

# COMUNE DI CAMUGNANO (BO)

## PROPOSTA ID 263 "FRAGILE A CHI?", PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE M5C2 - COMPONENTE C2 - INVESTIMENTO 2.3 - PROGRAMMA INNOVATIVO NAZIONALE PER LA QUALITÀ DELL'ABITARE – CUP B77H20016470005 - LAVORI DI RECUPERO DEL FABBRICATO EX SCUOLE VALERIO FABI TERZO LOTTO

### PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA E STRUTTURALE:

I.D. Integrated Design s.r.l  
via M. E. Lepido 242,  
40132 Bologna

Ing. Carlo Porelli  
Arch. Luca Porelli



### OGGETTO TAVOLA

Relazione Geologica, Geotecnica  
ed Analisi di Pericolosità  
Sismica Locale

### N. TAVOLA

13

### SCALA

/

### REDAZIONE

20/10/2023

### ELENCO EMISSIONI

Emissione 3

Emissione 2

Emissione 1

Emissione 0

20/10/2023

### PROTOCOLLO E VISTI

# **Comune di Camugnano**

## **Provincia di Bologna**

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 17/01/18 - NNTC)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini geognostiche effettuate, al fine della caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno del sito (6.2.2. e 6.4 DM 17/01/18 - NNTC)

ANALISI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno e azione sismica di riferimento (3.2.2 e 3.2.3 D.M. 17/01/8 - NNTC)



### **OGGETTO:**

**Studio del terreno di fondazione inerente al consolidamento di un fabbricato, sito in piazza Kennedy, nel Comune di Camugnano (BO) - Rif. 460/2022**



**Sede Legale:** Via C. Costa, 182 - 41123 Modena  
**Uffici:** Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO)  
Tel. 059 3967169 - Fax. 059 5960176  
info@geogroupmodena.it  
www.geogroupmodena.it  
P.IVA 02981500362



## **Relazione Tecnica**

comprendente:

### **RELAZIONE GEOLOGICA**

inerente alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. NTC 2018)

### **RELAZIONE GEOTECNICA**

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4. NTC 2018)

### **ANALISI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE**

Relativa alla caratterizzazione geofisica del volume significativo di terreno (3.2.2 NTC 2018), valutazione dell'azione sismica di riferimento (3.2.3. NTC 2018), Risposta sismica locale e verifica della stabilità nei confronti della liquefazione (7.11.3. NTC 2018)

## **Oggetto:**

**Studio del terreno di fondazione inerente al  
consolidamento di un fabbricato, sito in piazza  
Kennedy, nel Comune di Camugnano (BO) - Rif.  
460/2022**

---

## Indice del contenuto

1	PREMESSE.....	3
2	RELAZIONE GEOLOGICA.....	11
2.1	MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA.....	11
2.2	INDAGINI GEOTECNICHE .....	25
2.2.1	Prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH.....	26
2.2.2	Sondaggio a carotaggio continuo .....	27
2.2.2.1	Prove penetrometriche dinamiche standard SPT in foro.....	33
2.2.2	Analisi di laboratorio di geotecnico .....	34
2.3	CARATTERISTICHE LITOSTRATOGRAFICHE DEL SITO D'INDAGINE .....	35
3	RELAZIONE GEOTECNICA .....	36
3.1	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	36
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	37
4.1	INDAGINI GEOFISICHE .....	37
4.1.1	Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).....	38
4.1.2	Indagine sismica con metodo MASW.....	39
4.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2018).....	40
4.3	AZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA DEL SITO .....	41
4.6	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE – III livello di approfondimento.....	44
4.7	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§ 7.11.3.4 NNTC 2018) .....	52
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	53

## Tavole

<b>Tav. n. 1:</b> “Carta Corografica”	scala 1: 25.000;
<b>Tav. n. 2:</b> “Carta Topografica”	scala 1: 10.000;
<b>Tav. n. 3:</b> “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse”	scala grafica;
<b>Tav. n. 4:</b> “Carta geologica”	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 5:</b> “Carta del dissesto”	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 6:</b> “Ubicazione indagini geognostiche”	scala grafica;
<b>Tav. n. 7:</b> “Sezione morfometrica”	scala grafica.

## Allegati

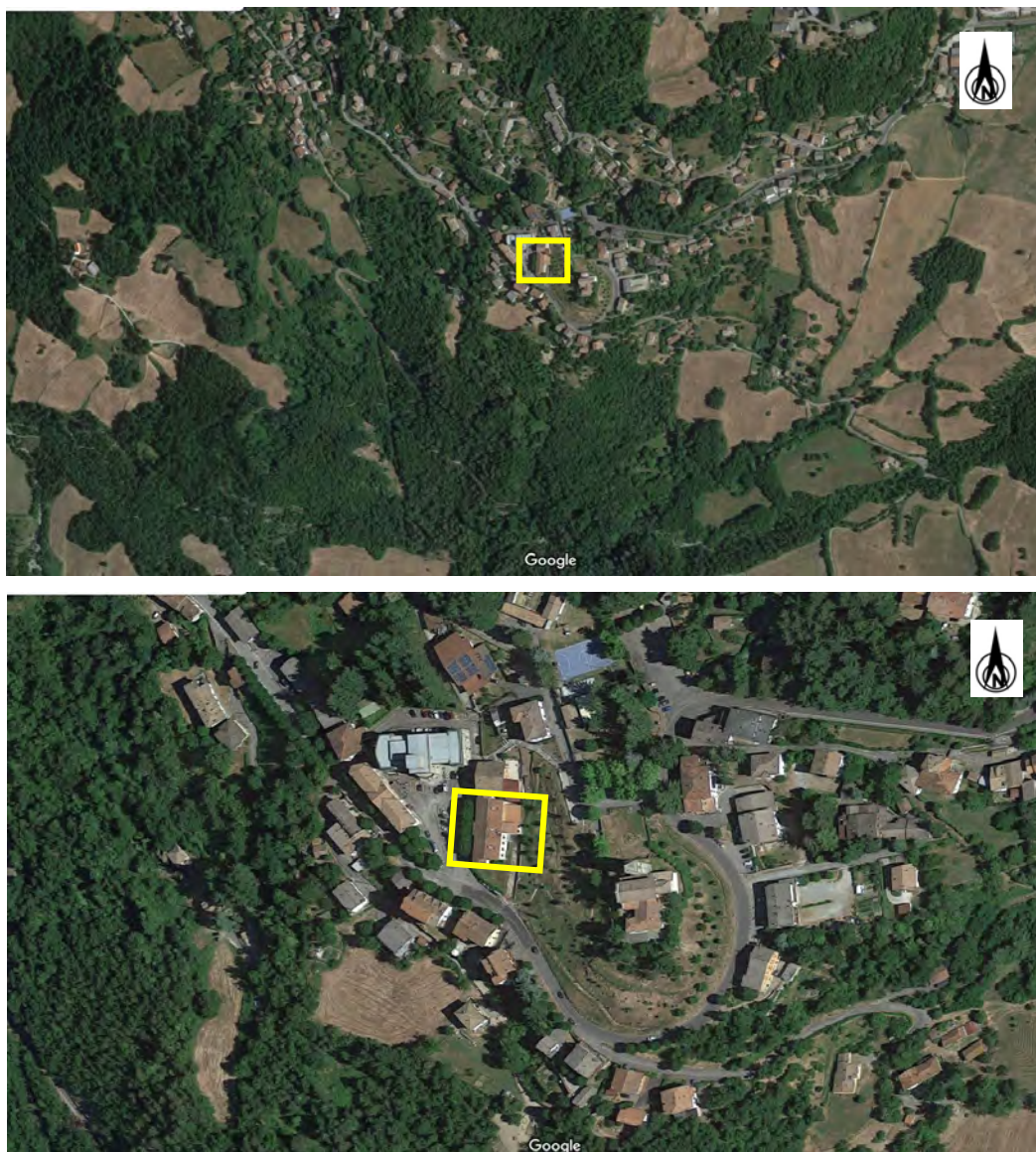
- ALL. n. 1** Prove penetrometriche SPT e DPSH corredate di interpretazione geotecnica;  
**ALL. n. 2** Sondaggio a carotaggio continuo  
**ALL. n. 3** Indagini sismiche;  
**ALL. n. 4** Analisi di laboratorio geotecnico.



## 1 PREMESSE

Nel mese di Maggio 2022 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico relativo allo studio del terreno di fondazione inerente al consolidamento di un fabbricato denominato “ex scuola Fabi” sito in Piazza Kennedy, nel Comune di Camugnano (BO).

Il lotto in oggetto è nel centro del capoluogo comunale di Camugnano, come illustrato nella “Carta corografica”, tavole CTR n. 252 SO, alla scala 1: 25.000 (tav. n. 1); nella “Carta topografica” sezioni CTR n°252020 alla scala 1: 10.000, (tav. n. 2) e nella “Ripresa satellitare dell’area di interesse” (tav. n. 3), riportate in allegato.



**Fig. 1.1:** Inquadramento geografico dell’area di interesse dove è evidenziata l’area di intervento (immagini tratte da Google Maps).

Il fabbricato si presenta intensamente lesionato, sia internamente che esternamente, come illustrato nelle riprese fotografiche di seguito. In particolare, tali lesioni sono concentrate nella porzione sud del fabbricato.



**Foto 1:** Lesione nella struttura muraria (angolo sud-est).



**Foto 2:** Lesione nella struttura muraria (lato ovest).





Foto 3: Lesione nella struttura muraria (lato ovest).



Foto 4: Lesione nella struttura muraria (lato ovest).

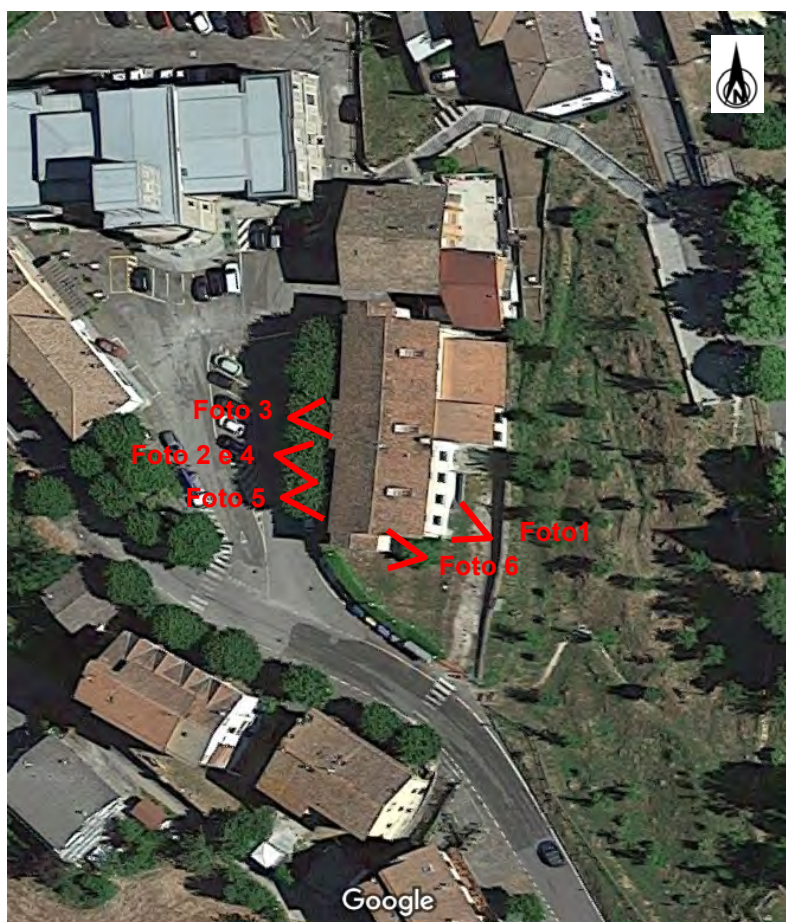




**Foto 5:** Lesione nella struttura muraria (lato ovest)



**Foto 6:** Lesione nella struttura muraria (lato sud)



**Fig. 1.3:** Ubicazioni delle riprese fotografiche esterne.

Nelle riprese fotografiche a seguire, vengono mostrate alcune lesioni presenti nella parte interna del fabbricato.



**Foto 7:** Lesione nella struttura muraria



**Foto 8:** Lesione nella struttura muraria



**Foto 9:** Lesione nella struttura muraria





**Foto 10:** Lesione nella struttura muraria (seminterrato)



**Foto 11:** Lesione nella struttura muraria





Foto 12: Lesione nella struttura muraria

---

## 2. RELAZIONE GEOLOGICA

---

### 2.1 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA

---

Da quanto si evince dalla “Carta geologica”, scala 1: 5.000, (**tav. n. 4**) e dalla **fig. 2.1** tratte dalla “Carta geologica - Progetto CARG” a cura della Regione Emilia Romagna, nell’area oggetto di studi affiora la seguente litologia:

#### DEPOSITI QUATERNARI CONTINENTALI

##### **a1 - Deposito di frana attiva**

Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

### **a1b: Deposito di frana attiva per scivolamento**

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

### **a2 - Deposito di frana quiescente**

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti ma con possibilità di riattivazione, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

### **a2q: Deposito di frana quiescente complessa**

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

### **a2h: Deposito di frana per scivolamento in blocco o DGPV**

Movimento gravitativo in massa complesso e profondo che interessa grandi ammassi rocciosi, talora con relative coperture superficiali, e si attua attraverso una deformazione per lo più lenta e progressiva della massa rocciosa, senza una superficie di scorrimento ben determinabile. Questo tipo di deposito risulta presente presso l'area in studio, dove costituisce la coltre posta al di sopra del substrato roccioso.

### **a4 - Deposito eluvio-colluviale**

Coltre di materiale detritico, generalmente fine (sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità, con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati.

## **UNITÀ LIGURI**

### **CAU - Formazione di Camugnano**

Torbiditi arenaceo-pelitiche con rapporto A/P variabile da circa 1 a  $\gg 1$ , in strati gradati da sottili a molto spessi (questi ultimi con grana anche grossolana, talora microconglomeratica), con

geometria da piano-parallela a piano-concava (strati sottili e medi) e frequenti basi di strato erosive. Le areniti sono ben cementate, hanno colore grigio e composizione litica con prevalenti granuli carbonatici terrigeni; le peliti sono di colore verdastro e grigio-nerastro, piuttosto compatte e prive in genere di scagliosità. Depositi torbiditici di lobo arenaceo e di frangia di lobo. Contatto stratigrafico inferiore non preservato. Potenza parziale affiorante 150-200 metri.

*Turoniano-Santoniano*

Tale formazione costituisce il substrato geologico presso l'area in studio.

### **APA - Argille a Palombini**

Argilliti ed argilliti siltose grigio scure, più raramente verdi, rossastre o grigio-azzurrognole, fissili (nella pelite è spesso presente un clivaggio scaglioso a carattere pervasivo), alternate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi, biancastre in superficie alterata, talvolta con base arenitica da fine a grossolana, in strati da medi a spessi (molto spesso discontinui per motivi tettonici) e più rari calcari marnosi grigi e verdi in strati spessi. Rapporto Argilla/Calcare quasi sempre >1. Frequenti intercalazioni di siltiti ed arenarie torbiditiche fini (talora mangesifere) a tetto pelitico in letti molto sottili e sottili di colore grigio scuro (o beige se alterate) e di calcareniti medio-grossolane in strati da medi a spessi. La formazione in genere è intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento; gli strati calcilutitici sono spesso "boudinati", a luoghi silicizzati, pervasivamente fratturati e caratterizzati da una fitta rete di vene di calcite, spalmature verdastre sulle superfici di strato e frattura concoide.

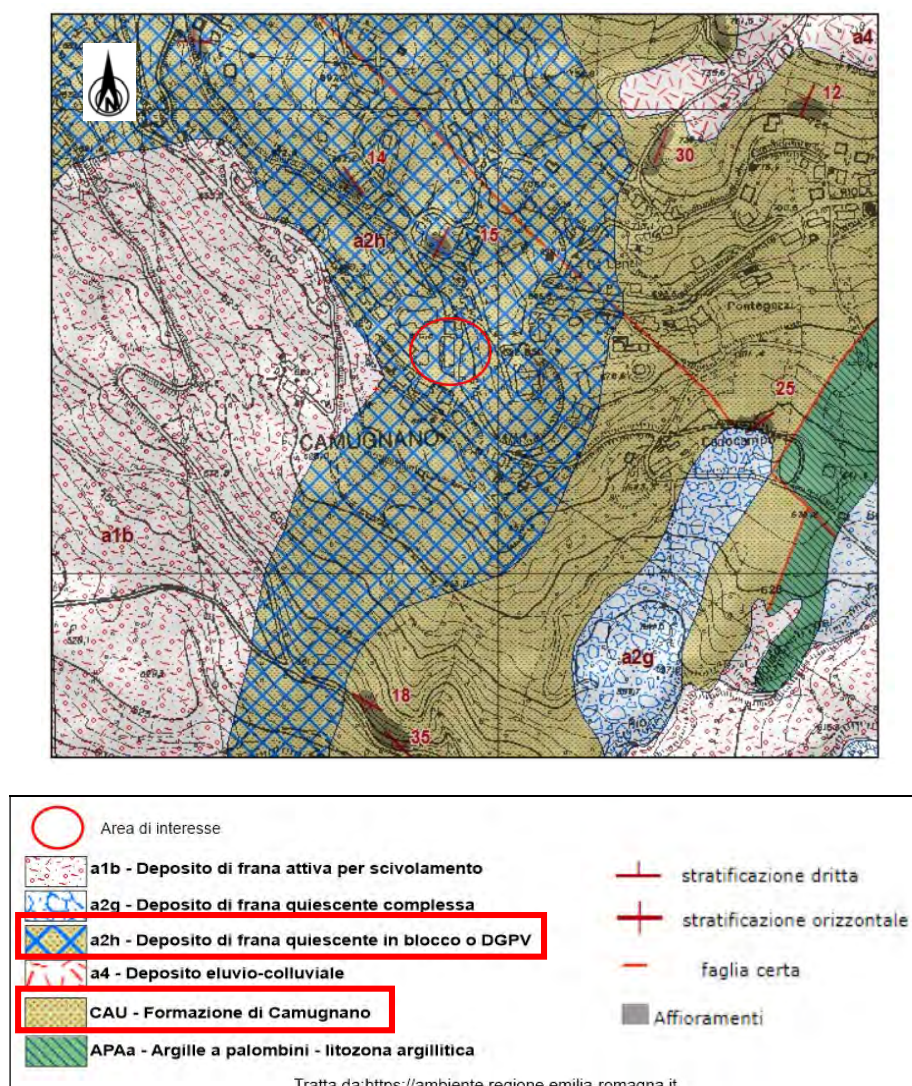
All'interno della formazione sono talora stati cartografati lembi di ofioliti (**of**) giurassiche, fino a decametrici, spesso distinte in: brecce ofiolitiche (**bo**), basalti: **â**, basalti brecciati (**Bb**); gabbri: **ga**, serpentine: **ô**.

Sedimentazione pelagica argillosa, intervallata da risedimentazione di fanghi carbonatici. Contatti ovunque tettonici o non affioranti. Potenza geometrica variabile da alcune decine ad alcune centinaia di metri.

Da: *Cretaceo inf.* A: *Turoniano*

### **APAA - litozona argillitica**

Argilliti grigie e a luoghi verdognole, con fissilità spesso molto evidente e in qualche caso silicizzate; sono alternate a calcilutiti grigie in strati medi e spessi con subordinati pacchi di strati sottili di alternanze arenaceo-pelitiche giallastre e nocciola. La litozona può essere caratterizzata da diagenesi spinta fino al limite dell'anchimetamorfismo.



**Fig. 2.1:** Carta geologica (immagine tratta da *Carta geologica - Progetto CARG* a cura della Regione Emilia Romagna).

Il fabbricato è situato ad una quota topografica media di circa 673.00 m s.l.m., in un'area la cui pendenza media si attesta intorno al 22,7%, corrispondente a circa 12,8° (**tav. n.7**).



**Tratto di versante in cui è stata eseguita la sezione morfometrica (tav. n.7)**



Dal punto di vista geomorfologico, il fabbricato in oggetto, secondo la Cartografia del Dissesto dell'Emilia Romagna, **è situato in un'area classificata come a2h (deposito di frana quiescente in blocco o di deformazione gravitativa profonda di versante DGPV) tali depositi franosi comprendono buona parte del centro abitato di Camugnano.** (tav. n. 5 e fig. 2.2). Questo fenomeno a grande scala, risulta ampiamente documentato nell'Archivio Storico delle Frane della Regione Emilia Romagna dove viene denominato **Camugnano Podere Montignoso SC Camugnano-Guzzano sc – Guzzano**, le cui attivazioni vengono rappresentate di seguito.

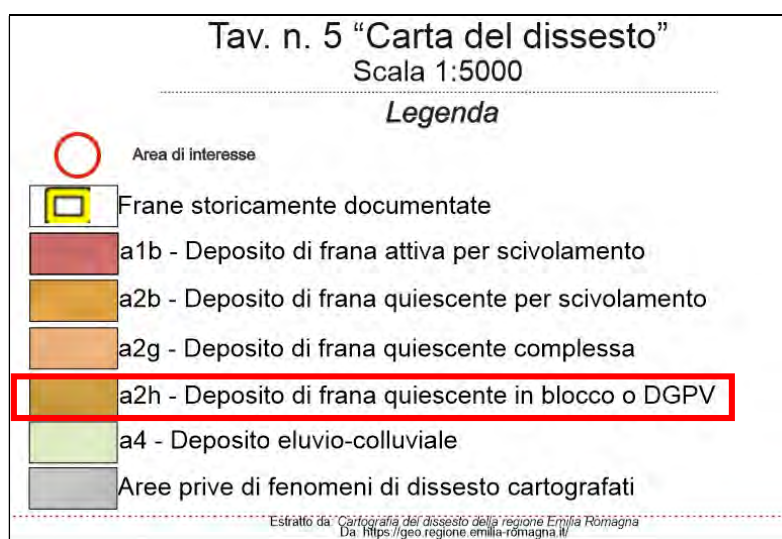
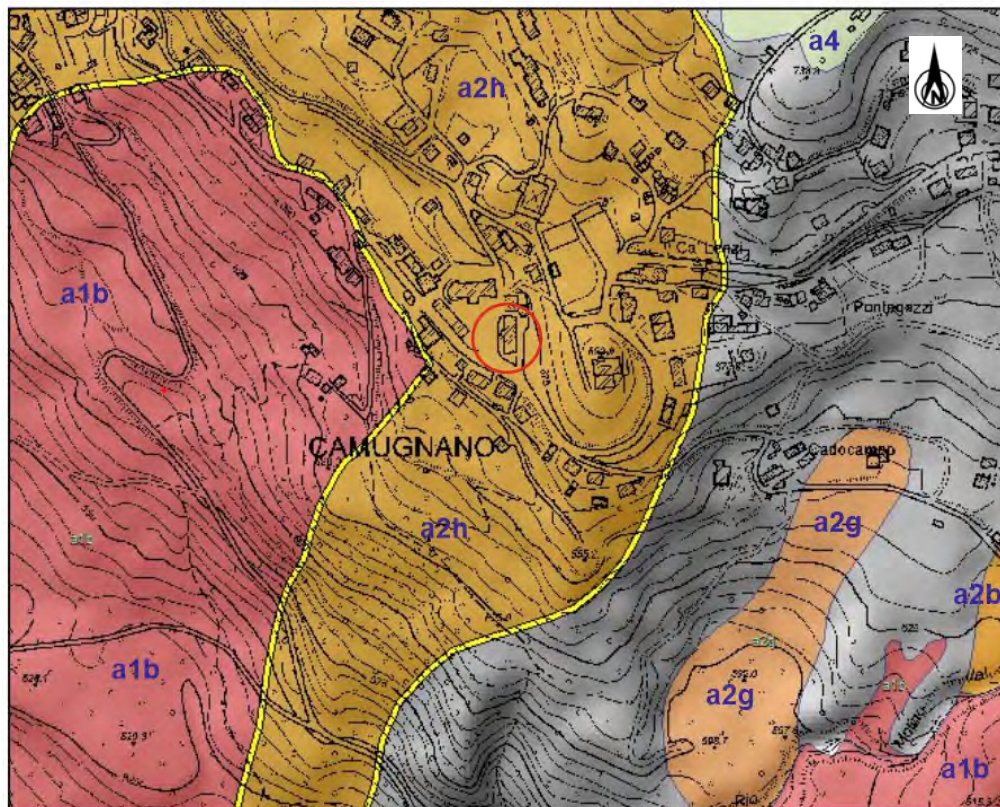


Fig. 2.2: Carta del dissesto (immagine tratta da: *Cartografia del dissesto della Regione Emilia Romagna*).



