FRANCESCO PUCCI
GEOLOGO

Comune di Manciano

Regione Toscana

Provincia di Grosseto

Studio Geologico relativo alla campagna di indagine geognostica eseguita in località P. Murella, nel Comune di Manciano (GR). procedura N. 216/2017 R.G. Esecuzioni Immobiliari

Nota Geotecnica - Geofisica

Richiedente:	Data:
TRIBUNALE DI GROSSETO Ufficio Esecuzioni Immobiliari	Aprile 2026

STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA
Dott. Geol. Francesco Pucci
P.zza Carlo Cavalieri 1 - 58100 Grosseto
C.F. PCCFNC80A05I726I
P.iva 01600310534

PAD STUDIO

e-mail: francesco.pucci80@gmail.com
pec: geol.francescopucci@mypec.eu
mobile: 339 7480822

Timbro e Firma

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA
DOTT. GEOL. FRANCESCO PUCCI N° 1800 sez. A

NOTA GEOTECNICA - GEOFISICA

Campagna di indagine geognostica a Manciano, [redacted]

Indice

1 Premessa 3
1.1 Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento 3
2 Campagna di indagine geognostica 6
2.1 Campagna di indagine geofisica 7
2.1.1 Tomografia elettrica (ERT) 7
2.1.2 Indagine sismica MASW 7
2.1.3 Risultati della campagna di indagine geofisica 8
2.2 Campagna di indagine geotecnica 9
2.2.1 Prova penetrometrica dinamica (DPSH) 9
2.2.2 Risultati della campagna di indagine geotecnica 17
3 Valutazione dell'azione sismica 29
3.1 Categorie di sottosuolo 29
3.2 Condizioni topografiche 30
3.3 Parametri sismici 31
4 Considerazioni conclusive 32

Allegati alla Relazione:

- *Campagna di indagine: Report Tecnico*

1 Premessa

Il presente studio è stato redatto su incarico del Tribunale di Grosseto (Uffici Esecuzioni Immobiliari), con Verbale di Udienza del 18/03/2026, in merito alla Procedura di Esecuzione N. 216/2017, per la caratterizzazione dei terreni costituenti il sottosuolo da un punto di vista geotecnico e geofisico e per la definizione delle relative interazioni con le strutture presenti.

In seguito a numerose manifestazioni di cedimenti strutturali visibili su un fabbricato e principalmente concentrati sul lato Nord di esso, si è reso necessario effettuare una campagna di indagine geognostica eseguita tra il 26 marzo 2026 e il 24 aprile 2026.

1.1 Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento

L'area oggetto di studio è sita in località P. Murella, ad una quota media di +220 m s.l.m., in un contesto collinare a deboli e medie pendenze. Tale sito giace ad Ovest/Nord-Ovest dell'abitato di Manciano che in linea d'aria dista circa 4,5 km.

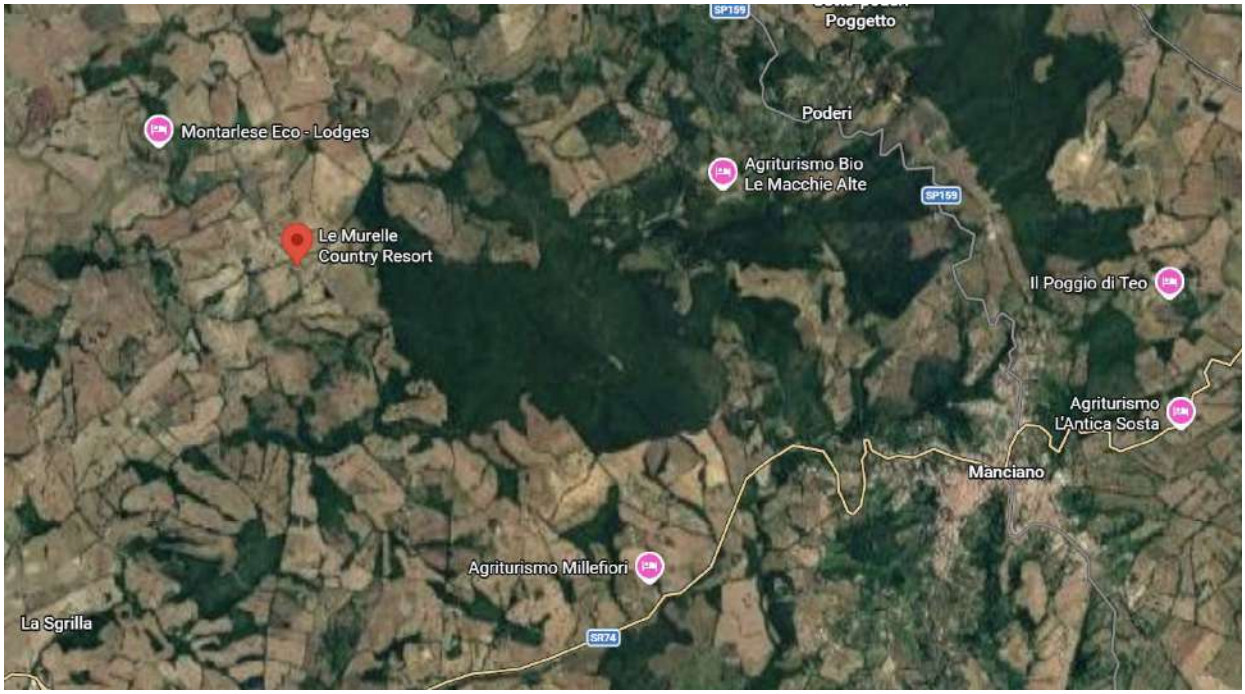


Figura 1 - Inquadramento generale dell'area di interesse

Il sito corrisponde alle seguenti coordinate geografiche:

- Gauss Boaga [EPSG 3003] - Est: 1702167.25; Nord: 4719364.39
- WGS84 [EPSG 4326] – Lat. 42.6000676 – Long. 11.463969

Dal punto di vista cartografico il sito oggetto di studio ricade:

- Nel **Foglio n. 332 Sez. III "Scansano"** della **Carta Topografica d'Italia IGM in scala 1:25.000**;
- Nella **Sezione n. 332140** della **Carta Tecnica Regionale (CTR)** della Regione Toscana **in scala 1:10.000**.

Nel dettaglio il sito è raggiungibile attraverso una strada vicinale che si diparte da Via Ferro di Cavallo che a sua volta si diparte dalla Strada Regionale Maremmana (SR74) in corrispondenza della località Silo

della Sgrilla.

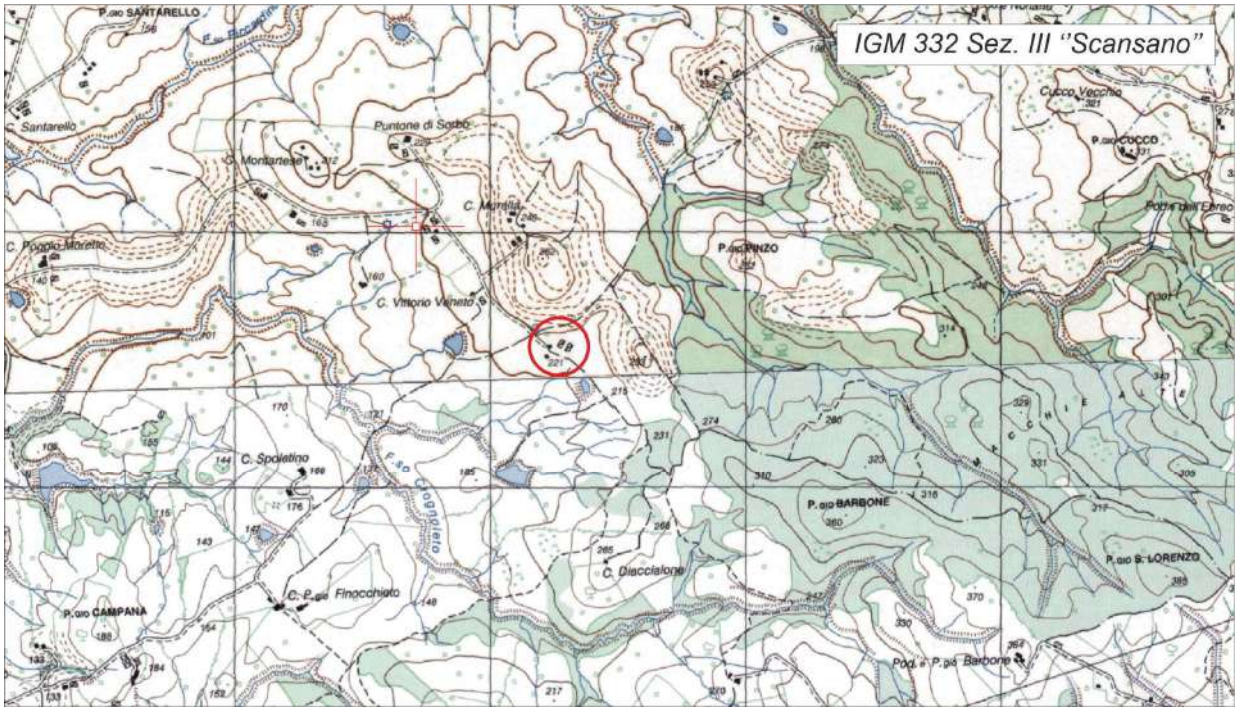


Figura 2 - Inquadramento su Carta Topografica d'Italia IGM_25K – Elemento 332 Sez. III "Scansano". In evidenza il sito di interesse.

