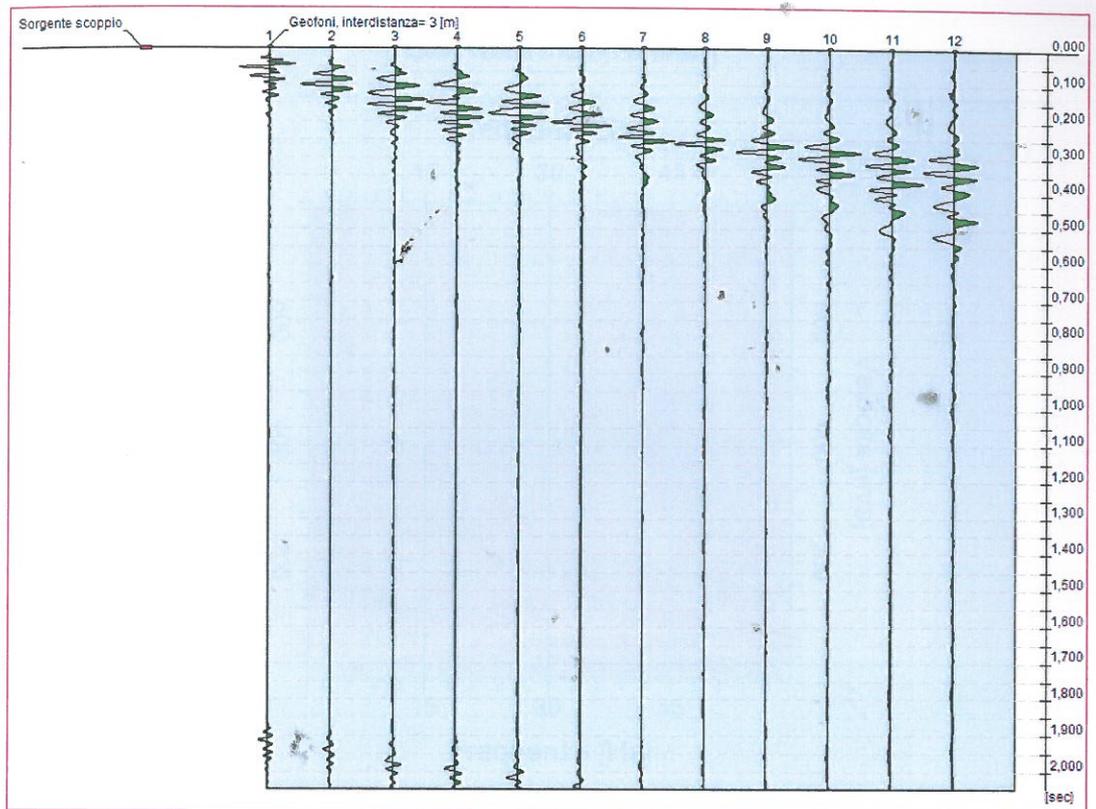
$$V_{s30} = 215 \text{ m/s}$$

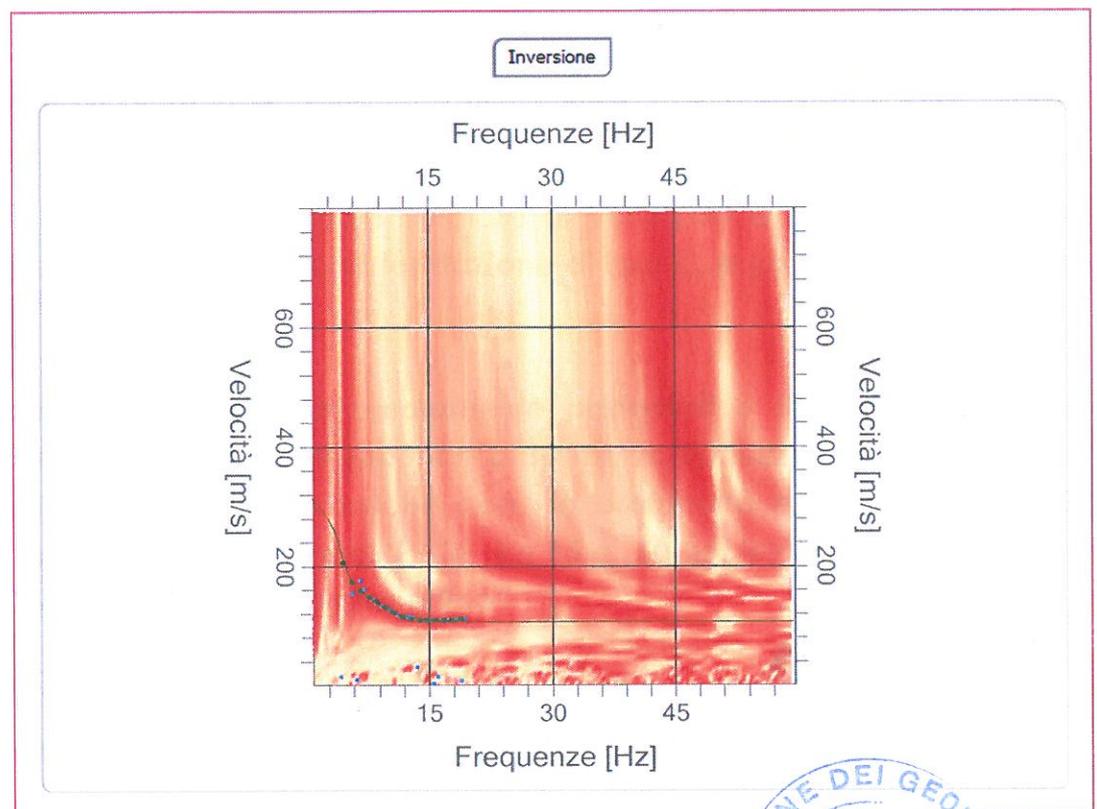