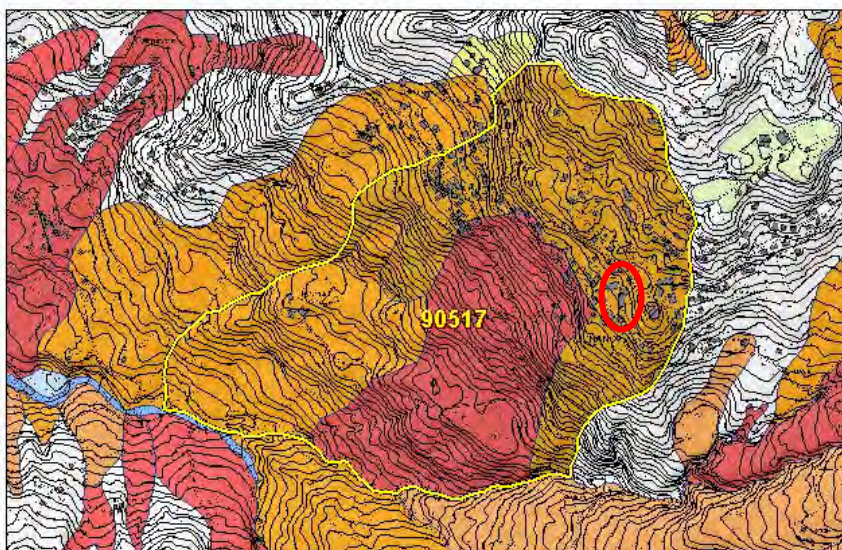
7 eventi di frana

Camugnano Podere Montignoso SC Camugnano-Guzzano sc - Guzzano

Inquadramento

- Superficie totale: 92.92 ettari
- Comune di CAMUGNANO - Provincia di Bologna

Localizzazione frana storica e Carta del dissesto



7. Evento del 2018

- Data: 07/03/2018 [giorno certo]
- Descrizione:  
Riattivazione del dissesto a valle dell'abitato, che ha interessato la viabilità comunale per la frazione di Guzzano, interrompendola. [Localizzazione: Verificata da documentazione tecnica]
- E' presente documentazione presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

6. Evento del 2013

- Data: 03/04/2013 [breve periodo certo (1-7gg)]
- Descrizione:  
Accelerazione parossistica locale di porzione della frana, già precedentemente attiva per movimento lento e continuo, che ha interessato il versante immediatamente a valle del nucleo principale di Camugnano e con la interruzione della strada Comunale per la deformazione di parte della strada di accesso a Camugnano e con la interruzione della strada Comunale per Guzzano, lesionata gravemente. Indizi evidenti di movimento si osservano su una superficie di circa 4 Ha, con l'apertura di fratture in direzione NO -SE nel bosco sovrastante la strada Comunale. Il movimento prosegue anche nel corso del 2014, 2015 e del 2016 (dati inclinometrici STB Reno). In particolare, nel 2015 STB Reno ha registrato la rottura di un tubo inclinometrico. [Localizzazione: Verificata da documentazione tecnica]
- Dimensioni del fenomeno: Superficie interessata: circa 4 Ha
- Cause innescanti: Precipitazioni periodo precedente
- Danni e interventi: Danni gravi alla Strada Comunale Camugnano - Guzzano. Deformazioni contenute lungo la SP di Camugnano, che si trova a monte dell'area con maggiori deformazioni. Interventi di regimazione idraulica, installazione di sistemi di monitoraggio, interventi per il ripristino della viabilità
- E' presente documentazione presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

5. Evento del 1985

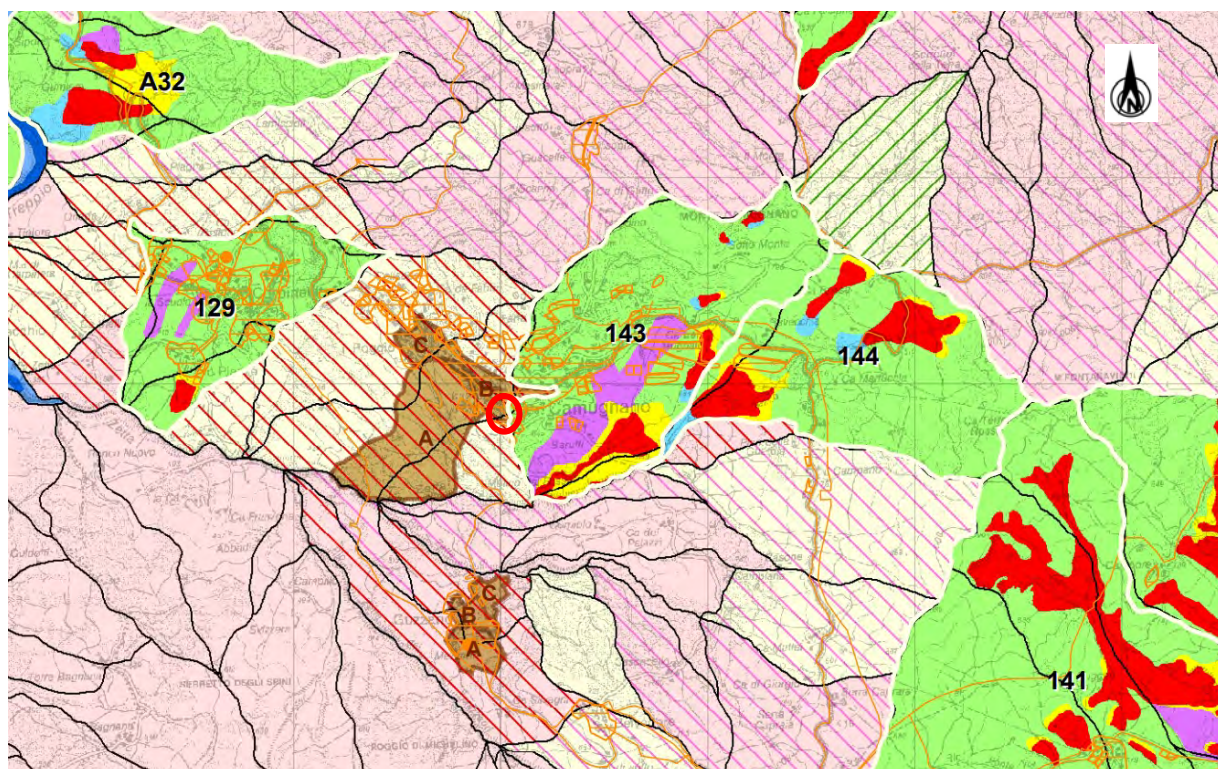
- Data: 1984-1985 [precisione pluriennale]
- Descrizione:  
Camugnano, tra la frazione Poggio e il capoluogo, area interessata dalla frana del 1934. Le misure inclinometriche rilevano spostamenti dell'ordine del cm/anno concentrati nel periodo invernale. [Localizzazione: Verificata da documentazione tecnica]

<b>4. Evento del 1970</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Data: <b>[aprile]1970</b> [data del documento]</li><li>• Descrizione: <b>Abitato di Camugnano, un esposto al Genio Civile (che cita un documento analogo del 1935) segnala il periodico riattivarsi di frane nelle borgate Casellina, Chiesa, Piazza Comunale, Sassè, Poggio.</b> [Localizzazione: Verificata da documentazione tecnica]</li></ul>
<b>3. Evento del 1941</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Data: <b>04/03/1941</b> [breve periodo certo (1-7gg)]</li><li>• Descrizione: <b>Movimenti franosi, in un'area di 1.000 per 600 metri, hanno danneggiato una casa colonica</b> [Localizzazione: Buona approssimazione]</li></ul>
<b>2. Evento del 1939</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Data: <b>29-30 maggio 1939</b> [breve periodo certo (1-7gg)]</li><li>• Descrizione: <b>Distruzione di un tratto di strada comunale per Guzzano, versante a valle dell'abitato di Camugnano.</b> [Localizzazione: Buona approssimazione]</li><li>• Dimensioni del fenomeno: <b>l = 50 m.</b></li></ul>
<b>1. Evento del 1934</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Data: <b>09/04/1934</b> [giorno certo]</li><li>• Descrizione: <b>Movimenti subito a valle del cortile colonico di Podere Montignoso e tra i villaggi di Poggio e Case di Camugnano. La frana si estende dalla strada per Castiglione al T. Zetta. Ostruzione alveo del T. Zetta. Danni e interruzione della strada Riola-Camugnano in prossimità della chiesa di Camugnano</b> [Localizzazione: Verificata da documentazione tecnica]</li><li>• Dimensioni del fenomeno: <b>L = circa 1000 m, lmax = 1150 m, p = 15 - 23 m, A = circa 0.7 km2.</b></li></ul>
 Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna (p. IVA 80062590379) <a href="#">» Privacy</a> <a href="#">» Accessibilità</a>

**Fig. 2.2a:** Scheda relativa alla Frana di Camugnano (immagine tratta da: *Cartografia del dissesto della Regione Emilia Romagna*).

La presenza di fenomeni di dissesto quiescenti presso l'area di studio è confermata anche dalla cartografia del PTCP del 2013 della Provincia di Bologna (**fig. n. 2.3**).

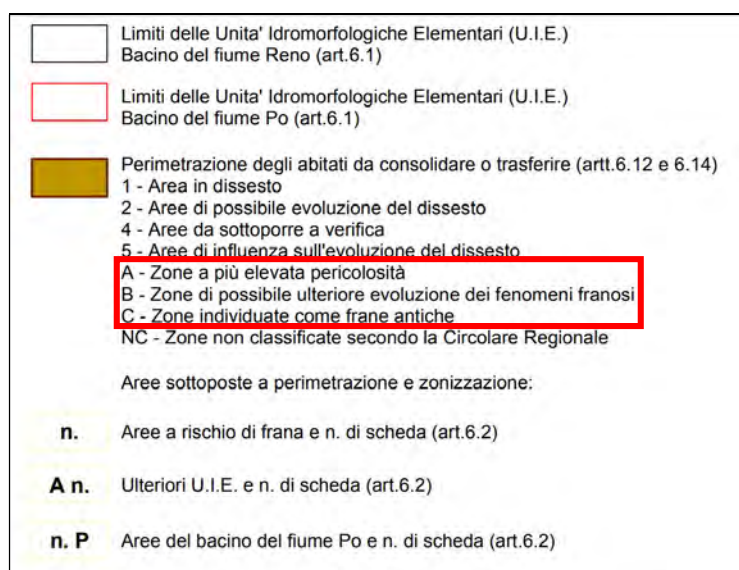




## Legenda

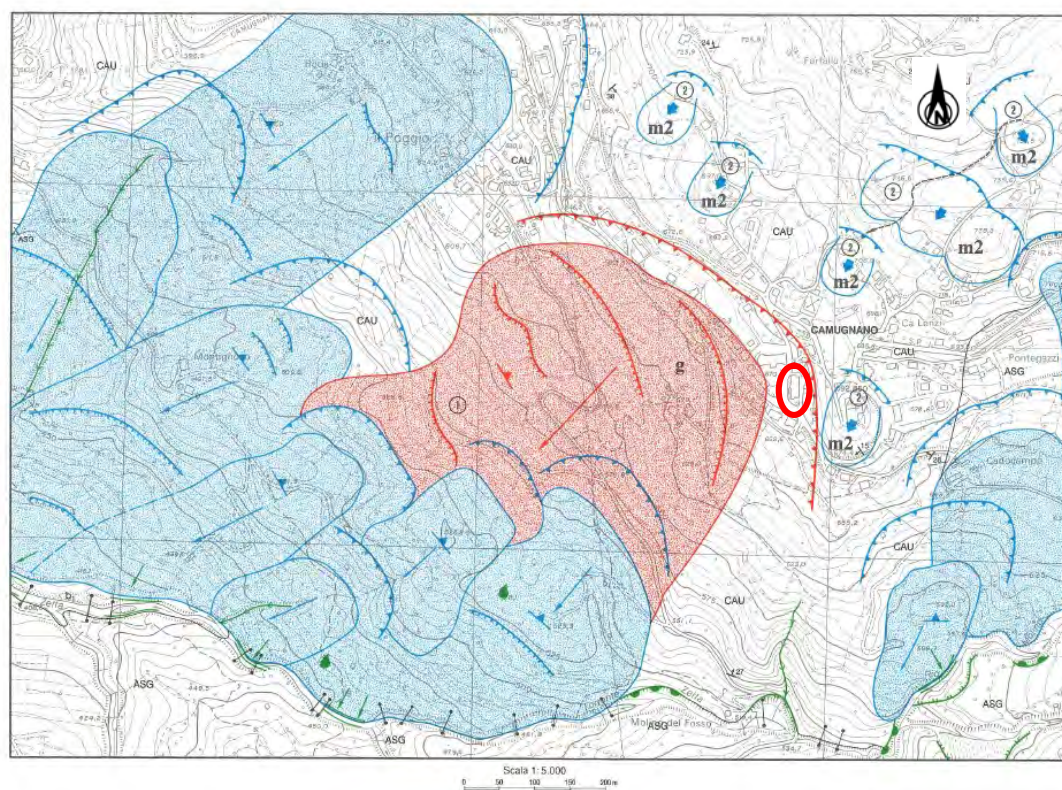
Aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate	
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:red; border:1px solid black;"></span>	zona 1 - area in dissesto (artt.6.3, 6.6, 6.7 e 6.14)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span>	zona 2 - area di possibile evoluzione del dissesto (artt.6.4, 6.6, 6.7 e 6.14)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightblue; border:1px solid black;"></span>	zona 3 - area di possibile influenza del dissesto (artt.6.4, 6.6, 6.7 e 6.14)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightpurple; border:1px solid black;"></span>	zona 4 - area da sottoporre a verifica (artt.6.5, 6.6, 6.7 e 6.14)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightgreen; border:2px solid red;"></span>	zona 5 - area di influenza sull'evoluzione del dissesto (artt.6.6, 6.7 e 6.14)
Rischio da frana:	
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, red 2px, red 4px); border:1px solid red;"></span>	U.I.E. a rischio molto elevato - R4 (art.6.8)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, orange 2px, orange 4px); border:1px solid orange;"></span>	U.I.E. a rischio elevato - R3 (art.6.8)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, pink 2px, pink 4px); border:1px solid pink;"></span>	U.I.E. a rischio medio - R2 (art.6.8)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, lightgreen 2px, lightgreen 4px); border:1px solid lightgreen;"></span>	U.I.E. a rischio moderato - R1 (art.6.8)
Attitudini alle trasformazioni edilizie e urbanistiche:	
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightcoral; border:1px solid black;"></span>	U.I.E. non idonee ad usi urbanistici (art.6.9)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightyellow; border:1px solid black;"></span>	U.I.E. da sottoporre a verifica (art.6.9)
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:lightgreen; border:1px solid black;"></span>	U.I.E. idonee o con scarse limitazioni ad usi urbanistici (art.6.9)





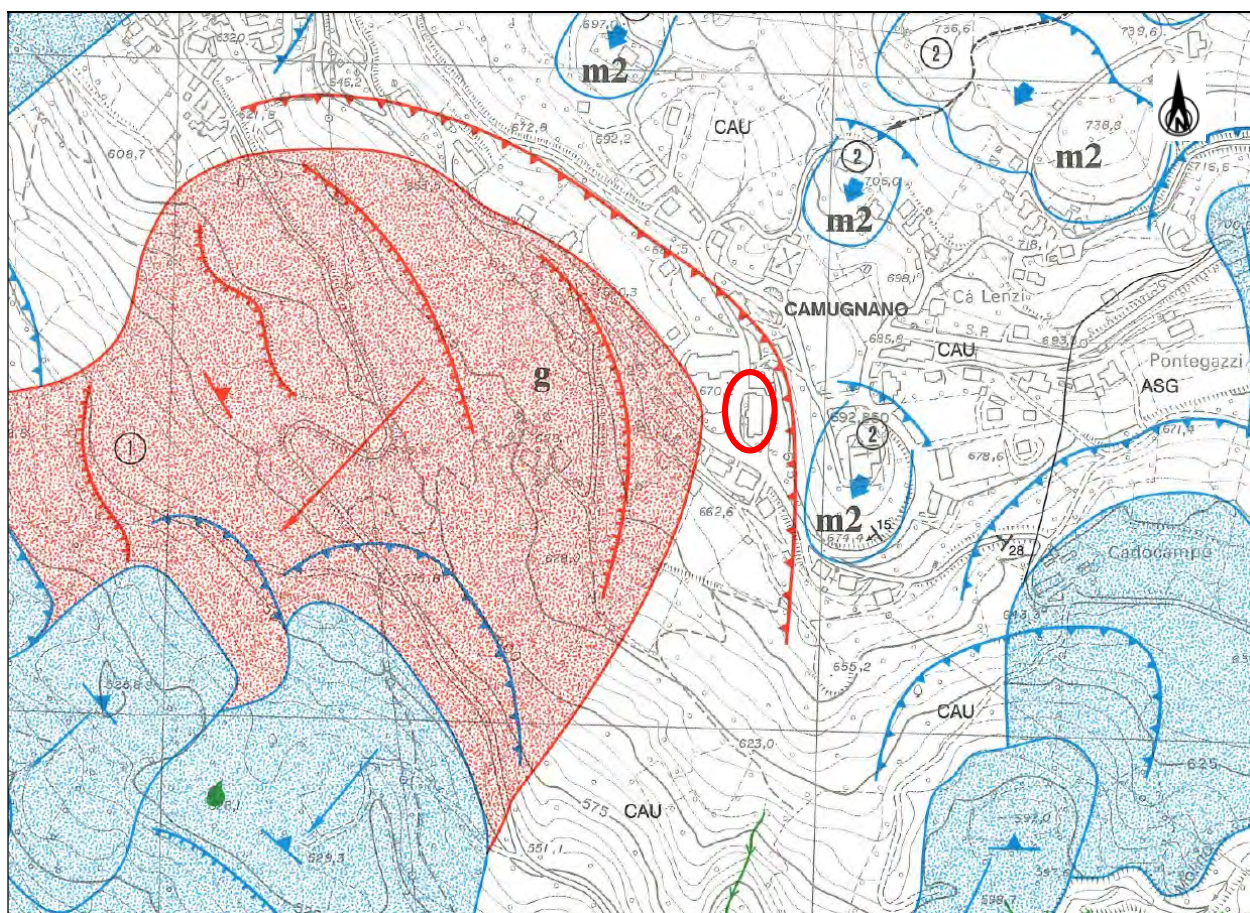
**Fig. 2.3:** Carta del dissesto del PTCP della Provincia di Bologna del 2013 (immagine tratta da: [https://cartografia.cittametropolitana.bo.it/ptcp/tavole/agg\\_novembre2013/tav2A\\_foglioVII.pdf](https://cartografia.cittametropolitana.bo.it/ptcp/tavole/agg_novembre2013/tav2A_foglioVII.pdf)).

Di seguito vengono rappresentate delle cartografie tratte dall'Atlante dei centri abitati instabili dell'Emilia Romagna del CNR del 1993.



**Fig. 2.4:** Veduta del fenomeno di dissesto - Atlante dei Centri abitati instabili dell'Emilia-Romagna del CNR – Programma Speciale SCAI (1993).





**Fig. 2.4a:** Veduta del fenomeno di dissesto - Atlante dei Centri abitati instabili dell'Emilia-Romagna del CNR – Programma Speciale SCAI (1993).

Dalle cartografie sopra riportate tratte **dall'Atlante dei centri abitati instabili dell'Emilia Romagna** del CNR del 1993, si evince come l'edificio oggetto di studio sia situato immediatamente a valle del presunto coronamento della grande Frana di Camugnano. La legenda relativa a queste cartografie è riportata in **fig. 2.5**.

## LEGENDA GEOMORFOLOGICA

AGENTE MORFODINAMICO: <b>ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI</b>	STATO DI ATTIVITÀ		
	ATTIVO	QUIESCENTE	INATTIVO
Area interessata da ruscellamento diffuso			
Fosso di ruscellamento concentrato			
Calanco			
Scarpata di erosione fluviorientizia			
Erosione in alveo: a) nelle alluvioni; b) nel substrato			
Erosione di sponda			
Ripiano di erosione fluviale			
Piana di esondazione			
Conoide di deiezione			
Deviazione o sbarramento dell'alveo			
Forra			
Ristagni e venute d'acqua			
Sorgenti			

AGENTE MORFODINAMICO: <b>GRAVITÀ</b>	STATO DI ATTIVITÀ		
	ATTIVO	QUIESCENTE	INATTIVO
Area interessata da reptazione			
Area interessata da soliflusso generalizzato			
Lobo di soliflusso			
Falda detritica			
Cono detritico			
Scarpata interessata da caduta di detriti			
Corona di frana			
Gradino di frana			
Contropendenza			
Trincea			
Frattura di trazione			
Corpo di frana per crollo o ribaltamento *			
Corpo di frana per scorrimento rotazionale *			
Corpo di frana per scorrimento traslativo *			
Corpo di frana per colamento *			
Espandimento laterale			
Corpo di frana complessa *			
Area interessata da deformazione gravitativa profonda			
Area interessata da deformazioni plastiche			

\* Il tipo di corpo di frana viene identificato mediante le seguenti sigle desunte dalla classificazione di Varnes:  
Crollo o ribaltamento: a, b, c, d, e, f.  
Scorrimento rotazionale: g, h, i.  
Scorrimento traslativo: j, k, l.  
Colata: q1 - q5, r1 - r5.  
Il corpo di frana complessa viene identificato con la lettera S, oppure, quando è possibile riconoscere i movimenti componenti, dalle rispettive sigle, delle quali quella di dimensioni maggiori indica il tipo di movimento che predomina spazialmente o temporalmente sugli altri.

**Fig. 2.5:** Legenda - Atlante dei Centri abitati instabili dell'Emilia-Romagna del CNR – Programma Speciale SCAI (1993).

Di seguito vengono rappresentate in sintesi le informazioni presenti nell'**Atlante dei centri abitati instabili dell'Emilia Romagna** riguardanti questo corpo di frana.



Località		3701001	
<b>CAMUGNANO</b>			
<b>ESTRATTO DELLA SCHEDA DI RILEVAMENTO</b>			
Comune	Camugnano	Causa di instabilità	Frane interne ed esterne all'abitato
Provincia	Bologna	Frana 1	
Abitanti	466	Tipologia	Scorrimento di roccia (g)
Bacino idrografico principale	T. Limentra	Stato del dissesto	Attivo
Bacino idrografico secondario	T. Zetta	Dimensioni	Lung. 1.000 m Largh. max. 1.150 m
Quota m.s.l.m.	700		Area 65,5 ha Largh. min. 500 m
Foglio I.G.M.I.	98 IV SE-98 IV SO-98 III NE-98 III NO	Frana 2	
Sezione C.T.R. 1:10.000	252010-252020	Tipologia	Espansione laterale di roccia (m2)
Abitato dichiarato da consolidare con R.D. N° 1966 del 4/10/1935		Stato del dissesto	Quiescente
		Dimensioni	Lung. - m Largh. max. - m
			Area - ha Largh. min. - m
<b>Popolazione, fabbricati ed infrastrutture coinvolti</b>			
Abitanti	170		
Edifici ad uso residenziale	38		
Edifici ad uso pubblico	3		
Edifici ad uso produttivo	1		
Vie di comunicazione	Strada provinciale e comunale		
<b>Studi e progetti di intervento</b>			
Studio del dissesto	In corso di redazione		
Strumentazione di controllo	Installata		
Progetto generale di sistemazione	In corso di redazione		
Interventi eseguiti	Sistemazioni idrauliche - canalizzazioni		
<b>SINTESI DELLE CONOSCENZE (a cura di C. Elmi e S. Vivan)</b>			
<b>Tipologia del fenomeno</b>			
L'instabilità dell'abitato di Camugnano deriva da una serie di scorrimenti rotazionali (g) che interessano rocce arenaceo-marnose stratificate e da probabili fenomeni di espansione laterale (m).			
<b>Caratteristiche geologiche</b>			
I dissesti occupano un versante in cui si ha il contatto tra una placca con litotipi arenaceo-pelitici e terreni caotici eterogenei a prevalente matrice argillosa e precisamente:			
<b>Formazione di Camugnano (CAU):</b> successione di arenarie grossolane e brecciole, in banchi, di arenarie, marne e calcari marnosi di tipo torbidoitico, di arenarie fini fittamente stratificate e di marne variegate di età Paleocenica. La giacitura disordinata e l'intensa fratturazione sono dovute alla messa in posto della coltre di cui fa parte, insieme con le sottostanti Argille scagliose, la formazione. La stratificazione è a reggipoggio, con inclinazione variabile dai 15° ai 38°; in molti casi non è però possibile stabilire se l'assetto non sia stato modificato dai movimenti di versante.			
<b>Argille scagliose (ASG):</b> terreni prevalentemente argillosi, intensamente caoticizzati, con abbondante materiale lapideo eterogeneo ed eterometrico; non sono visibili in affioramento nell'area di frana, ma solo sul versante opposto e nei sondaggi.			
Il versante, fino al T. Setta che scorre al suo piede, è ricoperto da una cospicua coltre di detriti grossolani con blocchi e massi arenacei di accumulo di frana.			
<b>Caratteristiche geomorfologiche</b>			
A causa dei ripetuti movimenti, il versante è segnato da rotture di pendenza, contropendenze, da scarpate e corone di frana e da ondulazioni e rilievi irregolari. Al piede del versante l'accumulo di frana ha prodotto una marcata deviazione del corso d'acqua. Tra quota 600 m e 750 m il versante ha la forma di un largo impluvio; questo assetto favorisce la concentrazione delle acque superficiali.			
<b>Descrizione del fenomeno</b>			
Il movimento ha preso origine in prossimità del contatto tra due unità a differenti caratteristiche geoidrologiche e cioè rocce a elevata permeabilità per fratturazione appoggianti su un substrato impermeabile di tipo argilloso. La concentrazione di acque unite alla elevata fratturazione dell'ammasso roccioso, ha prodotto degli scorrimenti di tipo rotazionale, dei quali sono conservate ampie corone di frana nella parte alta del versante. Gli accumuli sono stati interessati da altri scorrimenti che hanno prodotto la caratteristica morfologica a scarpate e a ripiani in leggera contropendenza. A monte della corona di frana, le rocce hanno subito successivi movimenti di tipo espansione laterale. L'accumulo di frana ha lunghezza di 1.000 m, larghezza oltre 1.250 m e una superficie complessiva di oltre 600.000 mq. Il pendio ha inclinazione massima di 15° e la superficie di scivolamento ipotizzata, cui si raccordano numerose superfici di rottura secondarie, ha inclinazione non superiore ai 13-14°.			
Ove il substrato argilloso compare già a 10 m dal piano campagna, si ritrova un piano di scivolamento a -19 m, mentre in altri casi la coltre detritica scivola sulle argille a profondità variabili tra -15 m e -23 m, ma sono riconoscibili superfici di taglio anche a profondità minori (-12 m). Si tratta quindi di movimenti assai lenti, che si riattivano in tempi e luoghi diversi sull'intero versante. I primi dissesti sono anteriori agli anni '30. Misure inclinometriche recenti (gennaio '84 - giugno '85), danno spostamenti dell'ordine del cm/anno, concentrati nel periodo invernale.			
La falda è a profondità variabile dai 13 ai 19 m dal piano campagna, praticamente coincidente con il contatto tra accumulo detritico e Argille scagliose. Le acque vengono a giorno in due sorgenti poste in corrispondenza dell'unghia di frana e di una scarpata secondaria.			
I sondaggi hanno incontrato nell'accumulo numerose cavità tra i blocchi accatastati, delle dimensioni del metro o superiori: tali vuoti aumentano considerevolmente la permeabilità dell'ammasso e favoriscono fenomeni di dilavamento e di assestamento.			
<b>Effetti del fenomeno</b>			
La parte di abitato direttamente interessata dalle frane lamenta lesioni a circa metà degli edifici coinvolti, nonché rotture e perdite lungo la rete fognaria. Particolarmente evidenti le crepaccature sull'edificio del municipio: le fenditure sulla porzione di valle dell'edificio non trovano riscontro nell'area circostante, per cui c'è da supporre anche un cedimento locale dei terreni di fondazione, forse in relazione a un assestamento dei materiali di frana.			
<b>Interventi di sistemazione</b>			
L'infornamento del tratto del Fosso del Prete nella parte centrale dell'abitato ed il rivestimento con canalette in c.a. e lamiera del restante tratto, limitano le infiltrazioni d'acqua. Con le stesse finalità si sono eseguite periodiche prove di tenuta del tratto intubato del fosso e della rete fognaria. Altri interventi sono stati la messa in opera di briglie lungo il Rio Zetta al piede del versante, per limitare l'erosione e lo scalzamento dell'unghia di frana. Gli interventi attualmente proponibili sono quelli di una capillare regimazione delle acque superficiali e degli scarichi urbani, e la captazione e la deviazione fuori dell'area di frana delle acque del tratto alto del versante.			