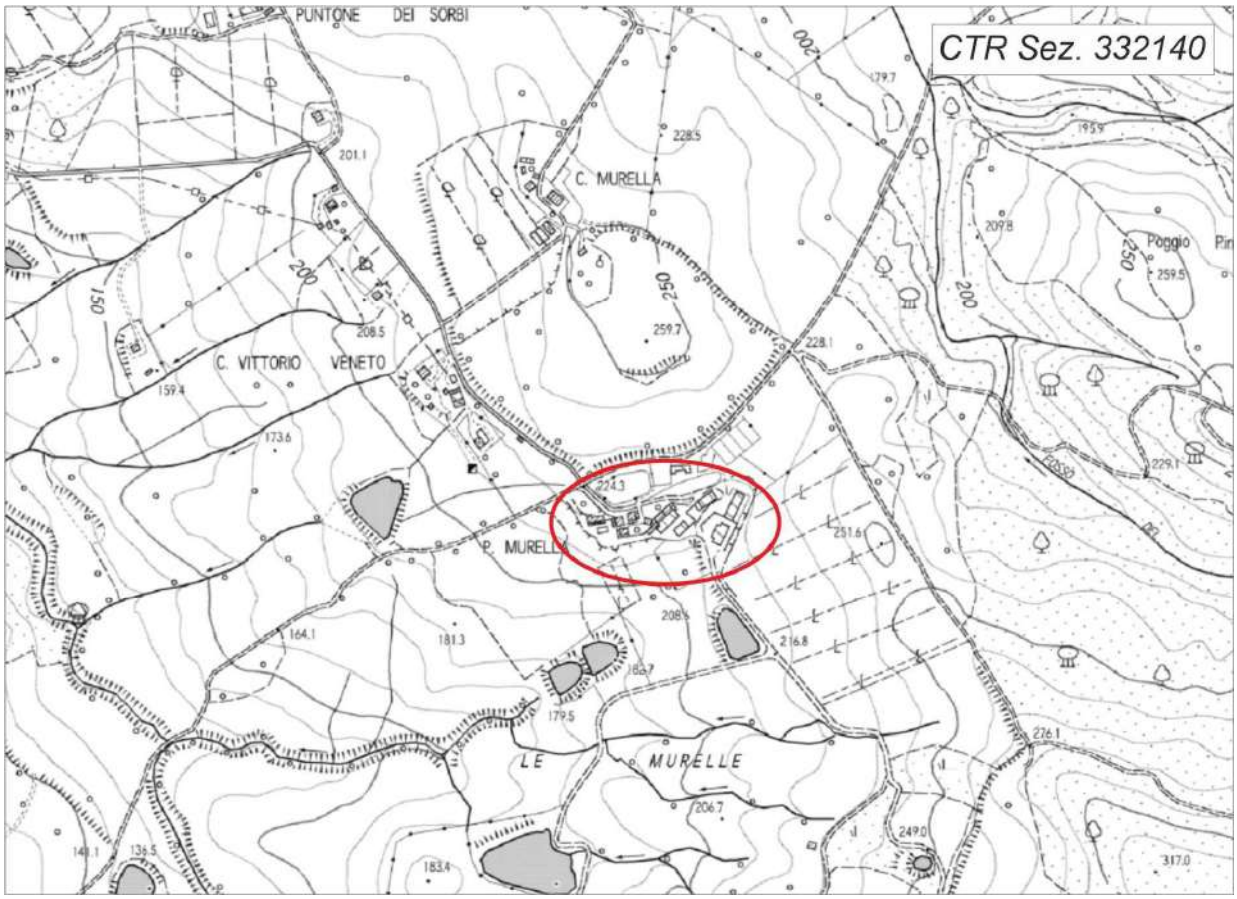


Figura 3 – Inquadramento del sito oggetto di indagini su Carta Tecnica Regionale, Elemento n. 332140

E catastalmente ricade nella particella n. 57 del Foglio di Mappa n. 138 censita dal Comune di Manciano.

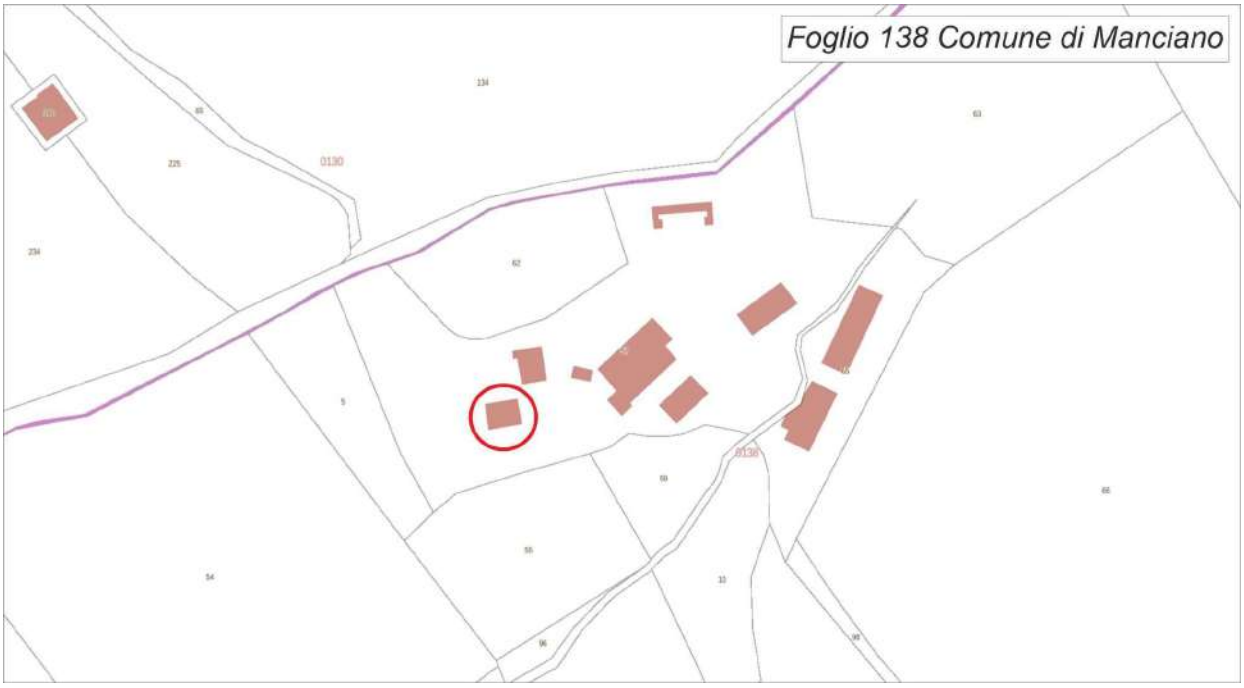


Figura 4 - Inquadramento su Mappa Catastale. In evidenza il fabbricato oggetto di indagini.

Dal punto di vista geologico nell'area di intervento, e per un congruo intorno, affiora la Formazione di Santa Fiora (FIA), unità geologica del Dominio Ligure Esterno (Cretacico Sup. - Paleocene) costituita prevalentemente da argilliti e calcilutiti.

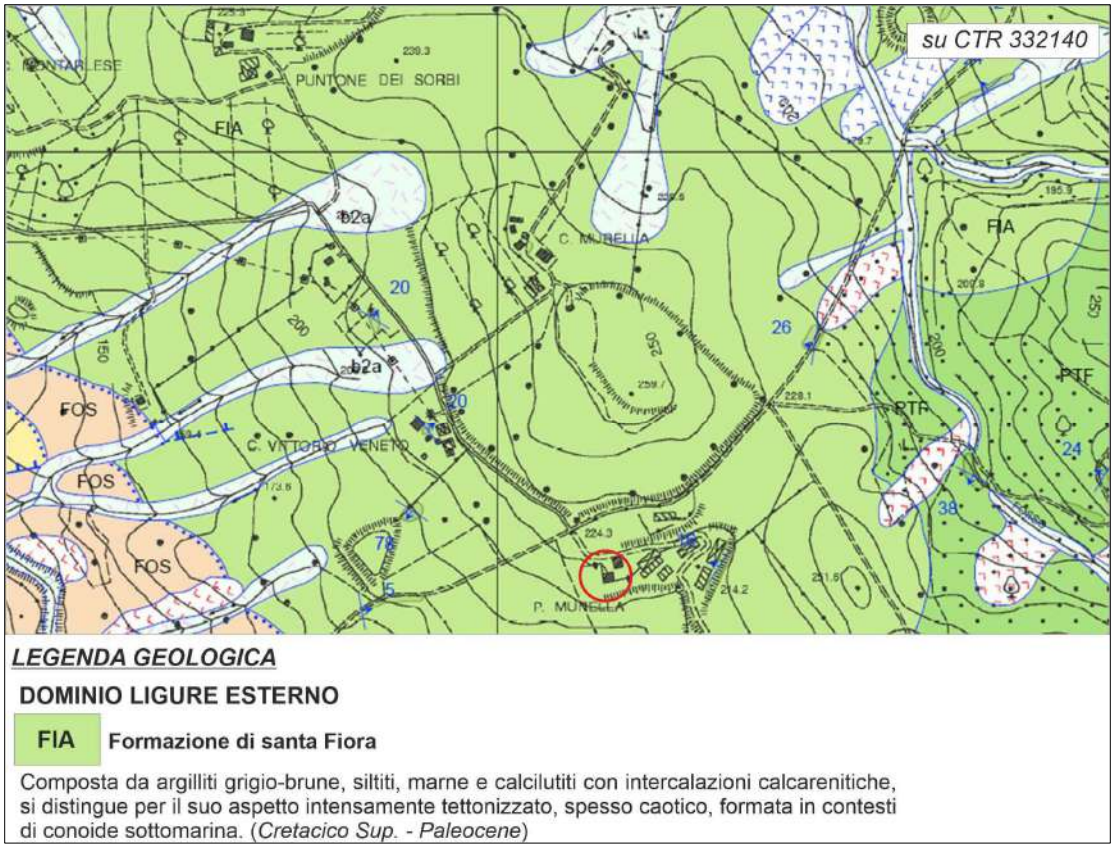


Figura 5 - Inquadramento su Carta Geologica.

2 Campagna di indagine geognostica

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di sedime e per dare una categoria di sottosuolo ai terreni interessati è stata eseguita una campagna di indagine geotecnica ed una campagna di indagine geofisica.

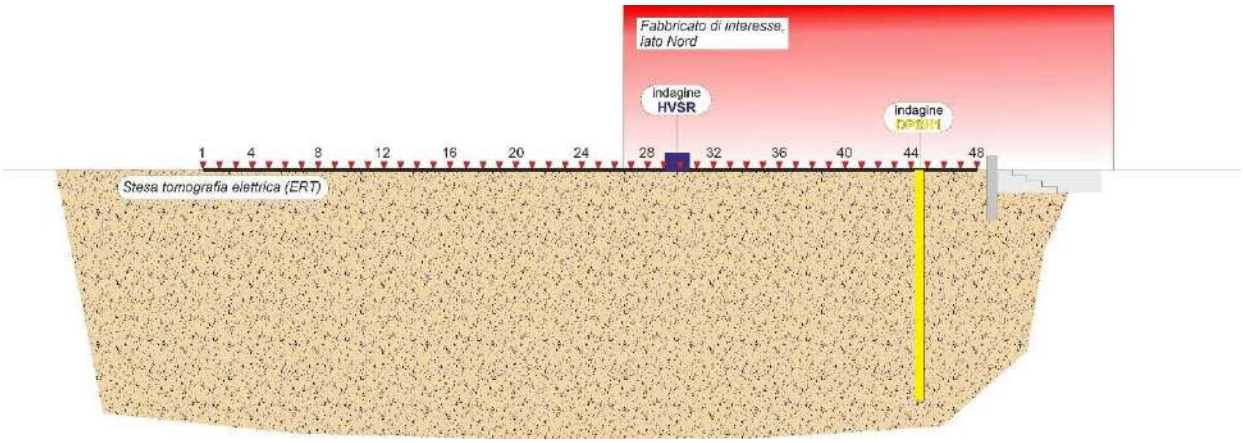


Figura 6 – Schema esemplificativo del posizionamento delle indagini svolte

- Nel dettaglio le indagini geofisiche, eseguite in data 26/03/2026, 17/04/2026 e 24/04/2026 sono:
  - N. 1 Tomografie Elettriche (ERT);
  - N. 1 Indagine sismica HVSR;
  - N.1 Indagine sismica MASW.
- L'indagine geotecnica invece è rappresentata dall'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica DPSH effettuata in data 17/04/2026.



