



Comune di TERNI

Direzione Lavori Pubblici - Manutenzioni



FUTURA

LA SCUOLA PER L'ITALIA DI DOMANI



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero dell'Istruzione
e del Merito



Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

Missione 4 - Istruzione e Ricerca - Componente 1 - Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università - Investimento 3.3 "Piano messa in sicurezza e riqualificazione delle scuole",
"ADEGUAMENTO SISMICO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO SCUOLA ELEMENTARE CAMPITELLO,
Via del Rivo, 241" Finanziato dall'Unione europea - Next Generation EU.

CUP F41B22000490001

PROGETTO ESECUTIVO

N. Revisione	Data	Contenuto della revisione	Redatto	Revisionato	Approvato
A.1.0	Aprile 2023	PRIMA EMISSIONE	Daniele Baffo	Daniele Baffo	Alvaro Baffo
Tav: B.GEO.1		Nome del Documento: Relazione geologica			

Tipo di Documento: Relazione	N° pagine documento: -	Scala di rappresentazione: -
---------------------------------	---------------------------	---------------------------------

Livello di riservatezza				<u>PROGETTAZIONE RTP:</u>		Società Geologica S.r.l. Via Giandomartalo di Vitalone, 18 - TERNI (TR) Tel: 0744-402427 E-mail: info@societageologica.it CCIAA di Terni num. 01374990552 SOCIETÀ GEOLOGICA
Codice - numero seriale				STUDIO BAFFO S.R.L. Loc.San Lazzaro snc- 01022 BAGNOREGIO (VT) Tel: 0761-792773 fax: 0761-792999 E-mail: info@studiobaffo.it P.IVA 02136930563-Codice Fiscale 02136930563 Codice Ateco 711220 N.REA VT-155627		
ATRSCA	4	0	1			

GEOLOGO Dott. Luca Latella

Studio Tecnico: Via G. di Vitalone n° 18 - 05100 Terni

Tel. e Fax 0744 – 402427 ; Mobile 347 - 6355500

REGIONE UMBRIA

PROVINCIA DI TERNI

COMUNE DI TERNI

RELAZIONE GEOLOGICA - SISMICA –
IDROGEOLOGICA - GEOMORFOLOGICA
IDRAULICA

**OGGETTO: Verifica di Vulnerabilità Sismica
della Scuola Elementare "Campitello" - Gruppo H**

Località: Via Del Rivo n.241

COMMITTENTE: Comune di Terni - Settore Lavori Pubblici

Novembre 2021

GEOLOGO LUCA LATELLA



1. PREMESSA

In data Settembre 2021, su incarico del Comune di Terni - Settore Lavori Pubblici è stato effettuato uno studio geologico, geomorfologico e idrogeologico in riferimento ad un ***PROGETTO PER LE OPERE DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI UN FABBRICATO DI CIVILE ABITAZIONE*** ubicato in Via del Rivo n°241, nel Comune di Terni.

L'ampiezza dell'area investigata è stata definita in funzione delle sue caratteristiche litologiche, geomorfologiche e idrogeologiche.

Scopo del lavoro è stato quello di accertare ed analizzare in prospettiva sismica:

- gli aspetti idrologici e morfologici del territorio;
- le condizioni litologiche locali;
- i parametri geotecnici e sismici delle terre in situ.

Lo studio è consistito nella raccolta di dati bibliografici sulla zona e nell'analisi derivanti da indagini geotecniche e geofisiche realizzate nel sito in esame. In particolare sono state eseguite:

- n° 1 prova penetrometrica dinamica superpesante
- n° 1 prova sismica di tipo MASW;

Periodo delle indagini: Novembre 2021

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area d'interesse è situata alla quota di circa 108 m s.l.m., a nord-ovest della città di Terni. L'area oggetto del presente studio si colloca nell'Umbria meridionale, all'interno dell'area della Conca Ternana. Più precisamente coinvolge sia l'area di pianura che il margine nord-occidentale della stessa.

Per quanto riguarda la sua posizione rispetto alla strutturazione della catena appenninica si trova al margine occidentale dell'appennino umbro dove le unità strutturali riconosciute sono, partendo dalla più interna, l'unità narnese-amerina, l'unità martana e l'unità sabina settentrionale.

La conca ternana si colloca ad E della dorsale narnese-amerina, a S di quella martana e a NW di quella sabina. Ad E e NE si estendono i monti della Valnerina. Si tratta pertanto di una zona di sprofondamento tettonico, circondata da catene montuose tranne dal lato di NW dove si ricollega ad un'area collinare. In realtà la morfologia e le quote indicano che l'area della Conca Ternana è ribassata anche rispetto a questa fascia valliva (zona di San Gemini e Montecastrilli).

Da un punto di vista dell'evoluzione paleo-ambientale e sedimentologica la piana di Terni costituisce l'estrema terminazione meridionale del ramo occidentale del Bacino Tiberino; si tratta di un bacino continentale con ambienti che nel tempo e nello spazio sono variati: da lacustri, a palustri a fluvio-lacustri.

Il bacino è nato in seguito all'azione di faglie dirette a prevalente direzione appenninica durante una fase tettonica distensiva che ha cronologicamente seguito quella compressiva (orogenesi), ed è probabilmente da ricollegare all'apertura di un bacino di retro-arco nella zona tirrenica. Lo sprofondamento della Conca ternana è conseguenza dell'azione della faglia bordiera martana, che nell'estremo tratto meridionale si dispone in direzione quasi E-W.

Dalla consultazione della cartografia P.A.I. (Piano assetto idrogeologico) l'area risulta stabile, solo in vicinanza vi è la presenza di una conoide attiva, che tuttavia in seguito ad un sopralluogo effettuato e dalle prove eseguite non va ad interferire con la fattibilità delle opere da realizzare.

La categoria topografica dell'area in esame risulta essere pari a $T1 < 15^\circ$.

Dal punto di vista geologico, il sito in esame è caratterizzato da “Depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi” come si evince dall'analisi della **Carta Geologica del PRG del Comune di Terni, sezione C.T.R. N. 346040 Terni.**

3. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

L'idrografia superficiale è caratterizzata dalla presenza di numerosi fossi, come il Fosso Calcinare che scorre ad est del sito, senza interessarlo, il Fosso Brecciaiolo, il Fosso Sersimone, il fosso Canale e così via, che drenano le acque verso il Fiume Nera, collettore principale dell'area, che scorre a Sud del sito in studio con direzione NE-SW. Il reticolo di drenaggio dell'area specifica è dominato quindi da rivoli poco approfonditi defluenti da NNE a SSW; lo scarso valore della densità di drenaggio, che si attesta intorno a 0.5 Km/Km^2 indica in grande una buona permeabilità dei terreni affioranti caratterizzati da una forte componente detritica. Data la natura dei sedimenti presenti sul sito, la zona è caratterizzata da una permeabilità medio-alta con un coefficiente K stimato pari a circa $10-3 \text{ cm/sec}$. La circolazione idrica sotterranea avviene quindi in corrispondenza degli orizzonti sabbiosi e ghiaiosi che si interpongono tra gli orizzonti limosi, determinando un complesso idrogeologico tipo “multifalda”.