Fig. 2.6: Estratto e sintesi - Atlante dei Centri abitati instabili dell'Emilia-Romagna del CNR – Programma Speciale SCAI (1993).



Infine tra le fonti bibliografiche meritano di essere menzionate le cartografie del PAI riportate in seguito.

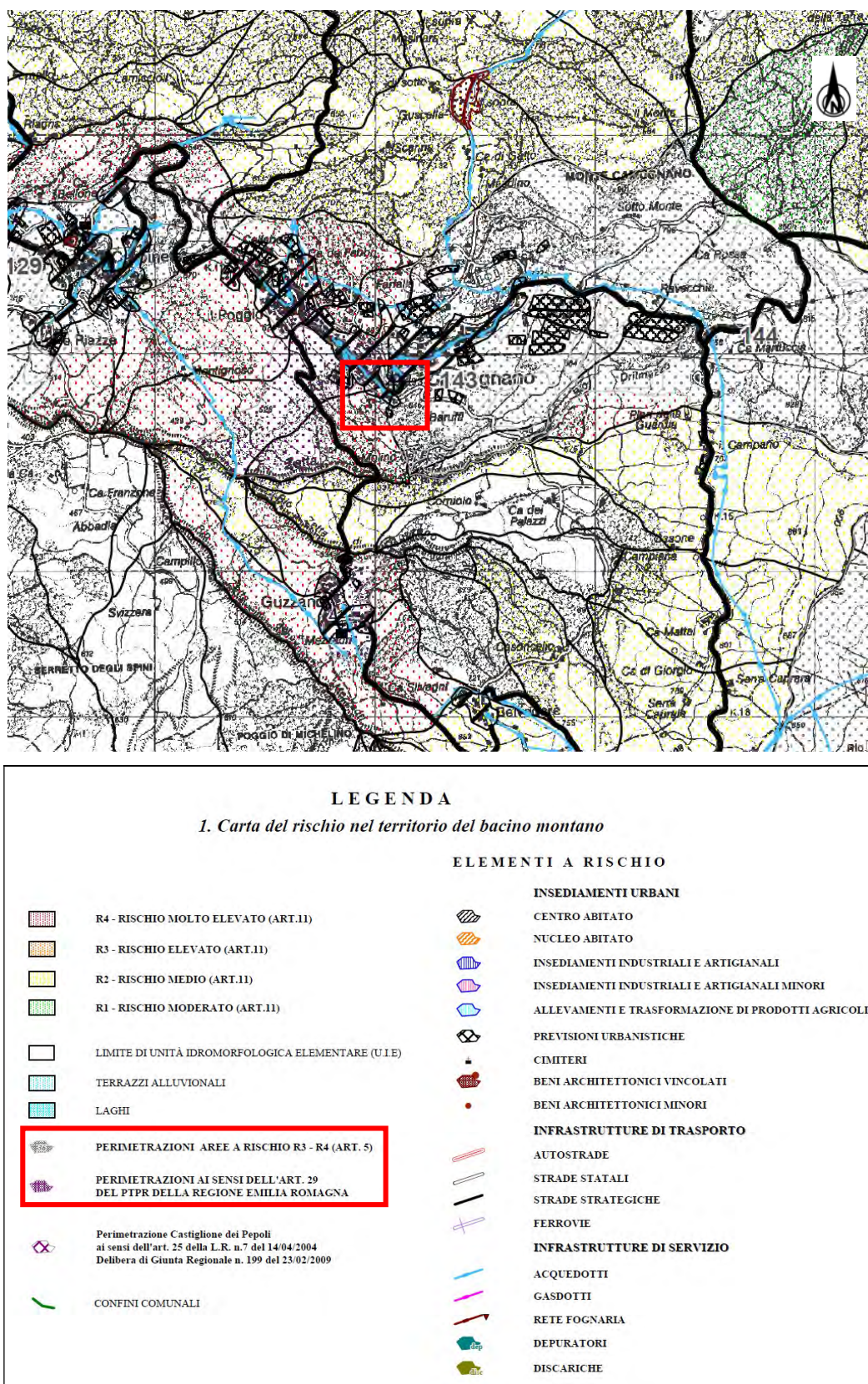
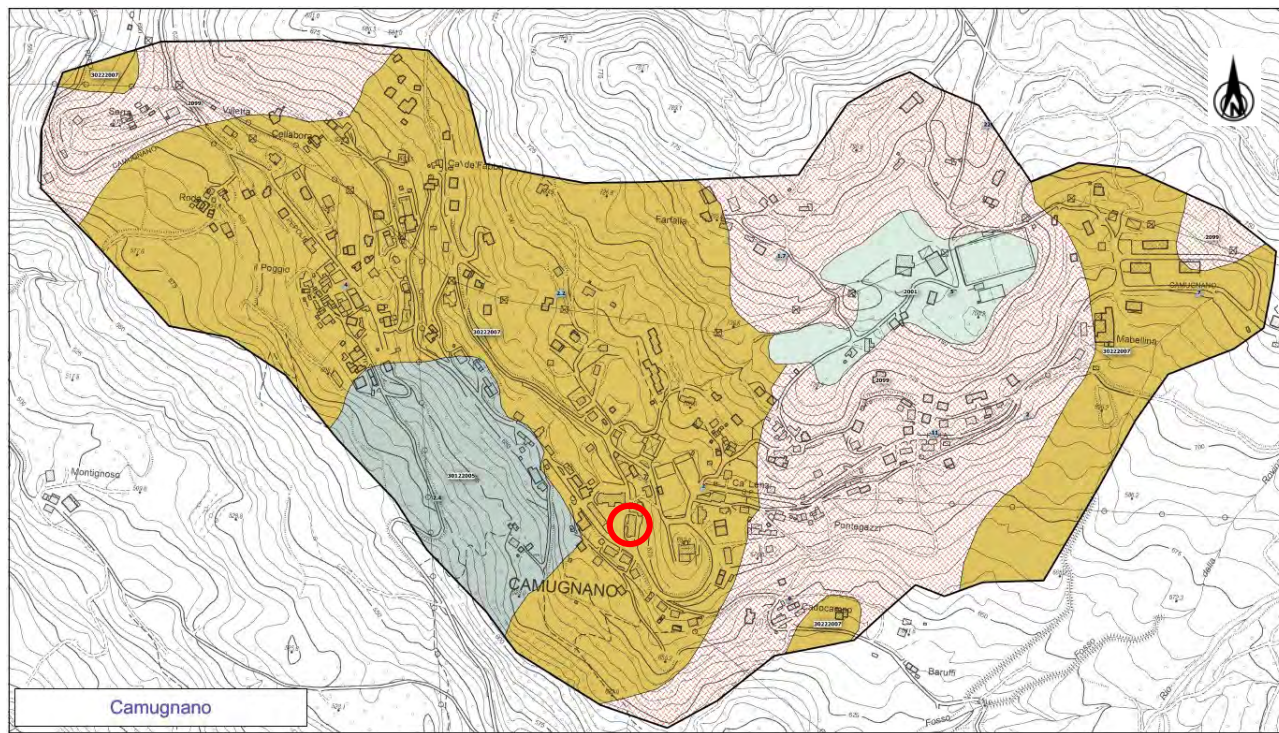


Fig. 2.7: Cartografia del PAI vigente (tratta da: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/>).



Da un punto di vista idrografico, l'area è situata nel bacino idrografico del *Torrente Limentra*, tributario del *Fiume Reno*.

Dal punto di vista sismico e della valutazione della stabilità del sito, essendo l'edificio in oggetto posto in un'area instabile (fig.2.8), **è stato eseguito lo studio di risposta sismica locale.**



Legenda	
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	
2001	Zona 1 : Terreni di copertura eluvio-colluviali costituita da sabbie limose (6-7 m)
2002	Zona 2 : Terreni di copertura alluvionali costituiti da ghiaie a granulometria ben assortita (13-15 m)
2003	Zona 3 : Terreni di copertura eluvio colluviali costituiti da argille inorganiche (4-5 m)
2099	Zona 4 : Substrato affiorante e/o sub affiorante molto fratturato o alterato
Punti di misura di rumore ambientale	
	Punti di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di R0
Zone di attenzione per instabilità	
30232004	ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Colata quiescente - (Massa costituita da materiale fangoso saturo di acqua - Spessore 1.5 m)
30122005	ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Scorrimento attiva - (Clasti eterometrici a matrice pelitica in ricoprimento al substrato - Spessore 5-8 m)
30142006	ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Complessa attiva - (Clasti eterometrici a matrice pelitica in ricoprimento al substrato - Spessore 3-4 m)
30222007	ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Scorrimento quiescente - (Clasti eterometrici a matrice pelitica in ricoprimento al substrato - Spessore 3-13 m)

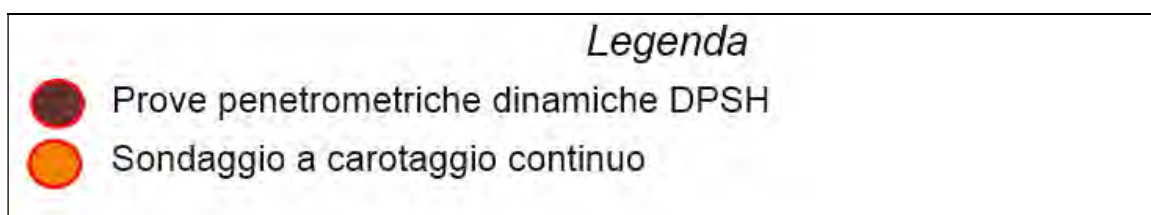
**Fig. 2.8:** Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del Comune di Camugnano (immagine tratta da: <https://geo.regione.emilia-romagna.it>).

## 2.2 INDAGINI GEOTECNICHE

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto è stata eseguita nell'area in oggetto le seguenti indagini geognostiche:

- *n. 4 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, eseguite in data 19/05/2022;*
- *n.1 sondaggio a carotaggio continuo, eseguito in data 23/05/2022 e 24/05/2022;*
- *n.1 prova di taglio diretto consolidata e drenata CD, eseguita in data 31/05/2022.*

I risultati delle suddette indagini sono riportati nell'**allegato n. 1**, mentre l'ubicazione è illustrata nella **tav. n. 6**. e in **figura 2.10**.



**Fig. 2.10:** Ubicazione prove penetrometriche DPSH eseguite in data 19/05/2022 e del sondaggio a carotaggio eseguito in data 24/05/2022 nell'area di interesse.



### 2.2.1 Prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH

Nell'area di interesse sono state eseguite, in data 19/05/2022, **n. 4 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH**, spinte a rifiuto strumentale alle profondità di - 3.00 m da p.c. (DPSH 1), - 2.00 m da p.c. (DPSH 2), - 4.40 m da p.c. (DPSH 3) e - 3.60 m da p.c. (DPSH 4).

Nell'**Allegato n. 1** sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredate dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica.

Le caratteristiche tecniche dello strumento da noi impiegato sono le seguenti:

Le principali caratteristiche tecniche di tale strumento sono riassunte nella tabella seguente:

<b>Massa del maglio (kg):</b>	<b>63.5 ± 0.5</b>
<b>Altezza di caduta (cm):</b>	<b>75 ± 0.2</b>
<b>Diametro della punta (cm):</b>	<b>50.5 ± 0.05</b>
<b>Area della punta nominale (cm<sup>2</sup>):</b>	<b>20</b>
<b>Apertura del cono:</b>	<b>90°</b>
<b>Diametro delle aste (cm) D:</b>	<b>3.2 ± 0.03</b>
<b>Peso del sistema di infissione escluso il maglio (Kg):</b>	<b>30</b>
<b>Penetrazione standard (cm):</b>	<b>20 (N<sub>20</sub>)</b>

La prova dinamica consiste nell'infiggere una punta di acciaio posta all'estremità di una batteria di aste, mediante la caduta di un maglio da un'altezza costante e nel misurare il numero di colpi necessari a produrre avanzamenti delle aste e della punta stessa di una lunghezza prefissata nel terreno. Tale prova penetrometrica dinamica misura in continuo la resistenza alla penetrazione della punta conica e, in particolare, fornisce una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati. Esistono numerosi penetrometri in commercio che si differenziano principalmente sulla base del diverso peso del maglio, dell'altezza di caduta, del diametro e della forma della punta e dello step di approfondimento.

All'estremità inferiore della batteria di aste è collocata la punta conica, che può essere di due tipi: *fissa*, e quindi recuperabile al termine dell'indagine, oppure *"a perdere"* che quindi, alla estrazione delle aste, rimane nel terreno. Nella successiva figura è rappresentato lo schema della punta conica fissa:



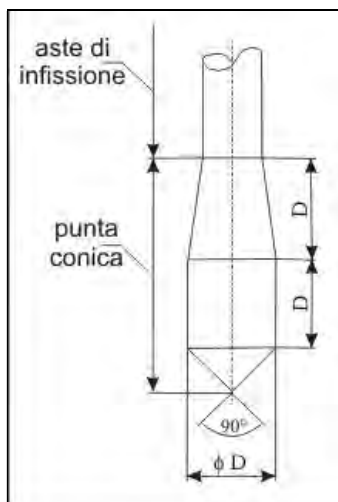


Fig. 2.11 - Schema della punta conica.

Ulteriori specifiche tecniche dell'attrezzatura di prova sono illustrate in allegato.

Per le prove dinamiche eseguite è stato realizzato un modello grafico in cui sono riportati: il numero dei colpi, la profondità in metri (misure ricavate ogni cm. 20 di avanzamento del sondaggio) e la resistenza dinamica alla punta  $R_{pd}$  in Kg/cm<sup>2</sup> calcolata attraverso la "Formula olandese":

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

Dove:

**$R_{pd}$**  = Resistenza dinamica punta (Kg/cm<sup>2</sup>);

**$A$**  = area della punta (cm);

**$M$**  = massa battente (kg);

**$H$**  = altezza di caduta;

**$P$**  = massa totale aste e sistema di battuta;

**$e$**  = infissione per colpo =  $\delta / N$ .

### 2.2.2 Sondaggio a carotaggio continuo

In date 23/05/2022 e 24/05/2022 è stato eseguito n. 1 sondaggio verticale a carotaggio continuo.

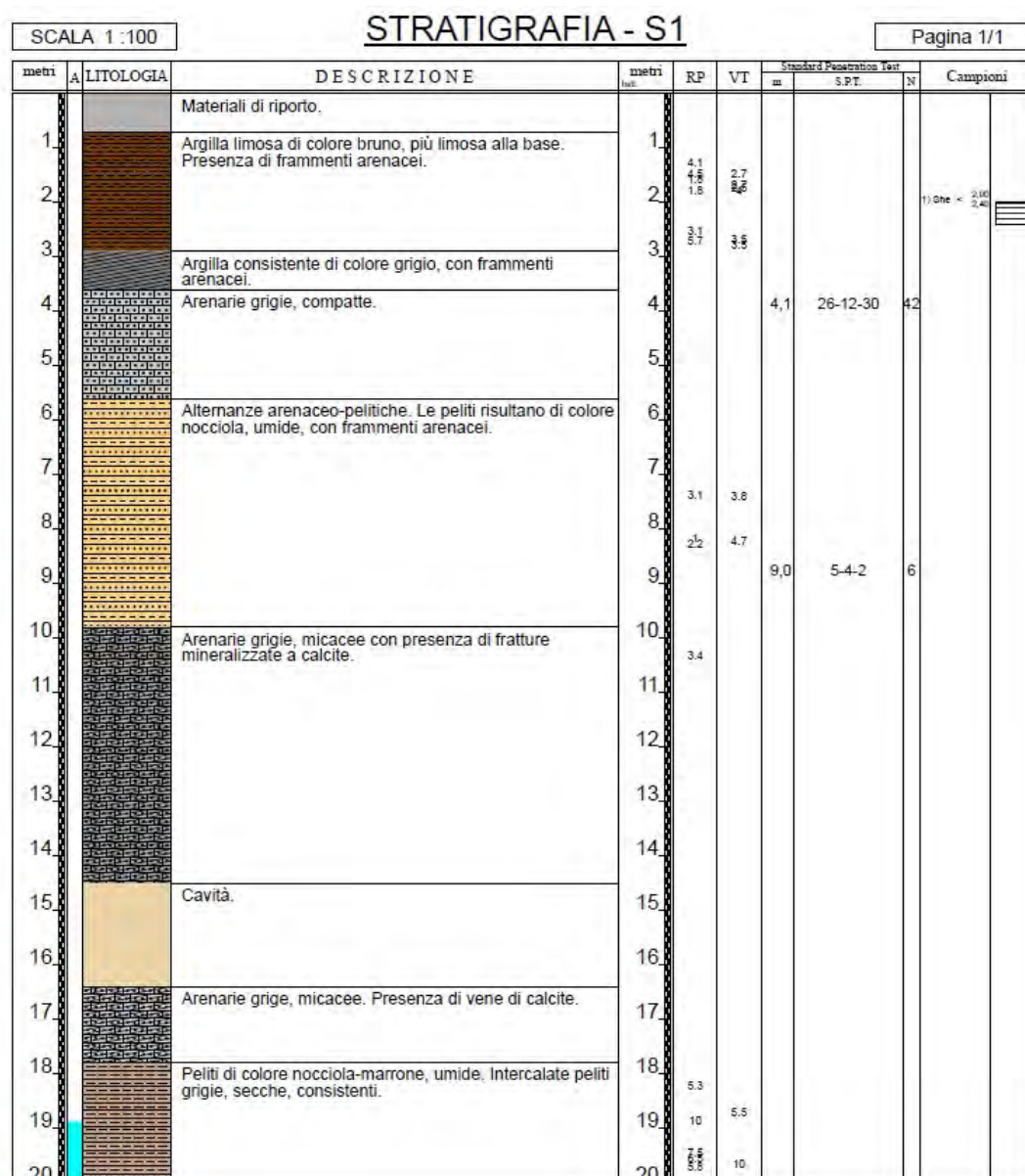
Il sondaggio a carotaggio continuo, eseguito mediante sonda idraulica a rotazione, è stato spinto fino alla massima profondità pari a - 20.00 m da p.c. (piano campagna).

Come accennato in precedenza, il sondaggio meccanico è stato eseguito "a rotazione": tale tecnica consiste nel fare avanzare un utensile "carotiere" semplice T1 diametro 101 mm per mezzo di una batteria di aste, alla quale viene applicata una spinta assiale dal sistema idraulico dell'impianto.

Le “carote” di terreno, prelevate nel corso dei sondaggi sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in PVC, a 5 scomparti, per una lunghezza totale di 5.00 m cadauna: la litologia estrapolata è riportata nella stratigrafia presente nell'**allegato 1**.

Sulle carote estratte è stata valutata la resistenza alla penetrazione in condizioni non drenate  $R_{PP}$ , misurata mediante POCKET PENETROMETER e la resistenza al taglio, sempre in condizioni non drenate  $R_{VT}$ , mediante VANE TEST. Tali dati sono riportati nella colonna litostratigrafica, presente in **allegato n. 1**.

Si riporta di seguito l'elaborazione della stratigrafia eseguita in data 24/05/2022.



**Fig. 2.12:** Elaborazione della stratigrafia relativa al carotaggio eseguito in data 24/05/2022 nell'area di interesse.

Si nota la presenza di una **cavità** tra i -14.50 m e i -16.40 m da p.c.. Di seguito si riportano le riprese fotografiche della stratigrafia rilevata.





Foto 13: Stratigrafia ottenuta dal carotaggio continuo





Foto 14: Stratigrafia ottenuta dal carotaggio continuo





**Foto 15:** Stratigrafia ottenuta dal carotaggio continuo; notare la presenza di una cavità tra i -14.50 m ai -16.00 m da p.c.





**Foto 16:** Stratigrafia ottenuta dal carotaggio continuo; notare la presenza di una cavità tra i -14.50 m ai -16.40 m da p.c.



### 2.2.2.1 Prove penetrometriche dinamiche standard SPT in foro

Durante la perforazione sono state effettuate n. 2 prove penetrometriche dinamiche di tipo SPT ("Standard Penetration Test") con punta chiusa al fine di determinarne i parametri geotecnici del terreno riscontrato.

La prova penetrometrica dinamica in foro SPT consiste nel far cadere, con una frequenza di 20/25 colpi al minuto, un maglio da 63,50 kg da un'altezza di 76,00 cm (standard europeo) su una batteria di aste che possiedono, nella parte terminale, una "punta chiusa".

Nel corso della prova SPT viene registrato il numero di colpi necessario per infiggere la punta conica per **45 cm** nel terreno. Il valore di (**N<sub>SPT30</sub>**) viene ottenuto eliminando i colpi dei primi 15 cm di infissione e sommando il valore dei colpi necessario per infiggere la punta conica nei rimanenti 30 cm di sottosuolo.

Le prove penetrometriche SPT ("Standard Penetration Test") sono state eseguite all'interno del foro di sondaggio alle seguenti profondità dal piano campagna attuale:

SPT 1	PUNTA	PROFONDITÀ	NUMERO DI COLPI			N <sub>SPT 30</sub>
	CHIUSA	-4.10 m da p.c.	26	12	42	<b>42</b>

SPT 2	PUNTA	PROFONDITÀ	NUMERO DI COLPI			N <sub>SPT 30</sub>
	CHIUSA	-9.00 m da p.c.	5	26	2	<b>6</b>

Il numero dei colpi **N**, in base alle Normative **AGI** (1977) ci dà una classifica orientativa dello stato di compattezza (addensamento) dei terreni incoerenti, come visibile nella tabella di seguito esposta:

N	valutazione dello stato di addensamento
0 – 4	sciolto
4 – 10	poco addensato
10 – 30	moderatamente addensato
30 – 50	addensato
> 50	molto addensato

**Fig. 2.2.4.1:** Classifica orientativa dello stato di addensamento dei terreni incoerenti (da classificazione A.G.I-1977).

In **allegato n. 1** sono visibili i risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove SPT ed i parametri geotecnici.

### 2.2.2 Analisi di laboratorio di geotecnico

In data 24/05/2022, è stato preso n. 1 campione di terreno mediante **campionatore Shelby**, alla profondità di circa -2.40 m da p.c. sul quale, allo scopo di valutare le caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione dell'area oggetto di studi, sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio di geotecnico:

- ***n. 1 prova di taglio diretto consolidata e drenata in scatola di Casagrande (ASTM 3080).***

#### PROVA DI TAGLIO DIRETTO (ASTM D 3080)

Al fine di calcolare angolo di attrito interno e coesione efficace del sottosuolo indagato, i campioni di terreno sono stati sottoposti ad una prova di resistenza al taglio in scatola di Casagrande.

In particolare per ogni campione è stata effettuata una prova consolidata-drenata (prova lenta CD): si tratta di una prova in cui una consolidazione sostanzialmente completa alla pressione di confinamento è seguita da uno sforzo assiale (di taglio) addizionale, applicato in modo tale che anche un suolo saturo a bassa permeabilità possa adattarsi completamente (interamente consolidato) alle sollecitazioni dovute agli sforzi addizionali, assiali e di taglio.

Dopo che ogni provino ha raggiunto il consolidamento costante sotto lo sforzo assiale prestabilito, viene trasferito sull'apparecchiatura per le prove di taglio. Il provino è posto all'interno di due telai orizzontali, che possono scorrere uno rispetto all'altro, e le sollecitazioni applicate sono costituite dal carico assiale N e dalla forza di taglio T.

Nel corso della prova vengono misurati gli spostamenti tra i due telai orizzontali; questi permettono di calcolare solo la deformazione media del provino che, essendo all'interno di un telaio rigido, presenta uno stato di deformazione non uniforme. Di solito i risultati delle prove vengono utilizzati per determinare i valori di coesione e angolo di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci, noti la resistenza al taglio disponibile e la tensione efficace normale al piano di scorrimento.

I risultati delle prove sono stati rappresentati in un diagramma avente in ordinate lo sforzo di taglio alla rottura ed in ascisse la tensione normale alla superficie di scorrimento. Una volta tracciata la retta che congiunge i tre punti all'interno del diagramma, si possono ricavare l'angolo d'attrito, che corrisponde alla pendenza della stessa retta rispetto all'orizzontale, e la coesione, che corrisponde al valore dell'intersezione della suddetta retta con l'asse delle ordinate.

Campione	Quota	coesione efficace (kPa)	angolo di attrito efficace (°)
C1	-2.40 m da p.c.	10.2	29.4

## 2.3 CARATTERISTICHE LITOSTRATOGRAFICHE DEL SITO D'INDAGINE

Le prove eseguite, ubicate come illustrato nella **tavola n. 6**, hanno raggiunto il rifiuto strumentale alle profondità elencate nella seguente tabella:

PROVA	PROFONDITÀ RAGGIUNTA
DPSH 1	- 3.00 m da p.c.
DPSH 2	- 2.00 m da p.c.
DPSH 3	- 4.40 m da p.c.
DPSH 4	- 3.60 m da p.c.