Figura 7 - Esecuzione tomografia elettrica (ERT) a sinistra e test penetrometrico DPSH a destra

2.1 Campagna di indagine geofisica

2.1.1 Tomografia elettrica (ERT)

Come per altri metodi d'indagine non invasivi, la finalità dei metodi geoelettrici è quello di ottenere informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure effettuate in superficie. Il principio metodologico si basa sulla misura del campo elettrico indotto nel terreno con appositi dispositivi elettrodici costituiti da due coppie di elettrodi infissi nel terreno (configurazione detta quadripolo). Nel quadripolo una coppia di elettrodi costituisce il circuito per l'induzione del campo elettrico nel terreno (dipolo di corrente: convenzionalmente elettrodi A e B), mentre l'altra coppia (dipolo di potenziale: M e N) rappresenta il circuito di misura della differenza di potenziale (d.d.p.) generata nel terreno dal passaggio della corrente stessa.

Ogni tipologia di terreno o corpo roccioso presenta un ampio campo di variazione dei propri valori di resistività, che dipendono dal grado di omogeneità, dal livello di alterazione e, nel caso di rocce litoidi, dal grado di fratturazione. Per quanto sopra brevemente esposto, i metodi geoelettrici vengono applicati con successo come integrazione di indagini dirette per definire la natura dei terreni e/o litotipi nella ricostruzione di profili stratigrafici, e rappresentano un potente strumento d'indagine sempre più impiegato per la ricerca di cavità o presenza di corpi anomali e di falde acquifere.

2.1.2 Indagine sismica MASW

Il profilo sismico permette di individuare, seppur indirettamente, la stratigrafia del sottosuolo e la velocità delle onde S, necessarie alla caratterizzazione sismica. Queste indagini hanno consentito di investigare i terreni presenti fino a circa -30,0 m dal p.c. e procedere alla caratterizzazione geotecnica e stratigrafica locale dei terreni costituenti il sottosuolo dei siti.

M.A.S.W. è l'acronimo di Multichannel Analysis of Surface Waves (Analisi Multicanale di Onde di Superficie): ciò indica che il fenomeno che si analizza è la propagazione delle onde di superficie. Più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie (cioè il fatto che frequenze diverse, cioè lunghezze d'onda diverse, viaggiano a velocità diversa); il principio base è piuttosto semplice, le varie componenti (frequenze) del segnale (cioè del segnale sismico che si propaga) viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo. Più semplicemente, le lunghezze d'onda più ampie (cioè le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda (in altri termini sentono gli strati più profondi), mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte superficiale. Le prove M.A.S.W. servono a ricavare il parametro Vs30, VsEq (richiesto dalla nuova normativa sismica) in maniera semplice, economica e decisamente affidabile; tramite questa prova vengono misurate le velocità sismiche delle onde superficiali a diverse frequenze; la variazione di velocità a diverse frequenze (dispersione) è imputabile prevalentemente alla stratificazione delle velocità delle onde S, i cui valori sono ricavabili da una procedura di inversione numerica. La tecnica MASW è particolarmente adatta per la determinazione del parametro Vs30, VsEq in quanto questo è una media pesata delle velocità Vs dei primi 30 metri sotto il piano di campagna. L'analisi delle onde S mediante tecnica M.A.S.W. viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale; in questo dominio trasformato è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria, ecc…; l'intero processo per la realizzazione di un m.a.s.w, comprende tre passi successivi:

- L'acquisizione delle onde superficiali (round roll); per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno di onde superficiali a banda larga e registrato minimizzando il rumore;

- Estrazione della curva di dispersione (grafico delle velocità di fase di rispetto alla frequenza);

- Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale Vs

L'inversione della curva di dispersione viene utilizzata iterativamente, impiegando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che la procedura ai minimi quadrati. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio delle frequenze può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza; la velocità di fase e la frequenza sono due delle due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. La questione delle Vs è venuta alla ribalta in relazione alle novità normative in materia antisismica: la conoscenza del valore della Vs nella parte più superficiale è infatti utile a stimare l'effetto di sito (l'amplificazione litologica).

In realtà la Vs ha notevole valore anche dal punto di vista dell'ingegneria edile. In generale la conoscenza di Vs e Vp fornisce un valore aggiunto in quanto consente una serie di considerazioni impossibili da svolgere avendo a disposizione solo l'una o l'altra. Si ricordi come la Vp sia fortemente influenzata dalla presenza di acqua (le rifrazioni in Vp in pianura alluvionale forniscono Vp attorno a 1500 m/s a pochissimi metri di profondità proprio a causa della "tavola d'acqua") mentre la Vs ne sia solo modestamente influenzata. Una volta ricavata la zonazione profonda della velocità delle onde S lungo la verticale è possibile ricavare il valore del Vs30 come da media pesata dei valori delle velocità nei primi 30 metri sotto la superficie del terreno.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

2.1.3 Risultati della campagna di indagine geofisica

Di seguito si riporta quanto scaturisce dall'indagine tomografica eseguita e ben descritta nella relazione di report (che si allega alla presente).

Il modello geofisico risultante propone la presenza di più elettrostrati a differente comportamento fisico, tuttavia il contesto è riassumibile nella presenza di terreni derivanti dalla porzione alterata della formazione litoide presente in sito e costituita prevalentemente da livelli argillosi, con potenziale presenza di acqua, in cui si intercalano livelli calcarei fratturati e frammentati.

Dall'immagine seguente è possibile notare come per l'intera lunghezza del fabbricato siano presenti materiali riconducibili a terreni sciolti di riporto fino ad una profondità di 1,0/1,5 metri dal p.c. Sotto quest'ultimi sono altresì presenti materiali riconducibili a terreni argillosi con presenza di lenti potenzialmente sature fino ad una profondità media di 2,5/3,0 m dal p.c.

Invece da circa 3,0 m di profondità si individuano materiali riconducibili a terreni argillosi con frequente presenza litoide ipoteticamente di natura calcarea.

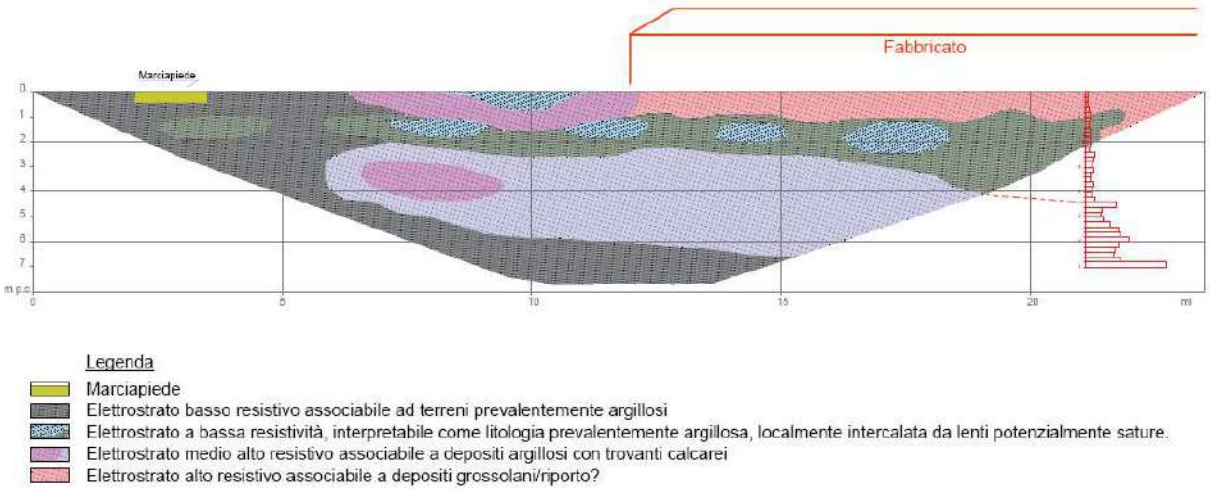


Figura 8 – Modello geofisico del sottosuolo

2.2 Campagna di indagine geotecnica

2.2.1 Prova penetrometrica dinamica (DPSH)

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura a);
- avanzamento (penetrazione) δ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- *tipo LEGGERO (DPL);*
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M *(kg)*	prof. max indagine battente *(m)*
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento d = 10 cm, punta conica (a=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento d = 10 cm, punta conica (a= 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento d=30 cm, punta conica (a = 60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento d=20-30 cm, punta conica (a = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm², rivestimento/fango bentonitico: talora previsto.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT. L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
d	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (d/ N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N 1)60

(N1)60 è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$(N_1)_{60} = \mathrm{CN} \cdot \mathrm{N60}$ con $\mathrm{CN} = \sqrt{(\mathrm{Pa}/'\sigma_{\mathrm{vo}})}$ $\mathrm{CN} < 1.7$ $\mathrm{Pa} = 101.32\,\mathrm{kPa}$ (Liao e Whitman 1986)

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (\mathrm{ER}/60) \cdot \mathrm{C_S} \cdot \mathrm{C_r} \cdot \mathrm{C_d}$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
Cs	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
Cd	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
Cr	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della GeoStru Software.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

Elaborazione Statistica dei risultati

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media: Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima: Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo: Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo: Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio: Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata: Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s: Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media – s: Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.: Il valore di Nspt,k viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$Nspt,_k = Nspt,_{medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{Nspt})$$

dove σNspt è la deviazione standard di Nspt.

Distribuzione normale R.N.C.: Il valore di Nspt,k viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di Nspt distribuiti normalmente:

$$Nspt,_k = Nspt,_{medio} - 1.645 \cdot \left(\sigma_{Nspt}\right) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile: Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immorsamento d = 1 m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

- Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati Nspt il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi). Attraverso la relazione di SHI-MING (1982), applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se Nspt dello strato considerato risulta inferiore a Nspt critico calcolato con l'elaborazione di SHI-MING.

-Correzione Nspt in presenza di falda

Nspt corretto = 15 + 0.5 × (Nspt - 15) - Nspt è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

-Angolo di Attrito

Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).

Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) σ>5 t/mq.

De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.

Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).

Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.

Shioi-Fukuni (1982) (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (condizioni ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) σ>15 t/mq.

Shioi-Fukuni (1982) (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.

Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) s>15 t/mq.

Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.

Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

-Densità relativa (%)

Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Meyerhof (1957).

Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

-Modulo Di Young (Ey)

Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.

Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.

Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.

D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia

Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

-Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).

Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

-Stato di consistenza

Classificazione A.G.I. 1977

-Peso di Volume Gamma

Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

-Peso di volume saturo

Terzaghi-Peck 1948-1967

-Modulo di poisson

Classificazione A.G.I.

-Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

Seed-Idriss 1978-1981. Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

-Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

-Modulo di deformazione di taglio (G)

Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.

Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

-Modulo di reazione (Ko)

Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

-Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

Robertson (1983) - Qc

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

-Coesione non drenata

Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.

Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.

Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max.*

Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.

Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è

comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.

(U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-grado di plasticità).

Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con Nc=20 e Qc/Nspt=2.

Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .

Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.

Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.

Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.

Begemann.

De Beer.

-Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)
Robertson (1983) - Qc

-Modulo Edometrico-Confinato (Mo)
Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.

Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP< 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP< 20) - da esperienze su argille glaciali .

Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).

Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt <30) medie e molli (Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

-Modulo Di Young (EY)
Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15

D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

-Stato di consistenza
Classificazione A.G.I. 1977

-Peso di Volume
Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

-Peso di volume saturo
Meyerhof ed altri.

