



COMUNE DI MESAGNE

Provincia di Brindisi

Proponente

Società Rinascente di Puglia S.r.l.
Milano, Viale Berbera, n. 49-20162.

Oggetto:

**PROGETTO DI LOTTIZZAZIONE SUB COMPARTO C11
IN CONTRADA SETA.**

Elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

*Norme Tecniche per le costruzioni "DECRETO 17 gennaio 2018 del MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI"*

Consulenza

Dott. Geol. Giuseppe MASILLO

Firme



Redazione	Prima emissione	Revisione	Motivazione
	Aprile 202a	Rev.0	

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. PROGETTO E LOCALIZZAZIONE	4
3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	4
4. VERIFICA DELL'ESISTENZA DELLA FALDA IDRICA SUPERFICIALE	8
5. INTERPRETAZIONE DI DATI GEOTECNICI RIFERIBILI A PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE NELLE IMMEDIATE VICINANZE	8
5.1 <i>Proprietà fisiche dei litotipi interessati dalle strutture fondali</i>	10
5.2 <i>Proprietà meccaniche</i>	12
6. INDAGINE SISMICA TIPO "RE.MI" (Refraction Microtremor).	13
6.1 <i>Strumentazione e metodologia</i>	15
6.2 <i>Interpretazione delle misure eseguite</i>	18
6.3 <i>Modello sismico locale</i>	20
6.4 <i>Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche</i>	21
7. COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'AREA	22
8. CONSIDERAZIONI FINALI	23

1. PREMESSA

Lo scrivente geologo Dott. Giuseppe MASILLO ha valutato le caratteristiche stratigrafico-meccaniche nelle aree in cui insiste il **progetto di intervento edilizio di lottizzazione, ubicato in contrada Seta** (censito al Foglio 46, Particelle 31, 32, 33, 67, 172, 194, 195, 350, 364, 365, 366, 376, 377, 378, 422).

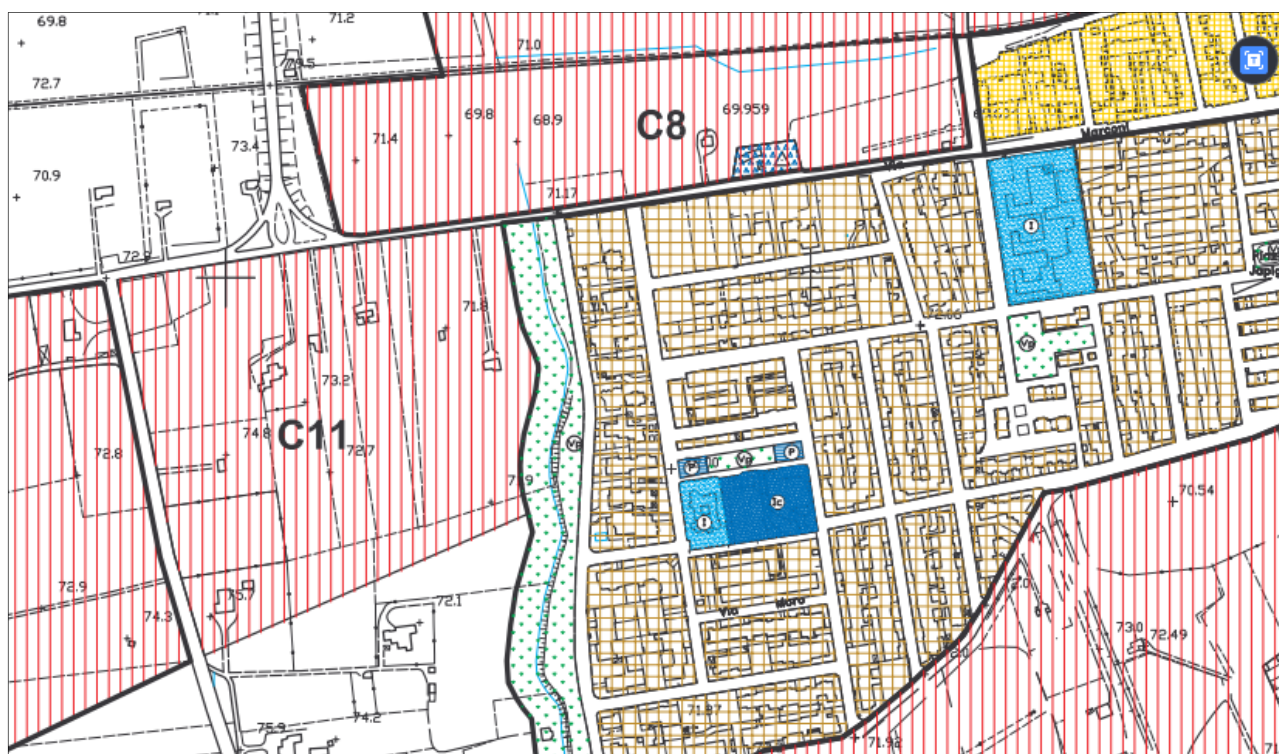


Figura 1 Stralcio PRG

L'area interessata dal progetto di lottizzazione ricade nel vigente PRG della Città di Mesagne in Zona omogenea C11, nel Comune di Mesagne.

Con il Testo unico "Norme Tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008, ed ultimo aggiornamento con DECRETO 17 gennaio 2018 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, si definiscono le procedure con cui effettuare una modellazione geologica e geotecnica del sito interessato da opere interagenti con i terreni e rocce. Perciò in ottemperanza alle prescrizioni del suddetto decreto sono state svolte delle indagini per la caratterizzazione dell'area in oggetto, per la definizione del modello geologico del terreno, per la definizione delle caratteristiche geotecniche, definizione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici. Il programma delle indagini e' stato articolato come segue:

- Consultazione dei dati geotecnici stratigrafici e idrogeologici relativi a indagini eseguite

dallo scrivente su tutto il territorio di Mesagne;

- Rilievo geologico e geomorfologico speditivi;
- Elaborazione geotecnica dei parametri ricavati in base alla tipologia delle strutture che si intendono realizzare.
- In particolare l'indagine eseguita e' stata mirata alla definizione delle successioni stratigrafiche e dei rapporti intercorrenti tra i vari litotipi che direttamente o indirettamente condizionano l'opera in progetto curando in specie:
 - la stratigrafia dell'area e l'eventuale spessore dei terreni di copertura da sbancare;
 - presenza o meno di falda d'acqua superficiale.
 - le caratteristiche meccaniche e la capacita' portante del banco di fondazione;
 - categoria del suolo e Vs30 determinata mediante utilizzo di tomografo portatile Mod. Tromino, il quale: misura delle frequenze di risonanza dei suoli, effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura), stratigrafia sismica passiva, Vs30 da fit vincolato della curva H/V e doppia risonanza suolo-struttura.

2. PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Il progetto riguarda un Piano Urbanistico Esecutivo sui terreni ubicati nel Comune di Mesagne , in Contrada Seta, (censito al Foglio 46, Particelle 31, 32, 33, 67, 172, 194, 195, 350, 364, 365, 366, 376, 377, 378,422) in base alla recente delibera del Consiglio Comunale del 22/10/2020 destinati a residenza con possibilità di costruire edifici in linea o a schiera costituiti da piano seminterrato destinato ad autorimessa, piano terra e piano primo a residenza.

3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

In questo territorio il ciclo trasgressivo Pleistocenico si è svolto dando luogo ad una successione di sedimenti marini il cui spessore, variabile in funzione della profondità del substrato calcareo, raggiunge 25m circa.

Dai dati a disposizione dello scrivente, rivenienti dalla esecuzione di sondaggi geognostici e geofisici svolti nelle vicinanze, confrontati con i risultati ottenuti da un rilevamento geologico di ricognizione effettuato nell'area in concomitanza del presente lavoro si definisce l'assetto stratigrafico, dal basso verso l'alto, riportato nel modello geologico che segue:

- Calcari, calcari dolomitici e dolomie grigio chiare o bianco- nocciola, la cui età è ascrivibile

al Cretaceo. Questa formazione, nota in letteratura geologica con il nome di Dolomie di Galatina, rappresenta il basamento dei più recenti sedimenti plio-pleistocenici.

- Calcareniti bianco giallastre e calcari tipo panchina. Questa formazione è direttamente trasgressiva sui calcari cretacici e l'età è riferibile al plio-pleistocene.
- Argille ed argille sabbiose grigio-azzurre passanti verso l'alto a sabbie gialle o rossastre con sparsi, sempre nella parte alta, ciottoli di natura calcarea o calcarenitica. A volte tra le sabbie superiori e le argille sottostanti si interpone un banco di calcareniti, mai molto potente, denominato unità panchina. Quest'ultima formazione, per la presenza di microfossili guida fra cui la *Hyalinea balthica*, si fa risalire senza dubbio al Calabriano.

Studi approfonditi su tali depositi plio-pleistocenici hanno evidenziato come gli spessori varino, diminuendo, spostandoci dalla costa verso l'interno e spostandoci da Ovest verso Est. Queste circostanze comportano, a seguito d'eteropie laterali e verticali, un assetto stratigrafico leggermente diverso a seconda delle zone considerate. L'esistenza di questa falda e' dovuta alla presenza di un banco argilloso che consente l'accumularsi dell'acqua di infiltrazione nei livelli permeabili di sabbie e sabbie limose (Vedi stratigrafia precedente).

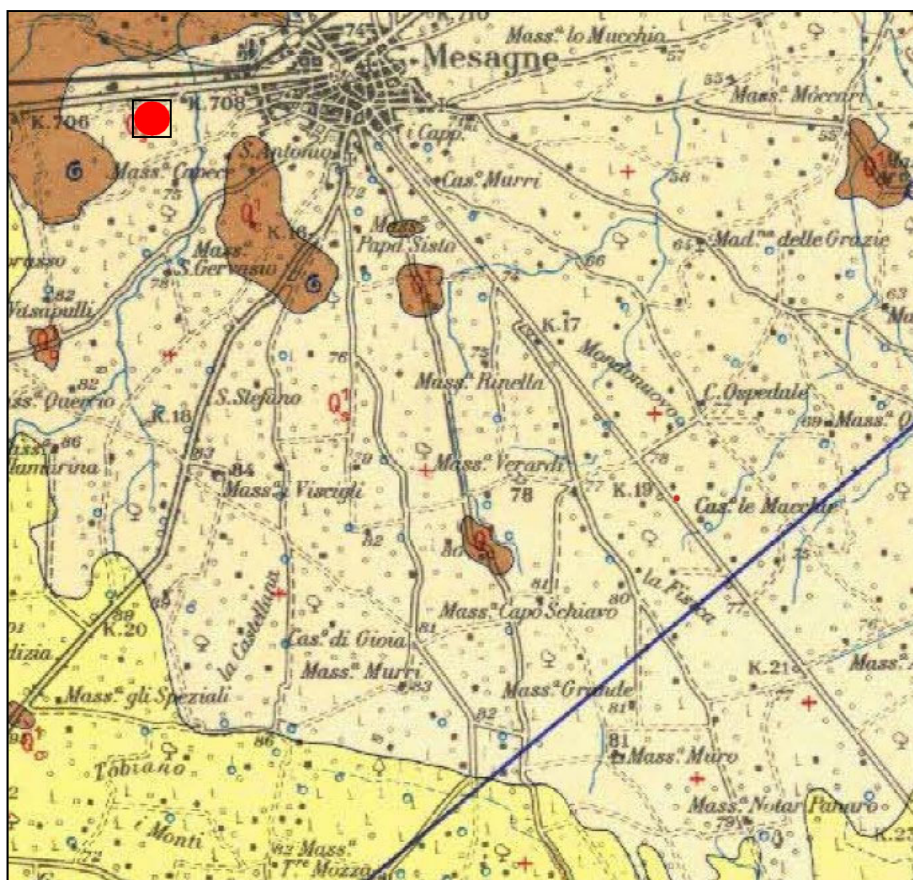
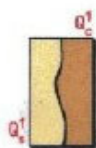
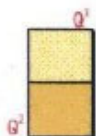


Figura 2 Localizzazione dell'intervento su carta geologica



Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm. di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurroastre (Q_1^a); spesso l'unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati (Q_1^c). Nelle sabbie più elevate si notano talora *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.), *Ammonia perlucida* (HER. ALL. EARL.) (PLEISTOCENE). Nelle sabbie argillose ed argille sottostanti, accanto a *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* MULL. ed altri molluschi, sono frequenti: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Bolivina catanensis* SEG. (CALABRIANO). FORMAZIONE DI GALLIPOLI.

