

S.S. 87 "SANNITICA"
**Lavori di ammodernamento e messa in sicurezza
nel tratto compreso tra il Km 215+300 e il 221+188**

PROGETTO DEFINITIVO

IL PROGETTISTA
Ing. Vincenzo LOMMA

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

GRUPPO DI LAVORO
Geom. Emanuele PRESTA
Geom. Adriano DI SOMMA

IL GEOLOGO
Dott.ssa Alessandra COLUCCI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Ing. Sergio CICERO

ATTIVITA' DI SUPPORTO

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



SETAC srl

**Servizi & Engineering: Trasporti
Ambiente Costruzioni
del prof. ing. Pasquale COLONNA**
Via Don Guanella 15/B - 70124 Bari
Tel: +39 080 5027679

MANDANTI:



Società Designata dal Consorzio UNING



Ing. Giovanni LAMPARELLI

Ing. Michele NOTARISTEFANO

02 - STUDI E INDAGINI
Relazione geotecnica

| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA: |
|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|------------|-----------|
| PROGETTO | LIV. PROG. ANNO | T00_GEO0_GEO_RE02_A.pdf | | | |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | CODICE ELAB. | T00GEO0GEORE02 | A | - |
| D | | | | | |
| C | | | | | |
| B | | | | | |
| A | EMISSIONE | Marzo 2024 | SETAC S.r.l. | | |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTORE STR. SUPPORTO | VERIFICATO | APPROVATO |

INDICE

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 3 |
| 2 | QUADRO NORMATIVO | 3 |
| 3 | INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE GEOTECNICHE..... | 4 |
| 4 | ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO | 5 |
| 4.1 | Litologia e stratigrafia | 5 |
| 4.2 | Indagini geofisiche | 6 |
| 5 | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI..... | 9 |
| 5.1 | Prove geotecniche di laboratorio | 9 |
| 5.2 | Prove geotecniche in sito | 12 |
| 6 | MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO | 15 |
| 6.1 | Modello geologico | 15 |
| 6.2 | Modello geologico | 15 |
| 7 | RISCHIO DI LIQUEFAZIONE | 15 |

1 PREMESSA

La presente relazione illustra i caratteri geotecnici della zona dell'area industriale di Termoli, interessata dai "Lavori di ammodernamento e messa in sicurezza della S.S.87 Sannitica, nel tratto compreso tra il Km. 215+300 ed il Km. 221+188 (1° Stralcio)" (fig.1).

Il tratto stradale in questione si colloca nel settore est della Regione Molise e ricade nell'ambito del bacino del Fiume Biferno nel territorio comunale di Termoli in provincia di Campobasso (CB).



Fig.1 – Ubicazione geografica dell'area di interesse

2 QUADRO NORMATIVO

Il presente lavoro è stato condotto in accordo alle norme in vigore ed in particolare:

- Norme Tecniche per le Costruzioni: DM 17 gennaio 2018;
- O.P.C.M. n.3274 del 23/03/2003: "Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", modificata dall'O.P.C.M. n.3519 del 28/04/2006;
- D.Min. LL.PP. 11/03/88: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- Circ. Min. LL.PP. 24/09/88 n.30483: L.02/02/74 n.64, art.1 D.M. 11/03/88, Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- A.G.I. Raccomandazioni sulla esecuzione e la programmazione delle indagini geotecniche - 1977
- D.M. 17/01/18 "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare del 21 gennaio 2019 n. 7 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE GEOTECNICHE

Per caratterizzare sotto il profilo geologico e geotecnico la zona in studio sono state programmate ed eseguite le indagini geognostiche di seguito elencate:

- n°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo denominati S1 e S2, terebrati rispettivamente fino alla profondità di 20.00 metri e 22.00 metri dal p.c.
- n°4 prove penetrometriche dinamiche SPT: 2 per ogni sondaggio;
- n°2 indagini sismiche a rifrazione con elaborazione tomografica (Tomo 1 e Tomo 2);
- n°1 indagine sismica con metodologia MASW;
- prove geotecniche di laboratorio su 4 campioni indisturbati prelevati a differenti profondità.

Le indagini geognostiche sono state eseguite dalla ditta GEO-TECNICA S.r.l. di Benevento. Le attività di campo (sondaggi geognostici e indagini sismiche) sono state svolte nel mese di Luglio 2022.

L'ubicazione delle indagini svolte è riportata nella figura 2.1 allegata.

Le prove geotecniche di laboratorio sui campioni indisturbati, prelevati nel corso dei sondaggi geognostici, sono stati eseguite anch'esse dalla ditta GEO-TECNICA.



Fig.2.1 – Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche 2022

(estratta dal Rapporto sulle indagini della ditta GEO_TECNICA)

Sono state, inoltre, utilizzate le indagini geognostiche eseguite dalla ditta GEOPROJECT di Montenero di Bisaccia per conto del Comune di Termoli nel Luglio 2021. Dette indagini sono costituite da sei prove penetrometriche statiche CPT ubicate sul fondovalle del F.Biferno (cfr. fig. 2.2) a breve distanza dal sito di intervento.



Fig.2.2 – Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche 2021
(estratta dal Rapporto sulle indagini della ditta GEO_PROJECT)

4 ASSETTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

4.1 Litologia e stratigrafia

Rimandando per maggiori dettagli alla Relazione geologica ed al rapporto sulle indagini prodotto dalla ditta GEO-TECNICA, si riporta di seguito (fig.3) la stratigrafia del sondaggio geognostico S1, così come ricostruita dal geologo della stessa ditta.

Come si evince dalla Relazione geologica, dal punto di vista geologico, nell'area di stretto interesse affiorano terreni afferenti ai Depositi Alluvionali prevalentemente limoso-argillosi (Olocene). Si tratta di limi, limi sabbiosi-argillosi generalmente plastici di colore variabile dal giallo avana al grigio con intercalazioni di lenti e livelli di sabbie.