2.2.2 Risultati della campagna di indagine geotecnica

Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del terreno investigato sono state determinate tramite l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica DPSH. I dati riscontrati sono stati calcolati mediante il software Dynamic Probing di Geostru. Il programma Dynamic Probing permette l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione delle Prove Penetrometriche dinamiche. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

Stima parametri geotecnici della prova DPSH

Committente:	Tribunale di Grosseto
Strumento utilizzato:	DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data:	17/04/2026
Prova elaborata in data:	30/04/2026
Profondità prova:	7,00 m
Falda:	non rilevata

Resoconto parametri su passo strumentale

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	1	0.855	0.88	1.03	44.03	51.52
0.40	1	0.851	0.88	1.03	43.83	51.52
0.60	1	0.847	0.80	0.95	40.05	47.28
0.80	2	0.843	1.60	1.89	79.75	94.57
1.00	3	0.840	2.38	2.84	119.12	141.85
1.20	3	0.836	2.37	2.84	118.63	141.85
1.40	2	0.833	1.58	1.89	78.76	94.57
1.60	3	0.830	2.17	2.62	108.74	131.08
1.80	3	0.826	2.17	2.62	108.31	131.08
2.00	3	0.823	2.16	2.62	107.90	131.08
2.20	3	0.820	2.15	2.62	107.50	131.08
2.40	2	0.817	1.43	1.75	71.41	87.39
2.60	6	0.814	3.97	4.87	198.39	243.65
2.80	5	0.811	3.30	4.06	164.75	203.04
3.00	4	0.809	2.63	3.25	131.35	162.43
3.20	5	0.806	3.27	4.06	163.65	203.04
3.40	3	0.803	1.96	2.44	97.87	121.82
3.60	3	0.801	1.82	2.28	91.13	113.79
3.80	5	0.798	3.03	3.79	151.42	189.65
4.00	4	0.796	2.42	3.03	120.77	151.72
4.20	4	0.794	2.41	3.03	120.42	151.72
4.40	6	0.791	3.60	4.55	180.11	227.58
4.60	19	0.739	10.00	13.52	499.78	676.08
4.80	10	0.787	5.60	7.12	280.07	355.83
5.00	9	0.785	5.03	6.40	251.40	320.25
5.20	11	0.783	6.13	7.83	306.48	391.41
5.40	15	0.731	7.80	10.67	390.19	533.75
5.60	20	0.729	9.77	13.40	488.66	670.20
5.80	22	0.677	9.99	14.74	499.30	737.22
6.00	27	0.675	12.22	18.10	611.15	904.77
6.20	20	0.724	9.70	13.40	485.04	670.20
6.40	18	0.722	8.71	12.06	435.50	603.18
6.60	17	0.720	7.76	10.77	387.77	538.30
6.80	22	0.669	9.32	13.93	465.87	696.63
7.00	50	0.567	17.96	31.66	897.97	1583.25

Resoconto parametri su livelli del modello geotecnico

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Peso unita' di volume (KN/m³)	Peso unita' di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
4.4	3.27	2.73	Incoerente - coesivo	17.16	18.44	37.75	1.47	4.81	Argilla e riporto
6.8	17.5	11.83	Incoerente - coesivo	20.79	21.97	100.45	1.47	25.73	Argilla e trovanti
7	50	31.67	Incoerente - coesivo	24.52	24.52	127.85	1.47	73.5	Livello litoide

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA - DPSH1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (KPa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M. S.M	Schmertmann 1975	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Argilla	4.81	4.40	29.52	24.52 - 49.03	19.22	45.90	42.66	77.67	23.63	30.30	58.94
[2] - Strato	25.73	6.80	170.34	98.07 - 196.13	96.01	250.46	208.69	259.19	126.11	349.61	315.38
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	486.51	0.00	231.14	724.32	468.56	877.11	360.39	1164.54	901.03

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] - Argilla	4.81	4.40	Robertson (1983)	0.94
[2] - Strato	25.73	6.80	Robertson (1983)	5.05
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Robertson (1983)	14.42

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Argilla	4.81	4.40	2.16	7.08	4.99	5.90
[2] - Strato	25.73	6.80	11.58	--	25.91	25.23
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	33.07	--	73.69	72.08

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Argilla	4.81	4.40	3.42	4.72
[2] - Strato	25.73	6.80	27.02	25.23
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	80.89	72.08

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Argilla	4.81	4.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Strato	25.73	6.80	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (KN/m³)
[1] - Argilla	4.81	4.40	Meyerhof	17.16
[2] - Strato	25.73	6.80	Meyerhof	20.79
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Meyerhof	24.52

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (KN/m³)
[1] - Argilla	4.81	4.40	Meyerhof	18.44
[2] - Strato	25.73	6.80	Meyerhof	21.97
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Meyerhof	24.52

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Argilla	4.81	4.40	Ohta & Goto (1978) Limi	104.52
[2] - Strato	25.73	6.80	Ohta & Goto (1978) Limi	167.31
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Ohta & Goto (1978) Limi	208.88

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Argilla	4.81	4.40	19.25	44.22	46.57	20.33
[2] - Strato	25.73	6.80	44.33	81.12	80.33	58.83
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	67.42	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Argilla	4.81	4.40	28.37	21.37	29.35	29.62	31.59	23.49	28.44	23.49	24.81
[2] - Strato	25.73	6.80	34.35	27.35	35.2	30.21	38.66	34.65	34.72	27.42	37.68
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	48	41	48.58	31.39	41.67	48.2	49.05	30.34	53.34

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Argilla	4.81	4.40	---	3.77	---	---	---
[2] - Strato	25.73	6.80	35.51	20.19	29.84	36.58	19.97
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	60.01	57.66	85.12	71.71	43.39

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Argilla	4.81	4.40	---	3.66	3.35	5.83
[2] - Strato	25.73	6.80	15.14	7.88	17.91	14.98
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	43.25	17.50	51.18	35.87

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Argilla	4.81	4.40	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Strato	25.73	6.80	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unita' di Volume (KN/m³)
[1] - Argilla	4.81	4.40	Meyerhof et al.	15.00
[2] - Strato	25.73	6.80	Meyerhof et al.	20.50
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Meyerhof et al.	24.12

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (KN/m³)
[1] - Argilla	4.81	4.40	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.53

[2] - Strato	25.73	6.80	Terzaghi-Peck 1948-1967	19.81
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Terzaghi-Peck 1948-1967	21.57

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Poisson
[1] - Argilla	4.81	4.40	(A.G.I.)	0.34
[2] - Strato	25.73	6.80	(A.G.I.)	0.3
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	(A.G.I.)	0.2

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Argilla	4.81	4.40	27.90	32.00
[2] - Strato	25.73	6.80	134.97	89.17
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	362.03	169.33

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Argilla	4.81	4.40	Ohta & Goto (1978) Limi	104.52
[2] - Strato	25.73	6.80	Ohta & Goto (1978) Limi	167.31
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Ohta & Goto (1978) Limi	208.88

Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	K0
[1] - Argilla	4.81	4.40	Navfac 1971-1982	0.94
[2] - Strato	25.73	6.80	Navfac 1971-1982	4.99
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Navfac 1971-1982	11.93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] - Argilla	4.81	4.40	Robertson 1983	0.94
[2] - Strato	25.73	6.80	Robertson 1983	5.05
[3] - Ghiaia	73.5	7.00	Robertson 1983	14.42

Valori caratteristici del terreno

Prova	DPSH1
Data della prova	17/04/2026
Data elaborazione	30/04/2026
Latitudine (WGS1984)	42.6000820
Longitudine (WGS1984)	11.4640181
Altitudine	+220,00 [m s.l.m.]
Tipo di prova	penetrometria dinamica
Profondità della prova	7,00 m
Falda	non rilevata
Categoria del suolo	B

Strato n. 1

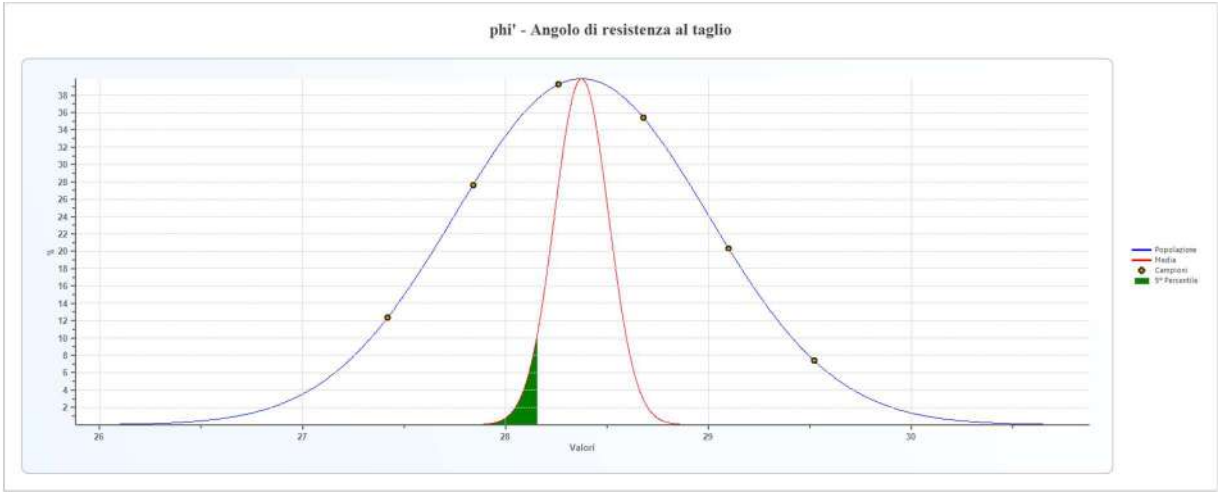
Spessore [m] 4,40 m (da 0,00 m a -4,40 m)