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle prove penetrometriche DPSH, eseguite in corrispondenza dell'area di studio, si può riassumere quanto segue:

- Dalle prove DPSH eseguite, al di sotto della coltre superficiale di terreno vegetale e materiali di riporto spesso circa 0.40 m, si evidenzia la presenza di un primo strato coesivo di **argille o argille limose a medio-scarso consistenza** ( $2 < N_{20} < 7$  nella DPSH3,  $C_u=50$  kN/m<sup>2</sup>) fino a - 3.00 m da p.c., seguito da **arenarie fratturate** ( $15 < N_{20} < 50$  nella DPSH3,  $D_r=60\%$ ) presenti oltre tali quote.
- Dal sondaggio a carotaggio continuo eseguito, si conferma la prevalenza di **terreni argilloso-limosi** fino a circa -3.00 m, seguiti da un substrato roccioso fratturato e alterato di natura **arenaceo-pelitica** fino alla massima quota raggiunta dal sondaggio corrispondente a circa -20 m da p.c. Risulta importante segnalare la presenza di una **cavità** all'interno dell'ammasso roccioso, intercettata dal sondaggio tra i -14.50 m da p.c. e i -16.40 m da p.c.
- Al termine delle prove penetrometriche in data 19/05/2022 è stata eseguita la verifica della soggiacenza della falda freatica all'interno dei fori di sondaggio; le misurazioni, eseguite con freatimetro elettroacustico, non hanno riscontrato la presenza della falda all'interno dei fori di sondaggio. Tuttavia al termine dell'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo in data 24/05/2022 la falda è stata misurata a circa -18.90 m da p.c. all'interno della perforazione.



### 3 RELAZIONE GEOTECNICA

#### 3.1 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per l'intervento in oggetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite in sito si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

#### MODELLO GEOTECNICO MEDIO

	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.00 – 3.00 m da p.c.	Falda: - 18.90 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	$\gamma$	1800 kg/m <sup>3</sup> ≈ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2100 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{u_k}$	0.50 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_{k}$	0.10 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 10.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	40.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 4000 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	29°
				$v$	0.40
				$E_s$	70.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 7000 kN/m <sup>2</sup>
2	3.00 – 5.60 m da p.c.	Falda: - 18.90 m da p.c.	Roccia fratturata (frana per scivolamento in blocco o DGPV)	$\gamma$	2000 kg/m <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2300 kg/m <sup>3</sup> ≈ 23.00 kN/m <sup>3</sup>
				$Dr$	60%
				$\phi_k$	35°
				$v$	0.27
				$E_s$	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50000 kN/m <sup>2</sup>
				$G$	1226 kg/cm <sup>2</sup>
				3	5.60 – 9.80 m da p.c.
$\gamma'$	2100 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.00 kN/m <sup>3</sup>				
$C_{u_k}$	0.60 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 60.0 kN/m <sup>2</sup>				
$C'_{k}$	0.06 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 6.0 kN/m <sup>2</sup>				
$M_0$	60.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 6000 kN/m <sup>2</sup>				
$\phi_k$	23°				
$v$	0.34				
$E_s$	84.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 8400 kN/m <sup>2</sup>				
4	9.60 – 14.50 m da p.c.	Falda: - 18.90 m da p.c.	Roccia fratturata (frana per scivolamento in blocco o DGPV)	$\gamma$	2000 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2300 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 23.00 kN/m <sup>3</sup>
				$Dr$	60%
				$\phi_k$	35°
				$v$	0.27
				$E_s$	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50000 kN/m <sup>2</sup>
				$G$	1226 kg/cm <sup>2</sup>
	14.50 – 16.40 m da p.c.		Cavità		
4	16.00 – 17.80 m da p.c.	Falda: - 18.90 m da p.c.	Roccia fratturata (frana per scivolamento in blocco o DGPV)	$\gamma$	2000 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2300 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 23.00 kN/m <sup>3</sup>
				$Dr$	60%

5	17.80 – 20.00 m da p.c.		Peliti compatte	$\phi_k$	35°
				$\nu$	0.20
				$E_s$	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50000 kN/m <sup>2</sup>
				$G$	1226 kg/cm <sup>2</sup>
				$\gamma$	1800 kg/m <sup>3</sup> ≈ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2100 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	5.00 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 500.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.50 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 500000 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	25°
				$\nu$	0.20
				$E_s$	700.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 70000 kN/m <sup>2</sup>
Legenda	$\gamma$	=	peso specifico terreno naturale		
	$\gamma'$	=	peso specifico terreno saturo		
	$C_{uk}$	=	coesione non drenata caratteristica		
	$C'_k$	=	coesione efficace caratteristica (valore cautelativo)		
	$D_r$	=	densità relativa		
	$M_0$	=	modulo di deformazione edometrico		
	$E_s$	=	modulo di deformazione elastico		
	$\phi_k$	=	angolo d'attrito caratteristico		
	$\nu$	=	modulo di Poisson		
	$G$	=	Modulo di deformazione a taglio dinamico		

Si riportano di seguito le referenze bibliografiche e le correlazioni utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici sopra riportati:

$\gamma'$  = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno [Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982]

$C_{uk}$  = coesione non drenata (terreni coesivi) [Formula di Lunne & Eide]

$D_r$  = densità relativa (terreni granulari) [Schmertmann 1976]

$M_0$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973]

$E_s$  = modulo elastico (terreni coesivi) [Trofimov 1974]

$\phi_k$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari) [Meyerhof 1956/1976, sabbie limose]

$\phi_k$  = angolo di attrito interno efficace (terreni coesivi) [prove di laboratorio CID da Noi eseguite su analoghi litotipi presso Nostro laboratorio certificato dal "Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n.1845" per l'esecuzione e certificazione di prove su terre e rocce, categoria A]

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 4.1 INDAGINI GEOFISICHE

Per la caratterizzazione sismica dell'area di studio sono state eseguite la seguente indagine geofisica:

- n. 1 indagine sismica HVSR eseguita in data 19/05/2022**
- n. 1 indagine sismica MASW eseguita in data 19/05/2022**

L'ubicazione dell'indagine sismica è riportata nella **tav. n.6** e in **fig. 4.1**, mentre il risultato è riportato integralmente nell'**allegato n. 3**.





Fig. 4.1: Ubicazione dell'indagine sismica eseguita nell'area di interesse in data 19/05/2022

#### 4.1.1 Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVS)

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVS** (**Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura**) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVS) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

La tecnica **HVSR** è totalmente **non invasiva, molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME.

I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSR sono:

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.
- La **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSR**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dalle analisi HVSR eseguite in sito, e riportate integralmente nell'**allegato n. 3** è stato individuato un picco H/V di probabile origine stratigrafica alla frequenza  **$0.91 \pm 0.21$  Hz** (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz) per quanto riguarda l'HVSR1 e un picco H/V di probabile origine stratigrafica alla frequenza  **$0.81 \pm 0.48$  Hz** (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz) per quanto riguarda l'HVSR2. Tuttavia entrambi non rispettano i criteri SESAME.

---

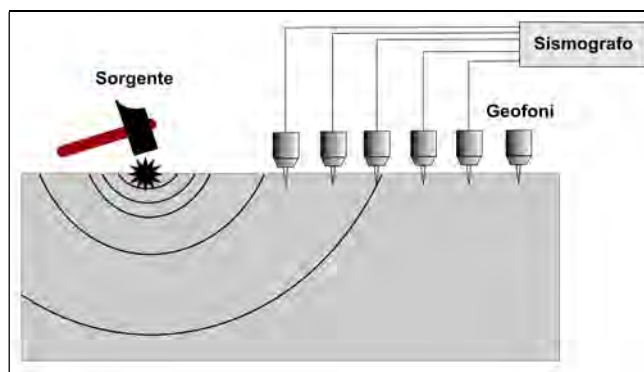
#### **4.1.2 Indagine sismica con metodo MASW**

---

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-**



**stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa.



Schema di Array lineare e punto energizzante.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{freq.}$ , può essere convertito nel profilo  $V_s/\text{profondità}$ . Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

#### 4.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2018)

Per determinare il parametro  $V_{s30}$  e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche descritte nel precedente paragrafo. L'elaborazione delle indagini sismiche sopra citate restituisce un grafico che riporta la curva di dispersione attraverso un'immagine a colori che mostra il profilo delle velocità delle onde di Rayleigh come velocità di fase e frequenza. Analizzando tale grafico si ottiene un modello teorico dell'andamento delle  $V_s$  con la profondità fino ad una quota di -30.00 m dal piano di posa delle fondazioni, attraverso la formula:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_i \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Dall'elaborazione dell'indagine sismica MASW eseguita presso il lotto in oggetto, si è ottenuto il valore di  $V_{s30}$  pari a:  **$V_{s,30} = 433$  m/s.**

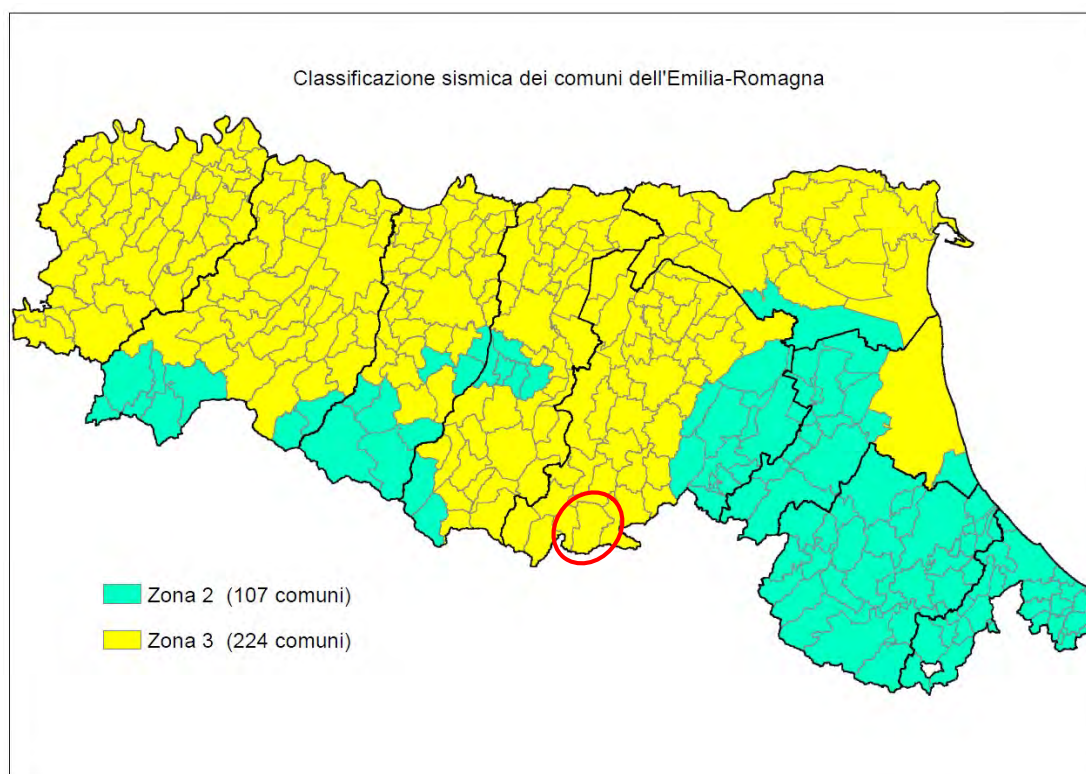
Dall'elaborazione dell'indagine sismica HVSR n.1 eseguita presso il lotto in oggetto, si è ottenuto il valore di  $V_{s30}$  pari a:  $V_{s,30} = 429 \text{ m/s}$ .

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dal NTC 2018, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata come appartenente alla **categoria B**, corrispondente a

**ROCCE TENERE E DEPOSITI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINE MOLTO CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30M, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETA' MECCANICHE CON LA PROFONDITA' DA VALORI DI VS 30 COMPRESI TRA 360 M/S E 800 M/S.**

#### 4.3 AZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA DEL SITO

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il **Comune di Camugnano (BO)** risulta appartenente alla **classe di sismicità 3 (Fig. 4.2)**.



**Fig. 4.2:** Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna (DGR 1164/2018).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere

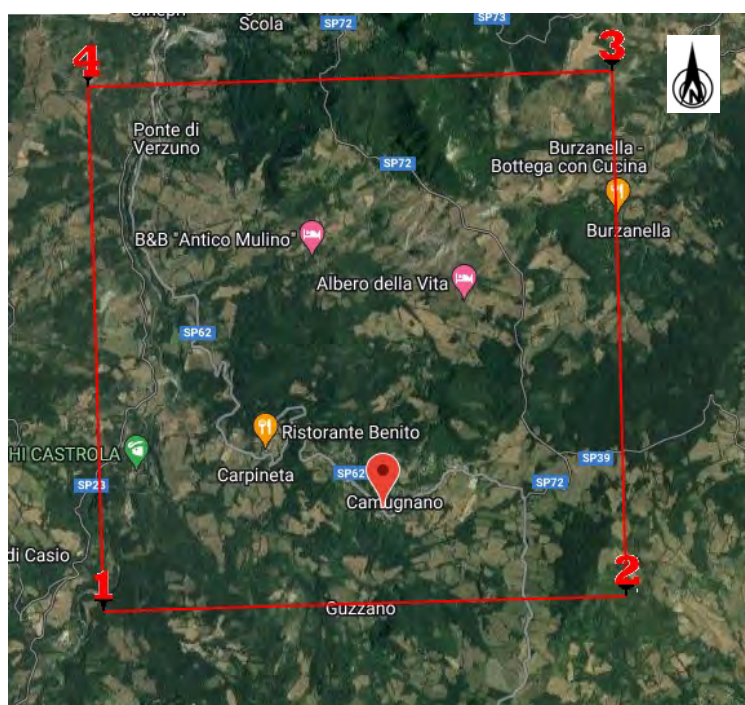
definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.169516°, Longitudine: 11.088775°, in relazione a un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  pari a

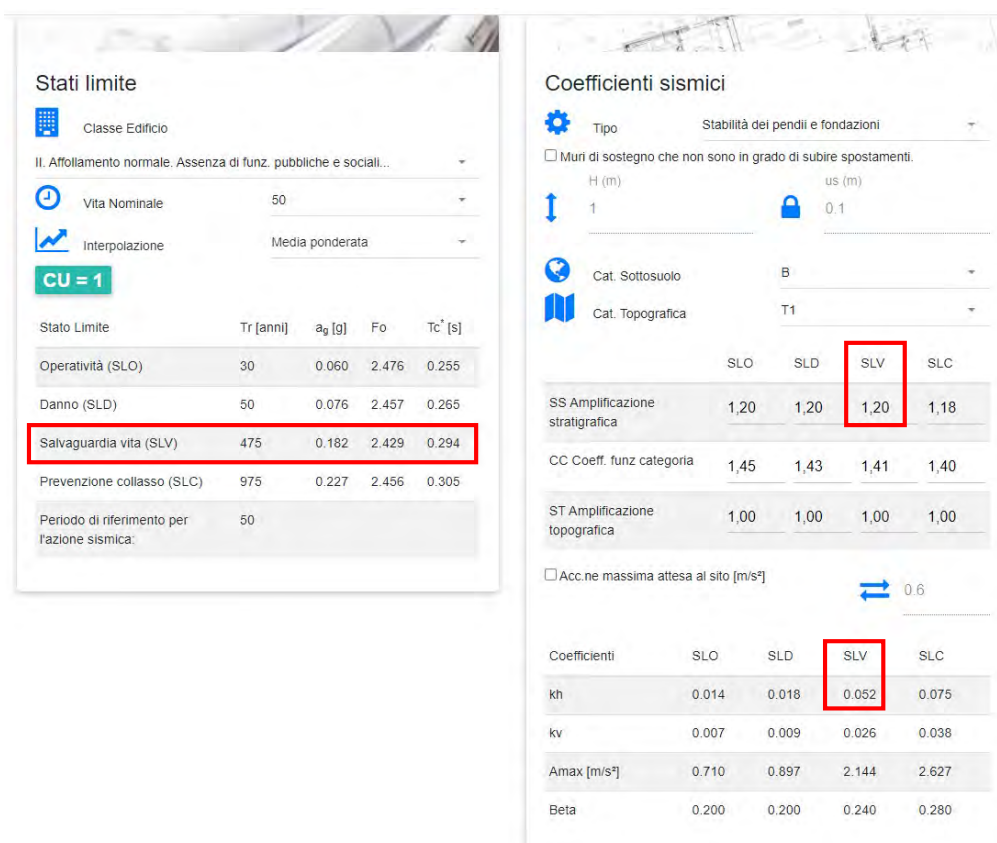
**$a_g$  attesa = 0.182.**

WGS84: Lat 44.168567 - Lng 11.087782

ED50: Lat 44.169516 - Lng 11.088775







**Fig. 4.3** - Parametri sismici caratteristici della maglia di punti riportata in figura, in cui ricade l'area oggetto del presente studio (da [www.geostru.com/us/parametri-sismici/](http://www.geostru.com/us/parametri-sismici/))

L'accelerazione orizzontale di picco attesa  $a_g$  è definita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale. L'accelerazione  $a_g$  rappresenta uno dei parametri principali che definisce la **pericolosità sismica di base**, insieme ai parametri  $F_0$  e  $T_c^*$  dello spettro di risposta elastico, desumibili nelle tabelle riportate sopra.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, determinata la pericolosità sismica di base, occorre valutare gli **effetti di sito** mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica, sulla base di quanto previsto dalle N.N.T.C., si può fare riferimento ad un approccio semplificato che **si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche del sito**, in funzione delle quali si definiscono l'entità dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Sulla base delle NTC 2018, e tenendo conto dei dati ottenuti **dall'indagine geofisica eseguita in sito**, si **classifica** il terreno di fondazione in oggetto, come appartenente alla **categoria B**.

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale  $a_g$  si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di  $a_g$  in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico  $S_s$ , essendo in classe B, si avrà:

$$1.00 \leq S_s = 1.40 - (0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g) \leq 1.20$$

dove:

- $F_o$  = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.429**;
- $a_g/g$  = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **475 anni**/accelerazione di gravità;
- $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione 4.1.1; per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.20**.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si calcola il fattore topografico  $S_T$  dalla seguente tabella:

Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	$S_T$
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	<b>1.0</b>
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	<b>1.2</b>
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	<b>1.2</b>
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	<b>1.4</b>

Per l'area studiata, sita, come suddetto in una zona con pendenza media intorno ai  $12.8^\circ$  e appartenente, quindi alla categoria topografica **T1**, si ottiene un fattore topografico  $S_T$  pari a **1.0**.

In base a tali valori del fattore stratigrafico  $S_s$  e del fattore topografico  $S_T$  si procede al calcolo dell'accelerazione massima orizzontale  $A_{max}$ :

$$A_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.0 \cdot 0.182g = 0.218g$$

#### 4.6 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE – III livello di approfondimento

È stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno studio di **risposta sismica locale**, secondo III livello di approfondimento.

Per ottemperare ai riferimenti normativi citati l'analisi è stata svolta secondo quanto indicato al § 7.11.3 delle NTC 2018, attraverso analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente. Per fare ciò è stato utilizzato come strumento di lavoro il software di calcolo STRATA (University of Texas - Austin).

Ai fini della restituzione degli spettri di accelerazione, relativi allo stato limite SLV, è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo lineare equivalente.

Utilizzando un modello lineare equivalente è possibile ottenere una soluzione di un modello non lineare, attraverso analisi lineari complete nelle quali al termine di ogni interazione vengono aggiornati i parametri di **rigidezza** e **smorzamento** che sono dipendenti dallo stato di deformazione del terreno. Attraverso un'iterazione di calcoli si raggiunge una convergenza prefissata a monte della fase di computazione.

Il software STRATA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, considerando un profilo monodimensionale in cui si propagano linearmente le onde sismiche, in funzione dei parametri dinamici attribuiti al terreno. Il terreno viene schematizzato come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore  $H$ , del modulo di taglio massimo  $G_{\max}$  o dalla corrispondente velocità massima  $V_{\max}$ , dal valore dello smorzamento  $D$ , dal peso dell'unità di volume  $\gamma$  e dalle curve di decadimento del modulo di rigidezza a taglio normalizzato ( $G / G_0 - \gamma$ ) e le corrispondenti curve dello smorzamento ( $D - \gamma$ ) con la deformazione di taglio  $\gamma$ . Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (**G**) e dallo smorzamento (**D**). L'onda monodimensionale viene descritta dall'equazione in cui lo spostamento provocato ( $u$ ) è funzione della profondità ( $z$ ) e del tempo ( $t$ ):

$$u(z, t) = A \exp [i (\omega t + k^* z)] + B \exp [i (\omega t - k^* z)]$$

Nell'equazione appena presentata A e B rappresentano le corrispettive amplificazioni del tetto e della base dello strato considerato. Il fattore  $k^*$  risulta dipendente dal modulo di taglio ( $G$ ), dal grado di smorzamento ( $D$ ) e dalla densità del terreno ( $\rho$ ). Le relazioni sono le seguenti:

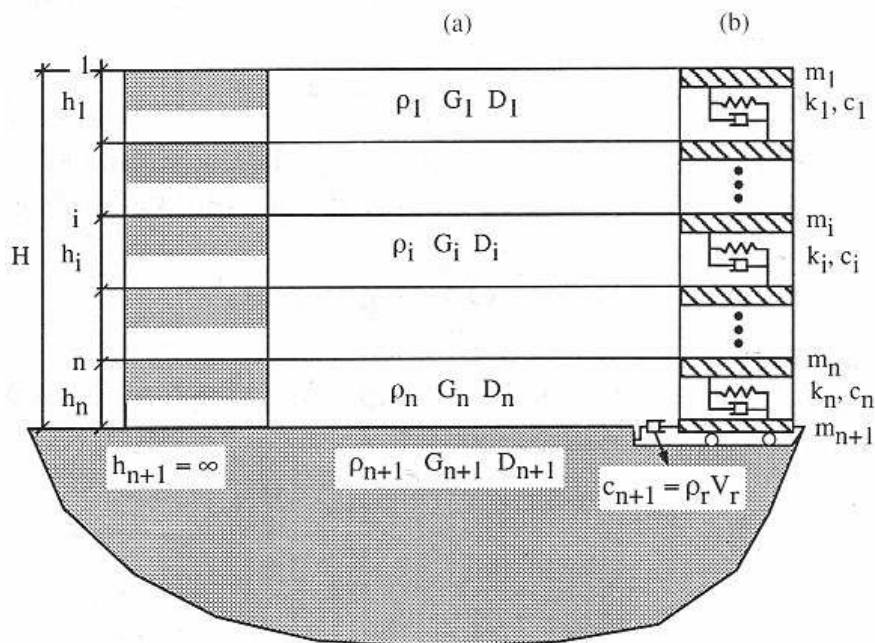
$$k^* = \frac{\omega}{v_s^*}$$

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}}$$

$$G^* = G \left( 1 - 2D^2 + i2D \sqrt{1 - D^2} \right) \approx G(1 + i2D)$$

Dove  $G^*$  e  $v_s^*$  rappresentano il modulo di taglio e la velocità di taglio.





**Fig. 4.4:** Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo STRATA.

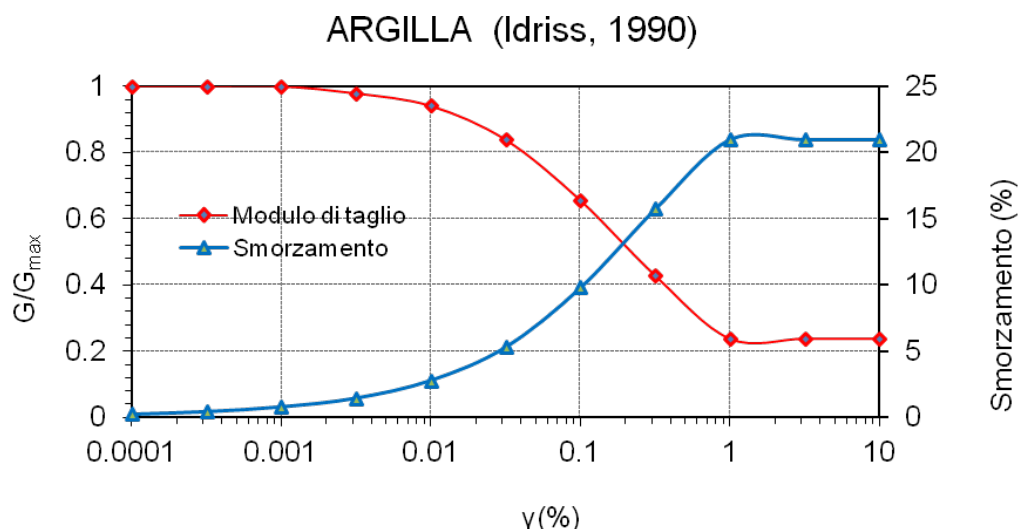
Il modello simulato deriva dai dati ottenuti dalle prove che compongono la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalle indagini geofisiche eseguite e i dati, di natura bibliografica, disponibili per il sito di riferimento.