Per quanto riguarda l'assetto lito-stratigrafico locale, al di sotto di un primo metro di terreno vegetale bruno e fino a 5,00 metri di profondità, si rinviene *uno strato di limo debolmente argilloso di colore bruno plastico e poco consistente con all'interno rari clasti millimetrici seguito da un livello sabbioso saturo di circa 1 metro di spessore* (unità litologica Us1). Segue, fino alla profondità di 11 metri uno strato di *limo argilloso-sabbioso di colore avana poco consistente e saturo* (unità litologica Us2). Al di sotto di esso, fino alla profondità di 19.50 metri dal p.c. si rileva uno strato di *limo debolmente argilloso grigio di media consistenza* (unità litologica Us3), ed, infine, *un livello sabbioso grigio con ciottoli poligenici centimetrici e sub-arrotondati in matrice sabbioso-limosa*.

E' stato rinvenuto un livello idrico che si è attestato alla profondità di 4.5 metri dal p.c..

La stratigrafia del sondaggio S2 non è molto diversa per cui si omette.

Dall'esame della stratigrafia di sondaggio e delle informazioni di carattere generale sulla geologia della zona si desume, pertanto, che il sottosuolo della zona in esame è costituito da depositi di natura alluvionale costituiti da litotipi limoso-argillosi alternati a litotipi limoso sabbioso-argillosi.

| Profondità metri | Spess. metri | SIMBOLO | DESCRIZIONE LITOLOGICA |
|---------------------|-----------------|-----------|--|
| 1 | 1,0 | 1,0 | Limo sabbioso e sabbia limosa marroncino scuro poco addensato ed alterato. |
| 2 | 2,3 | 1,3 | Limo debolmente sabbioso ed argilloso di colore marroncino leggermente compatto, con presenza di rari e minuti clasti calcarei. |
| 3 | 2,7 | 0,4 | Limo debolmente argilloso di colore bruno con rari clasti, plastico. |
| 4 | 5,0 | 2,3 | Limo debolmente argilloso marroncino leggermente consistente, con umidità crescente verso il basso. Presenza di livelletti a debole frazione sabbiosa. |
| 5 | | | |
| 6 | 6,0 | 1,0 | Sabbia e sabbia limosa marrone-giallastra, satura poco addensata. |
| 7 | 6,4 | 0,4 | Limo sabbioso di colore avana, saturo, e da plastico a molle. |
| | 6,9 | 0,5 | Limo debolmente argilloso marrone leggermente consistente. |
| | 7,2 | 0,3 | Limo sabbioso di colore avana, saturo, e plastico. |
| 8 | 7,7 | 0,4 | Limo deb. argilloso marrone con sfumature grigiastre poco consistente. |
| | 8,1 | 0,4 | Limo sabbioso di colore avana, saturo, e debolmente plastico. |
| 9 | 8,4 | 0,3 | Limo sabbioso di colore giallastro-avana, saturo, e debolmente plastico. |
| 10 | 10,3 | 1,9 | Limo debolmente sabbioso giallo-avana saturo, da plastico a molto plastico |
| 11 | | | |
| 11 | 11,0 | 0,7 | Limo debolmente argilloso di media consistenza di colore grigio |
| 12 | 13,0 | 2,0 | Limo debolmente sabbioso giallo-avana saturo, da plastico a molto plastico, compressibile. |
| 13 | | | |
| 14 | 14,5 | 1,5 | Limo debolmente argilloso di colore grigio poco plastico con sfumature giallastre debolmente sabbiose a 13,2 e 14,3. |
| 15 | 14,8 | 0,3 | Limo debolmente sabbioso di colore giallastro umido. |
| 16 | 19,5 | 4,7 | Limo debolmente argilloso di colore grigio di media consistenza fino a 17,5 plastico successivamente, rari inclusi di granuli sabbiosi dopo i 17,5 metri. |
| 17 | | | |
| 18 | | | |
| 19 | | | |
| 20 | 22,5 | Fine Foro | Sabbia e ciottoli eterometrici e poligenici con dimensione media di 4-5 cm da sub-arrottondati ad arrotondati in abbondante matrice di colore grigiastro sabbiosa debolmente limosa, saturi, percentuale di recupero intorno al 50%. |
| 21 | | | |
| 22 | | | |
| 23 | | | |

Fig. 3 – Stratigrafia del sondaggio S1

4.2 Indagini geofisiche

A completamento della campagna di indagini geognostiche, sono state effettuate indagini indirette di tipo sismico, consistite in prospezioni sismiche a rifrazione in onde P ed S, con interpretazione tomografica dei dati di velocità, denominati Tomografia 1 e Tomografia 2, e rilievi sismici con metodologia MASW. In particolare, nel primo caso, sono stati effettuati due stendimenti sismici di lunghezza pari a 120 m circa (Tomo 1) e 70 m circa (Tomo 2), disposti come in figura 2.1, mentre nel secondo caso è stato effettuato uno stendimento di lunghezza pari a 50 m circa (cfr. Rapporto sulle indagini della ditta GEO-TECNICA). In figura 4.1-4.4 sono riportati i risultati dell'elaborazione delle misure effettuate dalla suddetta ditta.

Riprendendo quanto esposto nel Rapporto sulle indagini sismiche della ditta, la sezione tomografica (TOMO 1), relativa alle onde P, mostra una geometria dei sismostrati piuttosto regolare. Si evidenzia un graduale aumento delle velocità delle onde sismiche con la profondità. I valori elevati di velocità in corrispondenza dello scoppio S1 rappresentano un artefatto del programma di inversione. Inoltre, la sezione tomografica (TOMO 1), relativa alle onde S, conferma il graduale

aumento delle velocità delle onde sismiche con la profondità, con la presenza di un'anomalia di alta velocità delle onde sismiche tra gli scoppi S2 e S3 a circa 5 m di profondità.