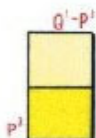
Livelli appartenenti alle CALCARENITI DEL SALENTO, aventi le seguenti caratteristiche:



(Q_1^2) Calcareniti e calcari tipo panchina, con ricca fauna non indicativa a *Elphidium crispum* (LIN.), *Bulimina marginata* D'ORB., *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Uvigerina peregrina* CUSH., *Sphaeroidina bulloides* D'ORB., *Cibicides boueianus* (D'ORB.), *Cibicides floridanus* (CUSH.)

In trasgressione sul (Q_1^1), oppure sulle formazioni cretache. In base ai rapporti stratigrafici, questo livello è attribuibile al Pleistocene.

(Q_1^1) Calcari bioclastici ben cementati ricchi di fossili non indicativi: *Elphidium complanatum* (D'ORB.), *E. crispum* (LIN.), *Discorbis orbicularis* (TERQ.), *Ammonia beccarii* (LIN.), *Cibicides floridanus* (CUSH.). In trasgressione sul (P^1) oppure sul Cretaceo. In base ai rapporti stratigrafici, questo livello è attribuibile al Pleistocene.



($Q_1^1-P^1$) Sabbie calcaree poco cementate, con intercalati banchi di panchina, sabbie argillose grigio-azzurre. Verso l'alto associazione calabriana: *Hyalinea balthica* (SCHR.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.) (CALABRIANO-PLIOCENE SUP.?). In trasgressione sulle formazioni più antiche.

(P^1) Calcareniti, calcari tipo panchina, calcareniti argillose giallastre. Macrofauna a Coralli, Cirripedi, Molluschi, Echinidi, Crostacei tra cui *Cancer sismondai* MEY. var. *antiatina* MAX. Microfauna ad Ostracodi e Foraminiferi: *Bulimina marginata* D'ORB., *Cassidulina laevigata* D'ORB. var. *carinata* SILV., *Discorbis orbicularis* (TERQ.), *Cibicides ungerianus* (D'ORB.), *C. lobatulus* (WALK. & JAC.), *Globigerinoides ruber* (D'ORB.), *G. sacculifer* (BRADY), *Orbulina universa* D'ORB., *Hastigerina aequilateralis* (BRADY) (PLIOCENE SUP.-MEDIO?). In trasgressione sulle formazioni più antiche.



Calcari dolomitici e dolomie grigio-nocciola, a frattura irregolare, calcari grigio-chiari. Microfossili non molto frequenti: *Thaumatoporella* sp., *Praeglobotruncana stephani stephani* (GAND.), *P. stephani turbinata* (REICH.), *Rotalipora appenninica appenninica* (RENTZ), *R. cf. reicheli* (MORN.), *Nummoloculina* sp. (CENOMANIANO SUP. e forse TURONIANO). DOLOMIE DI GALATINA con passaggio graduale al CALCARE DI ALTAMURA (verso Nord e verso Ovest).

LEGENDA DELLA CART GEOLOGICA

MODELLO GEOLOGICO MEDIO DEL SITO

0		<i>Terreno agrario con sabbia calcarea</i>
5		<i>Sabbia limosa con ciottoli e fossili e strati piu' addensati calcarenitici giallastri (tipo panchina)</i>
9		<i>sabbie limose-argillose di color giallastro</i>
18		<i>Argille grigio-azzurre</i>
22		<i>Calcarenite fossilifera</i>
30		<i>Calcare compatto bianco</i>

4. VERIFICA DELL'ESISTENZA DELLA FALDA IDRICA SUPERFICIALE

In alcuni pozzi freatici presenti nelle immediate adiacenze dell'area in studio, lo scrivente ha potuto rilevare il livello piezometrico dell'acqua presente. La presenza, cospicua, e' stata riscontrata in tutti i pozzi in questa zona ad una profondita' di circa 3,5 m dal p.c.

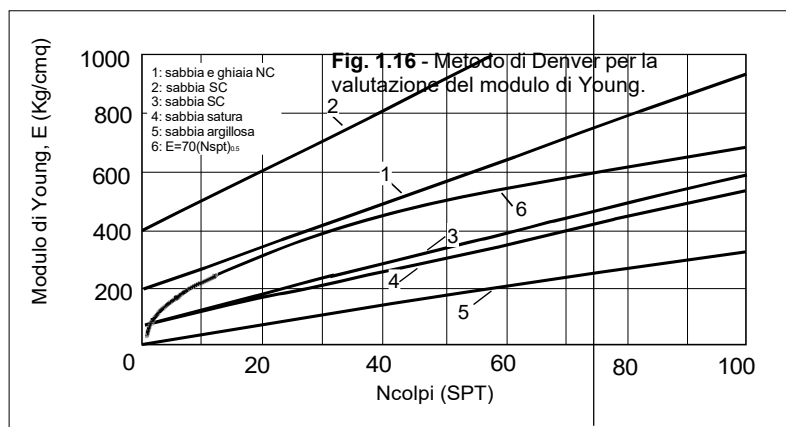
5. INTERPRETAZIONE DI DATI GEOTECNICI RIFERIBILI A PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE NELLE IMMEDIATE VICINANZE

Tali prove sono state eseguite dallo scrivente durante perforazioni eseguite nelle immediate vicinanze. Questo metodo viene usato per ottenere valori quantitativi sulla resistenza del suolo alla penetrazione e per ricavare, nei casi di attrezzi con punta aperta, campioni indisturbati. La prova consiste nel far cadere, con un ritmo di 20/25 colpi al minuto, una mazza da 63.5kg da un'altezza di 76.2mm su una batteria d'aste che possiedono nella parte terminale una punta conica chiusa di 60° avente diametro esterno 51mm.