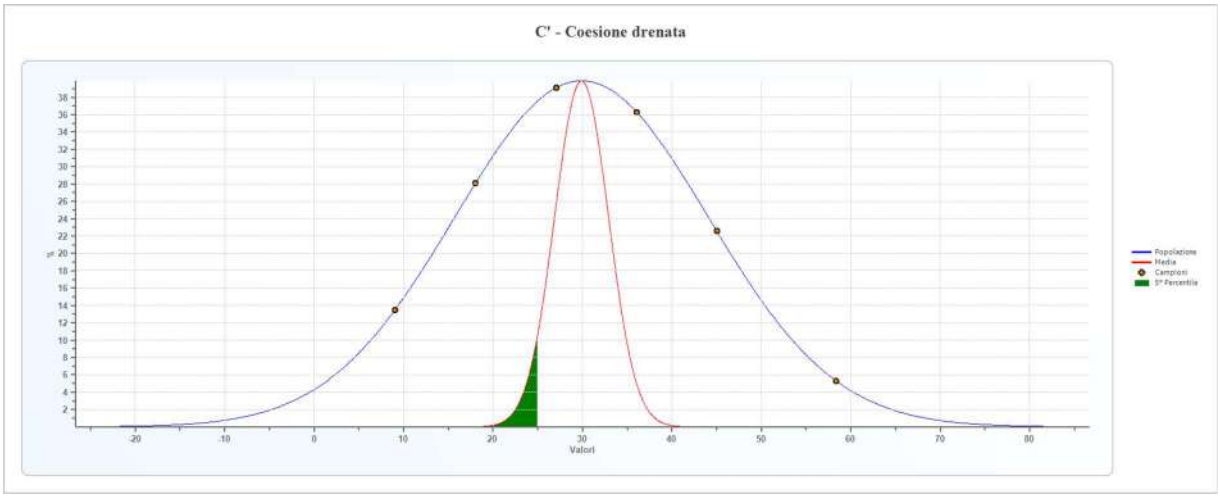
Elenco delle misure

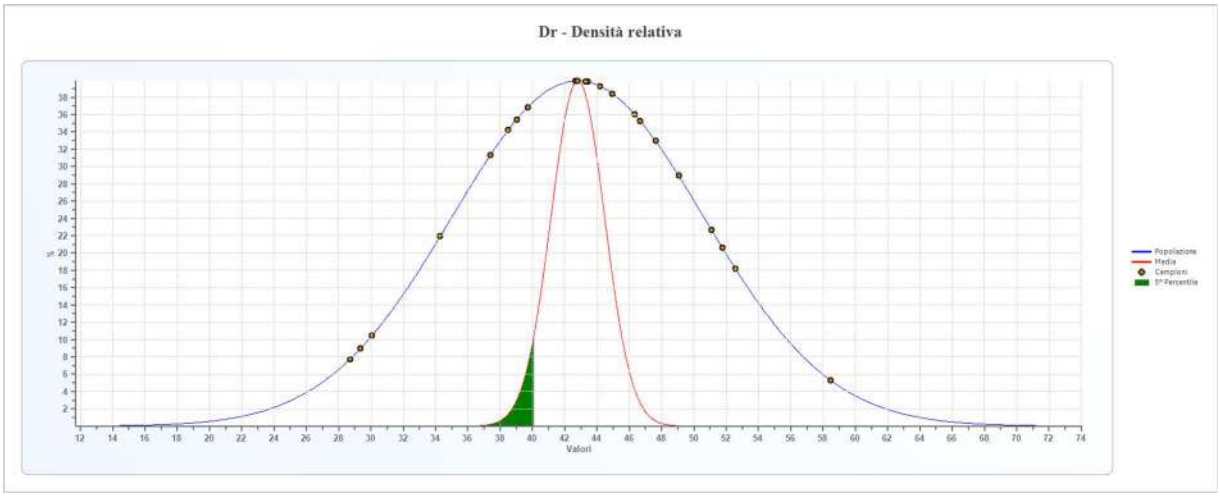
	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Densità relativa [%]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	N spt [n.]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Modulo di Poisson [-]
1	27.42	9.02	30.06	2989.07	1.47	13.53	18.34	0.35
2	27.42	9.02	29.35	2989.07	1.47	13.53	18.34	0.35
3	27.42	9.02	28.69	2989.07	1.47	13.53	18.34	0.35
4	27.84	18.04	39.70	3285.23	2.94	14.22	18.34	0.35
5	28.26	27.07	47.62	3581.39	4.41	14.81	18.44	0.34
6	28.26	27.07	46.68	3581.39	4.41	14.81	18.44	0.34
7	27.84	18.04	37.39	3285.23	2.94	14.22	18.34	0.35
8	28.26	27.07	44.95	3581.39	4.41	14.81	18.44	0.34
9	28.26	27.07	44.16	3581.39	4.41	14.81	18.44	0.34
10	28.26	27.07	43.40	3581.39	4.41	14.81	18.44	0.34
11	28.26	27.07	42.68	3581.39	4.41	14.81	18.44	0.34
12	27.84	18.04	34.29	3285.23	2.94	14.22	18.34	0.35
13	29.52	58.35	58.48	4469.87	8.82	16.57	18.73	0.34
14	29.10	45.01	52.58	4173.71	7.35	15.98	18.63	0.34
15	28.68	36.09	46.34	3877.55	5.88	15.49	18.53	0.34
16	29.10	45.01	51.08	4173.71	7.35	15.98	18.63	0.34
17	28.26	27.07	39.02	3581.39	4.41	14.81	18.44	0.34
18	28.26	27.07	38.49	3581.39	4.41	14.81	18.44	0.34
19	29.10	45.01	49.05	4173.71	7.35	15.98	18.63	0.34
20	28.68	36.09	43.31	3877.55	5.88	15.49	18.53	0.34
21	28.68	36.09	42.77	3877.55	5.88	15.49	18.53	0.34
22	29.52	58.35	51.75	4469.87	8.82	16.57	18.73	0.34

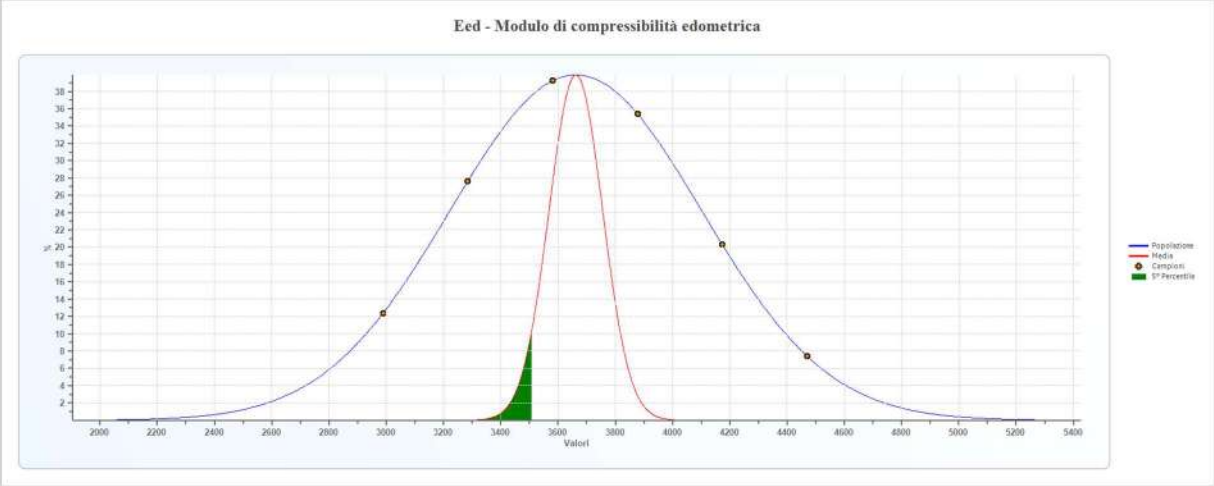
Risultati elaborazione

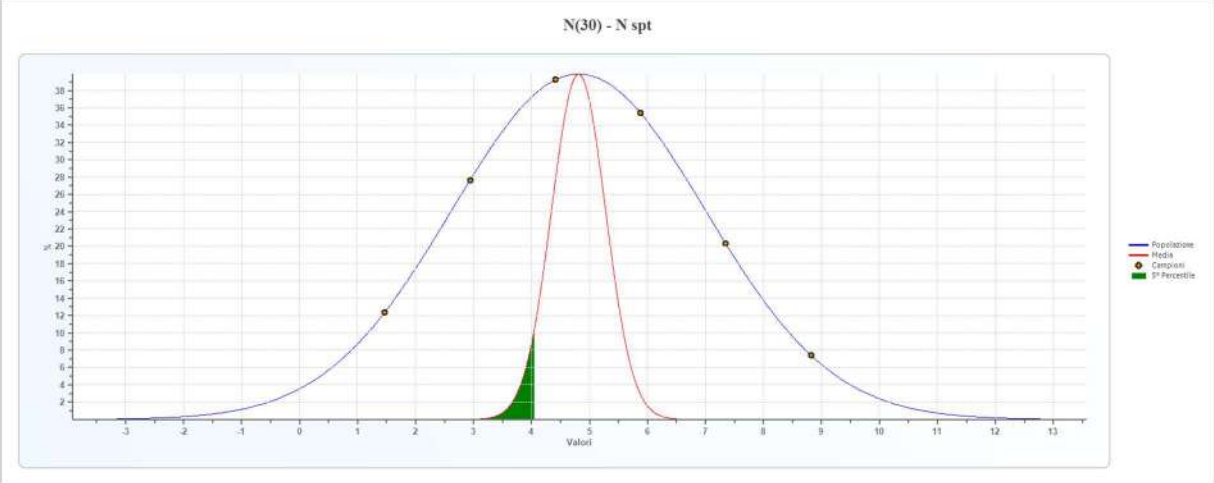
	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Densità relativa [%]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	N spt [n.]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Modulo di Poisson [-]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media
Valore caratteristico	28.16	24.93	40.08	3507.83	4.04	14.65	18.43	0.34
Minimo	27.42	9.02	28.69	2989.07	1.47	13.53	18.34	0.34
Massimo	29.52	58.35	58.48	4469.87	8.82	16.57	18.73	0.35
Valore medio	28.37	29.90	42.81	3662.16	4.81	14.97	18.48	0.34
Varianza	0.39	200.59	60.65	193648.14	4.77	0.82	0.02	0.00
Dev. St.	0.13	3.02	1.66	93.82	0.47	0.19	0.03	0.00
Dev. St. Med.	0.13	3.02	1.66	93.82	0.47	0.19	0.03	0.00
Percentile	(5°) 27.35	(5°) 6.60	(5°) 30.00	(5°) 2938.27	(5°) 1.22	(5°) 13.48	(5°) 18.27	(5°) 0.34
percentile media	(5°) 28.16	(5°) 24.93	(5°) 40.08	(5°) 3507.83	(5°) 4.04	(5°) 14.65	(5°) 18.43	(5°) 0.34
C.O.V.	0.02	0.47	0.18	0.12	0.45	0.06	0.01	0.01

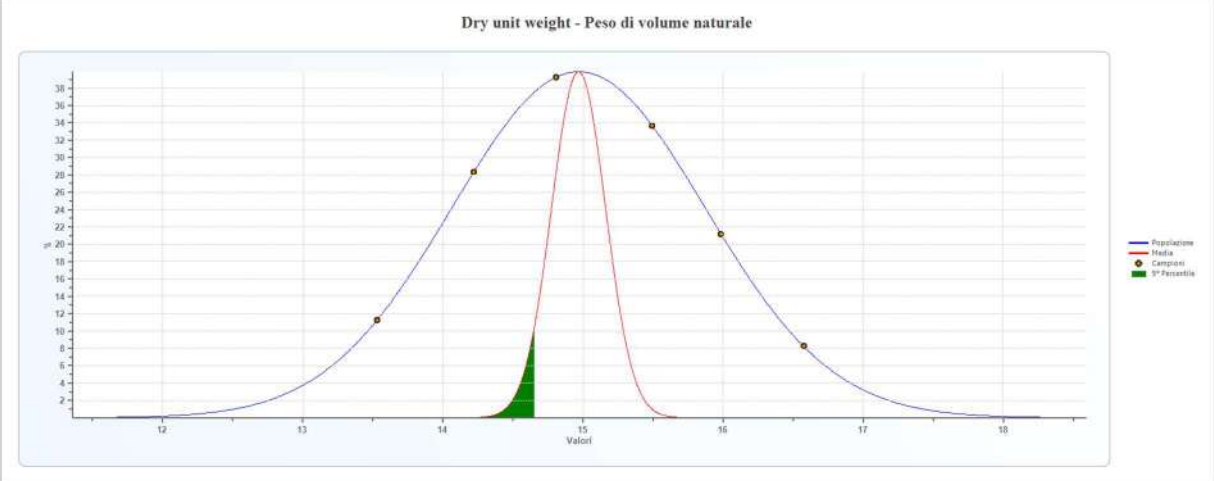

phi' - Angolo di resistenza al taglio
%
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile