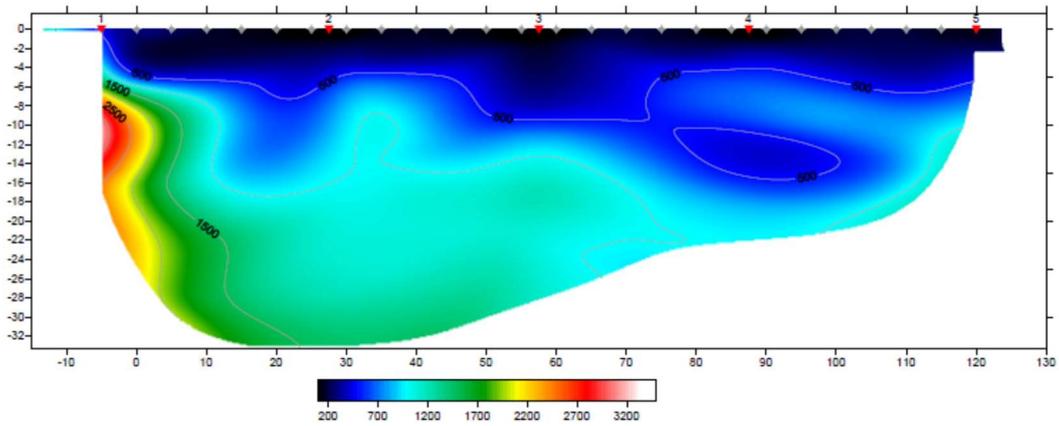


Fig.4.1 – Prospezione sismica TOMO1 in onde P

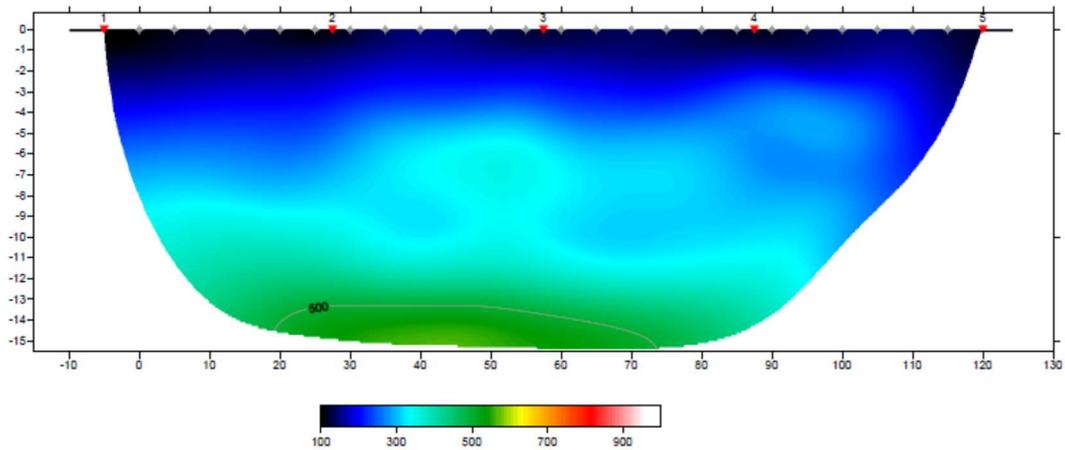


Fig.4.2 – Prospezione sismica TOMO1 in onde S

Risultati analoghi sono stati ottenuti per la prospezione sismica TOMO 2.

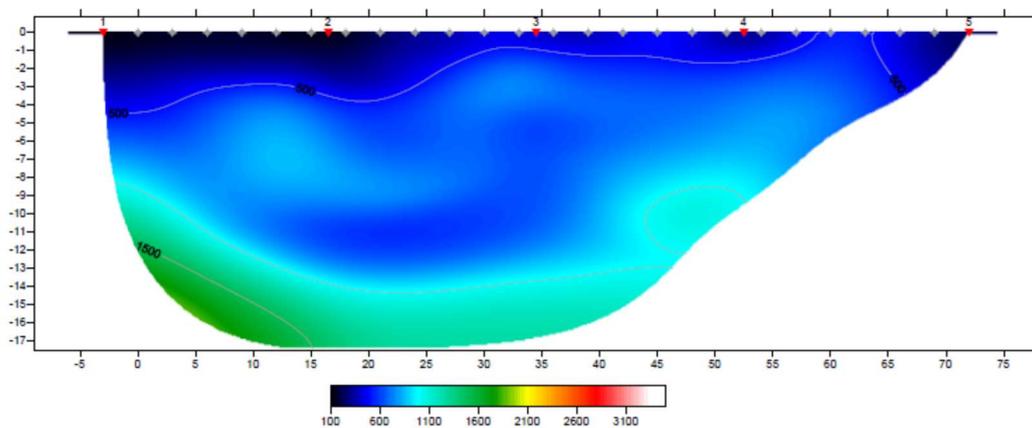


Fig.4.3 – Prospezione sismica TOMO2 in onde P

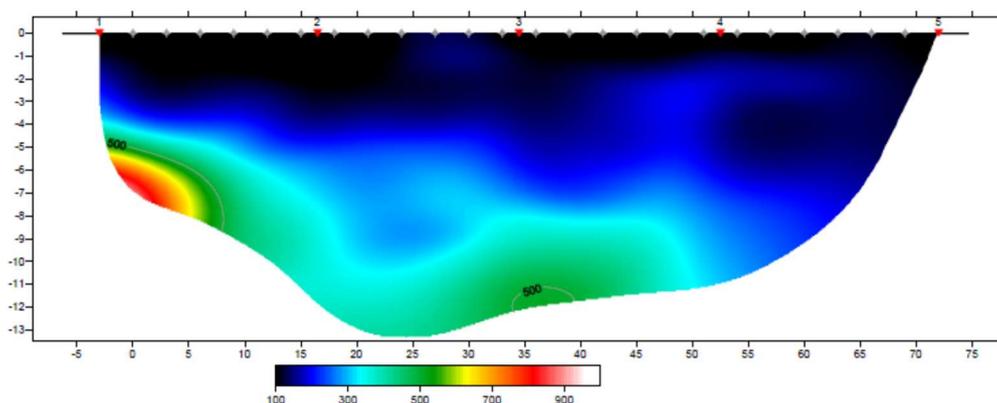


Fig.4.4 – Prospezione sismica TOMO2 in onde S

Infatti, riprendendo quanto esposto nel Rapporto sulle indagini sismiche della ditta, la sezione tomografica (TOMO 2), relativa alle onde P, mostra *una geometria dei sismostrati piuttosto regolare. Si evidenzia un graduale aumento delle velocità delle onde sismiche con la profondità.* Inoltre, la sezione tomografica (TOMO 2), relativa alle onde S, conferma il *graduale aumento delle velocità delle onde sismiche con la profondità; tuttavia si evidenziano bassi valori di velocità delle onde sismiche, con profondità maggiori verso lo scoppio S5.*

Venendo all'altro tipo di indagine sismica, la metodologia MASW è stata utilizzata per valutare la categoria di sottosuolo secondo quanto previsto dalle norme tecniche 2018. In figura 4.5 è riportato il modello di velocità in onde S ottenuto dalle registrazioni in sito ed utilizzato per calcolare la $V_{s,eq}$.