Durante l'esecuzione della 1 prova DPSH non è stato intercettato alcun livello di acquifero; tuttavia, da un censimento dei pozzi limitrofi la falda acquifera risulta sia ubicata oltre i – 15 metri dal piano attuale di campagna.

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOFISICA

Qui di seguito verranno riportati, in maniera cautelativa, i parametri geotecnici medi basati sui dati reperiti nel corso del rilevamento geologico e attraverso l'analisi dei dati derivanti dalle indagini geognostiche e geofisiche realizzate nel sito in studio.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPERPESANTE N° 1

LITOLOGIA	QUOTA DAL P.C. (m)	γ_n (t/m ³)	ϕ (°)	C' (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	K (kg/cm ³)
Strato (1) Riporto	0.00-0,30	1,70	22,00	--	--	0,50
Strato (2) Argille con ghiaie	0,30-1,50	1,92	28,00	--	1,00	2,00
Strato (3) Ghiaie in matrice argillosa compatte	1,50-2,10	2,10	42,00	--	--	8,00

CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Riepilogando, nell'area in esame è stata effettuata n°1 indagine geofisica di tipo MASW che ha permesso di desumere la stratigrafia del sito oggetto di studio dal punto di vista geofisico, individuando spessori dei depositi, qui chiamati sismostrati, e le relative velocità delle onde S, V_s .

Di seguito vengono esposti i risultati dell'indagine.

PROFILO MASW

Lunghezza stendimento: 24.0 m

Distanza intergeofonica: 2.0 m.

L'interpretazione dei dati ha permesso di individuare il seguente risultato:

La velocità $V_{s\ EQ}$ (m/s) = 435

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, dalla normativa (NTC 2018) il terreno in oggetto ricade nella categoria di sottosuolo: **“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.**

Sismostrato	V_s (m/s)	Spessore (m)
1	228	2.2
2	309	6.0
3	473	3.8
4	563	--

E' da tener presente, tuttavia, che le V_{seq} , e la relativa categoria di sottosuolo risultante, si riferiscono ai 30 metri di profondità a partire dal piano campagna o al raggiungimento del bedrock.

5. CONCLUSIONI

Sulla base delle caratteristiche litotecniche, idrogeologiche e geomorfologiche della zona in studio e facendo riferimento alla normativa vigente in materia si perviene alle seguenti conclusioni:

- Dalla consultazione della cartografia P.A.I. (Piano assetto idrogeologico) l'area risulta stabile, solo in vicinanza vi è la presenza di una conoide attiva, che tuttavia in seguito ad un sopralluogo effettuato e dalle prove eseguite non va ad interferire con la fattibilità delle opere da realizzare;
- Durante l'esecuzione della 1 prova DPSH non è stato intercettato alcun livello di acquifero; tuttavia, da un censimento dei pozzi limitrofi la falda acquifera risulta sia ubicata oltre i – 15 metri dal piano attuale di campagna.
- Per quanto attiene la nuova normativa sismica, il sito in esame rientra nella categoria di suolo **“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.**
- **La categoria topografica può essere assunta pari a T1: aree pianeggianti con inclinazione media <15°;**

PER QUANTO ATTIENE LA VERIFICA A LIQUEFAZIONE QUEST'ULTIMA NON E' STATA REALIZZATA POICHE' LA FALDA ACQUIFERA PRINCIPALE SI TROVA A -15.00 METRI DAL PIANO ATTUALE DI CAMPAGNA E I TERRENI PRESENTI NON RIENTRANO NEL FUSO GRANULOMETRICO DELLE SABBIE PULITE SOGGETTE A LIQUEFAZIONE.

NOVEMBRE 2021

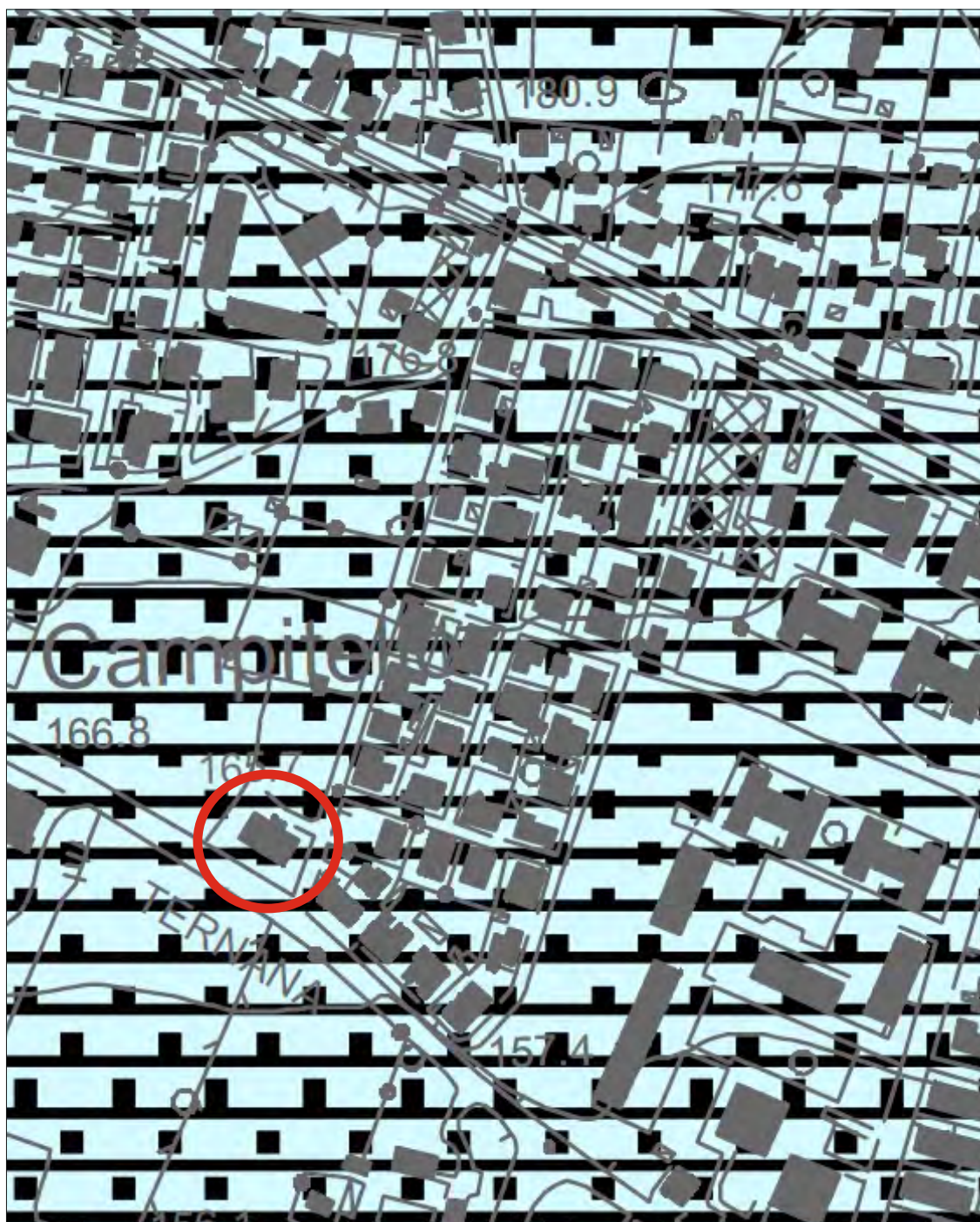
GEOLOGO LUCA LATELLA




A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Luca Latella', written over the right side of the red stamp.