Il profilo sismico del sottosuolo utilizzato per la modellazione della RSL deriva dall'elaborazione dell'indagine HVSR n.1 eseguita in sito integrata con dati di bibliografia. Si illustra successivamente il modello utilizzato:

Modello geofisico medio			
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.80	1.80	250	0.42
91.80	90.00	450	0.42
inf.	inf.	900	0.42

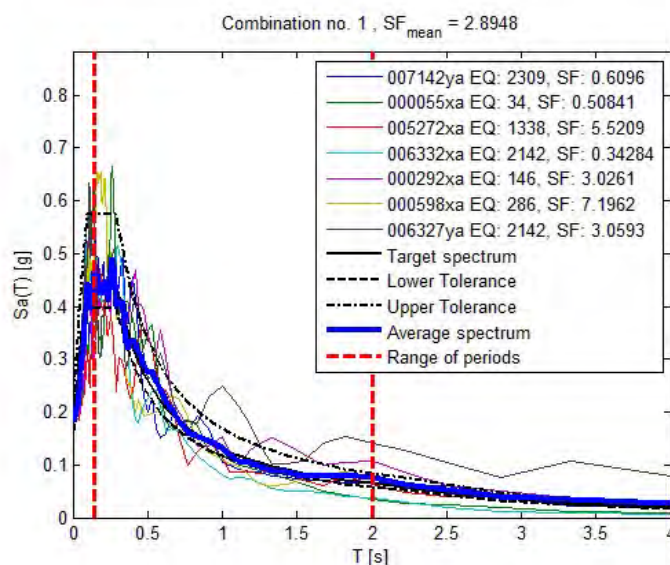
**Modello sismico ricavato dalle indagini sismiche eseguite in sito.**

Per descrivere il comportamento dinamico dei terreni costituenti il modello sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza e smorzamento, al variare della deformazione percentuale  $\gamma(\%)$ . Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:



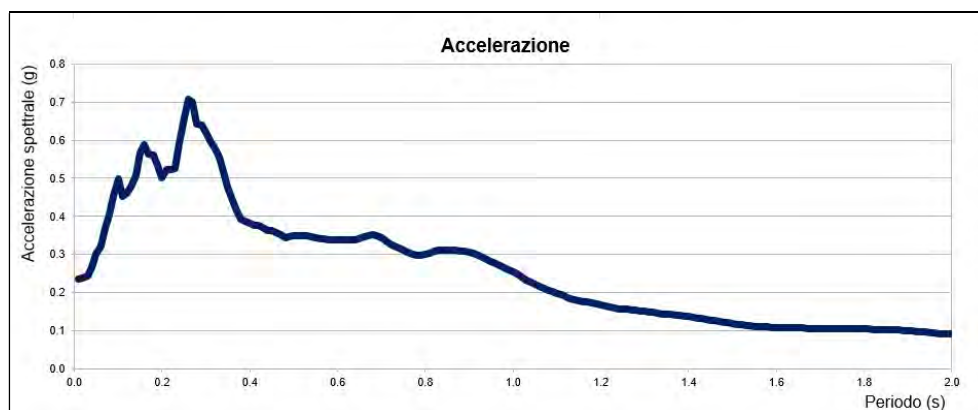
*Curve di decadimento dei moduli  $G/G_{max}$  e  $D$ , utilizzate per descrivere il comportamento dei materiali coesivi e granulari che compongono il sottosuolo in oggetto.*

Trattandosi di una verifica diretta ai fini progettuali, in accordo con quanto esposto nel § 7.3 delle NTC 2018, l'analisi RSL in oggetto è stata svolta adottando come input sismico 7 accelerogrammi, corrispondenti allo stato limite SLV. Gli accelerogrammi reali e misurati, sono stati individuati mediante l'utilizzo del software REXEL v. 3.5 (Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures) realizzato dal Dipartimento di Strutture per l'ingegneria e l'architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Utilizzando le coordinate relative al sito di riferimento, considerando una categoria di sottosuolo A e una classe d'uso pari a III e una vita nominale pari a 50 anni, sono stati definiti n. 7 accelerogrammi per lo stato limite SLV. Gli accelerogrammi sono stati prelevati dal "European Strong-motion Database".

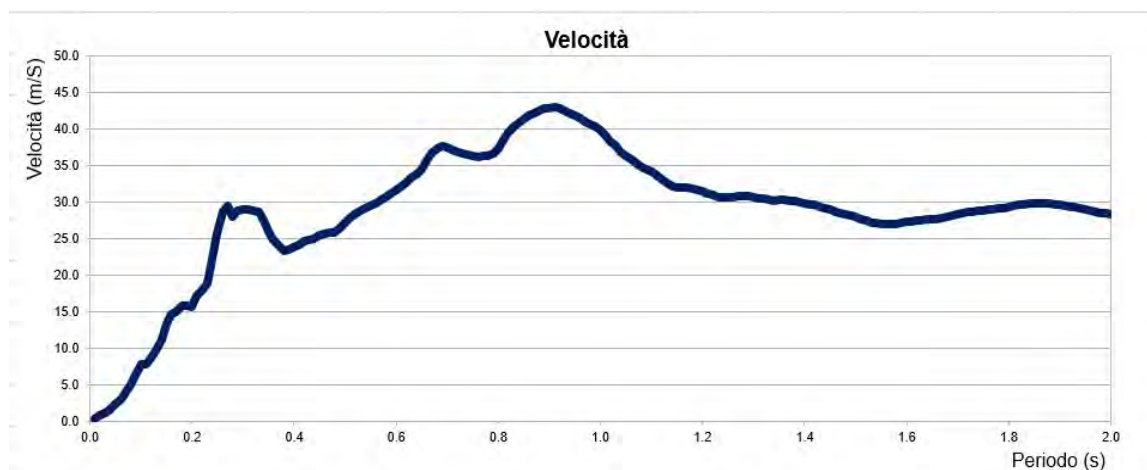


## **RISULTATI OTTENUTI**

Sulla scorta delle verifiche svolte mediante software STRATA, in riferimento al modello considerato, è stato possibile definire i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare equivalente e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il sito in oggetto, attraverso il software STRATA sono state definite le seguenti forme spettrali, in termini accelerazione e velocità alla superficie:

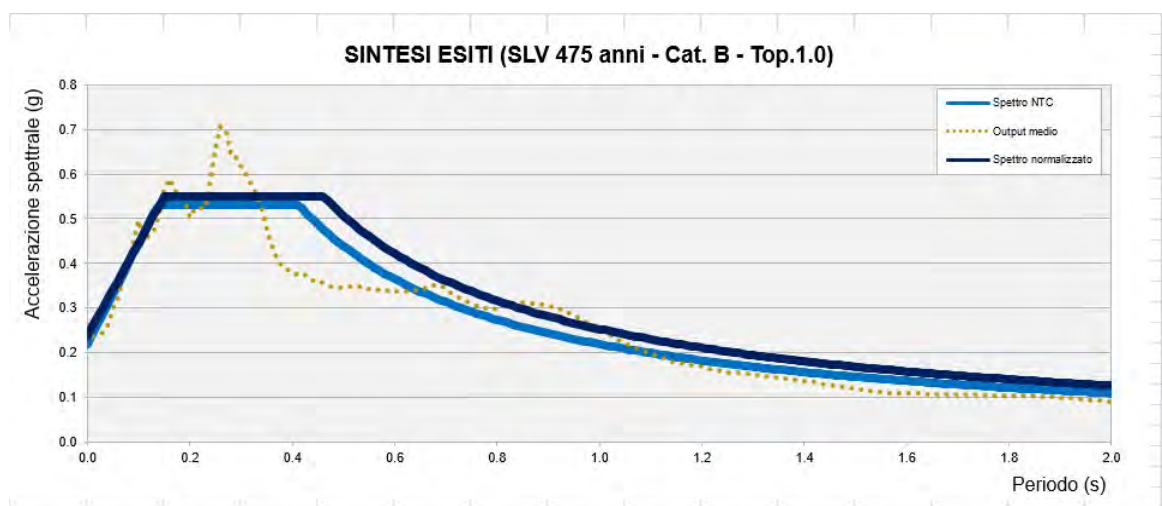


***Accelerazioni spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV)***



***Velocità spettrali relative a un periodo di ritorno pari a 475 anni (SLV).***





***Sintesi esiti RSL e confronto con spettro NTC2018 (SLV) derivato secondo approccio semplificato***

Dai risultati di seguito esposti dell'analisi di risposta sismica locale si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore  **$PGA_{max}=A_{max}=0.238$  g** (per  $T=0$  s), valore che risulta superiore rispetto al valore ottenuto mediante l'utilizzo dell'approccio semplificato dell'NTC 2018, pari a  $A_{max}=0.218$  g, come esposto al paragrafo 4.2 della presente relazione. Si ritiene pertanto più cautelativo considerare, ai fini della progettazione antisismica, il valore ottenuto con lo studio di risposta sismica locale in quanto determina un'azione sismica maggiore.

Per quanto riguarda il calcolo della  $K_h$ , si ottiene (par.7.11.3.5.2 NTC2018):

$$K_h = \beta_s \times a_{max}/g$$

Dove per il sito in esame:

$$B_s = 0,24$$

$$\text{Quindi: } K_h = \beta_s \times a_{max} = 0,24 \times 0,238 = 0,0057$$

Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito, è stato definito lo spettro normalizzato per lo stato limite considerato. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il software STRATA. Lo spettro normalizzato RSL è stato derivato attraverso le indicazioni contenute nell'ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 "Disciplina per la delocalizzazione temporanea delle attività economiche o produttive e dei servizi pubblici danneggiati dal sisma eseguiti e conclusi in data anteriore a quella di entrata in vigore del decreto legge n. 189 del 2016".

Lo spettro RSL, sia nella forma per punti, sia nella forma normalizzata, definito sulla base di 7 simulazioni definisce un'azione sismica superiore rispetto a quanto derivabile secondo approccio semplificato NTC2018 per una categoria di sottosuolo di tipo B. In forza di ciò risulta ragionevole e

cautelativo adottare, ai fini di progettazione, l'azione sismica derivabile dallo studio di risposta sismica locale. Si illustrano successivamente, in forma tabellare, i valori dello spettro RSL normalizzato.

<b>ag (g)</b>	<b>Fo</b>	<b>TB(s)</b>	<b>TC(s)</b>	<b>Amax (0)</b>	<b>Ss</b>
0.182	2.429	0.15	0.46	0.238	1.31

## RSL NORMALIZZATO SLV

T [s]	Ag	0.51	0.496258824	1.03	0.245720388	1.55	0.163285161
0.00	0.23842	0.52	0.486715385	1.04	0.243357692	1.56	0.162238462
0.01	0.259205333	0.53	0.477532075	1.05	0.24104	1.57	0.161205096
0.02	0.279990667	0.54	0.468688889	1.06	0.238766038	1.58	0.16018481
0.03	0.300776	0.55	0.460167273	1.07	0.236534579	1.59	0.159177358
0.04	0.321561333	0.56	0.45195	1.08	0.234344444	1.6	0.1581825
0.05	0.342346667	0.57	0.444021053	1.09	0.232194495	1.61	0.1572
0.06	0.363132	0.58	0.436365517	1.1	0.230083636	1.62	0.15622963
0.07	0.383917333	0.59	0.428969492	1.11	0.228010811	1.63	0.155271166
0.08	0.404702667	0.6	0.42182	1.12	0.225975	1.64	0.15432439
0.09	0.425488	0.61	0.414904918	1.13	0.223975221	1.65	0.153389091
0.1	0.446273333	0.62	0.408212903	1.14	0.222010526	1.66	0.15246506
0.11	0.467058667	0.63	0.401733333	1.15	0.22008	1.67	0.151552096
0.12	0.487844	0.64	0.39545625	1.16	0.218182759	1.68	0.15065
0.13	0.508629333	0.65	0.389372308	1.17	0.216317949	1.69	0.14975858
0.14	0.529414667	0.66	0.383472727	1.18	0.214484746	1.7	0.148877647
0.15	0.5502	0.67	0.377749254	1.19	0.212682353	1.71	0.148007018
0.16	0.5502	0.68	0.372194118	1.2	0.21091	1.72	0.147146512
0.17	0.5502	0.69	0.3668	1.21	0.209166942	1.73	0.146295954
0.18	0.5502	0.7	0.36156	1.22	0.207452459	1.74	0.145455172
0.19	0.5502	0.71	0.356467606	1.23	0.205765854	1.75	0.144624
0.2	0.5502	0.72	0.351516667	1.24	0.204106452	1.76	0.143802273
0.21	0.5502	0.73	0.34670137	1.25	0.2024736	1.77	0.142989831
0.22	0.5502	0.74	0.342016216	1.26	0.200866667	1.78	0.142186517
0.23	0.5502	0.75	0.337456	1.27	0.199285039	1.79	0.141392179
0.24	0.5502	0.76	0.333015789	1.28	0.197728125	1.8	0.140606667
0.25	0.5502	0.77	0.328690909	1.29	0.196195349	1.81	0.139829834
0.26	0.5502	0.78	0.324476923	1.3	0.194686154	1.82	0.139061538
0.27	0.5502	0.79	0.32036962	1.31	0.1932	1.83	0.138301639
0.28	0.5502	0.8	0.316365	1.32	0.191736364	1.84	0.13755
0.29	0.5502	0.81	0.312459259	1.33	0.190294737	1.85	0.136806486
0.3	0.5502	0.82	0.30864878	1.34	0.188874627	1.86	0.136070968
0.31	0.5502	0.83	0.30493012	1.35	0.187475556	1.87	0.135343316
0.32	0.5502	0.84	0.3013	1.36	0.186097059	1.88	0.134623404
0.33	0.5502	0.85	0.297755294	1.37	0.184738686	1.89	0.133911111
0.34	0.5502	0.86	0.294293023	1.38	0.1834	1.9	0.133206316
0.35	0.5502	0.87	0.290910345	1.39	0.182080576	1.91	0.132508901
0.36	0.5502	0.88	0.287604545	1.4	0.18078	1.92	0.13181875
0.37	0.5502	0.89	0.284373034	1.41	0.179497872	1.93	0.131135751
0.38	0.5502	0.9	0.281213333	1.42	0.178233803	1.94	0.130459794
0.39	0.5502	0.91	0.278123077	1.43	0.176987413	1.95	0.129790769
0.4	0.5502	0.92	0.2751	1.44	0.175758333	1.96	0.129128571
0.41	0.5502	0.93	0.272141935	1.45	0.174546207	1.97	0.128473096
0.42	0.5502	0.94	0.269246809	1.46	0.173350685	1.98	0.127824242
0.43	0.5502	0.95	0.266412632	1.47	0.172171429	1.99	0.12718191
0.44	0.5502	0.96	0.2636375	1.48	0.171008108	2	0.126546
0.45	0.5502	0.97	0.260919588	1.49	0.169860403		
0.46	0.5502	0.98	0.258257143	1.5	0.168728		
0.47	0.538493617	0.99	0.255648485	1.51	0.167610596		
0.48	0.527275	1	0.253092	1.52	0.166507895		
0.49	0.516514286	1.01	0.250586139	1.53	0.165419608		
0.5	0.506184	1.02	0.248129412	1.54	0.164345455		



---

#### 4.7 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§ 7.11.3.4 NNTC 2018)

---

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i **depositi incoerenti saturi** e dipendono da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Un **terreno incoerente saturo**, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana).

Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Di conseguenza, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggior numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'**ampiezza della vibrazione** e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il **grado di addensamento** del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la **distribuzione**, la **forma delle particelle** e il **grado di uniformità** influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la **storia delle sollecitazioni sismiche**, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di riliquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

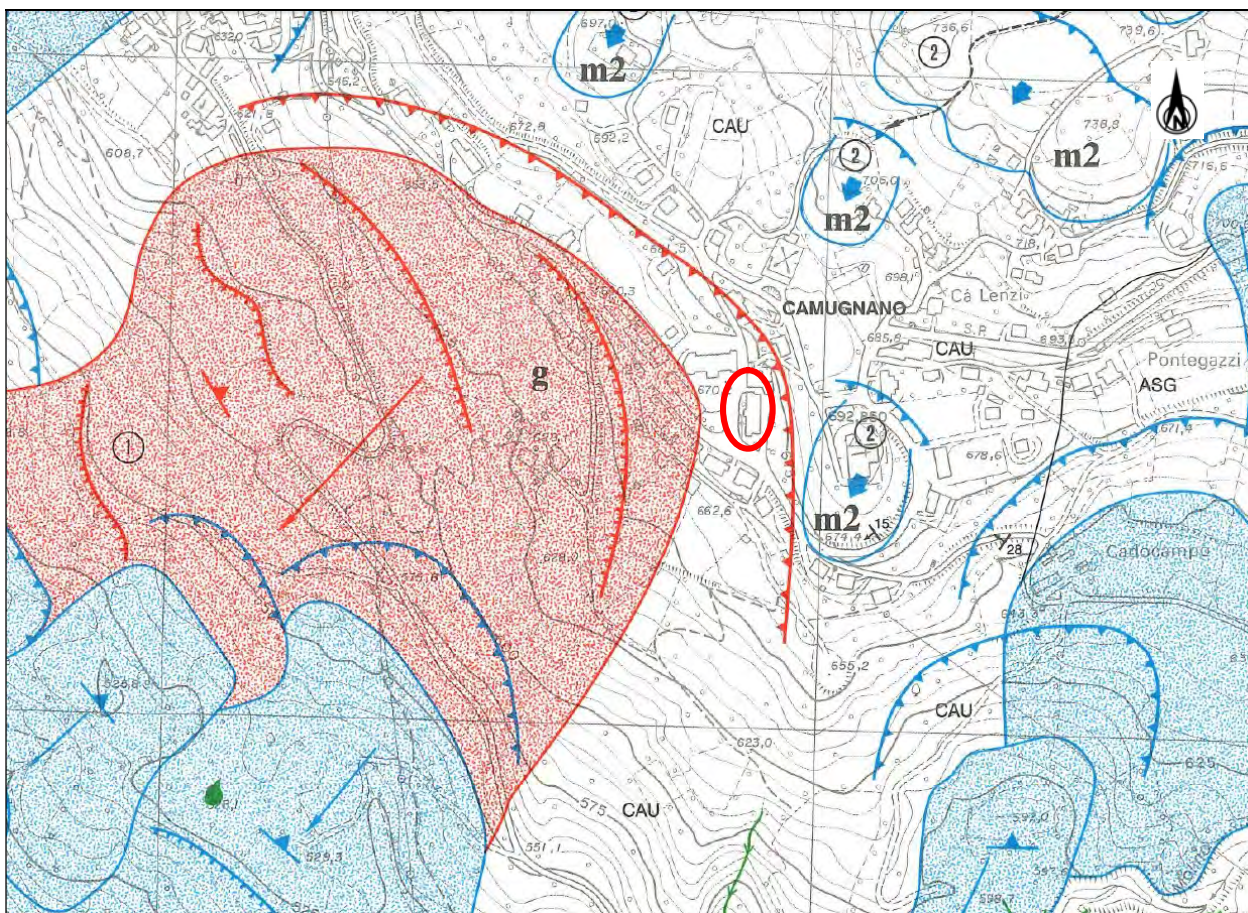
**Poiché dalle indagini eseguite in sito e dalla ricostruzione del modello geologico del sottosuolo, non sono stati individuati livelli incoerenti sabbiosi potenzialmente liquefacibili, non si è ritenuto necessario procedere alla verifica alla liquefazione (§7.11.3.4.2 NTC 2018).**

## 5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base dei dati emersi dal rilievo geologico-geomorfologico di dettaglio, in relazione alla bibliografia geologica esistente dell'area in studio e dai dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche e sismiche eseguite si può affermare che **l'area di interesse si colloca nell'area di perimetrazione dei centri abitati da consolidare o trasferire del PTCP di Bologna (fig. 2.3) in una zona caratterizzata da segnali di dissesto/instabilità.**

Dai documenti riportati nel cap. 2.1, tutta l'area di Camugnano risulta interessata da movimenti del versante quiescenti e in parte attivi, di natura profonda, classificati come **frana per scivolamento in blocco (DGPV)**. Tale fenomeno interessa grandi volumi di roccia ed è caratterizzato da deformazioni molto lente e progressive, spesso senza un piano di scorrimento netto e ben determinabile. Da bibliografia, segnatamente nell'**Atlante dei Centri Abitati Instabili dell'Emilia Romagna (CNR, 1993)** per quanto riguarda il corpo di frana in questione, è segnalata la presenza di blocchi di roccia di grandi dimensioni accatastati all'interno dell'ammasso, con conseguente presenza di cavità tra un blocco e l'altro come testimoniato da diversi sondaggi eseguiti nell'area. Nella figura sottostante (fig. 6.1) e nel cap. 2.1 viene riportato uno stralcio della pubblicazione con la scheda relativa alla Frana di Camugnano. Come visibile in fig. 2.4 e nella figura sottostante, il fabbricato in esame risulta situato nell'area di coronamento della frana di Camugnano.

**Ne consegue che la cavità (tra i 14.50 e i 16.40 m da p.c.) reperita dal sondaggio da noi eseguito in sito, sia da ricondurre a questo tipo di struttura interna del corpo franoso.**





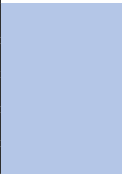
Località		3701001	
<b>CAMUGNANO</b>			
<b>ESTRATTO DELLA SCHEDA DI RILEVAMENTO</b>			
Comune	Camugnano	Causa di instabilità	Frane interne ed esterne all'abitato
Provincia	Bologna	Frana 1	
Abitanti	466	Tipologia	Scorrimento di roccia (g)
Bacino idrografico principale	T. Limentra	Stato del dissesto	Attivo
Bacino idrografico secondario	T. Zetta	Dimensioni	Lung. 1.000 m Largh. max. 1.150 m
Quota m.s.l.m.	700		Area 65,5 ha Largh. min. 500 m
Foglio I.G.M.I.	98 IV SE-98 IV SO-98 III NE-98 III NO	Frana 2	
Sezione C.T.R. 1:10.000	252010-252020	Tipologia	Espansione laterale di roccia (m2)
Abitato dichiarato da consolidare con R.D. N° 1966 del 4/10/1935		Stato del dissesto	Quiescente
		Dimensioni	Lung. - m Largh. max. - m
			Area - ha Largh. min. - m
<b>Popolazione, fabbricati ed infrastrutture coinvolti</b>			
Abitanti	170		
Edifici ad uso residenziale	38		
Edifici ad uso pubblico	3		
Edifici ad uso produttivo	1		
Vie di comunicazione	Strada provinciale e comunale		
<b>Studi e progetti di intervento</b>			
Studio del dissesto	In corso di redazione		
Strumentazione di controllo	Installata		
Progetto generale di sistemazione	In corso di redazione		
Interventi eseguiti	Sistemazioni idrauliche - canalizzazioni		
<b>SINTESI DELLE CONOSCENZE (a cura di C. Elmi e S. Vivan)</b>			
<b>Tipologia del fenomeno</b>			
L'instabilità dell'abitato di Camugnano deriva da una serie di scorrimenti rotazionali (g) che interessano rocce arenaceo-marnose stratificate e da probabili fenomeni di espansione laterale (m).			
<b>Caratteristiche geologiche</b>			
I dissesti occupano un versante in cui si ha il contatto tra una placca con litotipi arenaceo-pelitici e terreni caotici eterogenei a prevalente matrice argillosa e precisamente:			
<b>Formazione di Camugnano (CAU):</b> successione di arenarie grossolane e brecciole, in banchi, di arenarie, marne e calcari marnosi di tipo torbidoitico, di arenarie fini fittamente stratificate e di marne variegate di età Paleocenica. La giacitura disordinata e l'intensa fratturazione sono dovute alla messa in posto della coltre di cui fa parte, insieme con le sottostanti Argille scagliose, la formazione. La stratificazione è a reggipoggio, con inclinazione variabile dai 15° ai 38°; in molti casi non è però possibile stabilire se l'assetto non sia stato modificato dai movimenti di versante.			
<b>Argille scagliose (ASG):</b> terreni prevalentemente argillosi, intensamente caoticizzati, con abbondante materiale lapideo eterogeneo ed eterometrico; non sono visibili in affioramento nell'area di frana, ma solo sul versante opposto e nei sondaggi.			
Il versante, fino al T. Setta che scorre al suo piede, è ricoperto da una cospicua coltre di detriti grossolani con blocchi e massi arenacei di accumulo di frana.			
<b>Caratteristiche geomorfologiche</b>			
A causa dei ripetuti movimenti, il versante è segnato da rotture di pendenza, contropendenze, da scarpate e corone di frana e da ondulazioni e rilievi irregolari. Al piede del versante l'accumulo di frana ha prodotto una marcata deviazione del corso d'acqua. Tra quota 600 m e 750 m il versante ha la forma di un largo impluvio; questo assetto favorisce la concentrazione delle acque superficiali.			
<b>Descrizione del fenomeno</b>			
Il movimento ha preso origine in prossimità del contatto tra due unità a differenti caratteristiche geoidrologiche e cioè rocce a elevata permeabilità per fratturazione appoggianti su un substrato impermeabile di tipo argilloso. La concentrazione di acque unita alla elevata fratturazione dell'ammasso roccioso, ha prodotto degli scorrimenti di tipo rotazionale, dei quali sono conservate ampie corone di frana nella parte alta del versante. Gli accumuli sono stati interessati da altri scorrimenti che hanno prodotto la caratteristica morfologica a scarpate e a ripiani in leggera contropendenza. A monte della corona di frana, le rocce hanno subito successivi movimenti di tipo espansione laterale. L'accumulo di frana ha lunghezza di 1.000 m, larghezza oltre 1.250 m e una superficie complessiva di oltre 600.000 mq. Il pendio ha inclinazione massima di 15° e la superficie di scivolamento ipotizzata, cui si raccordano numerose superfici di rottura secondarie, ha inclinazione non superiore ai 13-14°.			
Ove il substrato argilloso compare già a 10 m dal piano campagna, si ritrova un piano di scivolamento a -19 m, mentre in altri casi la coltre detritica scivola sulle argille a profondità variabili tra -15 m e -23 m, ma sono riconoscibili superfici di taglio anche a profondità minori (-12 m). Si tratta quindi di movimenti assai lenti, che si riattivano in tempi e luoghi diversi sull'intero versante. I primi dissesti sono anteriori agli anni '30. Misure inclinometriche recenti (gennaio '84 - giugno '85), danno spostamenti dell'ordine del cm/anno, concentrati nel periodo invernale.			
La falda è a profondità variabile dai 13 ai 19 m dal piano campagna, praticamente coincidente con il contatto tra accumulo detritico e Argille scagliose. Le acque vengono a giorno in due sorgenti poste in corrispondenza dell'unghia di frana e di una scarpata secondaria.			
I sondaggi hanno incontrato nell'accumulo numerose cavità tra i blocchi accatastati, delle dimensioni del metro o superiori: tali vuoti aumentano considerevolmente la permeabilità dell'ammasso e favoriscono fenomeni di dilavamento e di assestamento.			
<b>Effetti del fenomeno</b>			
La parte di abitato direttamente interessata dalle frane lamenta lesioni a circa metà degli edifici coinvolti, nonché rotture e perdite lungo la rete fognaria. Particolarmente evidenti le crepaccature sull'edificio del municipio: le fenditure sulla porzione di valle dell'edificio non trovano riscontro nell'area circostante, per cui c'è da supporre anche un cedimento locale dei terreni di fondazione, forse in relazione a un assestamento dei materiali di frana.			
<b>Interventi di sistemazione</b>			
L'intubamento del tratto del Fosso del Prete nella parte centrale dell'abitato ed il rivestimento con canalite in c.a. e lamiera del restante tratto, limitano le infiltrazioni d'acqua. Con le stesse finalità si sono eseguite periodiche prove di tenuta del tratto intubato del fosso e della rete fognaria. Altri interventi sono stati la messa in opera di briglie lungo il Rio Zetta al piede del versante, per limitare l'erosione e lo scalzamento dell'unghia di frana. Gli interventi attualmente proponibili sono quelli di una capillare regimazione delle acque superficiali e degli scarichi urbani, e la captazione e la deviazione fuori dell'area di frana delle acque del tratto alto del versante.			