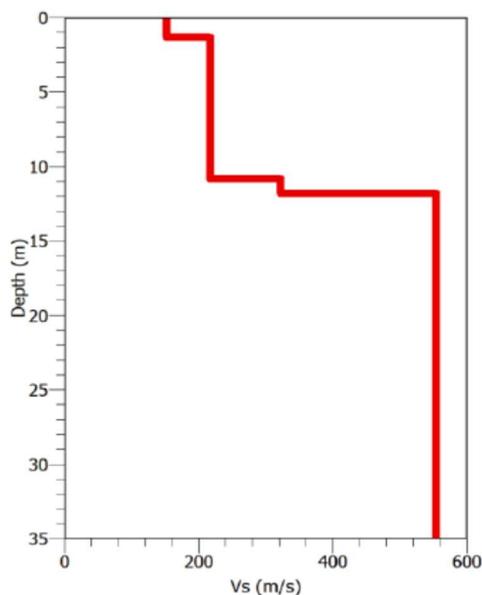


Fig.4.5 – MASW 1: modello di velocità in onde S

Il valore della $V_{s,eq}$ risulta pari a $V_{s,eq} = 339$ m/s per cui il sottosuolo della zona in esame ricade in categoria C (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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.).

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

5.1 Prove geotecniche di laboratorio

All'interno dei sondaggi geognostici sono stati prelevati quattro campioni indisturbati, sui quali sono state effettuate prove geotecniche di laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni attraversati.

I risultati delle prove geotecniche di laboratorio sono sintetizzati nella tabella 1 allegata.

Tabella 1 – Tabella riassuntiva parametri geotecnici

| Sondaggio | | S 1 | S 2 | | S 1 | S 1 | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|--|--------------|------------------------|-------|-------|-------|
| Campione | | C 1 | C 1 | | C 2 | C 2 | | | |
| Profondità | | 4.5 | 4.0 | | 8.5 | 8.0 | | | |
| | | 5.0 | 4.5 | | 9.0 | 8.5 | | | |
| descrizione | | limo arg. | limo sabb.- arg. | | limo arg. | limo sabb.- arg. | Min | Medio | Max |
| Generali | | | | | | | | | |
| Contenuto naturale acqua | w (%) | 26.36 | 21.27 | | 29.90 | 29.95 | 21.27 | | 29.95 |
| Peso specifico reale | γ_r (kN/mc) | 26.63 | 26.63 | | 26.63 | 26.62 | 26.62 | | 26.63 |
| Peso di volume totale | γ_t (kN/mc) | 18.06 | 17.57 | | 18.72 | 18.88 | 17.57 | 18.31 | 18.88 |
| Peso di volume secco | γ_d (kN/mc) | 14.29 | 14.49 | | 14.41 | 14.53 | 14.29 | 14.43 | 14.53 |
| Peso di volume saturo | γ_{sat} (kN/mc) | 18.93 | 19.05 | | 19.00 | 19.07 | 18.93 | 19.01 | 19.07 |
| Indice dei vuoti | e | 0.86 | 0.84 | | 0.85 | 0.83 | 0.83 | | 0.86 |
| Porosità | n (%) | 46.32 | 45.61 | | 45.90 | 45.43 | 45.43 | | 46.32 |
| Grado di saturazione | Sr (%) | 81.36 | 67.56 | | 93.88 | 95.78 | 67.56 | | 95.78 |
| Granulometria | | | | | | | | | |
| % Argilla | A (%) | 9 | 17 | | 14 | 11 | 9 | | 17 |
| % Limo | L (%) | 86 | 54 | | 84 | 59 | 54 | | 86 |
| % Sabbia | S(%) | 5 | 28 | | 2 | 30 | 2 | | 30 |
| % Ghiaia | G(%) | 0 | 1 | | 0 | 0 | 0 | | 1 |
| Limiti di Atterberg | | | | | | | | | |
| Limite liquido | LL (%) | 44 | 57 | | 49 | 48 | 44 | | 57 |
| Limite plastico | LP (%) | 31 | 30 | | 40 | 34 | 30 | | 40 |
| Indice plastico | IP (%) | 13 | 27 | | 9 | 14 | 9 | | 27 |
| Indice di consistenza | IC (%) | 1.4 | 1.3 | | 2 | 1.3 | 1.3 | | 2 |
| Attività frazione argillosa | A (%) | 1.4 | 1.6 | | 0.7 | 1.2 | 0.7 | | 1.6 |
| Classificazione | | | | | | | | | |
| Classificazione USCS | | | | | | | | | |
| Prove resistenza meccanica | | | | | | | | | |
| <i>Prova di taglio diretto</i> | | | | | | | | | |
| Coesione efficace | c' (kPa) | 13 | 15 | | 15 | 17 | | 10.25 | |
| Angolo di attrito efficace | Φ' (°) | 19° | 23° | | 20° | 27° | | 24° | |
| <i>Prova TRX CIU</i> | | | | | | | | | |
| Coesione efficace | c' (kPa) | | 34 | | 50 | | | | |
| Angolo di attrito efficace | Φ' (°) | | 23° | | 20° | | | | |
| <i>Prova edometrica</i> | | | | | | | | | |
| modulo elastico | Ed (kN/mq) | 11880 | | | | 16373 | | | |
| coeff.compressibilità | Cc | 0,378 | | | | 0.267 | | | |

Dall'esame dei risultati ottenuti si evince che i litotipi limoso-sabbiosi in esame sono costituiti da limi sabbiosi debolmente argillosi (Fig.5) e che la frazione fine ricade prevalentemente nel campo dei limi inorganici a plasticità medio alta (MH-ML) (Fig.6). Per quanto riguarda l'attività della frazione fine dei terreni in esami (Fig.7), i valori ottenuti mostrano che si tratta di argille ad alta attività.