La prova SPT può essere applicata su tutti i tipi di suolo e su rocce alterate o tenere.

Nel nostro caso specifico la prova è stata effettuata in foro, intervallando la perforazione a carotaggio continuo con prove SPT, su sabbie ed argille. (Di seguito sono riportate le tabelle comparative che consentono l'interpretazione dei dati ottenuti dalla prova).

Spessore (m)	Litologia	N.Colpi	Stato di addensamento
0 - 5	Sabbie i colore giallo-ocra, granulometria media con inclusioni di granuli di natura calcarenitica di colore biancastro passanti a sabbie limose	15	Scarsamente addensato
5 - 9	rifiuto	50	Addensato alternato a lapideo (causa gli strati di sabbie ben addensate)



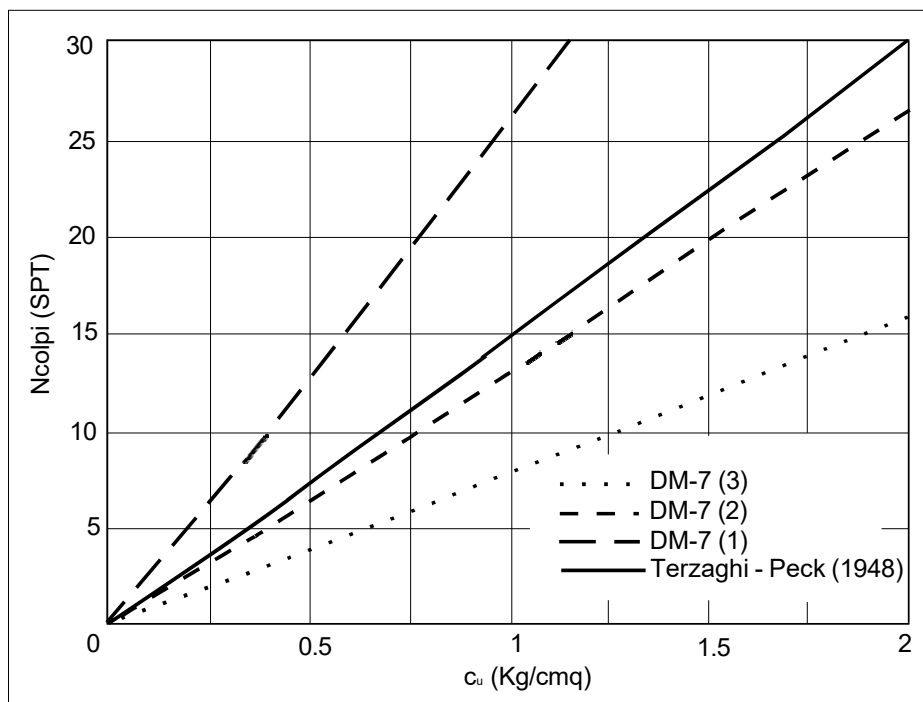


Fig. 1.17 - Metodi di Terzaghi e Peck e DM-7 per la valutazione della coesione non drenata.

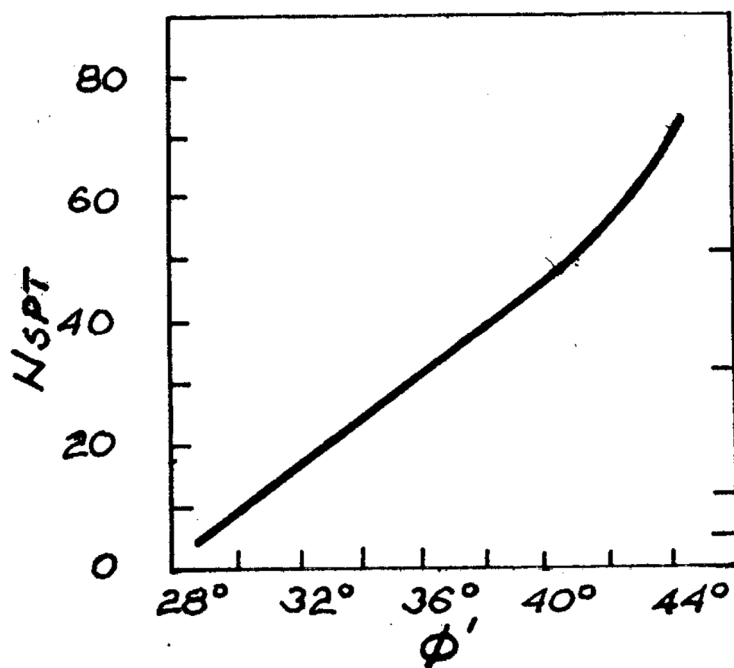


Fig.A (Terzaghi – Peck): Angolo di attrito in funzione del N° di colpi durante prova SPT.

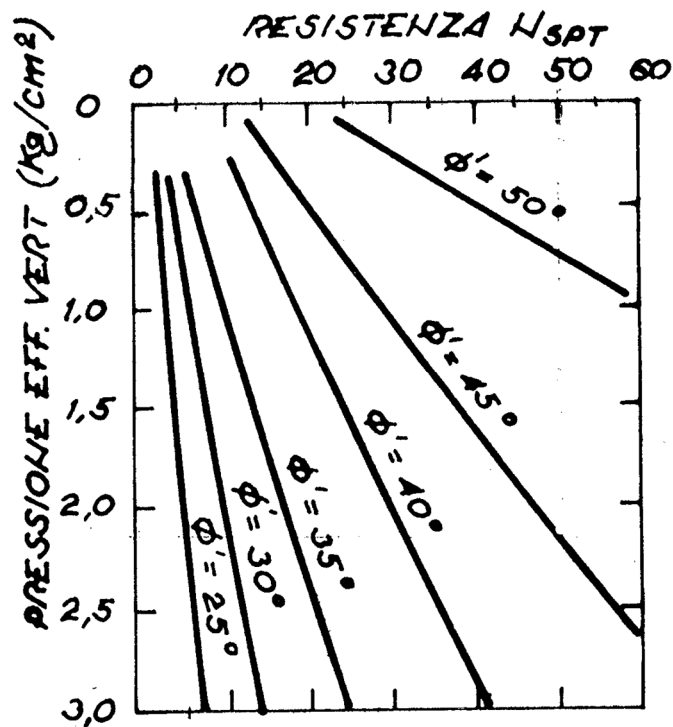


Fig.B (De Mello): Calcolo della Pressione effettiva in funzione del N° di colpi durante prova SPT