Fig. 6.1: Estratto e sintesi - Atlante dei Centri abitati instabili dell'Emilia-Romagna del CNR - Programma Speciale SCAI (1993).

Tra le cause del danneggiamento del fabbricato, oltre ai movimenti profondi sopra menzionati, non si esclude inoltre l'entrata in gioco di fenomeni di **essiccazione** a carico dei materiali coesivi presenti nei primi metri di sottosuolo. Questi fenomeni di essiccazione dovuti alla mancanza di apporti meteorici producono fenomeni di ritiro volumetrico e lineare nei terreni argillosi con conseguente formazione di fenomeni di dissesto e cedimenti nelle strutture in elevazione.

Di seguito si riporta il modello geotecnico ottenuto dalle indagini geognostiche eseguite in sito (par. 3.1).

	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.00 – 3.00 m da p.c.	Falda: - 18.90 m da p.c.	Argilla o argilla limosa a scarsa consistenza	$\gamma$	1800 kg/m <sup>3</sup> ≈ 18.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2100 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{u_k}$	0.50 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_k$	0.10 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 10.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_0$	40.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 4000 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	29°
				$v$	0.40
				$E_s$	70.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 7000 kN/m <sup>2</sup>
2	3.00 – 5.60 m da p.c.		Roccia fratturata (frana per scivolamento in blocco o DGPV)	$\gamma$	2000 kg/m <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2300 kg/m <sup>3</sup> ≈ 23.00 kN/m <sup>3</sup>
				$Dr$	60%
				$\phi_k$	35°
				$v$	0.27
				$E_s$	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50000 kN/m <sup>2</sup>
				$G$	1226 kg/cm <sup>2</sup>
				3	5.60 – 9.80 m da p.c.
$\gamma'$	2100 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.00 kN/m <sup>3</sup>				
$C_{u_k}$	0.60 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 60.0 kN/m <sup>2</sup>				
$C'_k$	0.06 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 6.0 kN/m <sup>2</sup>				
$M_0$	60.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 6000 kN/m <sup>2</sup>				
$\phi_k$	23°				
$v$	0.34				
$E_s$	84.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 8400 kN/m <sup>2</sup>				
4	9.60 – 14.50 m da p.c.		Roccia fratturata (frana per scivolamento in blocco o DGPV)	$\gamma$	2000 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2300 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 23.00 kN/m <sup>3</sup>
				$Dr$	60%
				$\phi_k$	35°
				$v$	0.27
				$E_s$	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50000 kN/m <sup>2</sup>
				$G$	1226 kg/cm <sup>2</sup>
					14.50 – 16.40 m da p.c.
4	16.00 – 17.80 m da p.c.		Roccia fratturata (frana per scivolamento in blocco o DGPV)	$\gamma$	2000 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2300 kg/cm <sup>3</sup> ≈ 23.00 kN/m <sup>3</sup>
				$Dr$	60%
				$\phi_k$	35°

5	17.80 – 20.00 m da p.c.		Peliti compatte	v	0.20
				Es	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50000 kN/m <sup>2</sup>
				G	1226 kg/cm <sup>2</sup>
	γ			1800 kg/m <sup>3</sup> ≈ 18.00 kN/m <sup>3</sup>	
	γ'			2100 kg/m <sup>3</sup> ≈ 21.00 kN/m <sup>3</sup>	
	C <sub>u</sub> <sub>k</sub>			5.00 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 500.0 kN/m <sup>2</sup>	
	C' <sub>k</sub>			0.50 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50.0 kN/m <sup>2</sup>	
	M <sub>0</sub>			500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 500000 kN/m <sup>2</sup>	
	ϕ <sub>k</sub>			25°	
	v			0.20	
	Es			700.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 70000 kN/m <sup>2</sup>	

La **caratterizzazione sismica** del sito è stata condotta sulla base di una indagine sismica di tipo HVSR e un'indagine sismica di tipo MASW eseguite in corrispondenza del sito in studio (§ 4.1.1), che ha permesso di determinare che:

- la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità **V<sub>s30</sub>** ha i seguenti valori:

Indagine MASW	<b>V<sub>s30</sub>=433 m/s</b>
Indagine HVSR	<b>V<sub>s30</sub>=429 m/s</b>

- sulla base delle NNTC 2018, e tenendo conto dell'indagine sismica sopraccitata, si classifica il terreno di fondazione in oggetto come appartenente alla **categoria B**, corrispondente a

**ROCCE TENERE E DEPOSITI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINE MOLTO CONSISTENTI CON SPESSORI SUPERIORI A 30M, CARATTERIZZATI DA UN GRADUALE MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ DA VALORI DI VS 30 COMPRESI TRA 360 M/S E 800 M/S.**

Inoltre, secondo quanto indicato dalle N.T.C., per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera. Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (**Sistema di riferimento ED50**): Latitudine: 44.169516°, Longitudine: 11.088775°, in relazione a



un periodo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  pari a  $a_{g \text{ attesa}} = 0.182$ .

Tale valore si riferisce al bedrock; dopo gli opportuni calcoli, si ottiene il seguente valore  $A_{\max} = 0.218 \text{ g}$ . Tuttavia dallo studio di RSL si è ottenuto il valore di  $A_{\max} = 0.238 \text{ g}$ .

Poiché dalle indagini eseguite in sito e dalla ricostruzione del modello geologico del sottosuolo, non sono stati individuati livelli incoerenti sabbiosi potenzialmente liquefacibili, non si è ritenuto necessario procedere alla verifica alla liquefazione (§7.11.3.4.2 NTC 2018).

In relazione ai risultati emersi dall'indagine geotecnica e sismica si conclude che ai fini di consolidare l'edificio di interesse si potrebbero utilizzare dei micropali valvolati e iniettati in modo da aumentare il diametro nominale della perforazione e di conseguenza l'attrito laterale. Si ricorda infine che i vuoti rilevati nel corso del carotaggio continuo da 14.50 m a 16.40 m da p.c., potrebbero, in altre posizioni del fabbricato, essere presenti a quote differenti e che nel caso di un movimento in massa dell'intero versante la soluzione su micropali potrebbe essere non risolutiva.

A disposizione per ulteriori chiarimenti cogliamo l'occasione per porgere distinti saluti.

Modena, 07 Giugno 2022

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



## **GEO GROUP s.r.l.**

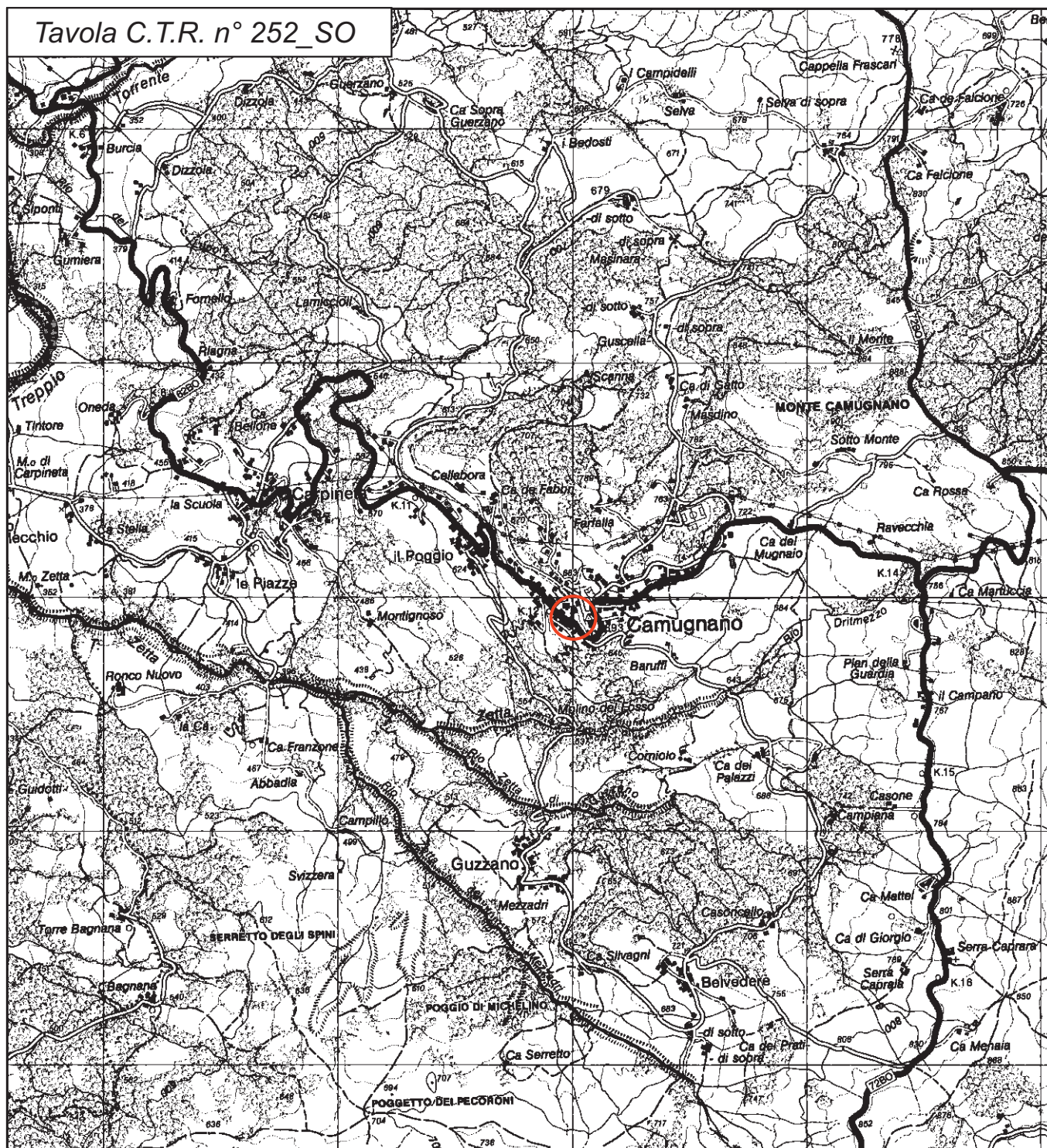
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

### ***Tavole***

## GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it

Tavola C.T.R. n° 252\_SO



Tav. n. 1 "Carta corografica"

Scala 1: 25000



Legenda



Area di interesse



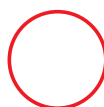
**Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche**  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: info@geogroupmodena.it

Sezione C.T.R. n. 252020

This is a detailed topographic map of a region in Italy, specifically the area around Camugnano. The map features contour lines indicating elevation, with labels such as 500, 550, 600, 650, 700, 750, and 800. Several towns and villages are labeled, including Camugnano, Molino del Fosso, Guzzano, Mezzadri, Marone, Baruffi, Ponteguzzi, Cadocampo, Baruffi, Terzio, Corniole, Boschi, Palazzi, Ca del Palazzi, Campiana, Casone, and Campiano. A red circle highlights a specific building in Camugnano. The map also shows various roads, rivers, and smaller landmarks like 'Ca de Fabbr', 'Farfalla', 'Mabellina', 'Serbatolo', 'Drimozzo', 'Cassio', and 'Campiano'. The map is titled 'Sezione C.T.R. n. 252020' in the top left corner.



Scala 1: 10000



## Area di interesse

## GEO GROUP s.r.l.

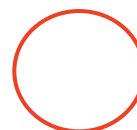
Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



### Tav. n. 3 “Ripresa fotografica aerea” (tratta da Google Maps) Scala grafica

#### *Legenda*

Area di interesse

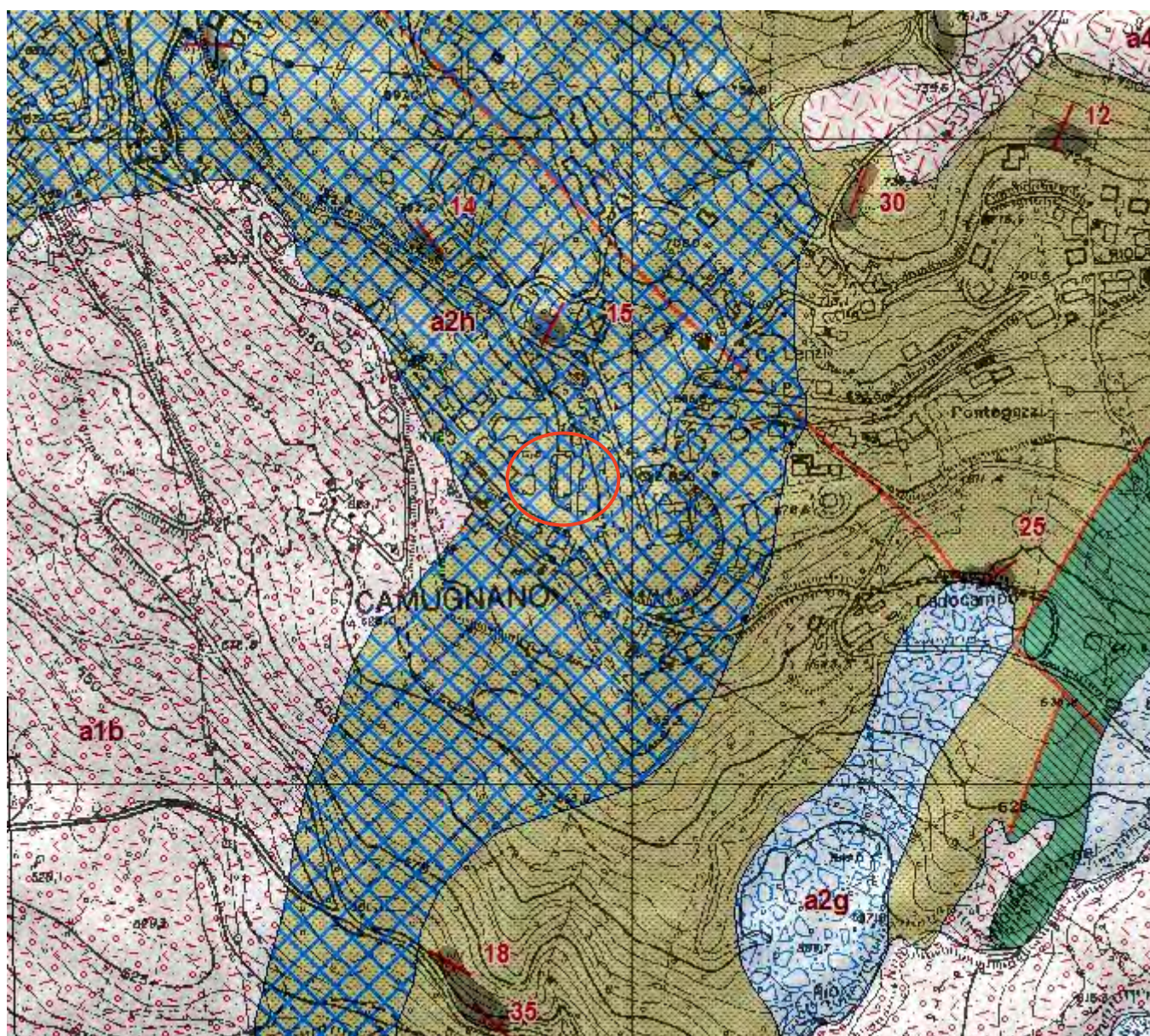




## GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



Tav. n. 4 "Carta geologica"  
Scala 1 : 5.000

### Legenda



Area di interesse



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento



a2g - Deposito di frana quiescente complessa



a2h - Deposito di frana quiescente in blocco o DGPV



a4 - Deposito eluvio-colluviale



CAU - Formazione di Camugnano



APAa - Argille a palombini - litozona argillitica



stratificazione dritta



stratificazione orizzontale



faglia certa



Affioramenti

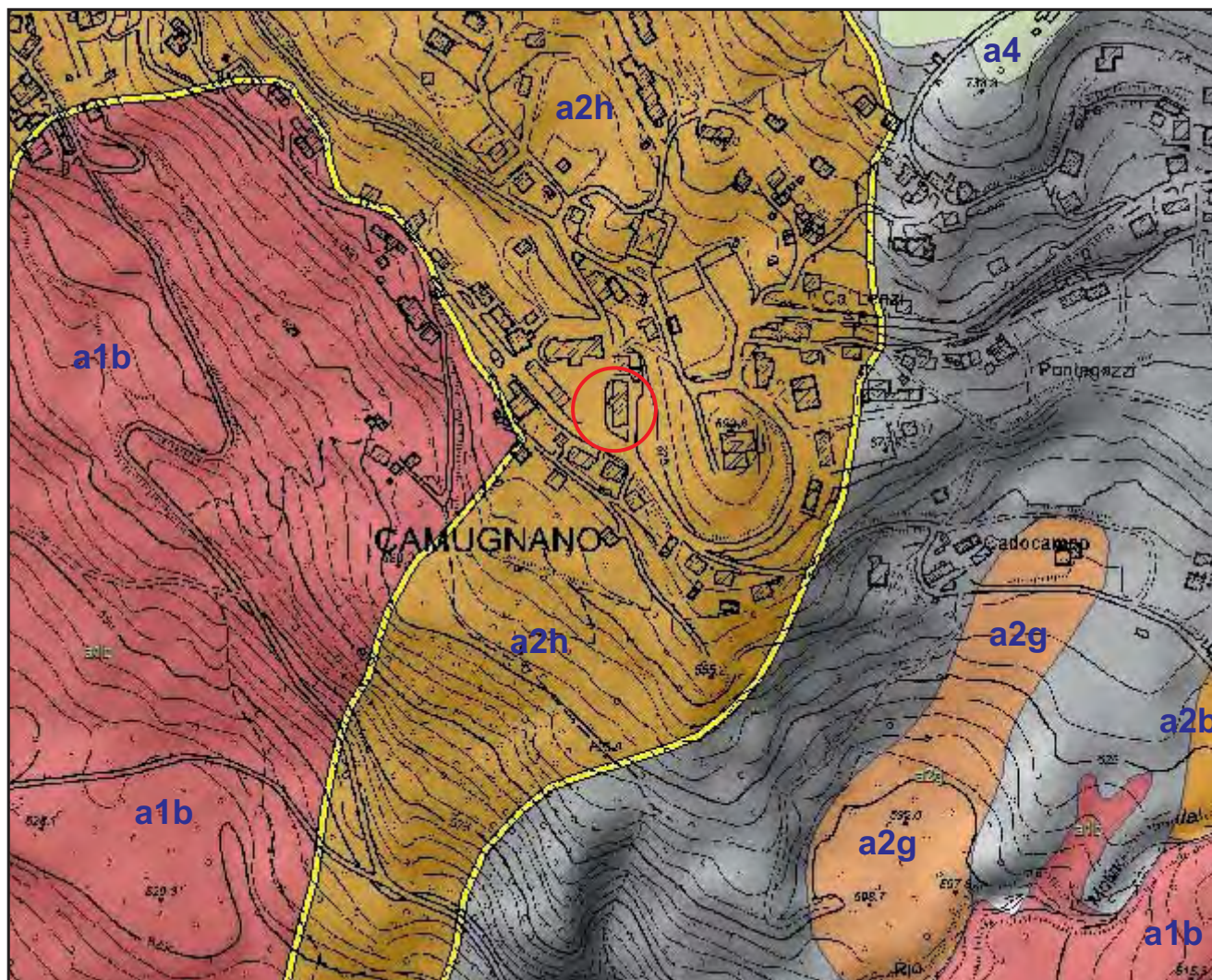
Tratta da: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it>



## GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: info@geogroupmodena.it



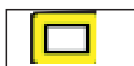
### Tav. n. 5 "Carta del dissesto"

Scala 1:5000

#### Legenda



Area di interesse



Frane storicamente documentate



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento



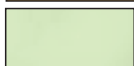
a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento



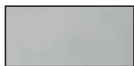
a2g - Deposito di frana quiescente complessa



a2h - Deposito di frana quiescente in blocco o DGPV



a4 - Deposito eluvio-colluviale



Aree prive di fenomeni di dissesto cartografati

Estratto da: Cartografia del dissesto della regione Emilia Romagna  
Da: <https://geo.regione.emilia-romagna.it/>



## GEO GROUP s.r.l.





Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



### Tav. n. 6 “Ubicazioni delle indagini geognostiche” (tratta da Google Maps)

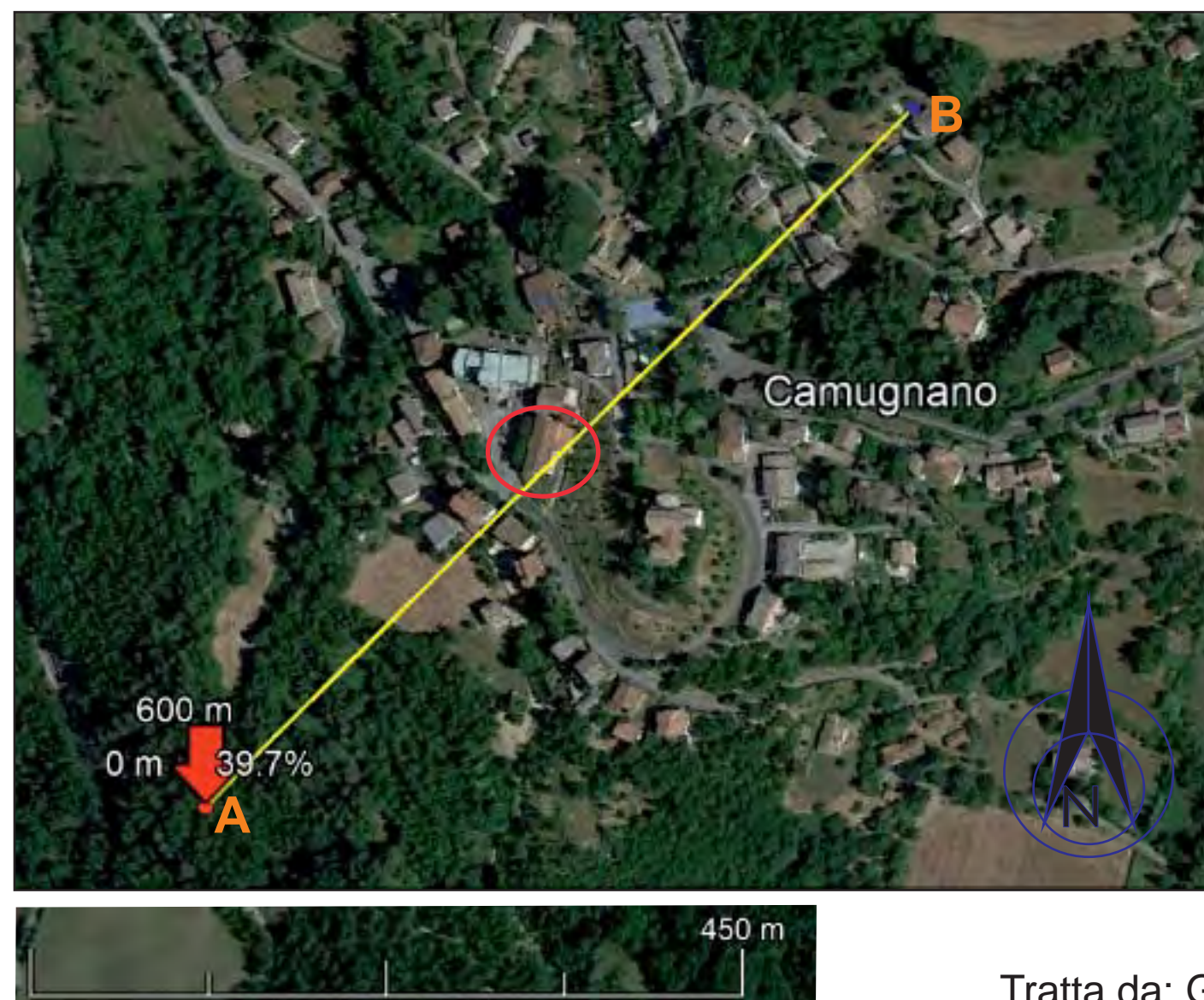
#### Scala grafica

#### Legenda

-  Prove penetrometriche dinamiche DPSH
-  Sondaggio a carotaggio continuo
-  Indagine sismica MASW
-  Indagine sismica HVSR







Pendenza del versante = 21% = 12° circa

○ Area in oggetto

**GEO GROUP S.p.A.** P.IVA 02981500362  
Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena  
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnova R. (MO)  
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5960176  
info@geogroupmodena.it - www.geogroupmodena.it

CERTIFICAZIONE DI SISTEMA QUALITÀ  
DNV-GL  
ISO 9001  
AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE  
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV  
UNI EN ISO 9001:2008

Tav. n. 7  
“Sezione morfometrica  
A-B”  
Scala grafica

Tratta da: Google Earth



GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

## ***ALLEGATO N° 1***

***Prove penetrometriche dinamiche SPT e  
dinamiche DPSH corredate di  
interpretazione geotecnica***

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Camugnano Descrizione: Studio terreno di fondazione Località: Camugnano (BO), ex scuola Fabi	
---	--

## Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PROVE SPT IN FORO

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.76 m
Peso sistema di battuta	4.2 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 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
Rivestimento/fanghi	No

Signature 1

Signature 2

## **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  $\delta$ ) 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  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- 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:

<b>Tipo</b>	<b>Sigla di riferimento</b>	<b>peso della massa M</b> (kg)	<b>prof. max indagine battente</b> (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.
$\delta$	passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

- R<sub>pd</sub>      resistenza dinamica punta (area A).  
e            infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).  
M           peso massa battente (altezza caduta H).  
P            peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>

(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

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

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

- ER/60      rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.  
C<sub>s</sub>            parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).  
C<sub>d</sub>            funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).  
C<sub>r</sub>            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 immersione  $d = 1$  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  $< 38^\circ$ .