CARTA GEOLOGICA DEL PRG DEL COMUNE DI TERNI

C.T.R. 346040 TERNI SCALA RILEVAMENTO 1:10.000

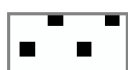


Legenda

 Area in studio

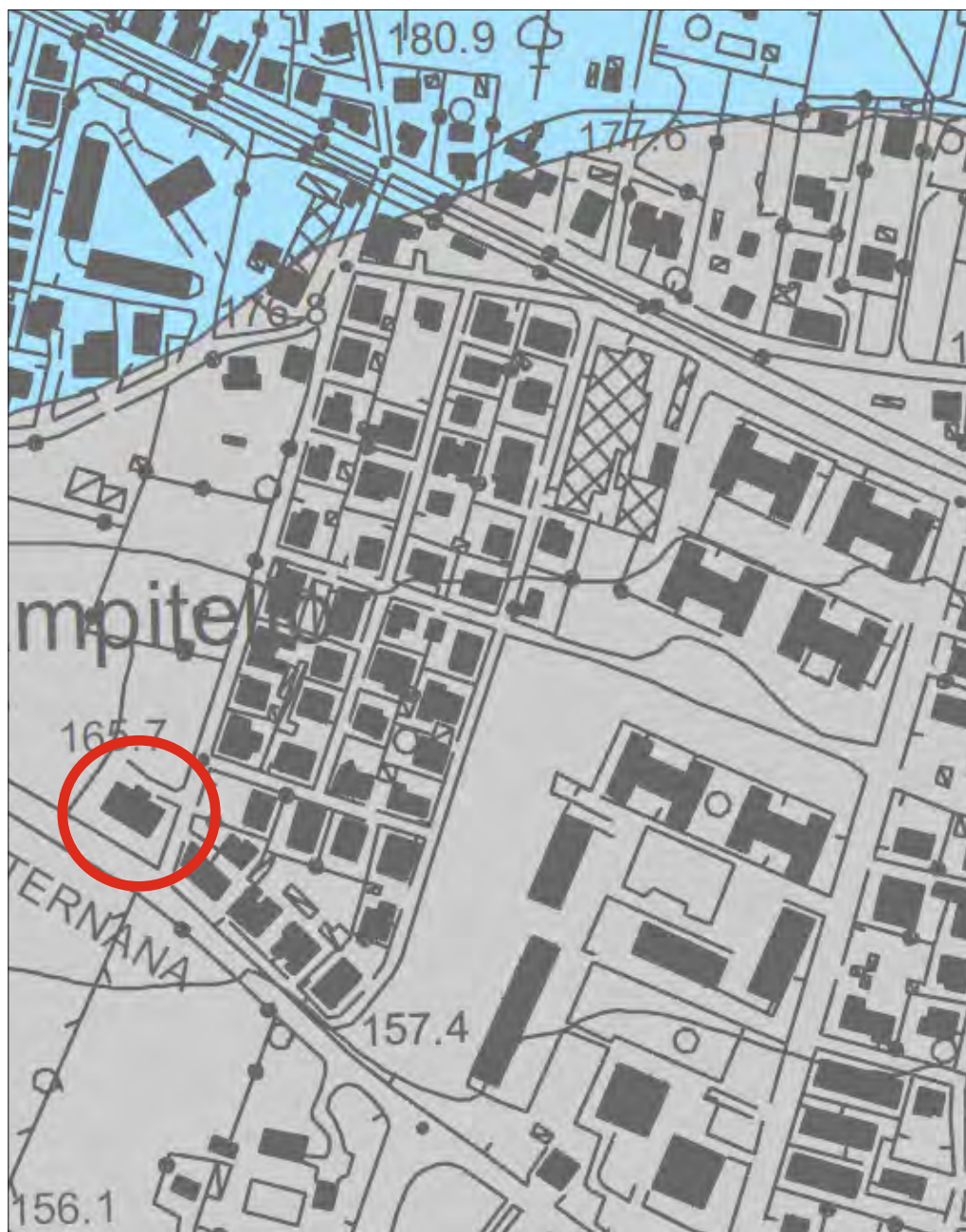


- aA** **Alluvioni:**
Limi sabbiosi e limi argillosi con inglobati depositi lentiformi e nastriformi di ghiaie e ghiaie sabbiose sciolte o debolmente cementate, talora a stratificazione incrociata, con intercalazioni di lenti di sabbie bruno-giallastre e di argille grigie
- aB**



Depositi prevalentemente Ghiaiosi

**CARTA DELL'ACCLIVITA' DEI VERSANTI CON I
PRINCIPALI ELEMENTI MORFOLOGICI
PRG DEL COMUNE DI TERNI
C.T.R. 346040 TERNI SCALA RILEVAMENTO 1:10.000**