Quindi partendo dai dati ottenuti dalle prove penetrometriche eseguite nei terreni vicini a quelli dell'opera da realizzare e secondo lo scrivente in continuità di facies, ed utilizzando tabelle e grafici comparativi, si potrà costruire una tabella nella quale sarà indicata la relazione esistente tra il numero medio di colpi ottenuti durante la nostra prova e lo stato di addensamento (A.G.I. 1977). Con il procedimento usato si potrà trascurare la resistenza per attrito laterale rispetto a quello di punta in quanto il diametro della punta conica è maggiore di quello dell'asta.

Attraverso i dati riportati in allegato e con l'ausilio di alcuni grafici (Terzaghi – De Melo e Peck) si potrà effettuare una prima interpretazione dei dati penetrometrici.

Le sabbie con alternanza di strati arenitici sono i terreni di fondazione.

5.1 Proprietà fisiche dei litotipi interessati dalle strutture fondali

Granulometria:

Il confronto delle caratteristiche granulometriche dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi geognostici, effettuato nel diagramma triangolare di fig. 1, mostra che i terreni sono

prevalentemente costituiti da sabbie con limo e sabbie limose. Dalle curve granulometriche cumulative, si osserva che si tratta di sabbie fini, contraddistinte da un certo grado di uniformità. Tali terreni sabbiosi possono riferirsi alla unità stratigrafica dei Depositi Marini Terrazzati.

Consistenza:

I terreni esaminati presentano plasticità bassa ($2.5 < I_p < 15.8$), ad eccezione dei campioni 21 e 22 che, in accordo con la natura sabbioso-limosa, mostrano plasticità media.

I terreni sono contraddistinti inoltre da un grado di consistenza elevato (consistenza solida o solido plastica, $0.7 < I_c < 1.6$). L'attività è bassa (terreni non attivi) o normale.

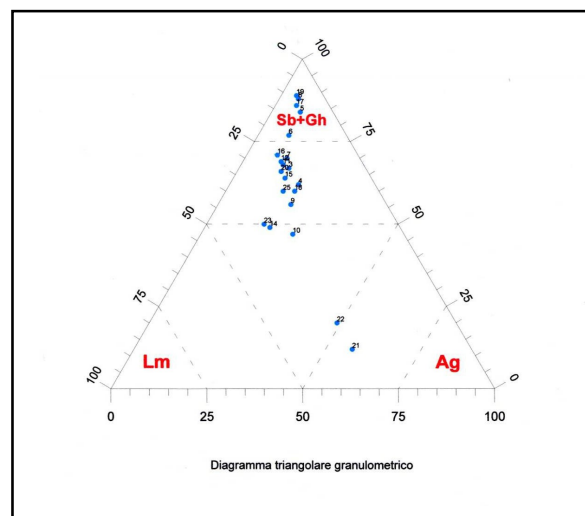
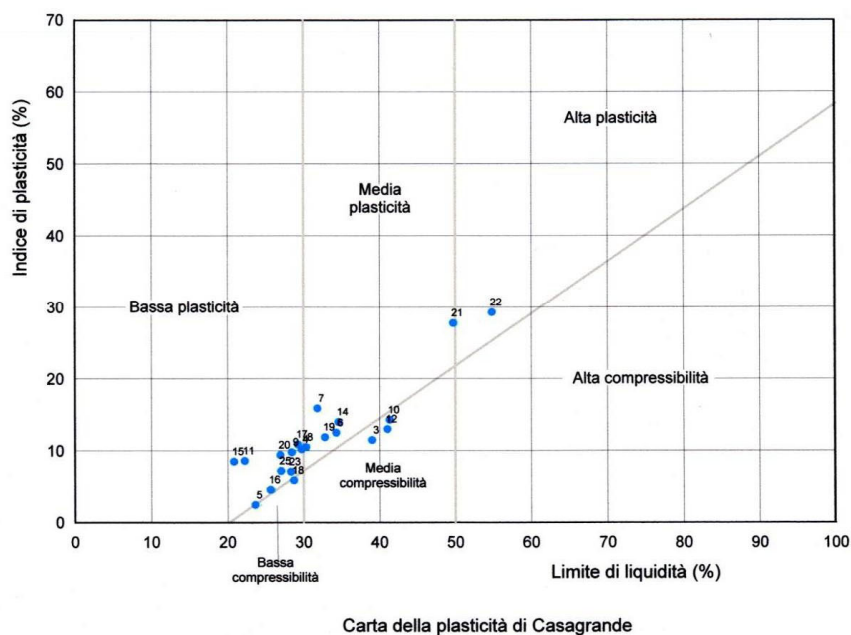
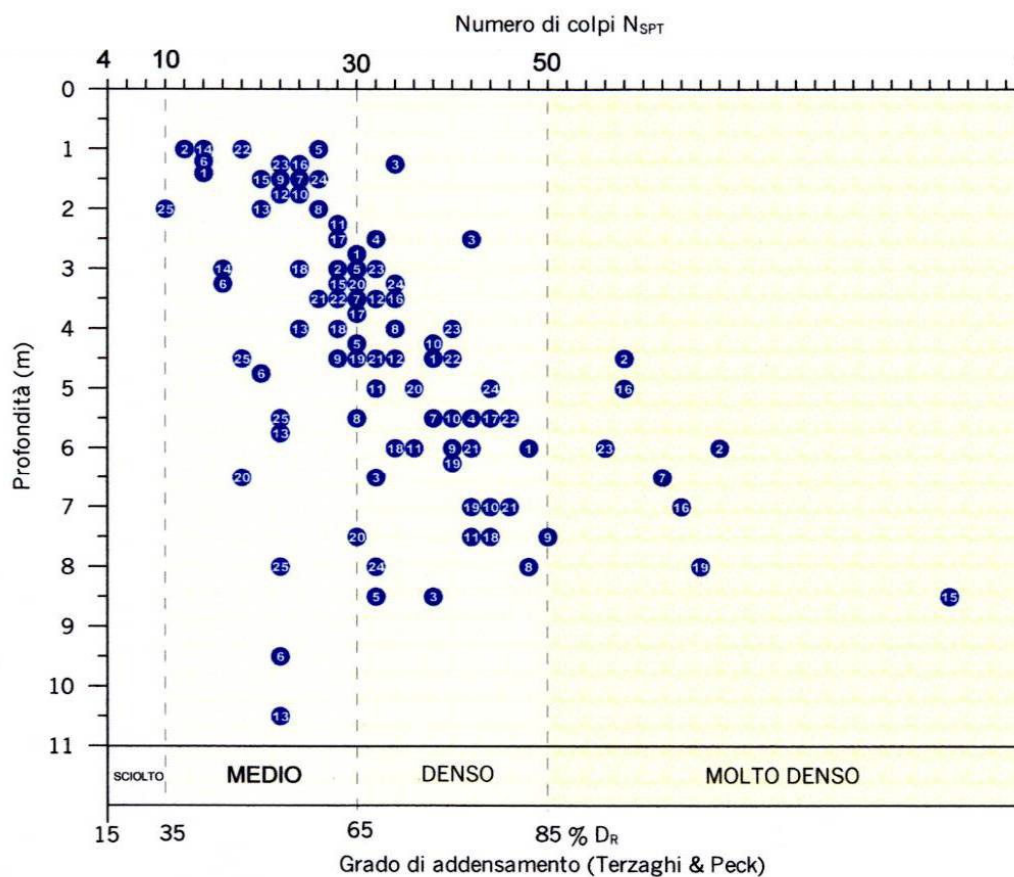