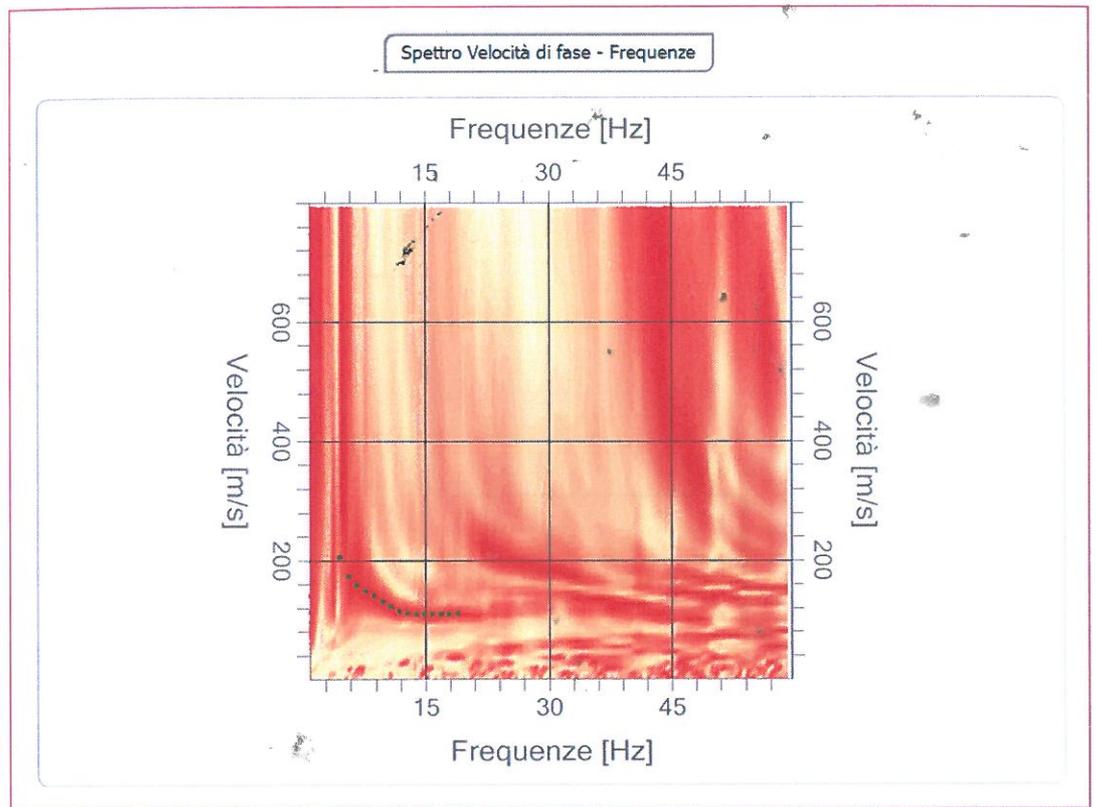
a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo **C** (si veda la tabella seguente).