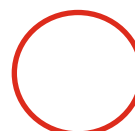


Legenda



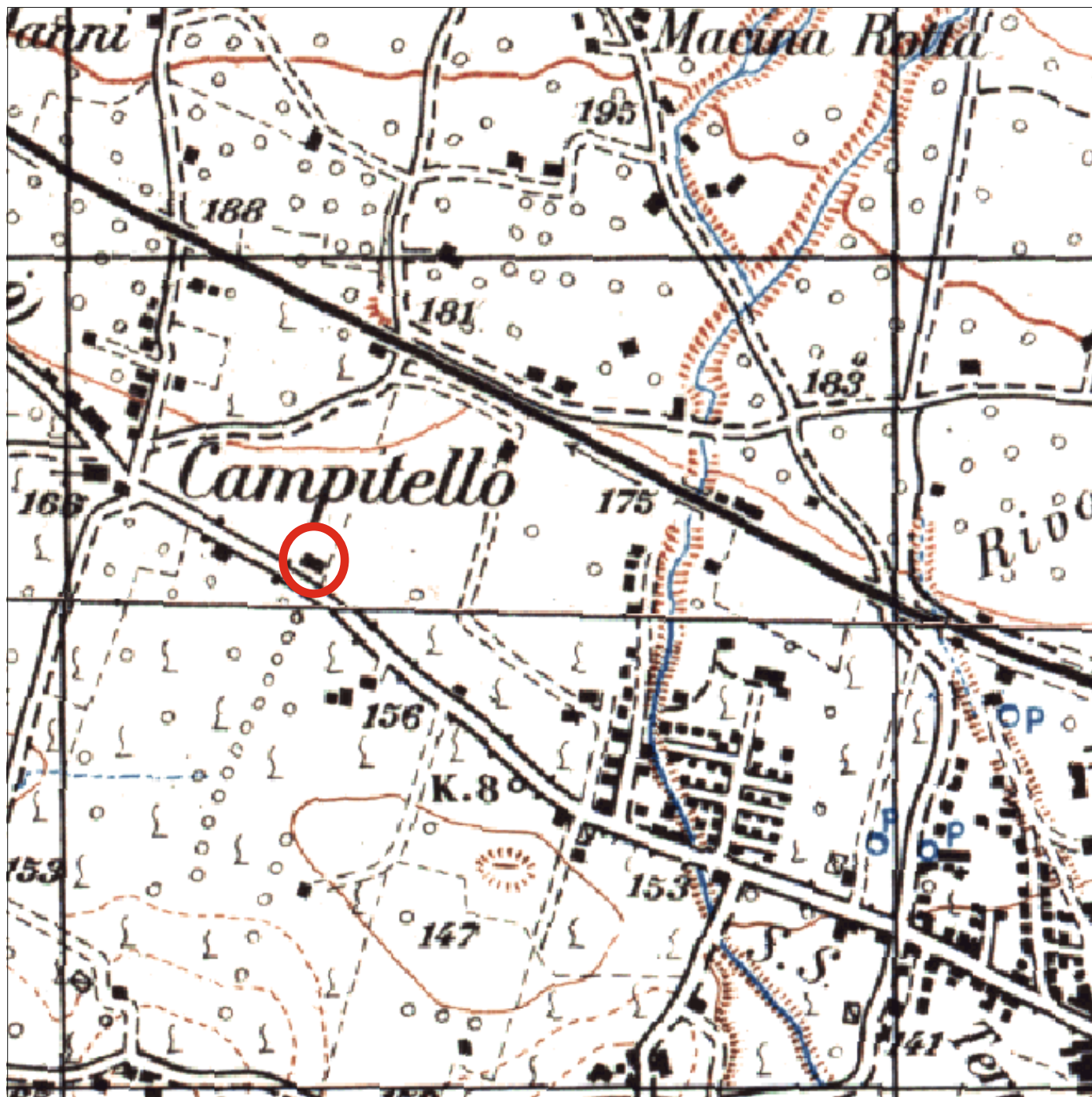
2

$5\%(2,8^\circ) < P < 15\%(8,5^\circ)$

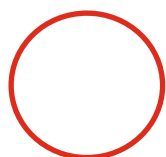


Area in studio

**UBICAZIONE SU CARTA IGM
SCALA 1:25000**

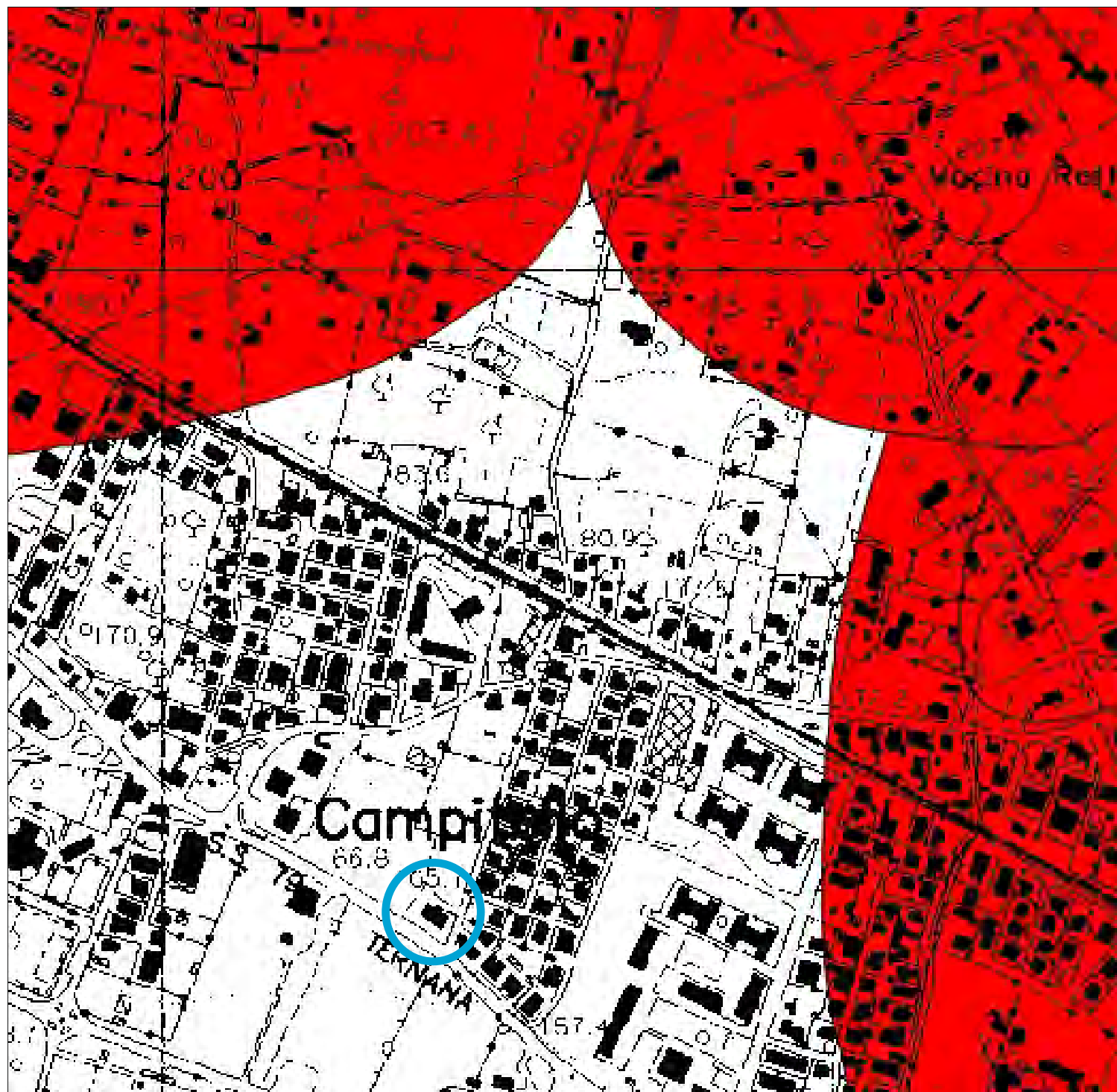


Legenda

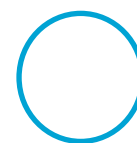


Area in studio

PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI



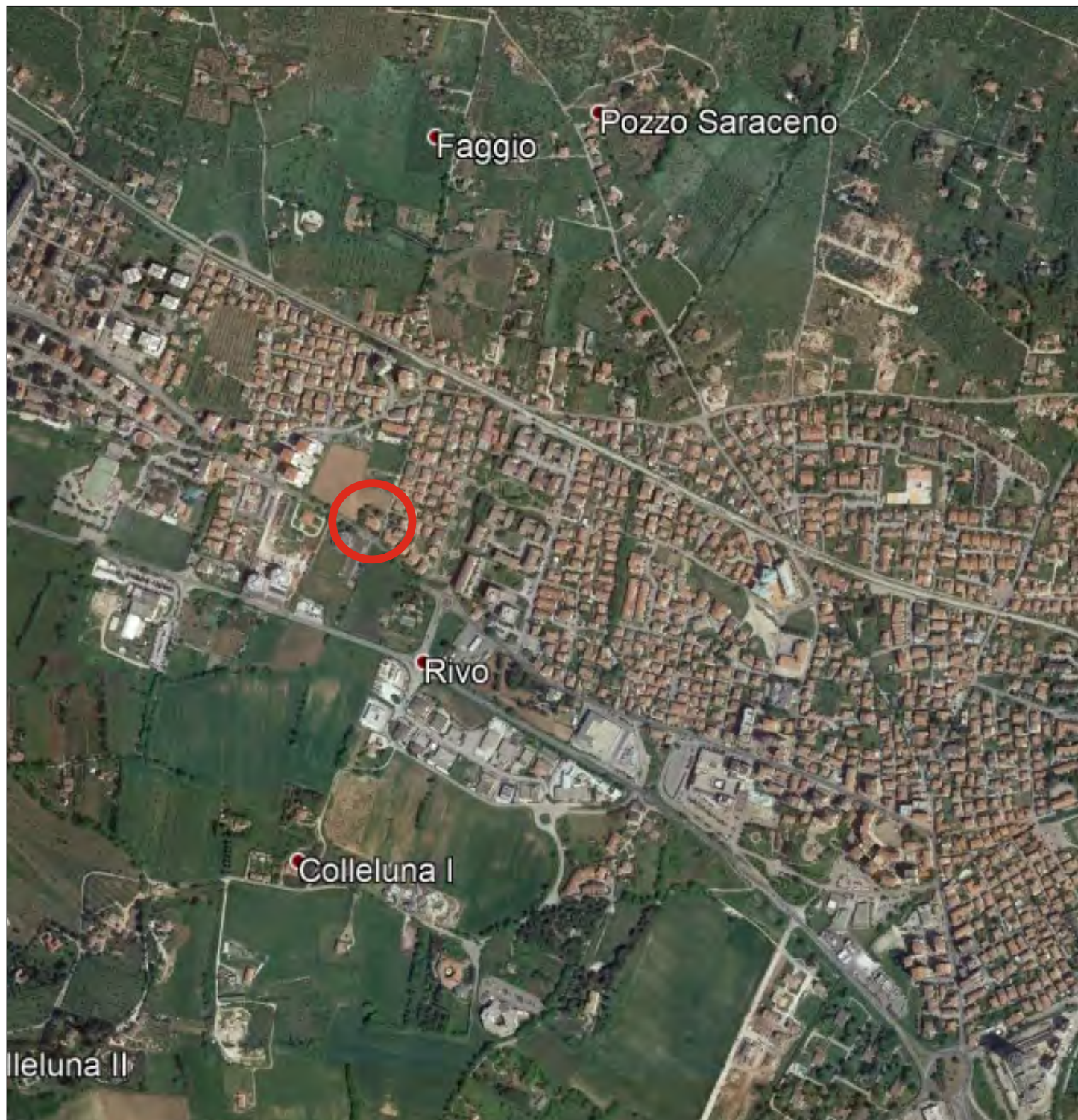
Legenda



Area in studio

Il sito in esame risulta essere lambito da una falda di detrito attiva, che però dal rilievo geologico e geomorfologico di superficie effettuato e dalle prove eseguite nel sito in studio, non va ad interferire con la fattibilità dell'opera di presa da realizzare.

ORTOFOTO



Legenda



Area in studio

ORTOFOTO CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI



Legenda



Prova penetrometrica dinamica superpesante



Stendimento sismico MASW

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Terni Cantiere: Località: Via del Rivo n. 241	
--	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	72,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	6 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1,5 m
Peso aste a metro	7 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1,15
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

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 α);
- 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

penetrometri in uso in Italia

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 $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ 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 $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ 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 $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20 \text{ cm}^2$, 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 Q_{SPT} 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.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

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

R _{pd}	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ/ N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N₁)₆₀

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

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (Liao \text{ e } Whitman \text{ 1986})$$

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

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

Metodologia di Elaborazione.

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 delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

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 $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