In figura 8 è riportato l'andamento con la profondità dei principali parametri geotecnici.

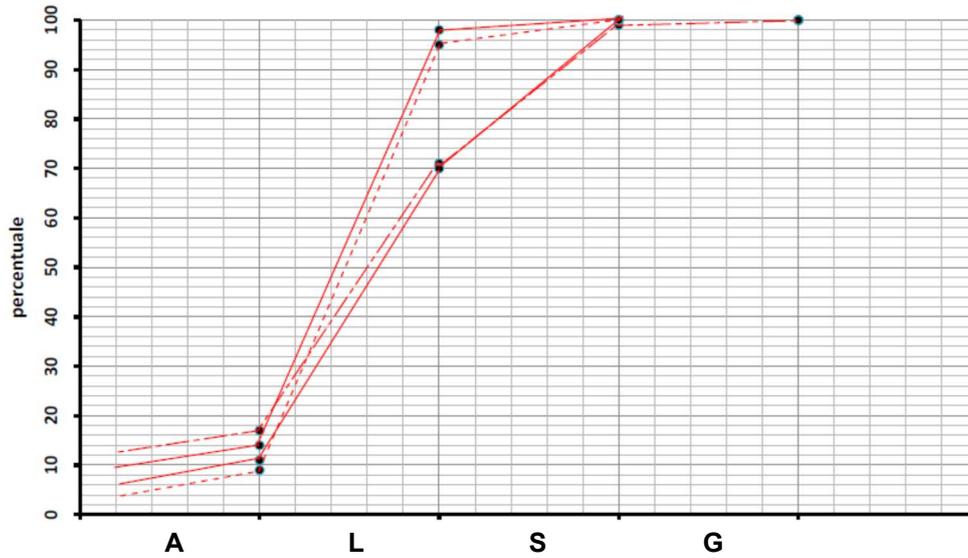


Fig. 5 – Curve granulometriche dei litotipi limoso-sabbiosi

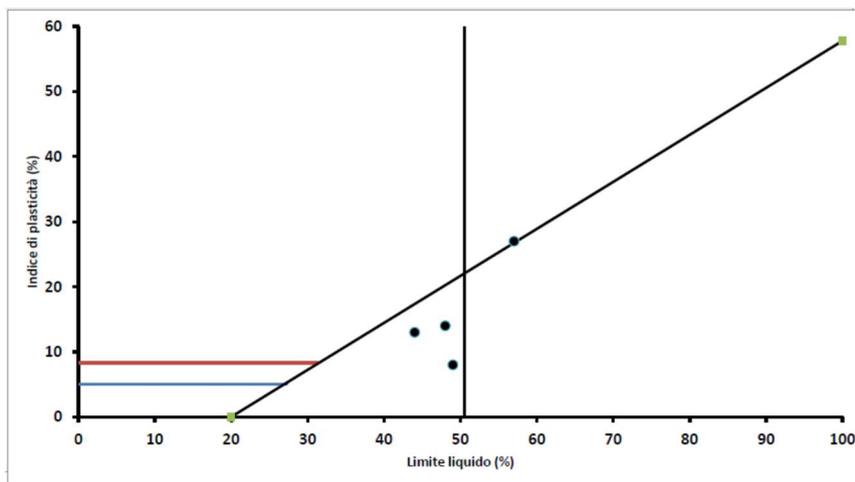


Fig. 6 – Abaco di plasticità dei litotipi limoso-sabbiosi

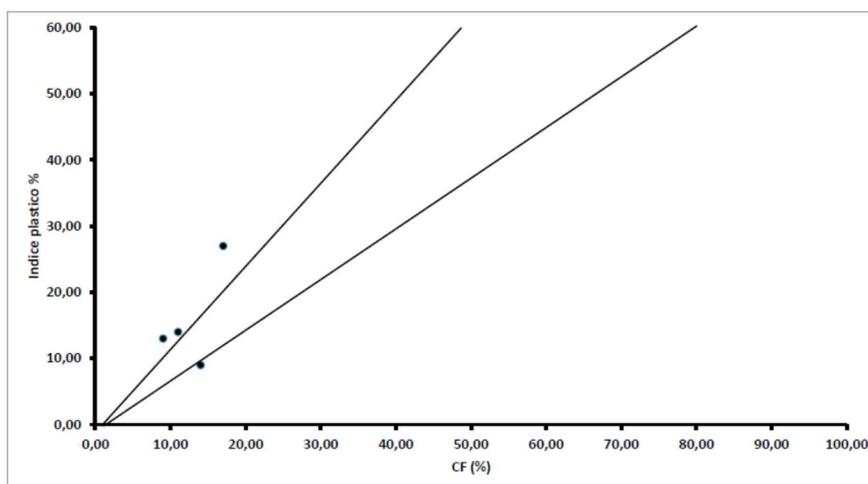


Fig. 7 – Carta della attività della frazione argillosa dei litotipi limoso-sabbiosi