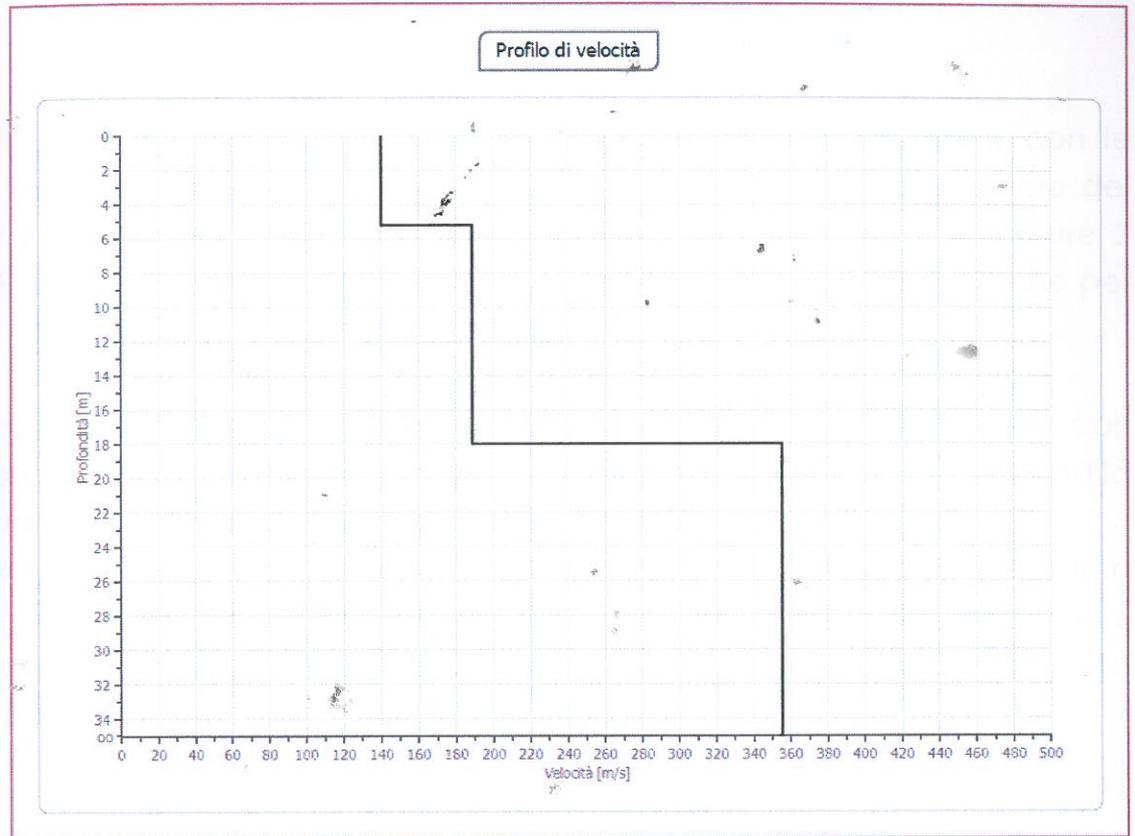


Categoria dei suoli di fondazione				
Tipo	Descrizione	Vs30 (m/s)	Nspt30	Cu (kPa)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s , eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione , con spessore massimo pari a 3 mt.	> 800	-	-
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 mt , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	> 50 nei terreni a grana grossa	>250 kPa nei terreni a grana fina
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti , con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	15-50 nei terreni a grana grossa	70-250 nei terreni a grana fina
D	Depositi di terreni grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	< 180	< 15 nei terreni a grana grossa	< 70 nei terreni a grana fina
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 mt, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s)			
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 10 m/s (ovvero 10<Cu30<20kPa), che includono uno strato di almeno 8 mt di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 mt di torba o di argille altamente organiche.			
S2	Depositi di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti			
Categoria topografica del sito				
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media		i <= 15°	
T2	Pendii con inclinazione media		i > 15°	
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media		15° <= i <= 30°	
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media		i > 30°	









L'esame dei dati sismici, in particolare il valore di **Vs30** pari a **215 m/sec** fanno ritenere la zona in esame come **suolo di fondazione di tipo C**, e categoria topografica di suolo **T1**

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero N_{SPT30} tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa e cu30 tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina"

T1 = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\alpha \leq 15^\circ$



VOLUME SIGNIFICATIVO

Nel caso di fabbricati di civile abitazione la profondità da raggiungere con le indagini può essere dell'ordine di $b \div 2b$, dove b è la lunghezza del lato minore del rettangolo che meglio approssima la forma in pianta del manufatto (Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008).