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 N_{spt} 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 N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\text{ corretto}} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} 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 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m 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 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ 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 D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ 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 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.

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

- 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

- 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 τ 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 V_s (m/s)

- 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 (K_o)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

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 $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (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 , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).

- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- 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 (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- 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 - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_y)

- 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.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Prova eseguita in data 04/11/2021

Profondità prova 2,10 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,30	27	0,753	156,17	207,48	7,81	10,37
0,60	21	0,747	120,55	161,38	6,03	8,07
0,90	23	0,742	121,14	163,37	6,06	8,17
1,20	21	0,736	109,82	149,16	5,49	7,46
1,50	31	0,681	150,00	220,19	7,50	11,01
1,80	51	0,626	226,89	362,26	11,34	18,11
2,10	70	0,622	309,09	497,21	15,45	24,86

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Riporto	0,00-0,30	31	Incoerente	1,70	1,85	22,00	--	91,14	366,50	0,29	1639,81	85,92
Strato (2) Argille con ghiaie	0,30-1,50	27	Coesivo Incoerente	1,92	2,00	28,00	1,00	277,18	270,00	0,3	1440,11	118,55
Strato (3) Ghiaie in matrice argillosa compatte	1,50-2,10	69	Incoerente	2,10	2,12	42,00	--	169,19	814,90	0,21	3478,82	159,41

Indice

1.PROVA ... Nr.1	10
Indice	12

REGIONE UMBRIA

PROVINCIA DI TERNI

COMUNE DI TERNI

LOCALITÀ: VIA DEL RIVO N.241

**COMMITTENTE: COMUNE DI TERNI - SETTORE
LAVORI PUBBLICI**

SOCIETÀ' GEOLOGICA S.r.l

PREMESSA

Nel mese Novembre 2021, è stata eseguita n° 1 indagine geofisica MASW *Multi-channel Analysis of Surface Waves*. Le indagini sono state eseguite realizzando uno stendimento geofonico di 24.0 metri.

Come sorgente di energia è stata utilizzata una mazza di battuta.

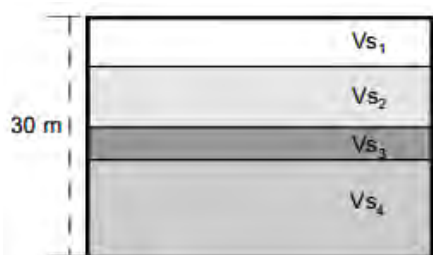
Sono state eseguite battute coniugate con offset minimi di 2 e 5 metri a partire dall'ultimo geofono. L'acquisizione dei dati è stata effettuata mediante il Sismografo a 12 canali 16SG24 della P.A.S.I. s.r.l. di Torino, mentre la successiva elaborazione è avvenuta mediante il software WinMASW, della EliaSoft.