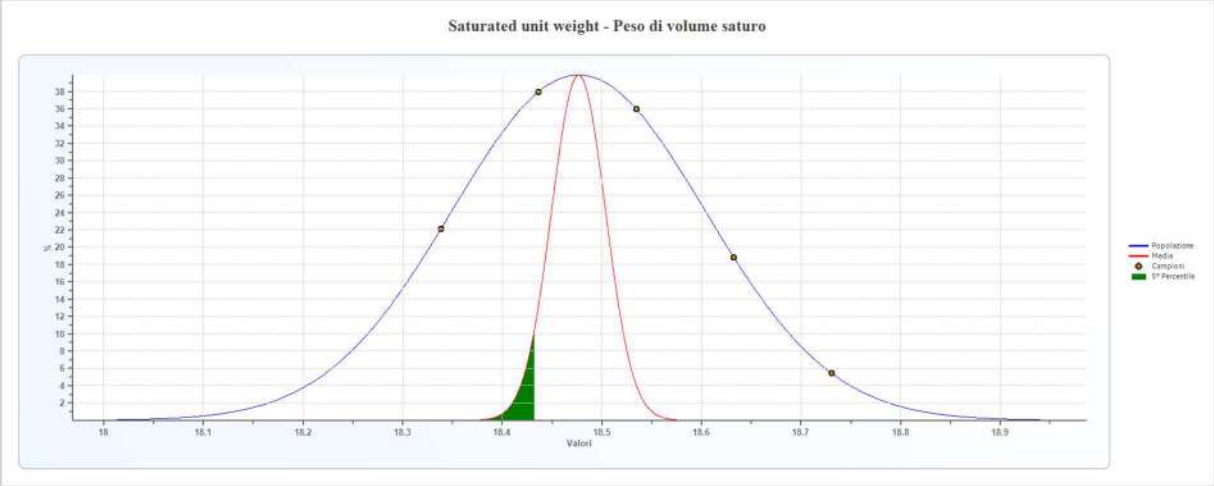

C' - Coesione drenata
%
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile

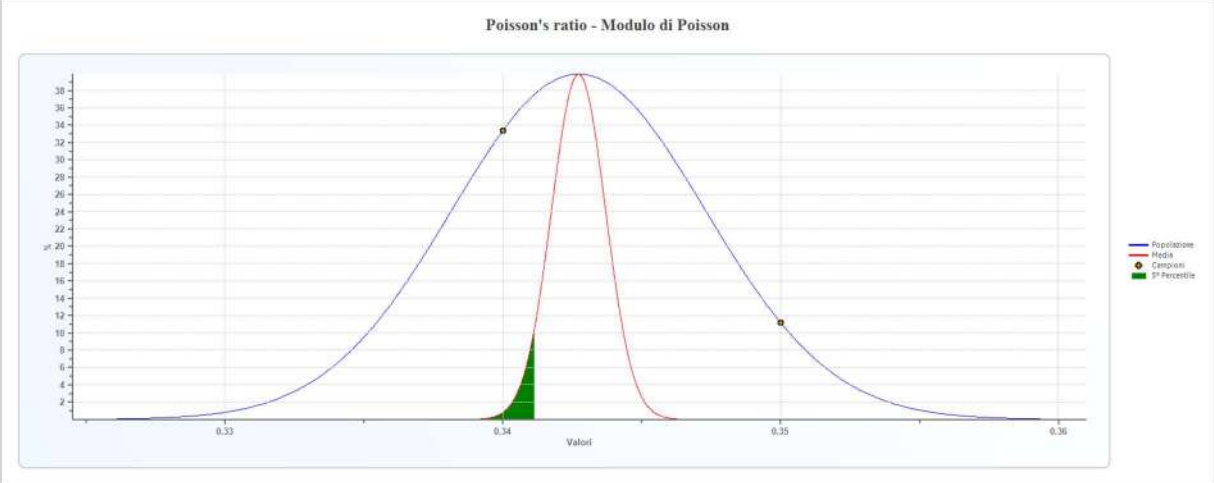

Dr - Densità relativa
%
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile


Eed - Modulo di compressibilità edometrica
%
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile


N(30) - N spt
%
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile


Dry unit weight - Peso di volume naturale
%
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile





Strato n. 2

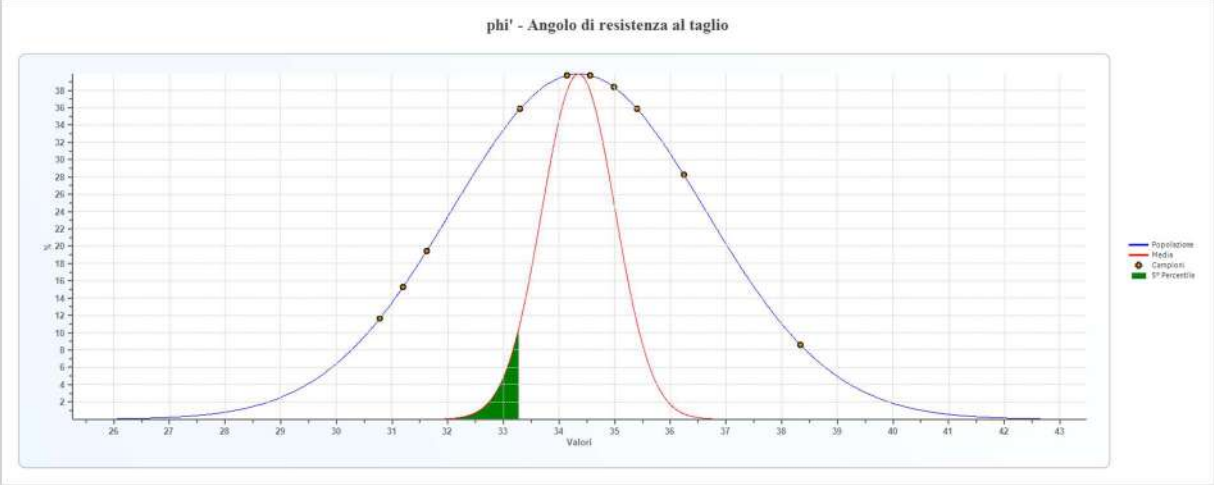
Spessore [m] 2,40 m (da -4,40 m a -6,80 m)

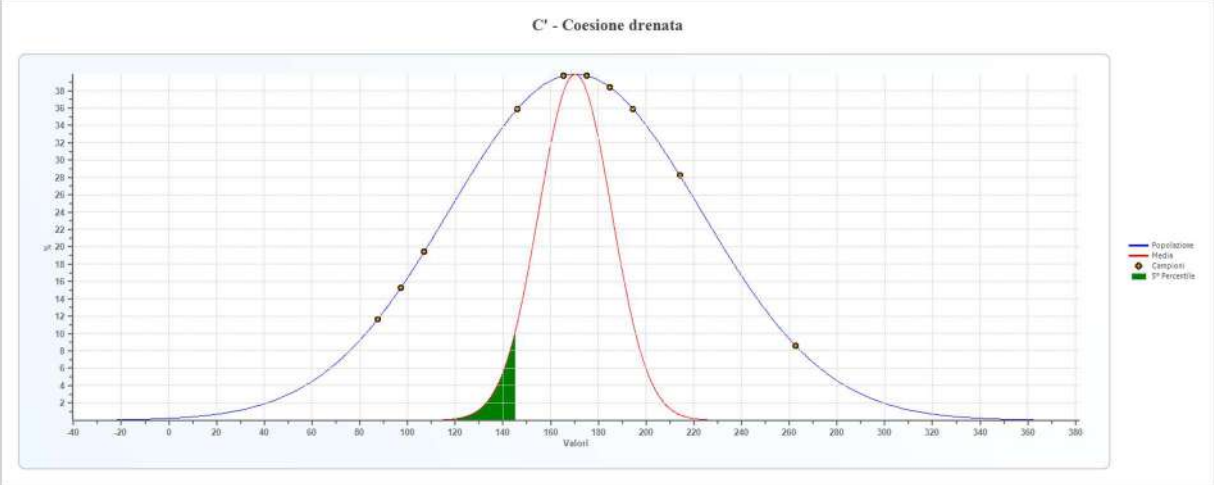
Elenco delle misure

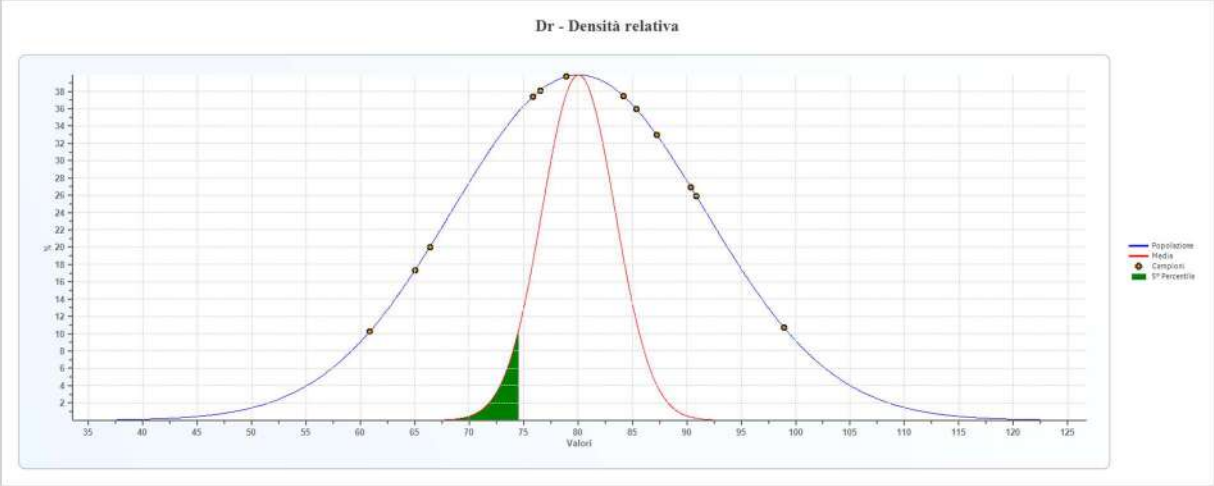
	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Densità relativa [%]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	N spt [n.]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Modulo di Poisson [-]
1	34.98	184.86	90.89	8318.98	21049.97	27.93	20.69	19.91	0.30
2	31.20	97.28	65.02	5654.51	14562.88	14.70	18.34	19.12	0.33
3	30.78	87.57	60.85	5358.35	13842.09	13.23	17.95	19.02	0.33
4	31.62	106.99	66.38	5950.68	15283.67	16.17	18.73	19.22	0.32
5	33.30	145.92	76.52	7135.32	18166.82	22.05	19.91	19.52	0.31
6	35.40	194.56	87.25	8615.14	21770.76	29.40	20.89	20.01	0.30
7	36.24	214.08	90.39	9207.46	23212.34	32.34	21.18	20.20	0.29
8	38.34	262.72	98.94	10688.27	26816.29	39.69	21.57	20.59	0.28
9	35.40	194.56	84.16	8615.14	21770.76	29.40	20.89	20.01	0.30
10	34.56	175.15	78.94	8022.82	20329.19	26.46	20.59	19.81	0.30
11	34.14	165.44	75.86	7726.66	19608.40	24.99	20.40	19.71	0.30
12	36.24	214.08	85.36	9207.46	23212.34	32.34	21.18	20.20	0.29