Nella fattispecie dato le caratteristiche dell'opera, possiamo considerare con buona approssimazione che il volume significativo si estenda fino ad una profondità H al di sotto del piano di posa della fondazione, pari a b .

Considerando che, nel caso in esame, il lato minore della costruzione b è pari a circa **6-8 m** e la profondità delle fondazioni D è pari a circa **1,0 m dal locale p.c.**, l'indagine dovrà essere condotta, a partire dal piano campagna, fino ad una profondità H pari a:

$$H = (1,0 \times 8,0) (d) + 1,0 (D) = 9,0 \text{ m}$$

La prova penetrometrica DPSH è stata spinta ad una profondità di **13.60 m dal p.c.**, maggiore di quella sopraindicata.



CONCLUSIONI

L'indagine svolta per il progetto in esame sito nel comune di Castel Volturno, viene di seguito sintetizzata con le relative conclusioni, che scaturiscono dalla risultanze di tutte le prove, un'analisi dettagliata e puntiforme ci fa rilevare quanto segue:

➤ Stratigraficamente l'area presenta una coltre superficiale di materiale colluviale con fenomeni di alterazione, seguita da una successione di materiali sabbiosi limosi di probabile origine eolica e/o fluviale allo stato generalmente allo stato sciolto, con angolo di attrito interno variabile tra **23 e 29 gradi** con coesione praticamente nulla. I vari litotipi presentano contatti non paralleli e in genere hanno spessori molto variabili.

➤ I valori del peso dell'unità di volume sono, mediamente 1.7 – 1.8 gr/cmc.

➤ La falda idrica di tipo freatico è presente alla profondità di circa **1-1.50 metri dal p.c.**, è comunque soggetta a variazioni legata agli eventi meteorici ed emungimenti locali.

➤ Per quanto concerne il rischio idraulico e a franare, l'area in oggetto non rientra tra le **aree soggette a rischio frana ma è classificata come area di fascia "A" dall'autorità di bacino Liri Garigliano Volturno.**

➤ L'area indagata è sismicamente omogenea, con sottosuolo di **categoria C, e categoria topografica del sito T1**

Il riferimento all'esito dei dati raccolti in sito ed in laboratorio si può definire l'area idonea dal punto di vista geologico, morfologico (statico), idrogeologico e sismico.

Tanto per incarico ricevuto.