NOTE TEORICHE

A cosa serve sapere la V_s ?

La questione della conoscenza della velocità delle onde S, V_s , è venuta alla ribalta in relazione alle novità normative in materia antisismica, in quanto utile a stimare l'effetto di sito (amplificazione litologica). La recente normativa (D.M. 14.01.2018) ha introdotto la definizione dell'azione sismica di progetto per diverse categorie di suolo di fondazione, sulla base del parametro V_{seq} , definito come la media equivalente delle velocità delle onde S al di sopra del bedrock fino a 30 metri di profondità, secondo la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$



Le categorie di suolo descritte dal D.M. 17.01.2018 e classificate in base al parametro V_{seq} sono le seguenti:

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.

La V_s ha un notevole valore anche dal punto di vista dell'ingegneria civile (ricordiamo ad esempio che il *modulo di taglio* è dato dal prodotto della densità per il quadrato della V_s) e, in generale, la conoscenza di V_s e V_p consente di effettuare una serie di considerazioni sulle caratteristiche geofisiche geomeccaniche e litologiche.

Si ricordi, giusto per dare un motivo di riflessione, come la V_p sia fortemente influenzata dalla presenza di acqua (le rifrazioni in V_p fatte in pianura alluvionale forniscono V_p attorno a 1500 m/s a pochissimi metri di profondità proprio a causa della "tavola d'acqua") mentre la V_s ne sia solo modestamente influenzata.

Cos'è una misura MASW

MASW è l'acronimo di *Multi-channel Analysis of Surface Waves (Analisi Multi-canale di Onde di Superficie)*: il fenomeno che si analizza è la propagazione delle onde di superficie, prodotte attraverso una *sorgente*. Più precisamente si analizza la **dispersione** delle onde di superficie (il particolare fenomeno in base al quale onde caratterizzate da diverse frequenze viaggiano a profondità diverse); il principio base è

piuttosto semplice: le varie componenti (frequenze) del segnale (cioè dell'onda sismica che si propaga) viaggiano a profondità diverse, attraverso mezzi con caratteristiche meccaniche, e quindi velocità, diverse; dall'interpretazione delle indagini è possibile ottenere *una curva di dispersione*, che mostra la velocità corrispondente a diverse frequenze e, quindi, a diverse profondità, secondo l'esempio mostrato in figura 1.

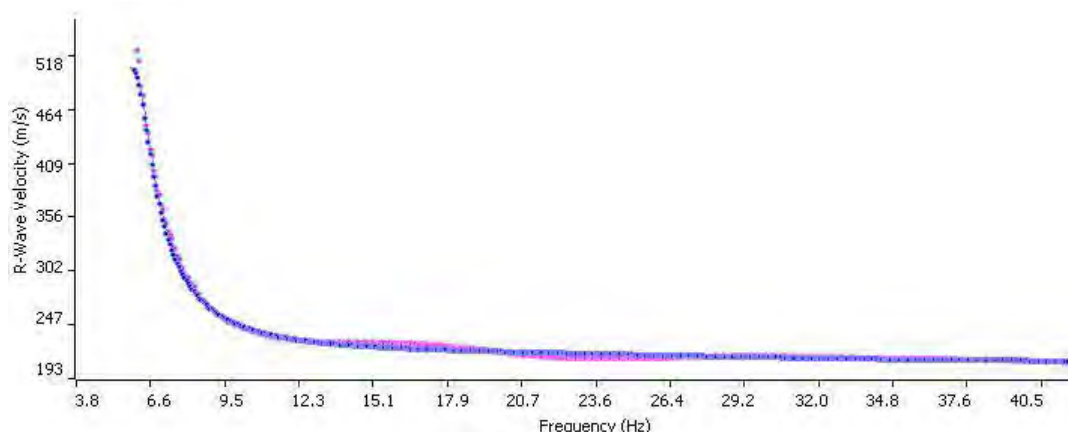


Figura 1: Esempio di curva di dispersione

Lunghezze d'onda più ampie (corrispondenti a frequenze più basse) viaggiano più in profondità (in altri termini *sentono* gli strati più profondi), mentre le piccole lunghezze d'onda (corrispondenti alle frequenze più alte) si concentrano nella parte più superficiale; poiché tipicamente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità, le frequenze più basse viaggeranno ad una velocità maggiore rispetto le frequenze più alte.

Tradizionalmente le *MASW* sono effettuate tramite analisi delle onde di Rayleigh (che vengono registrate tramite i comuni geofoni a componente verticale e prodotte attraverso una comunissima sorgente ad impatto verticale, cioè la classica martellata).

Questo avviene per almeno 2 motivi:

1. tali geofoni (e tale modalità di acquisizione) sono sicuramente i più semplici e comuni.

2. la propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh si verifica senza problemi anche in presenza di canali a bassa velocità (inversioni di velocità) che, come sappiamo, risultano invisibili per la rifrazione.

In sintesi, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo (dalle sue variazioni verticali), dalla determinazione delle curve di dispersione è possibile ricavare le caratteristiche del mezzo (i parametri fondamentali sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore degli strati).

PROFILO MASW

- Lunghezza stendimento: 24 m
- Distanza Intergeofonica: 2 m

L'acquisizione dei risultati è avvenuta effettuando n.2 battute rispettivamente con offset di 2 e 5 metri dal primo geofono, ed utilizzando come sorgente di energia una mazza di battuta. L'interpretazione dei dati ha permesso di individuare il seguente risultato :