- 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  $D_r$  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  $D_r$  % 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  $D_r$  % 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  $\tau$  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 , (Cu-Nspt-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  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buissmann- 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...  
Prova eseguita in data  
Falda non rilevata

PROVE SPT IN FORO  
23/05/2022

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Minimo

Profondità (m)	Nr. Colpi
4.25	26
4.40	12
4.55	30

# STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

## TERRENI INCOERENTI

### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	42	4.55	64.16	100	100	73.95

### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanes e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	42	4.55	42	39	32	39.76	32.28	41.73	42	35-38	40.1	39.6	49.47	43.98

### Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	42	4.55	42	462.59	336.00	496.30	495.00	285.00

### Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	42	4.55	42	252.00	113.73	298.20	225.32

### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	42	4.55	42	Classificazione A.G.I.	ADDENSATO

### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	42	4.55	42	Terzaghi-Peck 1948	2.30

### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	42	4.55	42	Terzaghi-Peck 1948	2.50

### Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	42	4.55	42	(A.G.I.)	0.27

### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	42	4.55	42	2181.56	1226.63



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Falda non rilevata

PROVE SPT IN FORO  
 23/05/2022

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Minimo

Profondità (m)	Nr. Colpi
9.15	5
9.30	4
9.45	2

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Strato	6	9.45	0.38	0.75	0.25	0.24	0.59	0.00	0.54	0.88	0.30	0.00	0.75

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Strato	6	9.45	Robertson (1983)	12.00

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Strato	6	9.45	27.53	--	62.99	75.00

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Strato	6	9.45	48.60	60.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Strato	6	9.45	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Strato	6	9.45	Meyerhof	1.81

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Strato	6	9.45	Meyerhof	2.10

## TERRENI INCOERENTI

### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Strato	6	9.45	17.22	41.25	41.99	23.45

### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thorn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Strato	6	9.45	6	28.71	21.71	29.68	28.24	32.09	0	<30	24.49	28.8	31.39	25.95

### Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Strato	6	9.45	6	---	48.00	---	---	---

### Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Strato	6	9.45	6	---	39.79	42.60	64.76

### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	6	9.45	6	Classificazione A.G.I.	POCO ADDENSATO

### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] - Strato	6	9.45	6	Terzaghi-Peck 1948	1.80

### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] - Strato	6	9.45	6	Terzaghi-Peck 1948	2.10

### Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Strato	6	9.45	6	(A.G.I.)	0.34

### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Strato	6	9.45	6	350.25	373.56

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Camugnano Descrizione: Studio terreno di fondazione Località: Camugnano (BO), Ex scuola Fabi	
---	--

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.504
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  $\delta$ ) 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  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- 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:

<b>Tipo</b>	<b>Sigla di riferimento</b>	<b>peso della massa M</b> (kg)	<b>prof. max indagine battente</b> (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.
$\delta$	passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi



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

- R<sub>pd</sub>      resistenza dinamica punta (area A).  
e            infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).  
M           peso massa battente (altezza caduta H).  
P           peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>

(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

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

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

- ER/60      rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.  
C<sub>s</sub>           parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).  
C<sub>d</sub>           funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).  
C<sub>r</sub>           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 immersione  $d = 1$  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  $< 38^\circ$ .

- 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  $D_r$  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  $D_r$  % 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  $D_r$  % 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  $\tau$  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 , (Cu-Nspt-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/cm<sup>2</sup>)-, 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...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 19/05/2022

Profondità prova 3.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	9	0.855	74.75	87.46	3.74	4.37
0.40	6	0.851	49.61	58.31	2.48	2.92
0.60	15	0.797	116.18	145.77	5.81	7.29
0.80	6	0.843	49.17	58.31	2.46	2.92
1.00	7	0.840	52.84	62.93	2.64	3.15
1.20	8	0.836	60.14	71.92	3.01	3.60
1.40	2	0.833	14.97	17.98	0.75	0.90
1.60	3	0.830	22.37	26.97	1.12	1.35
1.80	7	0.826	52.00	62.93	2.60	3.15
2.00	8	0.823	55.08	66.91	2.75	3.35
2.20	10	0.820	68.59	83.63	3.43	4.18
2.40	3	0.817	20.50	25.09	1.03	1.25
2.60	6	0.814	40.86	50.18	2.04	2.51
2.80	20	0.761	127.36	167.27	6.37	8.36
3.00	50	0.609	237.95	390.92	11.90	19.55

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.2	8.5	80.78	Coesivo	0	2.03	2.23	0.12	1.5	12.78	Limo
1.6	2.5	22.47	Coesivo	0	1.68	1.87	0.28	1.5	3.76	Argilla
2.2	8.33	71.16	Coesivo	0	2.03	2.23	0.37	1.5	12.53	Limo
2.6	4.5	37.64	Coesivo	0	1.85	1.89	0.47	1.5	6.77	Argilla-limosa
3	35	279.1	Incoerente	0	2.25	2.15	0.55	1.5	52.64	Substrato arenaceo-pelitico

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

##### TERRENI COESIVI

##### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Limo	12.78	1.20	0.86	1.60	0.50	0.51	1.26	2.42	1.12	1.43	0.64	2.11	1.60
[2] - Argilla	3.76	1.60	0.24	0.47	0.15	0.15	0.37	0.67	0.34	0.71	0.19	0.48	0.47
[3] -	12.53	2.20	0.85	1.57	0.50	0.50	1.23	2.14	1.10	1.41	0.63	1.92	1.57

Limo													
[4] - Argilla-limosa	6.77	2.60	0.42	0.85	0.25	0.27	0.66	1.13	0.61	0.94	0.34	0.87	0.85

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Limo	12.78	1.20	Robertson (1983)	25.56
[2] - Argilla	3.76	1.60	Robertson (1983)	7.52
[3] - Limo	12.53	2.20	Robertson (1983)	25.06
[4] - Argilla-limosa	6.77	2.60	Robertson (1983)	13.54

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Limo	12.78	1.20	58.64	--	132.14	127.80
[2] - Argilla	3.76	1.60	17.25	56.40	40.14	47.00
[3] - Limo	12.53	2.20	57.49	--	129.59	125.30
[4] - Argilla-limosa	6.77	2.60	31.06	--	70.84	84.63

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Limo	12.78	1.20	126.57	127.80
[2] - Argilla	3.76	1.60	22.84	37.60
[3] - Limo	12.53	2.20	123.70	125.30
[4] - Argilla-limosa	6.77	2.60	57.46	67.70

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Limo	12.78	1.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] - Argilla	3.76	1.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[3] - Limo	12.53	2.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[4] - Argilla-limosa	6.77	2.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Limo	12.78	1.20	Meyerhof	2.03
[2] - Argilla	3.76	1.60	Meyerhof	1.68
[3] - Limo	12.53	2.20	Meyerhof	2.03
[4] - Argilla-limosa	6.77	2.60	Meyerhof	1.85

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Limo	12.78	1.20	Meyerhof	2.23
[2] - Argilla	3.76	1.60	Meyerhof	1.87
[3] - Limo	12.53	2.20	Meyerhof	2.23
[4] - Argilla-limosa	6.77	2.60	Meyerhof	1.89

#### Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Limo	12.78	1.20		0
[2] - Argilla	3.76	1.60		0
[3] - Limo	12.53	2.20		0
[4] - Argilla-limosa	6.77	2.60		0

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	70.92	100	100	82.65

#### Angolo di resistenza al taglio



	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerh of 1956	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerh of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanes e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	42.04	35.04	42.74	32.71	42.6	42	>38	43.1	42.79	51.51	47.45

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	517.88	421.12	621.85	574.80	338.20

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	315.84	135.59	373.74	272.77

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	Classificazione A.G.I.	MOLTO ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	Terzaghi-Peck 1948	1.87

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	Terzaghi-Peck 1948	2.16

#### Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	(A.G.I.)	0.25

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	2697.43	1408.10

**Velocità onde di taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	Ohta & Goto (1978) Limi	165.66

**Liquefazione**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_{H/P0}$** 

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	$K_0$
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[5] - Substrato arenaceo-pelitico	52.64	3.00	52.64		---

**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

19/05/2022

Profondità prova

2.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	13	0.805	101.65	126.33	5.08	6.32
0.40	4	0.851	33.07	38.87	1.65	1.94
0.60	3	0.847	24.69	29.15	1.23	1.46
0.80	3	0.843	24.59	29.15	1.23	1.46
1.00	6	0.840	45.30	53.94	2.26	2.70
1.20	7	0.836	52.63	62.93	2.63	3.15
1.40	3	0.833	22.46	26.97	1.12	1.35
1.60	8	0.830	59.66	71.92	2.98	3.60
1.80	12	0.826	89.14	107.88	4.46	5.39
2.00	50	0.623	260.60	418.17	13.03	20.91

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.2	13	126.33	Coesivo	0	2.1	2.31	0.02	1.5	19.55	Materiali di riporto
1.8	5.75	52.6	Coesivo	0	1.92	2.11	0.2	1.5	8.65	Limo Argilloso
2	50	418.17	Incoerente	0	2.5	2.2	0.37	1.5	75.2	Substrato arenaceo-pelitico

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Materiali di riporto	19.55	0.20	1.32	2.44	1.00	0.76	1.93	3.79	1.66	2.04	0.98	3.46	2.44
[2] - Limo Argilloso	8.65	1.80	0.58	1.08	0.50	0.35	0.85	1.58	0.77	1.09	0.43	1.30	1.08

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Materiali di riporto	19.55	0.20	Robertson (1983)	39.10
[2] - Limo Argilloso	8.65	1.80	Robertson (1983)	17.30

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Materiali di riporto	19.55	0.20	89.70	--	201.19	195.50
[2] - Limo Argilloso	8.65	1.80	39.69	--	90.02	108.13

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Materiali di riporto	19.55	0.20	204.43	195.50
[2] - Limo Argilloso	8.65	1.80	79.08	86.50

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Materiali di riporto	19.55	0.20	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[2] - Limo Argilloso	8.65	1.80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Materiali di riporto	19.55	0.20	Meyerhof	2.10
[2] - Limo Argilloso	8.65	1.80	Meyerhof	1.92

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Materiali di riporto	19.55	0.20	Meyerhof	2.31
[2] - Limo Argilloso	8.65	1.80	Meyerhof	2.11

#### Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Materiali di riporto	19.55	0.20		0
[2] - Limo Argilloso	8.65	1.80		0

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[3] - Substrato	75.2	2.00	86.21	100	100	100

arenaceo-pelitico						
-------------------	--	--	--	--	--	--

#### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerh of 1956	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerh of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanesi National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	48.49	41.49	49.06	34.13	41.44	42	>38	48.59	49.56	55.29	53.78

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	618.98	601.60	888.06	744.00	451.00

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	451.20	181.93	533.92	373.39

#### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	Classificazione A.G.I.	MOLTO ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	Terzaghi-Peck 1948	1.96

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	Terzaghi-Peck 1948	2.21

#### Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	(A.G.I.)	0.2

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)



[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	3771.88	1750.97
-----------------------------------	------	------	------	---------	---------

#### Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	Ohta & Goto (1978) Limi	163.5

#### Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2	Seed e Idriss (1971)	--

#### Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / P_0$

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	$K_0$
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2		---

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	75.2	2.00	75.2		---

### PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

19/05/2022

Profondità prova

4.40 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	2	0.855	16.61	19.44	0.83	0.97
0.40	3	0.851	24.80	29.15	1.24	1.46
0.60	7	0.847	57.62	68.02	2.88	3.40
0.80	6	0.843	49.17	58.31	2.46	2.92
1.00	3	0.840	22.65	26.97	1.13	1.35
1.20	3	0.836	22.55	26.97	1.13	1.35
1.40	2	0.833	14.97	17.98	0.75	0.90
1.60	2	0.830	14.92	17.98	0.75	0.90
1.80	3	0.826	22.29	26.97	1.11	1.35
2.00	4	0.823	27.54	33.45	1.38	1.67
2.20	5	0.820	34.29	41.82	1.71	2.09
2.40	7	0.817	47.84	58.54	2.39	2.93
2.60	4	0.814	27.24	33.45	1.36	1.67
2.80	28	0.711	166.60	234.17	8.33	11.71
3.00	25	0.709	138.52	195.46	6.93	9.77
3.20	26	0.706	143.52	203.28	7.18	10.16
3.40	13	0.753	76.58	101.64	3.83	5.08
3.60	34	0.651	173.02	265.83	8.65	13.29
3.80	40	0.598	187.15	312.74	9.36	15.64
4.00	15	0.746	82.14	110.10	4.11	5.51
4.20	30	0.694	152.76	220.21	7.64	11.01
4.40	50	0.591	217.06	367.01	10.85	18.35

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
2.6	3.92	35.31	Coesivo	0	1.81	1.89	0.24	1.5	5.9	Argilla-limosa
4.4	29	223.38	Incoerente - coesivo	0	2.5	2.5	0.7	1.5	43.62	Substrato arenaceo-pelitico

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

#### TERRENI COESIVI

##### Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] - Argilla-limosa	5.9	2.60	0.37	0.74	0.25	0.24	0.58	1.06	0.53	0.88	0.30	0.72	0.74
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	2.94	5.45	0.00	1.56	4.36	6.70	3.32	4.67	2.18	7.00	5.45

##### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Argilla-limosa	5.9	2.60	Robertson (1983)	11.80
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	Robertson (1983)	87.24

##### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Argilla-limosa	5.9	2.60	27.07	88.50	61.97	73.75
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	200.13	--	446.69	436.20

##### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Argilla-limosa	5.9	2.60	47.45	59.00
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	481.23	436.20

##### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Argilla-limosa	5.9	2.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

##### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argilla-limosa	5.9	2.60	Meyerhof	1.81
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	Meyerhof	2.50

##### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
--	------	------------------	--------------	---

[1] - Argilla-limosa	5.9	2.60	Meyerhof	1.89
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	Meyerhof	2.50

#### Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Argilla-limosa	5.9	2.60		0
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40		0

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	62.74	100	100	75.23

##### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	39.46	32.46	40.21	31.9	41.92	42	35-38	40.58	40.09	49.32	44.54

##### Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	471.43	348.96	515.42	507.15	293.10

##### Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	261.72	117.06	309.70	232.55

##### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

##### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	Terzaghi-Peck 1948	1.81

**Peso unità di volume saturo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	Terzaghi-Peck 1948	2.13

**Modulo di Poisson**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	(A.G.I.)	0.27

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	2260.57	1255.33

**Velocità onde di taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	Ohta & Goto (1978) Limi	167.41

**Liquefazione**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[2] - Substrato arenaceo-pelitico	43.62	4.40	43.62		---

**PROVA ... Nr.4**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

19/05/2022

Profondità prova

3.60 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio



Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	20	0.805	156.39	194.36	7.82	9.72
0.40	8	0.851	66.14	77.74	3.31	3.89
0.60	4	0.847	32.92	38.87	1.65	1.94
0.80	3	0.843	24.59	29.15	1.23	1.46
1.00	2	0.840	15.10	17.98	0.75	0.90
1.20	2	0.836	15.04	17.98	0.75	0.90
1.40	2	0.833	14.97	17.98	0.75	0.90
1.60	4	0.830	29.83	35.96	1.49	1.80
1.80	3	0.826	22.29	26.97	1.11	1.35
2.00	4	0.823	27.54	33.45	1.38	1.67
2.20	6	0.820	41.15	50.18	2.06	2.51
2.40	4	0.817	27.34	33.45	1.37	1.67
2.60	6	0.814	40.86	50.18	2.04	2.51
2.80	6	0.811	40.72	50.18	2.04	2.51
3.00	5	0.809	31.61	39.09	1.58	1.95
3.20	9	0.806	56.72	70.37	2.84	3.52
3.40	35	0.653	178.80	273.65	8.94	13.68
3.60	50	0.601	234.90	390.92	11.74	19.55

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.4	14	136.05	Incoerente	0	2.01	1.99	0.04	1.5	21.06	Palladiana
3.2	4.29	36.56	Coesivo	0	1.83	1.89	0.34	1.5	6.45	Argilla-limosa
3.6	42.5	332.29	Incoerente	0	2.32	2.18	0.64	1.5	63.92	Substrato arenaceo-pelitico

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.4

##### TERRENI COESIVI

##### Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[2] - Argilla-limosa	6.45	3.20	0.40	0.81	0.25	0.26	0.63	1.10	0.58	0.92	0.32	0.73	0.81

##### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[2] - Argilla-limosa	6.45	3.20	Robertson (1983)	12.90

##### Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[2] - Argilla-limosa	6.45	3.20	29.59	--	67.58	80.63

##### Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[2] - Argilla-limosa	6.45	3.20	53.78	64.50

##### Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato	Correlazione	Classificazione
--	------	--------------	--------------	-----------------

		(m)		
[2] - Argilla-limosa	6.45	3.20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[2] - Argilla-limosa	6.45	3.20	Meyerhof	1.83

#### Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[2] - Argilla-limosa	6.45	3.20	Meyerhof	1.89

#### Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[2] - Argilla-limosa	6.45	3.20		0

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Palladiana	21.06	0.40	58.55	100	100	52.77
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	74.77	100	100	94.86

#### Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza a falda	Peck- Hanson- Thornb- urn- Meyerh of 1956	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerh of (1965)	Schmert mann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi- Fukuni 1982 (ROAD BRIDG E SPECIF ICATIO N)	Japanes e Nationa l Railway	De Mello	Owasak i & Iwasaki
[1] - Palladia na	21.06	0.40	21.06	33.02	26.02	33.9	36.92	37.38	42	30-32	32.77	33.32	45.45	35.52
[3] - Substrat o arenace o- pelitico	63.92	3.60	63.92	45.26	38.26	45.9	32.71	42.53	42	>38	45.96	46.18	52.87	50.75

#### Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze- Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	327.57	168.48	249.21	337.95	180.30
[3] - Substrato arenaceo- pelitico	63.92	3.60	63.92	570.67	511.36	754.96	659.40	394.60

#### Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman- Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	126.36	70.72	149.53	131.93
[3] - Substrato arenaceo- pelitico	63.92	3.60	63.92	383.52	158.76	453.83	323.08

**Classificazione AGI**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	Terzaghi-Peck 1948	1.61
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92	Terzaghi-Peck 1948	1.92

**Peso unità di volume saturo**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	Terzaghi-Peck 1948	2.00
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92	Terzaghi-Peck 1948	2.19

**Modulo di Poisson**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	(A.G.I.)	0.31
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92	(A.G.I.)	0.22

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	1140.16	804.53
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92	3237.52	1585.46

**Velocità onde di taglio**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	Ohta & Goto (1978) Limi	84.95
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92	Ohta & Goto (1978) Limi	177.86

**Liquefazione**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06		---
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato	Nspt corretto per	Correlazione	Qc
--	------	--------------	-------------------	--------------	----

		(m)	presenza falda		(Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Palladiana	21.06	0.40	21.06		---
[3] - Substrato arenaceo-pelitico	63.92	3.60	63.92		---



## **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

**ALLEGATO N°&**

***GcbXU [ ]c 'UWUfcHU [ ]c 'Wcbh]bi c***

Committente: Comune di Camugnano	Sondaggio: S1
Riferimento: CAMUGNANO (BO), PIAZZA KENNEDY, EX SCUOLA FABI - Rif. 460/22	Data: 24/05/22
Coordinate:	Quota: 673 m s.l.m.
Perforazione: Sondaggio a caroraggio continuo	

SCALA 1 :100

**STRATIGRAFIA - S1**

Pagina 1/1

metri	A	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	metri batt.	RP	VT	Standard Penetration Test			Campioni
							m	S.P.T.	N	
1			Materiali di riporto.	1	4.1					
2			Argilla limosa di colore bruno, più limosa alla base. Presenza di frammenti arenacei.	2	4.5 1.8	2.7 2.5				1) She < 2.00 2.40
3			Argilla consistente di colore grigio, con frammenti arenacei.	3	3.1 5.7	3.5				
4			Arenarie grigie, compatte.	4			4,1	26-12-30	42	
5				5						
6			Alternanze arenaceo-pelitiche. Le peliti risultano di colore nocciola, umide, con frammenti arenacei.	6						
7				7						
8				8	3.1	3.8				
9				9	2.2	4.7				
10			Arenarie grigie, micacee con presenza di fratture mineralizzate a calcite.	10			9,0	5-4-2	6	
11				11	3.4					
12				12						
13				13						
14				14						
15			Cavità.	15						
16				16						
17			Arenarie grigie, micacee. Presenza di vene di calcite.	17						
18			Peliti di colore nocciola-marrone, umide. Intercalate peliti grigie, secche, consistenti.	18	5.3					
19				19	10	5.5				
20				20	7.5 9.8	10				

## **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

### ***ALLEGATO N° 3***

### ***Indagini sismiche***

## CAMUGNANO, EX SCUOLA FABI, HVSR 1

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/05/2022 09:43:27 End recording: 19/05/2022 10:03:27

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 78% trace (manual window selection)

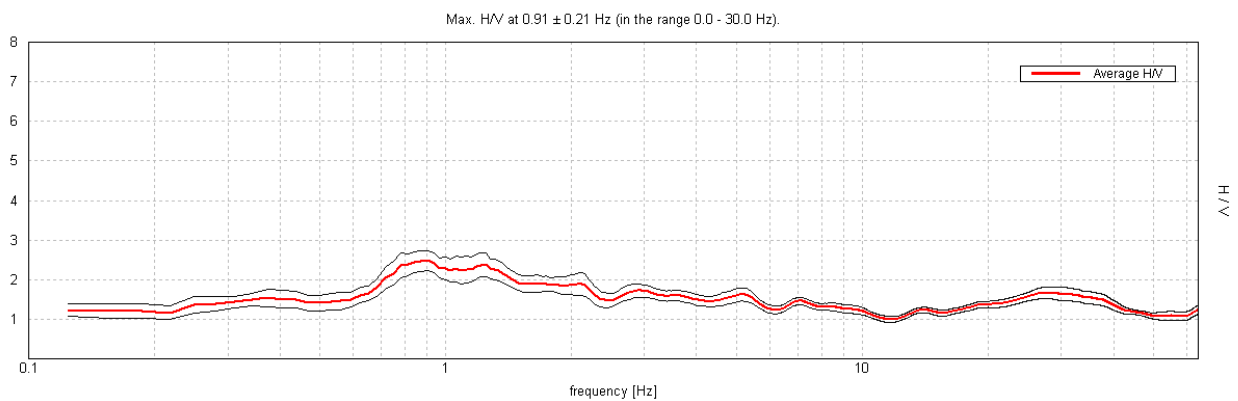
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

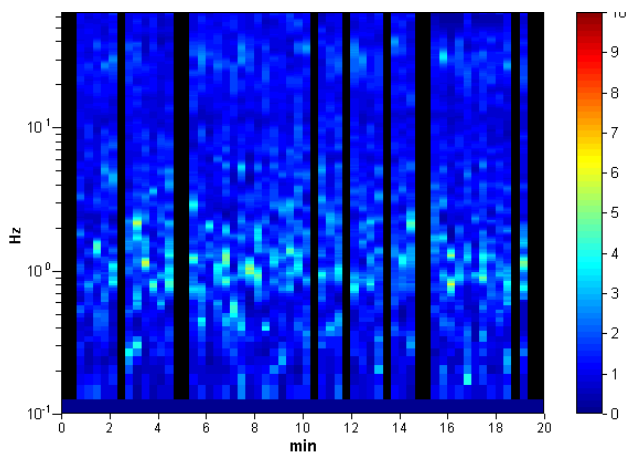
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

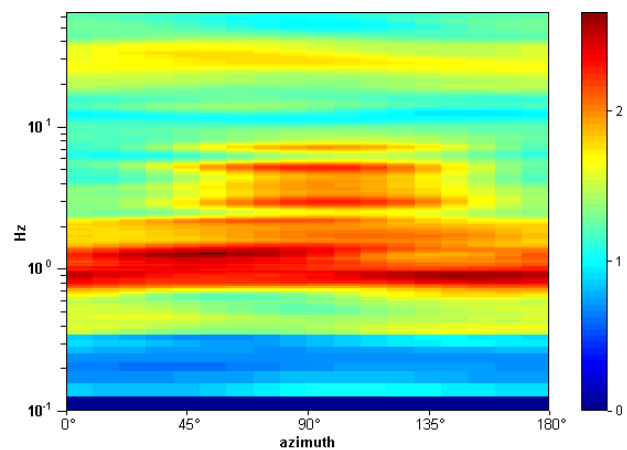
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