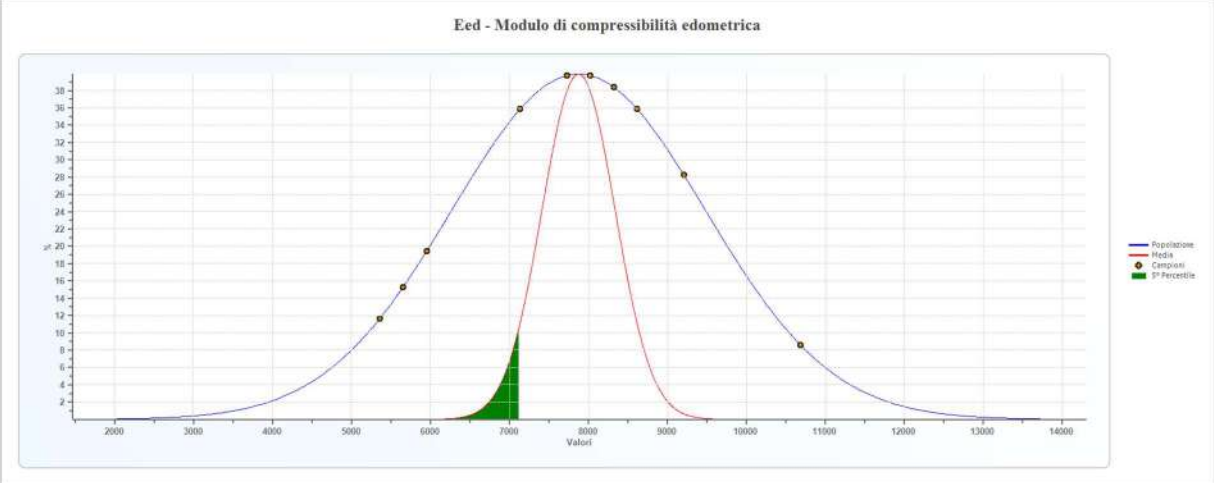
Risultati elaborazione

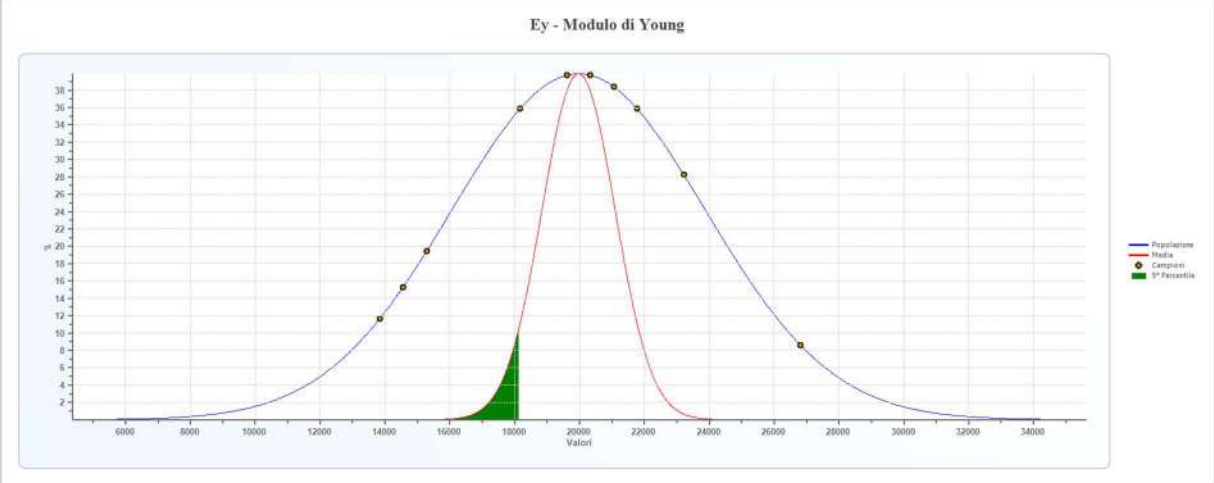
	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Densità relativa [%]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	N spt [n.]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Modulo di Poisson [-]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media
Valore caratteristico	33.27	145.23	74.52	7113.17	18114.03	21.94	19.62	19.55	0.30
Minimo	30.78	87.57	60.85	5358.35	13842.09	13.23	17.95	19.02	0.28
Massimo	38.34	262.72	98.94	10688.27	26816.29	39.69	21.57	20.59	0.33
Valore medio	34.35	170.27	80.05	7875.07	19968.79	25.72	20.19	19.78	0.30
Varianza	5.18	2780.80	135.53	2574201.78	15255468.06	63.45	1.45	0.23	0.00
Dev. St.	0.66	15.22	3.36	463.16	1127.51	2.30	0.35	0.14	0.00
Dev. St. Med.	0.66	15.22	3.36	463.16	1127.51	2.30	0.35	0.14	0.00
Percentile	(5°) 30.61	(5°) 83.52	(5°) 60.90	(5°) 5235.78	(5°) 13543.71	(5°) 12.62	(5°) 18.21	(5°) 18.99	(5°) 0.28
percentile media	(5°) 33.27	(5°) 145.23	(5°) 74.52	(5°) 7113.17	(5°) 18114.03	(5°) 21.94	(5°) 19.62	(5°) 19.55	(5°) 0.30
C.O.V.	0.07	0.31	0.15	0.20	0.20	0.31	0.06	0.02	0.05