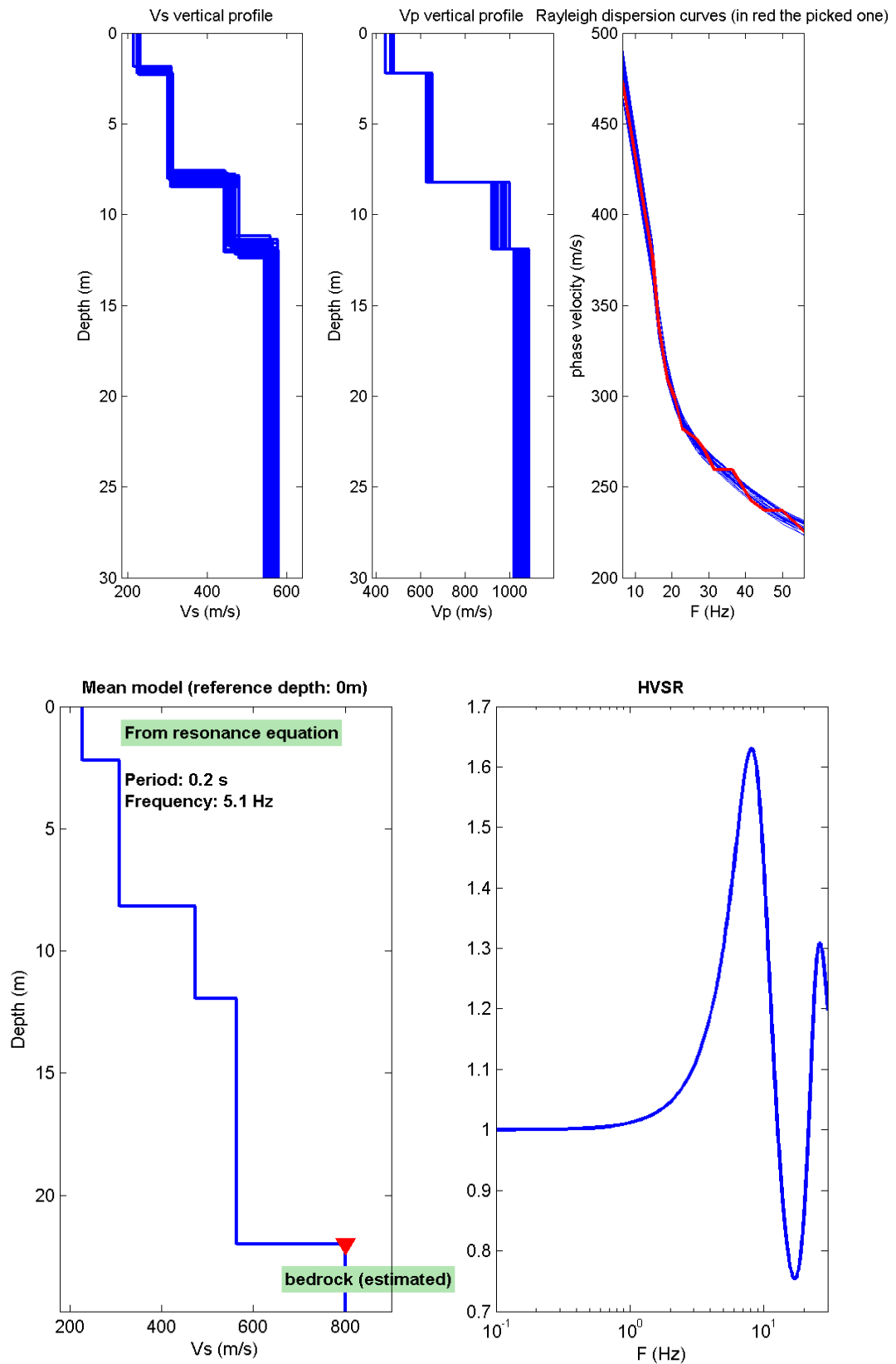
$$V_{seq} (m/s) = 435$$

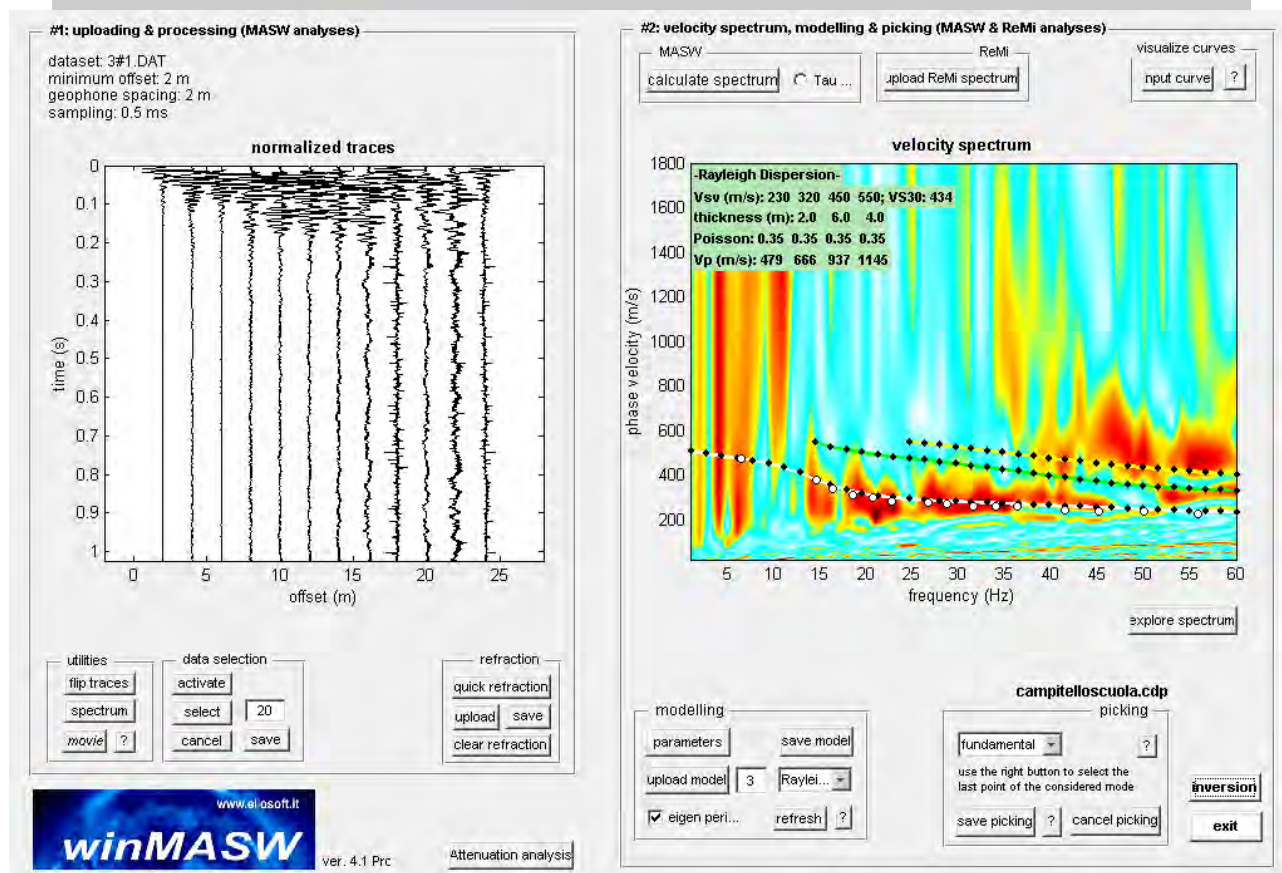
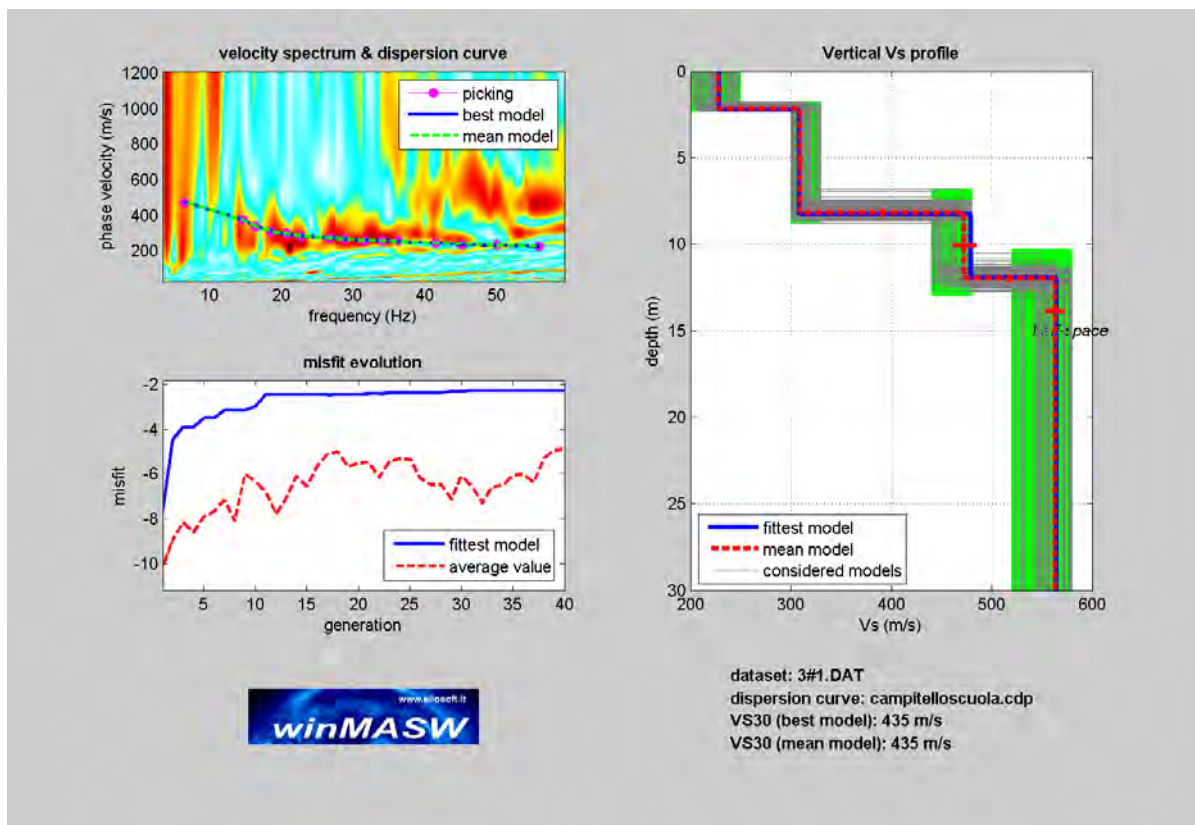
Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, dalla normativa (NTC 2018) il terreno in oggetto ricade nella categoria di sottosuolo: **“B” Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;**

Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)
1	228	2.2
2	309	6.0
3	473	3.8
4	563	--

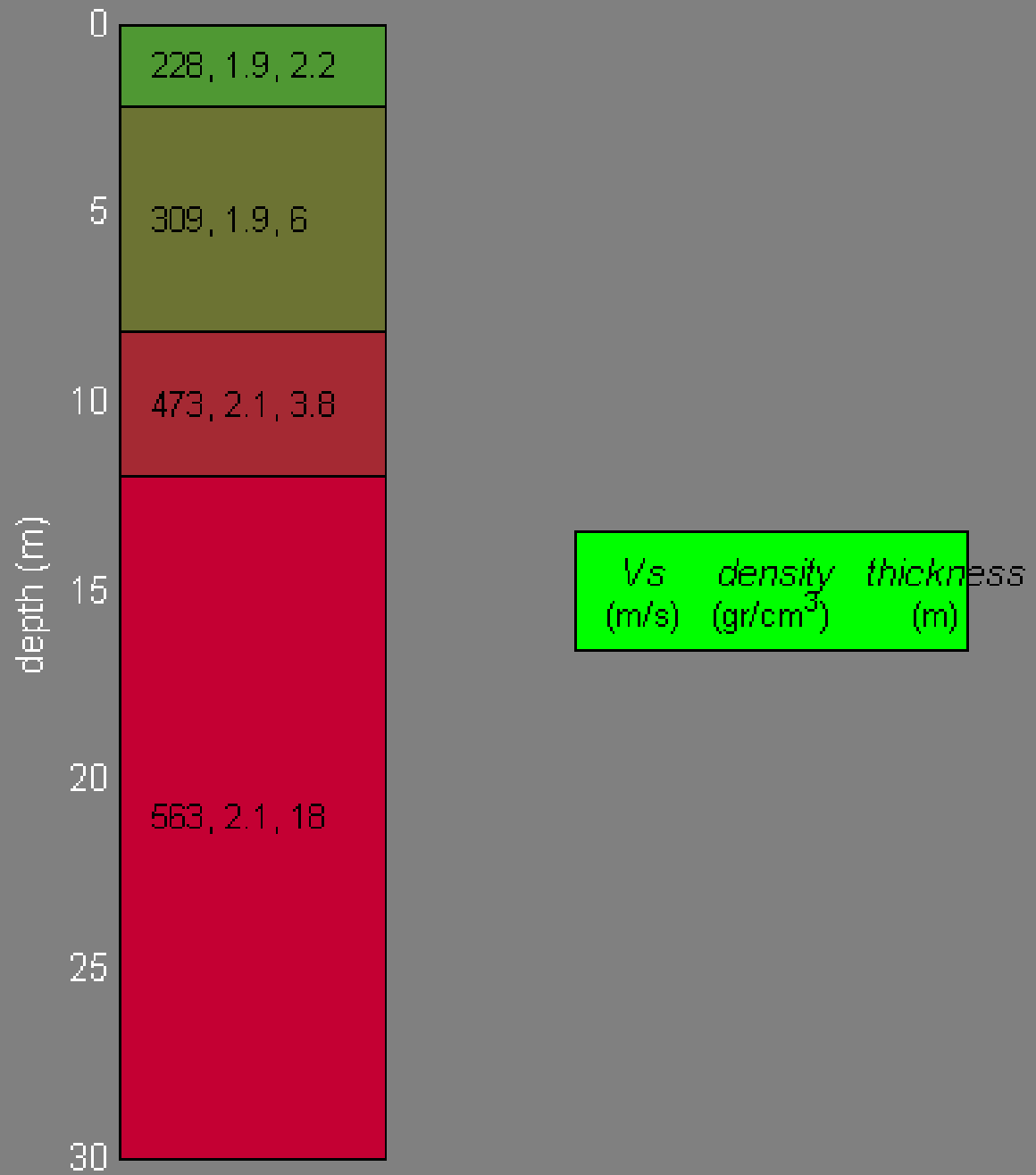
E' da tener presente, tuttavia, che le Vseq, e la relativa categoria di sottosuolo risultante, si riferiscono ai 30 metri di profondità a partire dal piano campagna o al raggiungimento del bedrock. sismic

ALLEGATI





Subsurface model



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

INDAGINE MASW



PP1