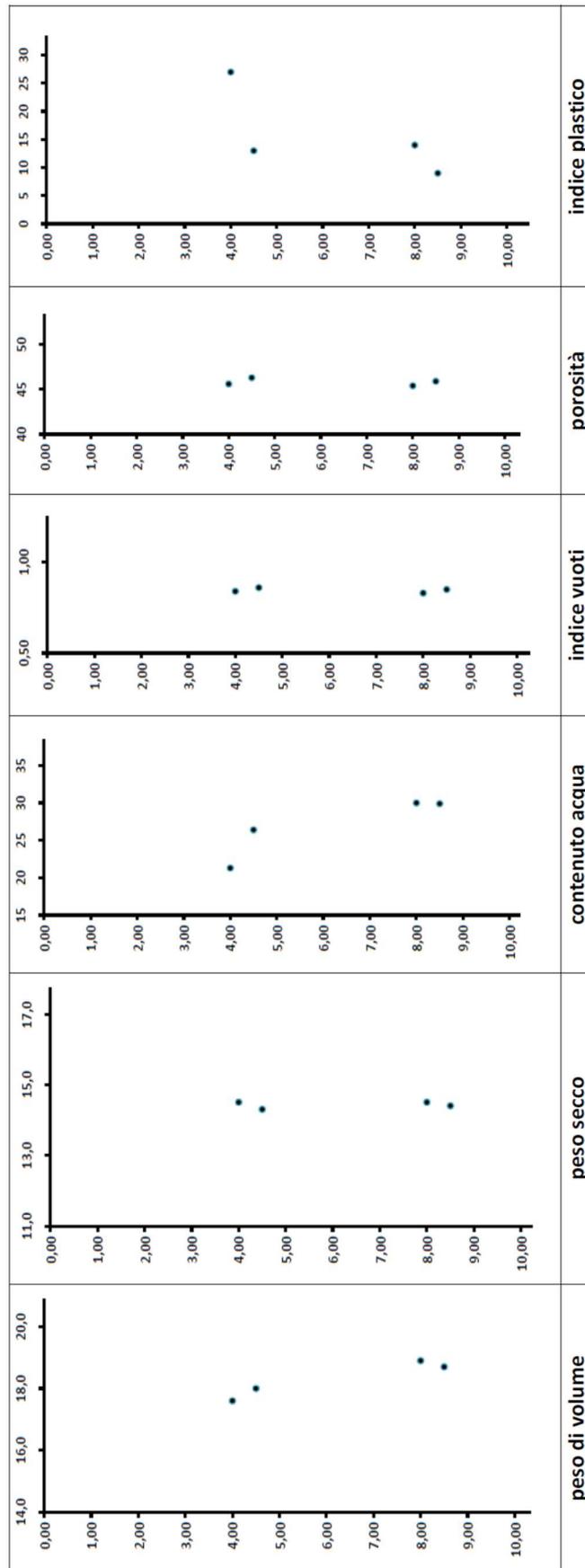


Fig.8 - Andamento con la profondità dei principali parametri geotecnici

Il materiale in esame presenta un discreto grado di addensamento, come evidenziato dai valori del peso di volume totale e del peso di volume secco ($\gamma_t = 17.6-18.9 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_t = 14.3-14.5 \text{ kN/m}^3$) e dell'indice dei vuoti ($e = 0.83-0.86$), in linea con i valori normalmente manifestati da questi litotipi.

5.2.2 Caratteristiche meccaniche

Per quanto riguarda la resistenza meccanica, le prove di taglio diretto TD, eseguite sui quattro campioni, hanno fornito valori dei parametri coesione ed attrito compresi in un intervallo abbastanza ristretto. Al fine di ricavare un valore operativo statisticamente valido è stata determinata la retta di regressione che media i punti di sollecitazione (cfr.fig.9).

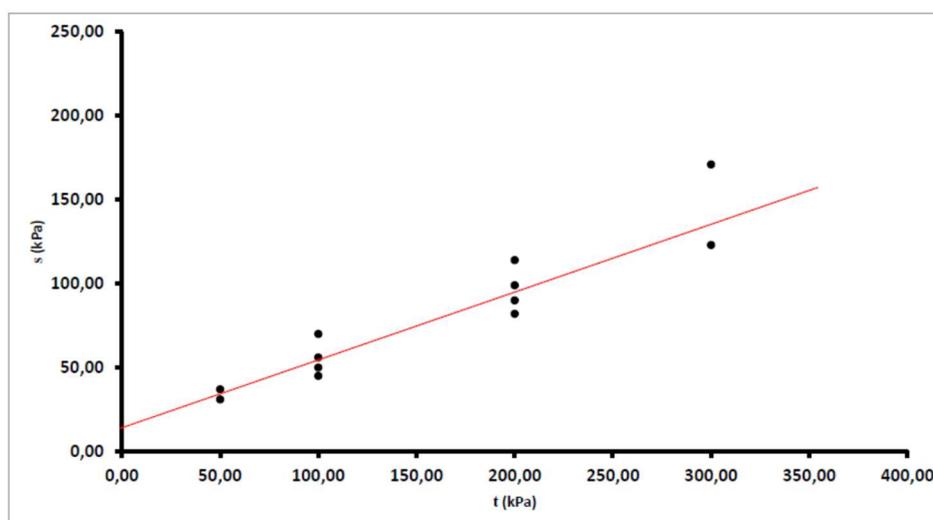


Fig.9 – Prove di taglio diretto: analisi statistica

Scartati i valori evidentemente anomali, l'analisi (cfr. fig.9) ha fornito i seguenti valori di coesione ed angolo di attrito:

$$c' = 10,25 \text{ kPa} \quad \Phi' = 24^\circ$$

con coefficiente di correlazione 0,941 (gli elevati valori di questo coefficiente garantiscono l'attendibilità dell'analisi svolta).

Infine, per quanto riguarda le prove di compressione edometrica, dall'esame delle curve di compressibilità edometrica si deduce che i litotipi in esame presentano compressibilità media con coefficienti di compressibilità finale $C_c = 0,267 \pm 0,378$.

5.2 Prove geotecniche in sito

Come esposto nel capitolo 3, sono state effettuate anche alcune prove geotecniche in sito. Più precisamente sono state effettuate 4 prove SPT all'interno dei due sondaggi geognostici.

I risultati delle prove SPT sono riportati nella tabella 2 seguente.