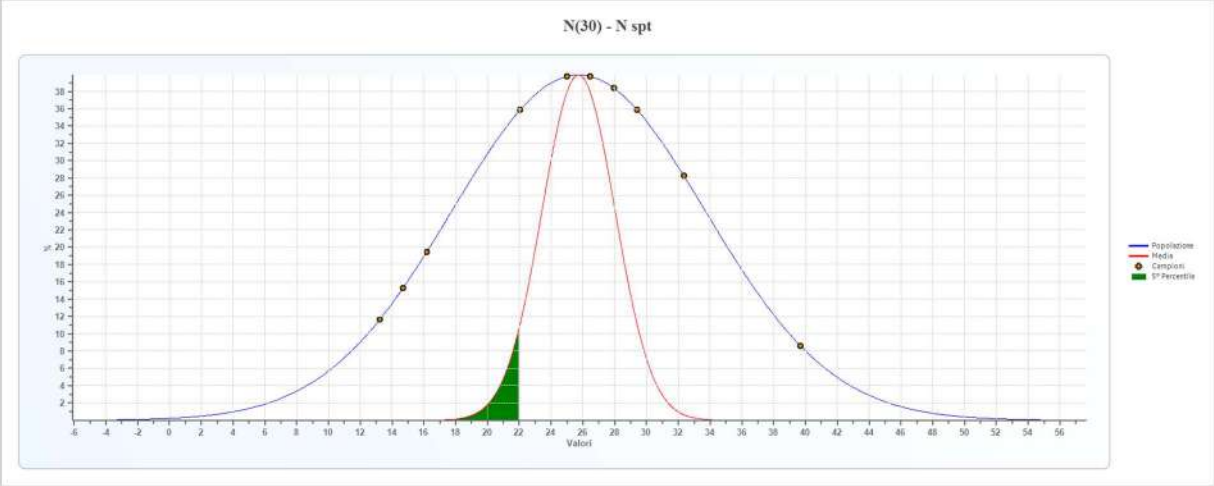


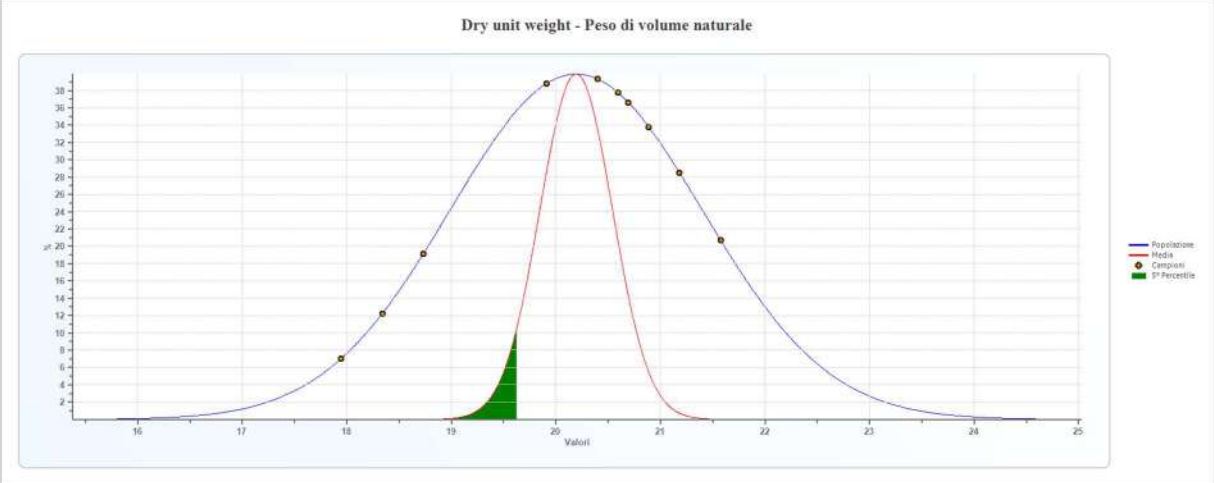


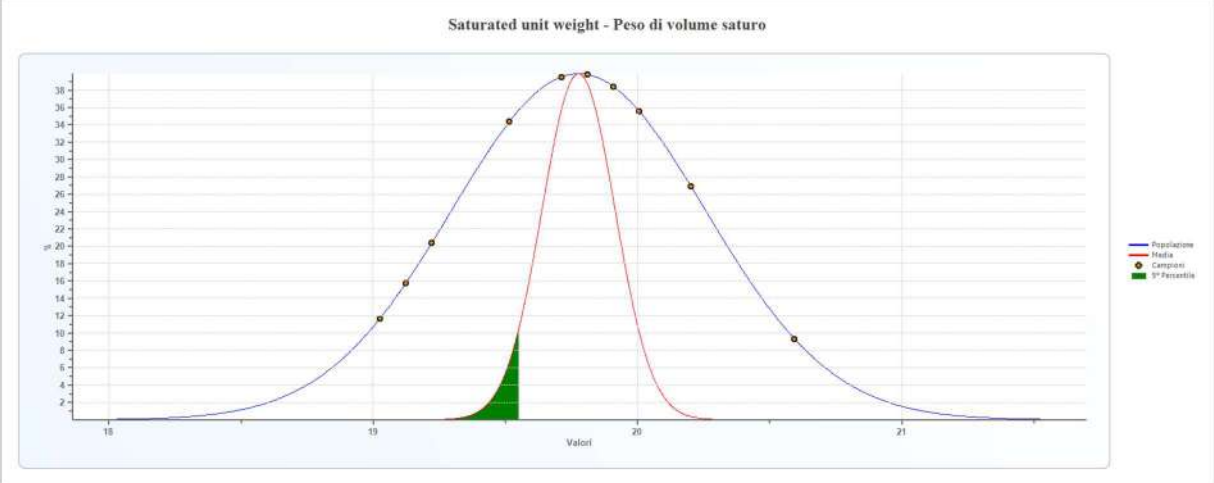

Dr - Densità relativa
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile

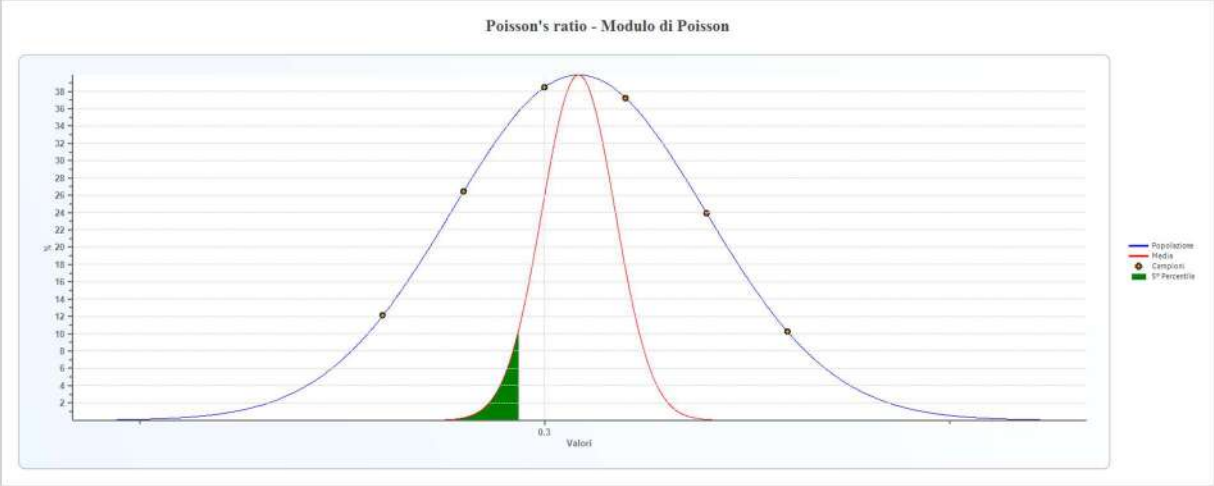

Eed - Modulo di compressibilità edometrica
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile


Ey - Modulo di Young
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile


N(30) - N spt
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile


Dry unit weight - Peso di volume naturale
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile


Saturated unit weight - Peso di volume saturo
Valori
Popolazione
Media
Campioni
5° Percentile



Strato n. 3

Spessore [m] 0,20 m (da -6,80 m a -7,00 m)

Elenco delle misure

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Densità relativa [%]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	N spt [n.]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Modulo di Poisson [-]
1	48.00	486.51	100.00	17498.99	43394.43	73.50	24.12	21.57	0.20

Risultati elaborazione

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione drenata [kN/mq]	Densità relativa [%]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Modulo di Young [kN/mq]	N spt [n.]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Modulo di Poisson [-]
Tipo di elaborazione	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Valore considerato	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Valore caratteristico	48.00	486.51	100.00	17498.99	43394.43	73.50	24.12	21.57	0.20
Minimo	48.00	486.51	100.00	17498.99	43394.43	73.50	24.12	21.57	0.20
Massimo	48.00	486.51	100.00	17498.99	43394.43	73.50	24.12	21.57	0.20
Valore medio	48.00	486.51	100.00	17498.99	43394.43	73.50	24.12	21.57	0.20
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dev. St.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dev. St. Med.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Percentile	--	--	--	--	--	--	--	--	--
percentile media	--	--	--	--	--	--	--	--	--
C.O.V.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3 Valutazione dell'azione sismica

3.1 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie. Mediante l'utilizzo della Tab. 3.2 II e 3.2 III del D.M. 17/01/2018 ed i risultati derivanti dalle elaborazioni delle indagini sismiche effettuate in sito in data 15 e 16 dicembre 2025, la quale ha restituito un valore delle Vs_{Eq} pari a **445,50 m/s**, è stata individuata una categoria di sottosuolo (**B**) quale: *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s"*.



Figura 9 – Esecuzione indagine MASW in data 24 aprile 2026

In generale l'attribuzione di un terreno ad una categoria di sottosuolo è fatta in base all'elaborazione di indagini geologico-tecniche, alla stratigrafia rinvenuta e ad altre prove geognostiche effettuate negli anni nelle vicinanze dell'area in esame e alle informazioni geologiche locali. Visto l'assetto geologico-geomorfologico del sito specifico ed i valori della velocità media delle onde sismiche di taglio (Vs) nei primi 30 metri di profondità, dei terreni limoso sabbiosi e limoso-argillosi con clasti in superficie e substrato roccioso poco profondo:

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

Dove:

hi = spessore dell'i-esimo strato;

VS,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 VS non inferiore a 800 m/s.

Il valore del parametro Vs_{Eq} come suddetto, è pari a 490 m/s (dato delle indagini sismiche effettuate in sito in data 15 e 16 dicembre 2025) e, in ragione di ciò, la categoria di suolo sottostante l'area in esame che corrispondente al nostro sito è la B.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* 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	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
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.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

(Tab. 3.2.II –NTC 2018) – *Categorie di sottosuolo*

3.2 Condizioni topografiche

Per condizione morfologiche collinari e/o montuose di tipo complesso, è necessario predisporre un'analisi di risposta sismica locale. Per situazioni geomorfologiche meno complesse e di dimensioni areali contenute, come nel nostro caso, si può semplificare adottando una categoria riportata nella seguente tabella:

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

(Tab. 3.2.III –NTC 2018) – *Categorie topografiche*

Vista la litologia affiorante, la situazione geomorfologica e soprattutto la giacenza del sito in contesto montuoso caratterizzato da pendenze circa planari si può affermare che la categoria topografica associabile all'area in esame è la T1.

3.3 Parametri sismici

Visti i dati ricavati con l'indagine sismica, la posizione geografica del sito investigato (coordinate geografiche in ED50) e le caratteristiche della struttura in esame (classe d'uso I), è stato possibile determinare i parametri sismici ed i coefficienti sismici.

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame: Latitudine: 42,601024 Longitudine: 11,465015

Classe: 1 ***Vita nominale:*** 50

Sito di riferimento.

	ID	LATITUDINE (°)	LONGITUDINE (°)	DISTANZA (m)
Sito 1	25167	42,6168	11,4516	2070,887
Sito 2	25168	42,6180	11,5196	4847,307
Sito 3	25390	42,5680	11,5211	5879,359
Sito 4	25389	42,5668	11,4532	3922,238

Parametri sismici:

Categoria sottosuolo: B Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 35 anni Coefficiente cu: 0,7

	Prob. superamento (%)	Tr (anni)	Ag (g)	Fo (-)	Tc (s)
Operatività (SLO)	81	30	0,036	2,555	0,216
Danno (SLD)	63	35	0,038	2,552	0,225
Salvaguardia della vita (SLV)	10	332	0,088	2,563	0,278
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	682	0,111	2,571	0,285

Coefficienti sismici:

	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s^2)	Beta (-)
SLO	1,200	1,500	1,000	0,009	0,004	0,419	0,200
SLD	1,200	1,480	1,000	0,009	0,005	0,445	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,021	0,011	1,034	0,200
SLC	1,200	1,410	1,000	0,032	0,016	1,311	0,240

4 Considerazioni conclusive

Dall'analisi della compagine geologica caratterizzante il sito di interesse e dai risultati scaturiti dalla campagna di indagine geognostica è stato possibile definire un modello geofisico e geotecnico dei primi livelli di sottosuolo su cui insiste il fabbricato agrituristico interessato da gravi lesioni strutturali.

Il modello geofisico derivante dall'indagine tomografica (ERT) individua, sotto la superficie di interesse (come da risultanze riportate nel paragrafo 2.1.3):

- un primo livello spesso circa 1,00 metro ascrivibile a terreno a grana grossolana (terreno di riporto);
- un secondo livello a spessore variabile, da 1,00 m a 3,00 metri circa (fino alla profondità di -3,00/-4,00 m dal p.c.) riconducibile a materiale terrigeno di ipotizzabile natura argillosa con intercalate lenti a differente granulometria (limi o limi-sabbiosi) potenzialmente sature;
- un terzo livello, da una profondità di -3,00/-4,00 m dal p.c. fino ad una profondità di -6,00/-7,00 m dal p.c., associabile a depositi argillosi con presenza di trovanti o intercalati livelli litoidi calcarei.

Quanto emerso viene confermato dalle risultanze del test penetrometrico che individua, sotto la verticale indagata, il seguente modello geotecnico (come da risultanze riportate nel paragrafo 2.2.2):

- terreni a bassa consistenza fino ad una profondità di -4,40 m dal p.c.;
- terreni a buona consistenza da una profondità di -4,40 m dal a -6,80 m dal p.c.;
- terreni ad elevata consistenza da -6,80 m a -7,00 m dal p.c., quota a cui la prova si è arrestata per "rifiuto", ovvero le aste di infissione non sono riuscite ad avanzare di 20 cm spinte da più di numero 50 colpi inferti dalla massa battente.

Alla luce di ciò che scaturisce dal presente studio si può asserire che le evidenti lesioni strutturali sono imputabili a fenomeni di cedimenti differenziali verificatisi nel tempo (più o meno breve) e dovuti al comportamento fisico-dinamico dei terreni prevalentemente argillosi con intercalati livelli di argilliti e calcilutiti. Tali materiali, proprio per loro natura e composizione (presenza di minerali argillosi) sono spesso suscettibili di fenomeni di rigonfiamento (in condizioni sature), durante periodi di eventi pluviometrici intensi e fenomeni di ritiro durante periodi particolarmente siccitosi.

Nello stesso tempo l'età del fabbricato lesionato in oggetto induce ad ipotizzare la presenza di una tipologia di fondazioni "a sacco", ovvero opere fondali maggiormente esposte al risentimento strutturale a seguito di processi gravitativi innescati da tali dinamiche.

Sarà cura dello strutturista, sulla base delle caratteristiche fisico-dinamiche dei terreni investigati e caratterizzati nel presente studio, optare per l'intervento risolutivo più adeguato, tuttavia risulta asseribile che un miglioramento strutturale potrebbe essere raggiunto generando un'interazione fondazioni/terreno da una profondità di -4,40 m dal p.c. in poi.

Dott. Geol.
Francesco Pucci

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA
DOTT. GEOL. FRANCESCO PUCCI N° 1800
sez. A