Fig.1





Stato di addensamento del terreno ricavato dalle prove SPT.

● numero del sondaggio.

5.2 Proprietà meccaniche

Caratteristiche di resistenza

Le prove di taglio diretto, effettuate in condizioni consolidate e drenate, evidenziano valori della resistenza per coesione molto bassi (*valori della coesione drenata intorno a 0.1 kg/cm^2*). Questo risultato è significativo di terreni sabbiosi, senza un'apprezzabile grado di cementazione. I valori dell'angolo di resistenza al taglio, sono compresi tra 24° e 27° (tranne che per i campioni di argilla e limo, campioni 21 e 22, con valori rispettivamente di 19° e 20°). Tale risultato è riferibile alla granulometria fine delle sabbie, al loro grado di uniformità granulometrica e al grado di addensamento non elevato delle stesse.

Caratteristiche di deformabilità

L'esame delle curve di compressibilità, ottenute dalle prove di compressione edometrica indica

che trattasi di terreni sabbiosi normalconsolidati, con valori del rapporto di sovraconsolidazione (OCR) prossimi all'unità. D'altra parte si sottolinea che non esistono nella zona in esame le condizioni geologiche che potrebbero aver determinato la sovraconsolidazione dei terreni per sovraccarico, né tali terreni, per la loro permeabilità, possono aver subito fenomeni di sovraconsolidazione per essiccamento. I moduli di compressione edometrica, sotto i diversi carichi applicati, risultano bassi, indicando una deformabilità del terreno rilevante.

Tuttavia, dalle curve di consolidazione (cedimenti – tempo) si rileva che i cedimenti indotti dall'applicazione dei carichi si esauriscono però assai rapidamente, come dimostrano gli elevati valori dei coefficienti di consolidazione e dei corrispondenti coefficienti di permeabilità.

In otto dei campioni esaminati, il primo tratto della curva di compressibilità edometrica (tratto di ricomprensione) evidenzia elevati valori del cedimento, sotto carichi inferiori alla pressione litostatica verticale in sito. Non è possibile escludere che tale comportamento sia determinato da un certo grado di disturbo dei campioni, ma potrebbe essere anche spiegato con la presenza di fenomeni di addensamento del terreno, determinati dal collasso, sotto carico, della struttura granulare di terreni sabbiosi poco addensati (sciolti).

PARAMETRI GEOTECNICI STIMATI				
N° di Colpi	Angolo di attrito (Φ)	Coesione (Kg/cm²)	Modulo di Young (Kg/cm²)	Peso specifico (g/cm³)
15	27	0,1	580	1,41 - 1,76

6. INDAGINE SISMICA TIPO “RE.MI” (Refraction Microtremor).

Questa indagine ha permesso di valutare il valore delle Vs30 e quindi la Categoria di Suolo, ai sensi della vigente normativa sismica.

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs30) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V.

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né

di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- ❖ la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- ❖ la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- ❖ la **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- ❖ la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso;

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s,
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
3. dalla risposta dello strumento.

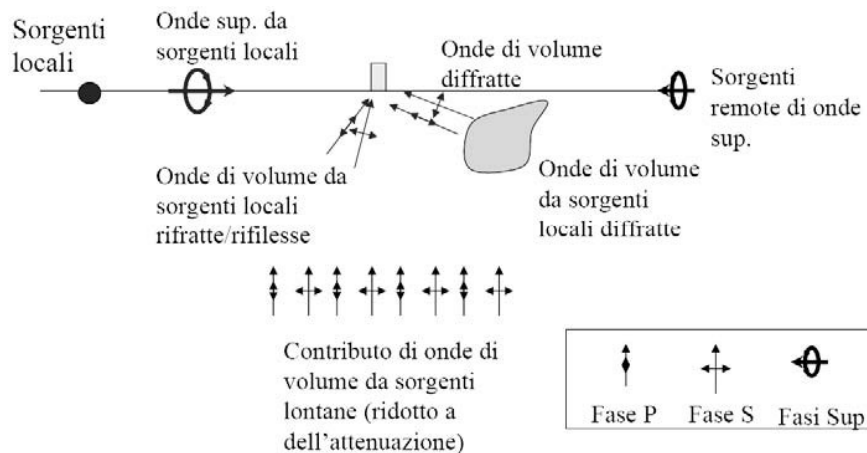
Possiamo scrivere questo come:

*segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento*

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché

riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si

basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.



Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica

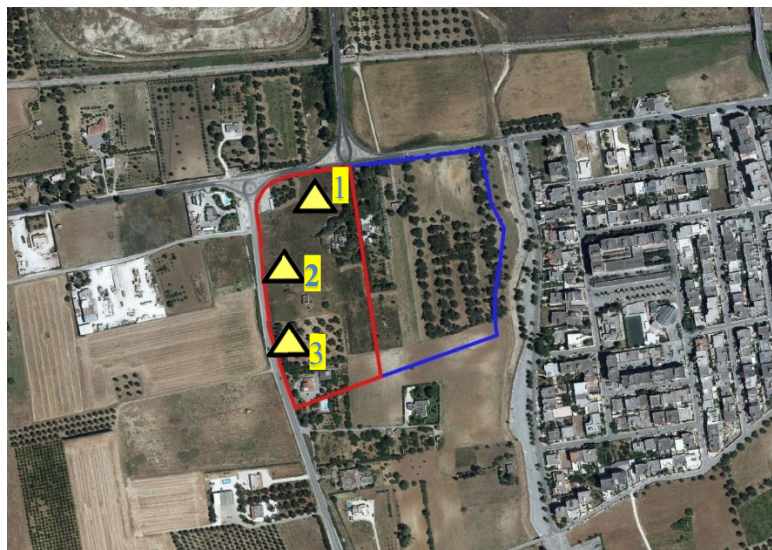
6.1 Strumentazione e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

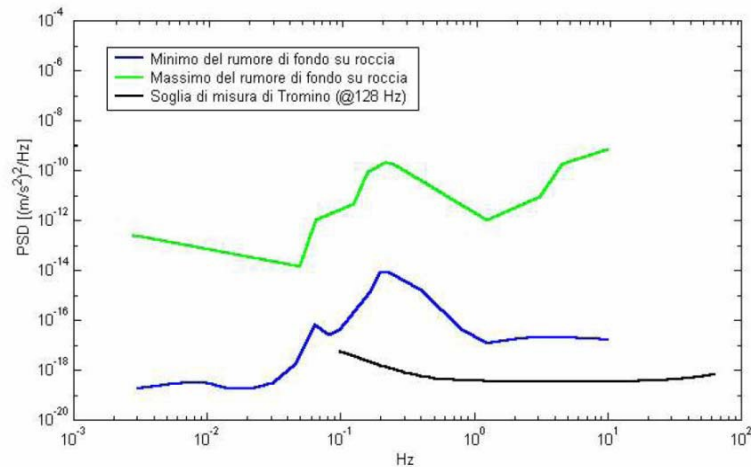


Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico. Nella figura seguente si riporta la curva di rumore di “Tromino” a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante il software “Grilla”, fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. Per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono stati corretti per offset e trend ma non filtrati così come raccomandato dalla norma DIN 4150-3.



 *Punti di esecuzione indagine geofisica mediante Tromino*



In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

4. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti),
5. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
6. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
7. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
8. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

9. i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato,
10. gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti",
11. la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno)

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori). Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche

quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano una serie d'esempi di classificazioni fatte sulla base di semplici misure H/V a stazione singola. In tutti i siti descritti, la stratigrafia è nota da sondaggi e prove penetrometriche e il profilo Vs è ricavato anche con metodi alternativi.

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate).	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia).	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose).	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

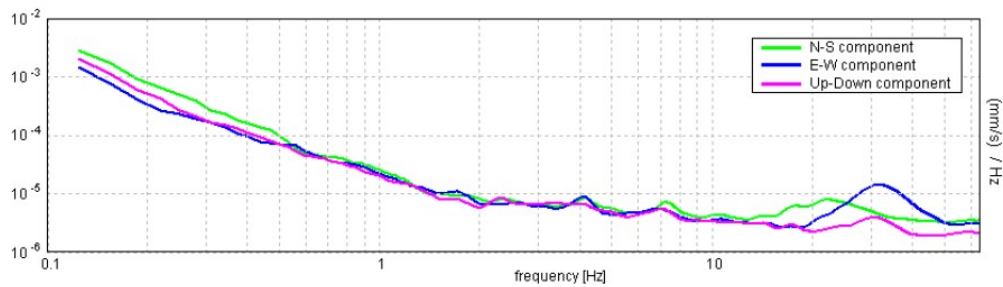
6.2 Interpretazione delle misure eseguite

L'interpretazione consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito risulta generata dalla discontinuità sismica localizzata alle medie frequenze (circa 1,5 Hz) e associabile a contatto copertura – roccia. La sovrapposizione degli spettri sismici acquisiti (figura a seguire) mostra un andamento

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



monodimensionale del substrato roccioso mentre per frequenze maggiori (minori profondità) si osservano sostanziali diversità.

L'utilizzo del codice di calcolo sintetico ha, in questo caso, evidenziato un'elevata discontinuità sismica a 5 – 6 Hz (circa 12 – 14 m dal p.c.) e una successiva graduale crescita delle velocità di propagazione delle onde di taglio con la profondità poiché lo spettro sismico si stabilizza costantemente su di un rapporto spettrale $H/V > 2$.

La crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche è correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

Il bedrock geofisico si localizza ad una profondità di circa 30 m dal p.c. ed è caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde $V_s = 900 - 1000$ m/s.