Tabella 2 – Risultati prove penetrometriche dinamiche SPT

| Sondaggio | profondità | litotipo | colpi | Nspt |
|-----------|-------------|-------------------------|---------|------|
| S1 | 3.00-3.45 | Limo sabbioso-argilloso | 3-6-7 | 13 |
| S1 | 10.50-10.95 | Limo sabbioso-argilloso | 9-10-12 | 22 |
| S2 | 3.00-3.45 | Limo sabbioso-argilloso | 2-3-6 | 8 |
| S2 | 8.50-8.95 | Limo sabbioso-argilloso | 3-6-7 | 13 |

I risultati ottenuti mostrano una resistenza penetrometrica crescente con la profondità. Comunque, a parere dello scrivente, essi sono di poca utilità in quanto questo tipo di prova è adatto per i terreni francamente sabbiosi e non per quelli argillosi. Tuttavia, poiché in letteratura scientifica si ritrovano correlazioni di Nspt con la resistenza meccanica anche per litotipi a grana fina, sono state comunque utilizzate alcune di dette correlazioni per valutare, di larga massima, la resistenza non drenata di detti litotipi (cfr. tab.3):

Stroud (1974) $C_u = f_1 * N_{spt}$ ove $f_1 = F(IP) = 3.5 \div 6.5 \text{ kPa}$ ($f_{1m} = 4.4 \text{ kPa}$)
 Hara et al. (1971) $C_u = 29 * N_{spt}^{0.72} \text{ (kPa)}$

Segue:

Tabella 3 – Resistenza non drenata litotipi limoso-sabbiosi

| Sond. | profondità | litotipo | colpi | Nspt | Cu (Stroud) (kPa) | Cu (Hara) (kPa) |
|-------|-------------|-------------------------|---------|------|----------------------|--------------------|
| S1 | 3.00-3.45 | Limo sabbioso-argilloso | 3-6-7 | 13 | 57.2 | 183 |
| S1 | 10.50-10.95 | Limo sabbioso-argilloso | 9-10-12 | 22 | 96.8 | 268 |
| S2 | 3.00-3.45 | Limo sabbioso-argilloso | 2-3-6 | 8 | 39.6 | 141 |
| S2 | 8.50-8.95 | Limo sabbioso-argilloso | 3-6-7 | 13 | 57.2 | 183 |

Dei risultati ottenuti, a parere dello scrivente, risultano più attendibili quelli ottenuti con la relazione di Stroud, tenuto anche conto dei risultati forniti dalle prove geotecniche di laboratorio.

A conferma di quanto ora asserito, sono stati esaminati i risultati delle prove penetrometriche statiche CPT (cfr. capitolo 3) eseguite in zona del fondovalle Biferno molto prossima a quella in esame. Nella figura 10 seguente (estratta dal suddetto rapporto) si riporta il diagramma della resistenza penetrometrica misurata in avanzamento nel corso della prova CPT1. Diagrammi analoghi sono stati ottenuti per le altre prove CPT (cfr. documentazione allegata). Dalle tabelle di correlazione fra resistenza alla punta/resistenza laterale e parametri geotecnici riportate nel rapporto Geoproject, si ricavano i seguenti intervalli dei valori di resistenza espressi dall'angolo di attrito per gli strati incoerenti (sabbie e sabbie limose) e dalla coesione non drenata per gli strati coerenti (limi sabbioso-argillosi):

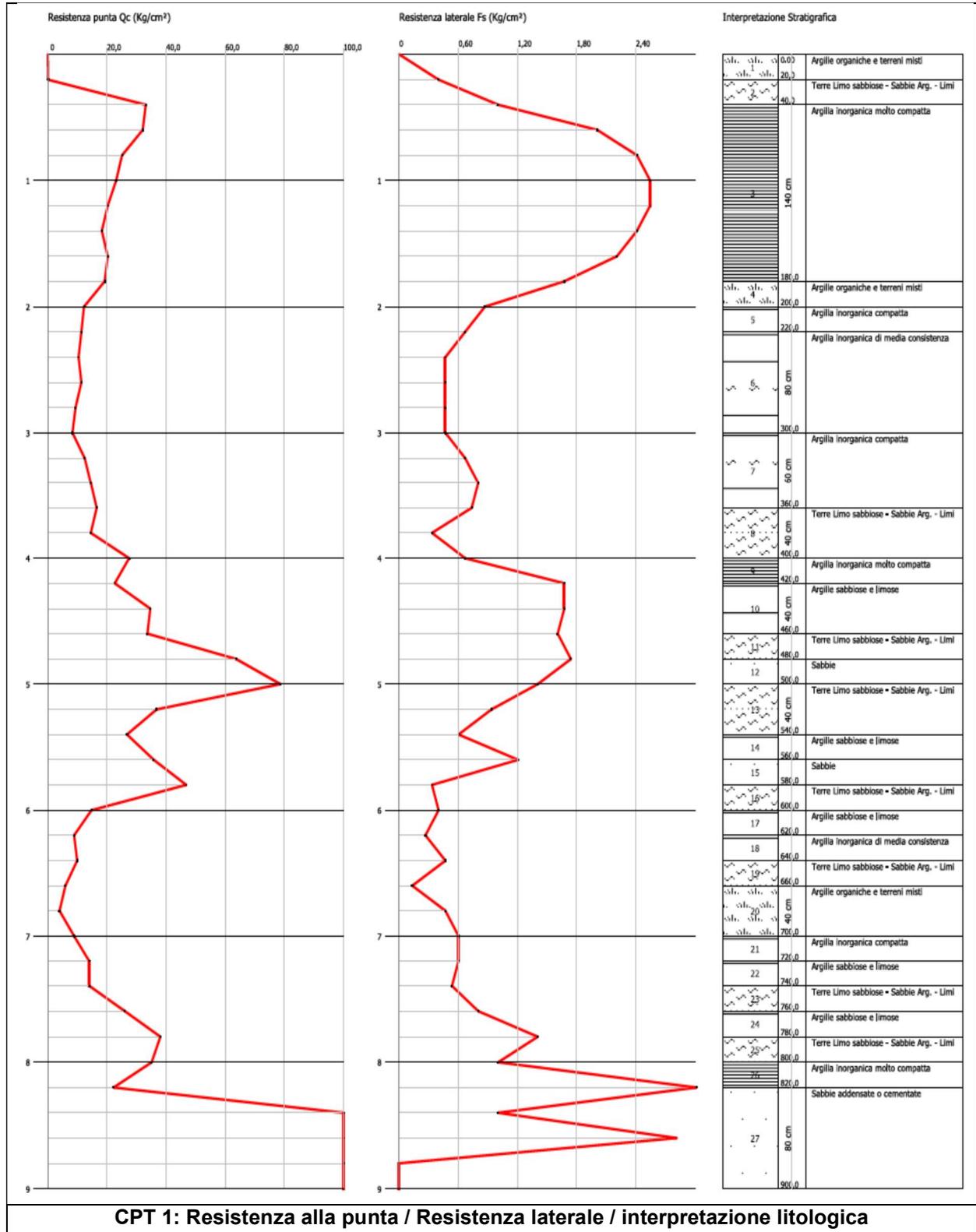
Tabella 4 – Resistenza dei litotipi limoso-sabbiosi e dei litotipi sabbioso-limosi