È stato quindi possibile stimare, tramite la formula $V_{s30} = 30 / \sum h_i/V_i$, la velocità delle onde V_s nei 30 m dal p.c., come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008:

Spessore sismostrati [m]	Profondità (m)	Velocità onde V_s [m/s]	Interpretazione stratigrafica
5	9	423	sabbie limose con alternanze di livelli arenitici
4	13	530	sabbie argillose
9	16,5	675	argille
4	30	950	calcareniti
8			calcari

Ptot	S1		
30	5	423	0,0118
	4	530	0,0075
	9	675	0,0133
	4	737	0,0054
	8	1150	0,0070
			0,0451
	$V_{s30} = 30 / \sum h_i/V_i$ (m/s)		665,4

Ptot	S2		
30	4,5	423	0,0106
	4	523	0,0076
	8	677	0,0118
	4,5	685	0,0066
	9	1200	0,0075
			0,0442
	Vs30 = 30/ $\sum h_i/V_i$ (m/s)		679,2

Ptot	S3		
30	4,8	418	0,0115
	4,5	550	0,0082
	7,5	600	0,0125
	6	701	0,0086
	7,2	1137	0,0063
			0,0471
	Vs30 = 30/ $\sum h_i/V_i$ (m/s)		637,5

6.3 Modello sismico locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008):

Perciò si è resa necessaria la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno.

Per ogni categoria del suolo (A-B-C-D-E), così come riportato nella tabella seguente, è fissata una descrizione litostratigrafica, con ad essa associati i parametri di riferimento geotecnici e sismici.

Grazie alla tecnica di Refraction Microtremor (ReMi) descritta precedentemente è stato possibile giungere all'individuazione della categoria del suolo per l'area indagata.

La Vs30 è stata calcolata con la seguente espressione: **$V_{s_{eq}} = 30 / \sum h_i/V_i$**

Da tale relazione sono emersi i seguenti valori

PROVA	VELOCITA' $V_{s_{eq}}$ m/s
TR1	665,4
TR2	679,2
TR3	637,5

6.4 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del DECRETO 17 gennaio 2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- ✓ h_i spessore dell'*i*-esimo strato;
- ✓ $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- ✓ N numero di strati;
- ✓ H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

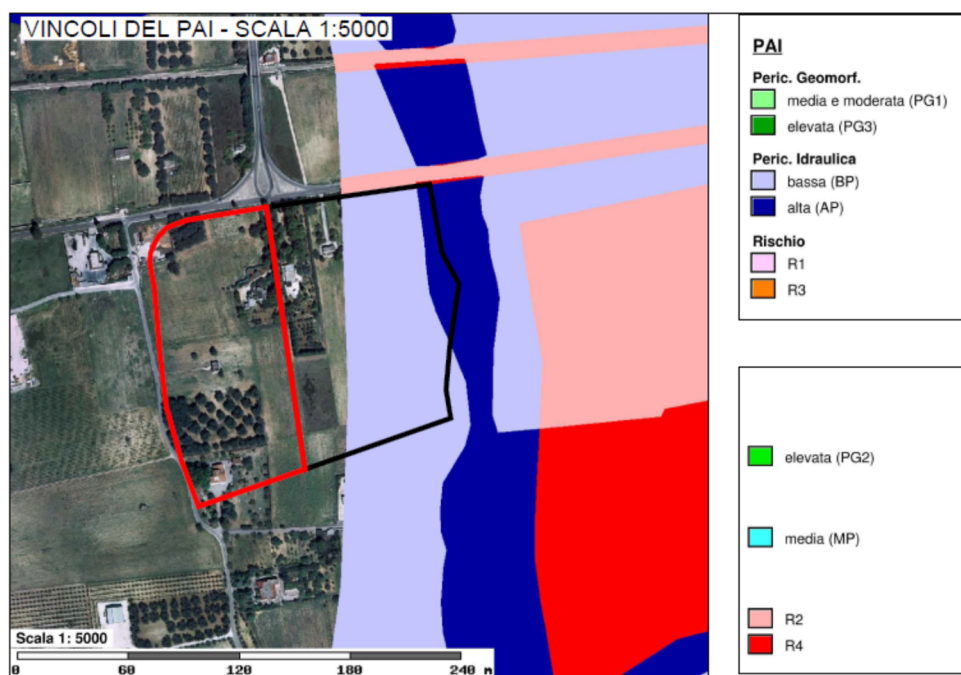
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – <i>Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Nel nostro caso, i valori misurati della V_{seq} fanno rientrare il terreno di fondazione nelle Categorie B di sottosuolo.

7. COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'AREA

L'area non ricade tra quelle perimetrate dal PAI, **pertanto l'intervento risulta compatibile.**



8. CONSIDERAZIONI FINALI

Le indagini geologiche e geotecniche condotte nell'area interessata dal **Progetto di ristrutturazione edilizia e adeguamento sismico e termico con modifiche di prospetto del piano terra ed ampliamento nella zona notte a primo piano di un immobile ubicato in Via Campania, n.27**, hanno consentito la caratterizzazione del sottosuolo dell'area e delle rocce di imposta sulle quali verranno realizzate le strutture di sostegno delle opere in oggetto.

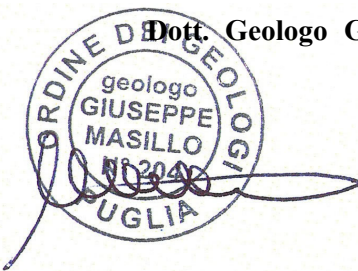
I dati a disposizione dello scrivente, consentono le seguenti conclusioni:

- Le fondazioni sono attestate negli strati piu' superficiali della formazione limo-sabbiosa alternata con strati di sabbie consolidate tipo "panchina" con le seguenti caratteristiche meccaniche medie:

Angolo di attrito (Φ)	Coesione (Kg/cm ²)	Modulo di Young (Kg/cm ²)	Peso specifico (g/cm ³)
27	0,1	580	1,41 - 1,76

- La falda superficiale non è stata riscontrata;
- La V_{30} misurata ha restituito valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s che quindi fanno rientrare il suolo nella Categoria sismica B.

Dott. Geologo Giuseppe MASILLO

A circular professional stamp of the Ordine dei Geologi in Puglia. The text inside the stamp reads "ORDINE DEI GEOLOGI", "geologo GIUSEPPE MASILLO", and "N° 2040 PUGLIA". A handwritten signature in dark ink is written across the stamp.