| | | CPT1 | CPT2 | CPT3 | CPT4 | CPT6 |
|--------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Terreni incoerenti | Schmertmann | 31°÷42° | 29°÷31° | 29°÷31° | 29°÷32° | 31°÷36° |
| | Meyehrof | 20°÷38° | 25°÷33° | 22°÷31° | 24°÷38° | 22°÷29° |
| Terreni coerenti | Terzaghi (kg/cmq) | 0.30÷1.90 | 0.45÷1.20 | 0.50÷1.15 | 0.55÷2.20 | 0.40÷1.30 |

Per quanto riguarda, invece, i parametri elastici dei terreni in esame, nel rapporto della ditta Geotecnica è anche riportata una tabella che, a partire dai risultati della prove sismica in foro (Down-Hole), fornisce i valori dei moduli di elasticità. Rimandando a detto rapporto per maggiori informazioni, si riporta di seguito detta tabella, precisando che, trattandosi di valori calcolati (ottenuti mediante note correlazioni statistiche) e non misurati, essi vanno utilizzati con una certa precauzione.

Tabella 5 – Moduli elastici dei litotipi limoso-sabbiosi e dei litotipi sabbioso-limosi

| strato | Spessore (m) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | Coeff. Poisson ν | Densità (kg/mc) | Modulo di taglio G (kPa) | Modulo di Young Ey (kPa) |
|--------|-----------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 1.40 | 497 | 153 | 0.45 | 1500 | 35114 | 101664 |
| 2 | 9.50 | 504 | 218 | 0.38 | 1600 | 76038 | 210615 |
| 3 | 1.10 | 652 | 323 | 0.34 | 1700 | 177359 | 474393 |
| 4 | 18.0 | 1113 | 555 | 0.33 | 1800 | 554445 | 1479844 |



6 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

6.1 Modello geologico

Riprendendo quanto esposto nella Relazione geologica, il modello geologico del sottosuolo è rappresentabile come un mezzo a tre strati:

- unità litologica 1 (Us1): *limo debolmente argilloso poco consistente* dello spessore di 6 m ca.
- unità litologica 2 (Us2): *limo argilloso con sabbia saturo da poco a mediamente consistente*, dello spessore di 5 m ca.
- unità litologica 3 (Us3): *limo debolmente argilloso grigio di media consistenza* dello spessore di 8,50 m ca..

6.2 Modello geotecnico

Coerentemente con il modello geologico, il modello geotecnico del sottosuolo è rappresentato da un sistema a tre strati con le seguenti caratteristiche (che tengono conto sia dei risultati forniti dalle prove geotecniche di laboratorio che di quelli forniti dalle prove geotecniche in sito):

| strato | spessore (m) | | γ_t (kN/mc) | c' (kPa) | ϕ' |
|--------|--------------|-------------------------|--------------------|------------|---------|
| Ug1 | 6 | Limo deb. Argilloso | 18 | 14 | 21° |
| Ug2 | 5 | limo argilloso-sabbioso | 18.5 | 16 | 23° |
| Ug3 | 8.5 | limo deb. Argilloso | 19 | 18 | 25° |

7 RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

In base a quanto previsto dalle NTC 2018 (capitolo 7), *il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.*

Proseguendo nella lettura della norma: *La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:*

1. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
2. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
4. *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$*

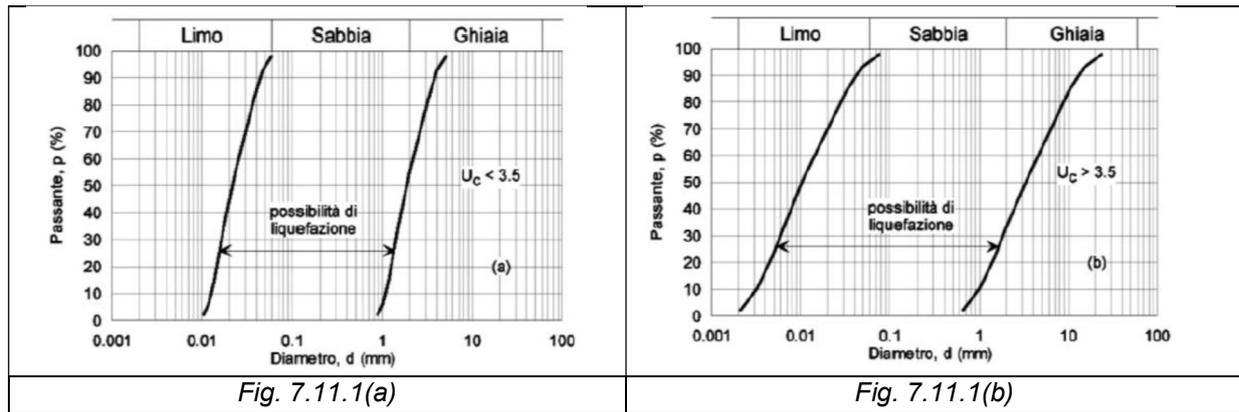


Fig.12 – Fasce granulometriche di possibile liquefazione

Nel caso in esame, non si è in presenza di depositi francamente sabbiosi, ma di depositi prevalentemente limosi, la cui fascia granulometrica ricade in larga parte al di fuori dei fusi riportati in figura, per cui si ritiene di poter escludere il rischio di liquefazione dei terreni in esame.

Termoli, Gennaio 2024