### H/V TIME HISTORY

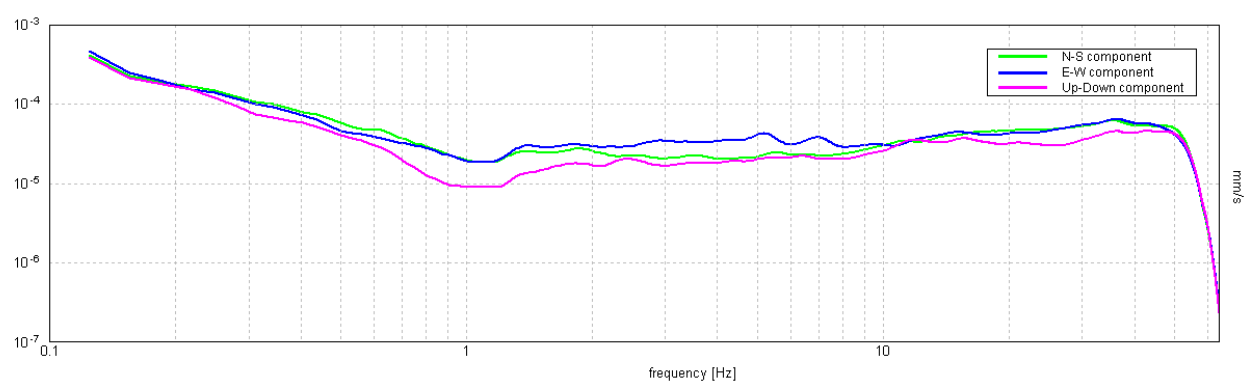


### DIRECTIONAL H/V

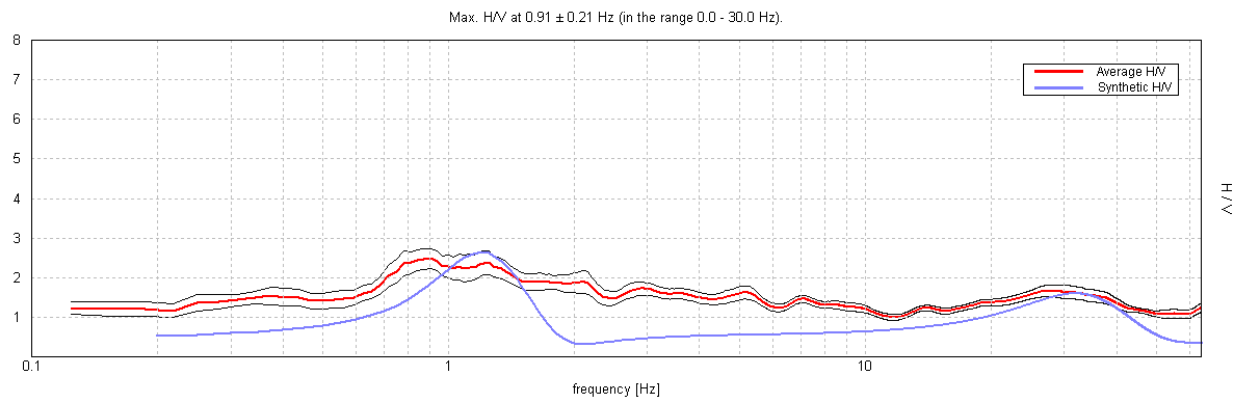




## SINGLE COMPONENT SPECTRA

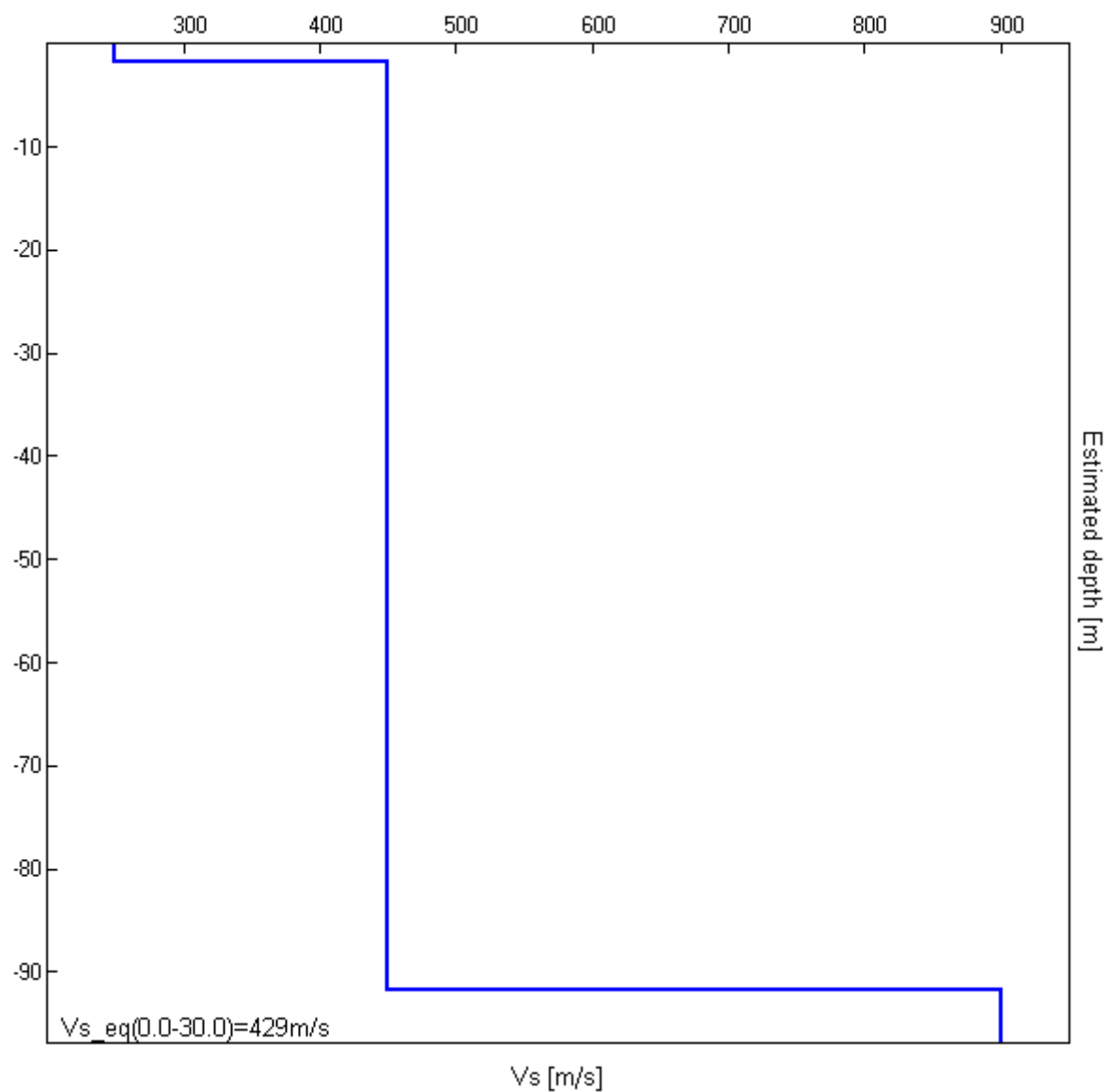


# EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.80	1.80	250	0.42
91.80	90.00	450	0.42
inf.	inf.	900	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=429\text{m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at  $0.91 \pm 0.21$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.91 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$851.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 44 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.49 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.23214  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.21037 < 0.13594$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2509 < 2.0$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## CAMUGNANO, EX SCUOLA FABI, HVSR 2

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 32 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/05/2022 10:33:00 End recording: 19/05/2022 10:53:00

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

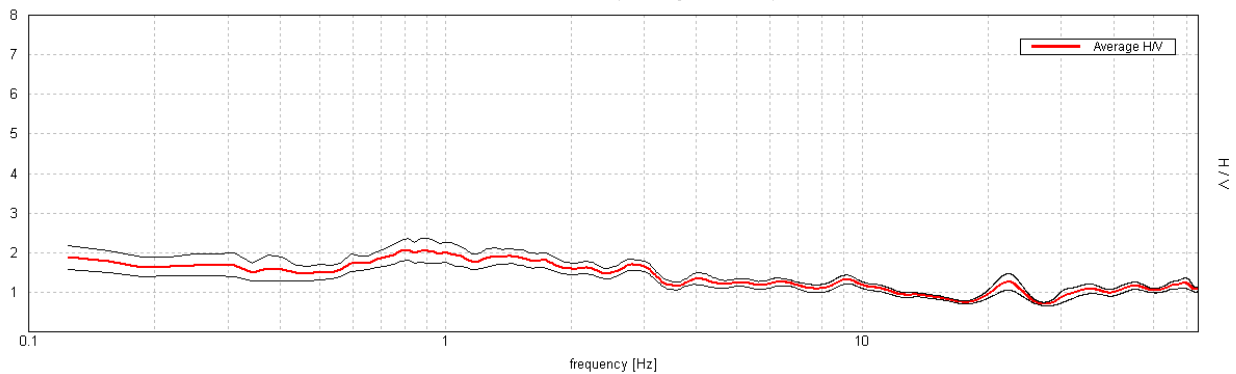
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

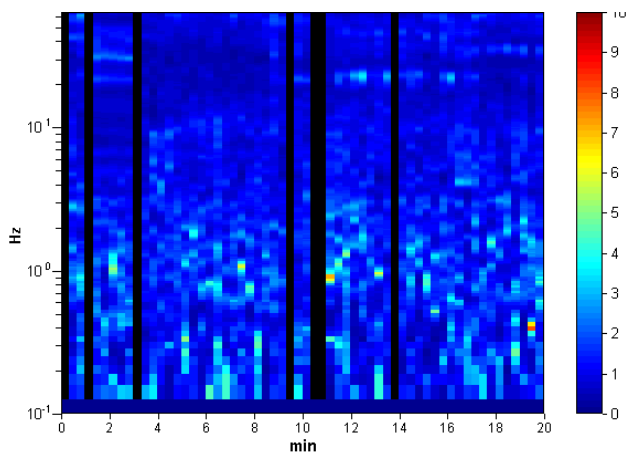
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

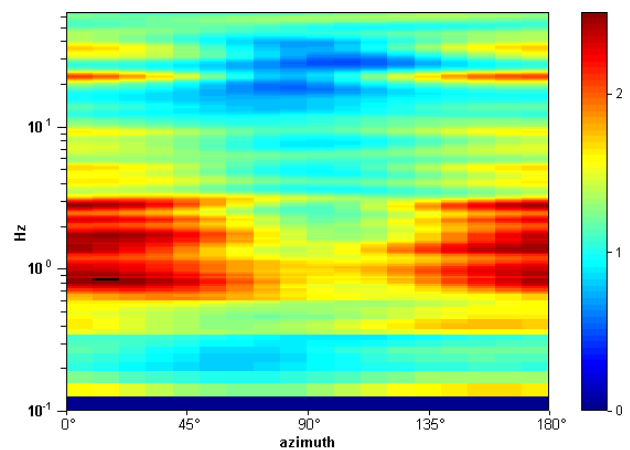
Max. H/V at  $0.81 \pm 0.48$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).



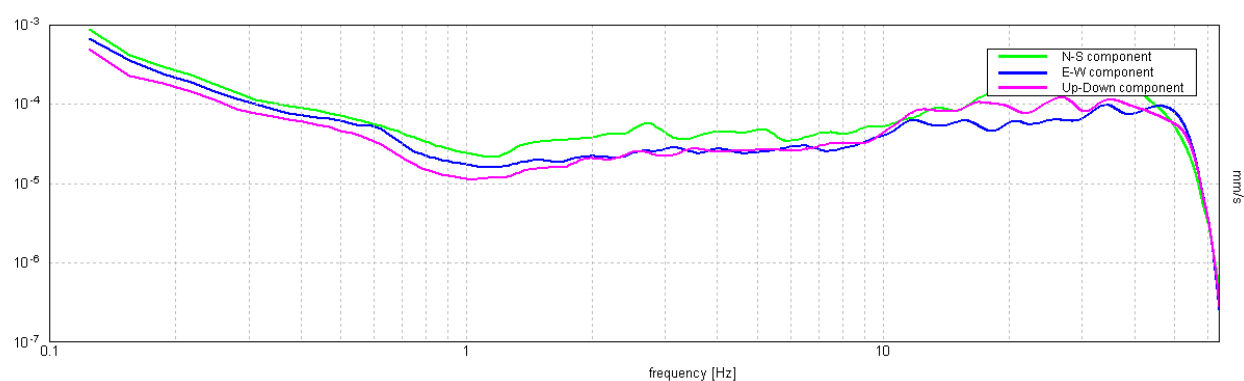
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



# SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at  $0.81 \pm 0.48$  Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$861.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 40 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.09 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.5878  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.47759 < 0.12188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2696 < 2.0$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	$< 0.2$	$0.2 - 0.5$	$0.5 - 1.0$	$1.0 - 2.0$	$> 2.0$
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## GEO GROUP s.r.l.

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Sede operativa: vi Per Modena, 15 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

P.IVA e C.F. 02981500362

[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)

## ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA MASW

**Cantiere:** Camugnano (BO), Piazza Kennedy – ex scuola Fabi

**Data:** 19/05/2022

**Lavoro:** Studio terreno di fondazione

**Operatori:** Dott. Cristiano Casarini

**Elaborazione:** Dott. Cristiano Casarini

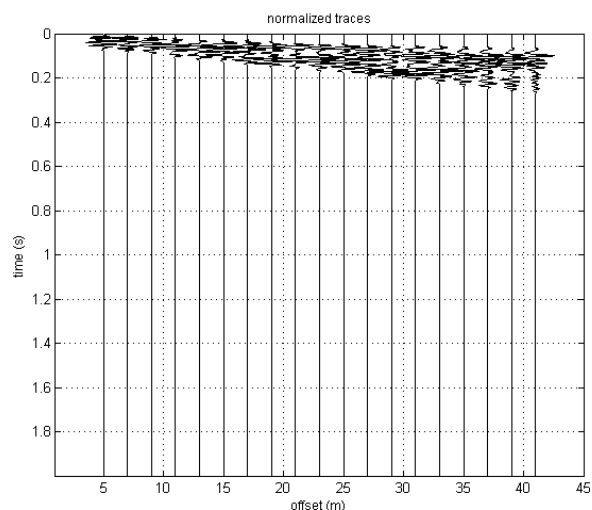
**Responsabile:** Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

**MASW**  
**RIF. 460/22**



### UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO

dataset: 1128.dat  
sampling: 0.25ms (4000Hz) - 8000 samples  
minimum offset: 5 m  
geophone spacing: 2 m







## GEO GROUP s.r.l.

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Sede operativa: vi Per Modena, 15 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

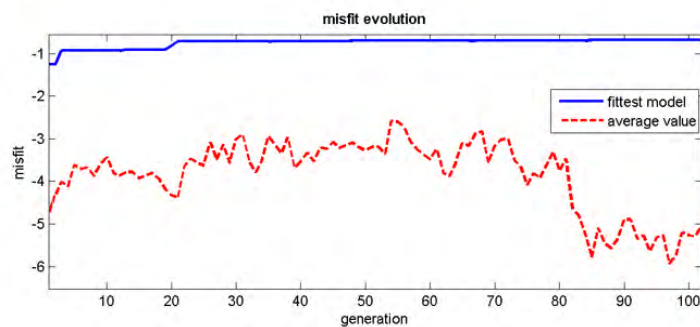
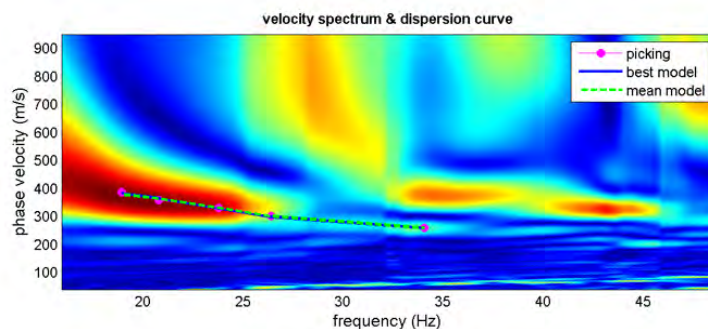
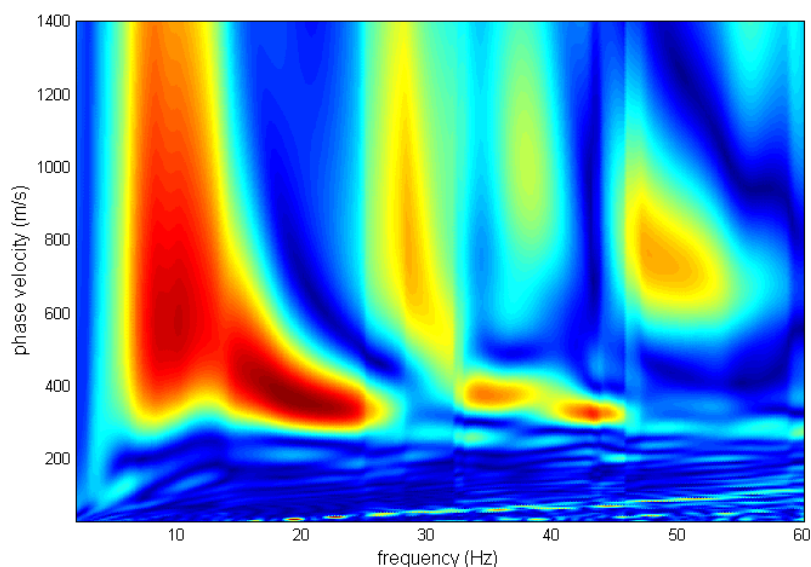
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

P.IVA e C.F. 02981500362

[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)

## SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITÀ DI FASE REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE





## GEO GROUP s.r.l.

Sede legale: Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Sede operativa: via Per Modena, 15 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

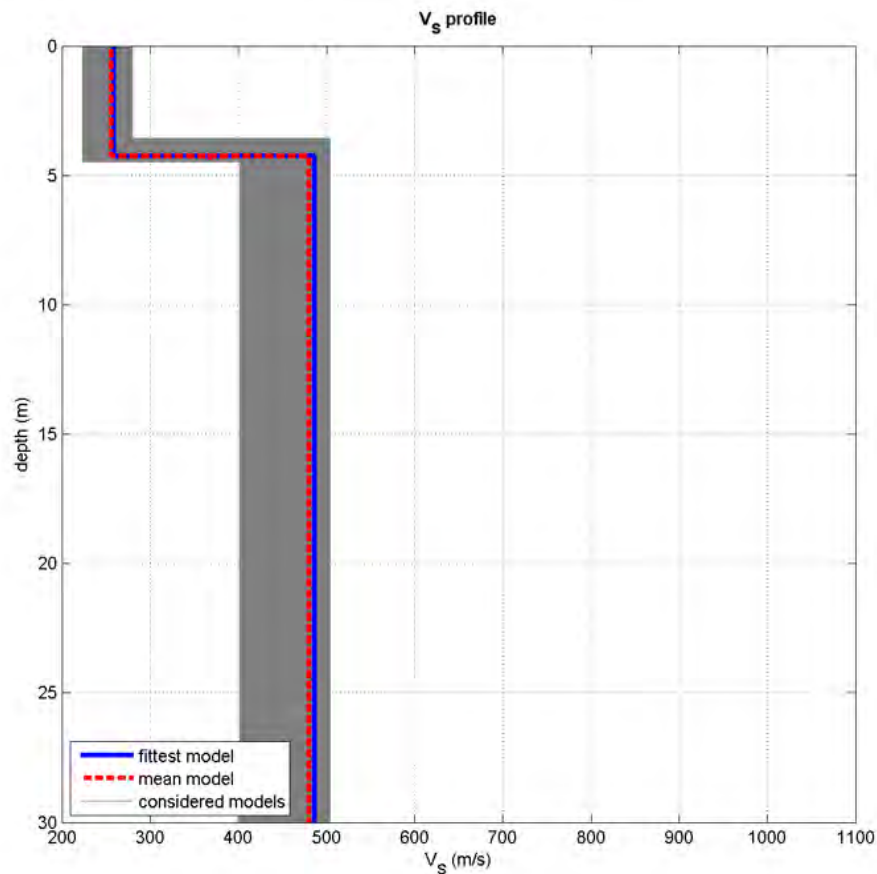
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

P.IVA e C.F. 02981500362

[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)

## MODELLO $V_s30$ DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



dataset: 1128.dat

dispersion curve: pick.cdp

$V_s30$  (best model): 433 m/s

$V_s30$  (mean model): 427 m/s


**BEST MODEL**  
 **$V_s30 = 433$  m/s**

## **GEO GROUP s.r.l.**

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia  
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

### ***ALLEGATO N° 4***

### ***Analisi di laboratorio geotecnico***

	<b>PROVE PENETROMETRICHE SRL</b> Via per Modena, 8 – 41051 Castelnovo R. (MO) Tel. 059/535046 – Fax 059/539166 e-mail: info@provepenetrometriche.com www.provepenetrometriche.com	<b>35.00</b>
--	---	--------------

**DESCRIZIONE PRELIMINARE DEL CAMPIONE**  
ASTM D1558-10, ASTM D2488-17, ASTM D2573-18, ASTM D4648-16, Raviolo P.L. (1993)

Pagina 1/1

**RAPPORTO DI PROVA N. P03144**

Committente: **Geo Group srl**

Località: **Camugnano (BO), Piazza Kennedy**

Cantiere: **studio terreno**

Data apertura e descrizione: **26/05/2022**


Data emissione rapporto: **30/05/2022**

Sondaggio n. **1** Campione: **1**

Profondità di prelievo: **2.00 – 2.40 m**

Qualità campione: **AGI Q3**

Dimensioni campione: L = 0.36 cm

Prof. di prelievo - Alto: 2.00 m	Prof. reale (m)	P.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )	T.V. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descrizione del campione	Prove eseguite
	2.04			Limo debolmente sabbioso, bruno nocciola (10YR 4/1), molto consistente, umido, con numerosi inclusi eterometrici ed eterogenei.	
	2.50		0.30		TGD
	2.50		0.30		
2.40					
Prof. di prelievo - Basso: 2.40 m					

**Note:** vista la presenza di numerosi inclusi non è stato possibile eseguire la prova ELL.

**Legenda:** (tra parentesi): sigla Munsell Soil Color Charts; **APE:** aperture e descrizione; **UMD:** umidità; **PDV:** peso di volume; **PSP:** peso specifico; **LLP:** limite liquido e plastico; **LLR:** limite di ritiro; **GRA:** granulometria; **CLS:** classificazione; **PRM:** permeabilità (ED edometro; TRX in cella triassiale); **EDO:** edometria; **TCU:** triassiale CIU; **TCD:** triassiale CID; **TUU:** triassiale UU; **ELL:** Espansione laterale libera; **TGD:** taglio diretto; **TGR:** taglio residuo; **PRT:** proctor (ST standard; MD: modificata).

**PROVE PENETROMETRICHE srl**  
**LABORATORIO GEOTECNICO**  
**IL TECNICO**





**RAPPORTO DI PROVA N°: P03145** Pagina 2/3

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: del

DATA DI EMISSIONE: 31/05/22

Inizio analisi: 26/05/22

Apertura campione: 26/05/2022

Fine analisi: 31/05/22

COMMITTENTE: Geo Group srl

RIFERIMENTO: Camugnano (BO), Piazza Kennedy

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 2.00 - 2.40

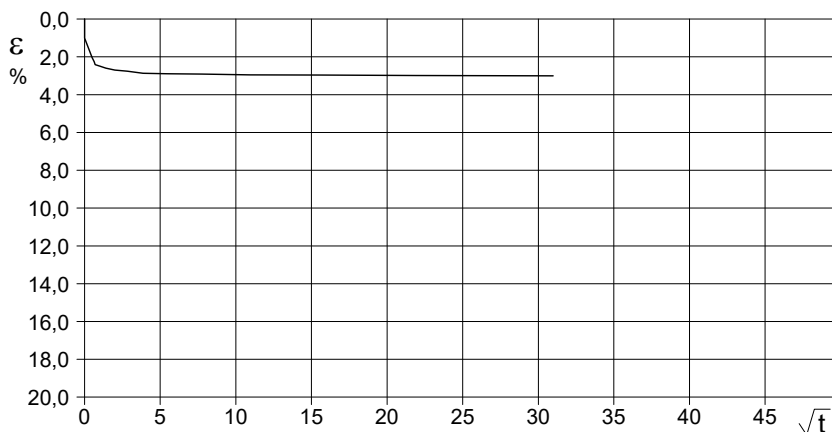
## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma AGI(1999), ASTM D3080-03

### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 1

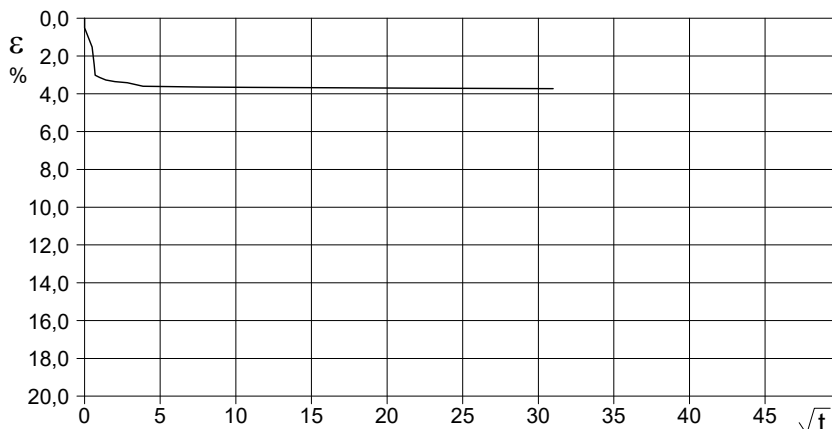
Pressione (kPa)	49
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,940
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	232,8
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 2

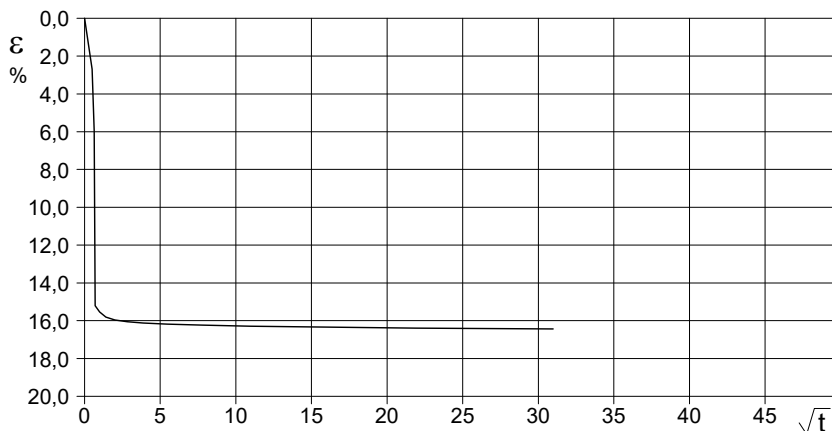
Pressione (kPa)	147
Altezza iniziale (cm)	1,970
Altezza finale (cm)	1,897
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	277,1
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

#### PROVINO 3

Pressione (kPa)	245
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,671
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	248,1
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,003



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 10 x T<sub>100</sub>

Vs = Df / tf

<b>RAPPORTO DI PROVA N°: P03145</b>	Pagina 3/3	DATA DI EMISSIONE: 31/05/22	Inizio analisi: 26/05/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: del		Apertura campione: 26/05/2022	Fine analisi: 31/05/22

COMMITTENTE: Geo Group srl
RIFERIMENTO: Camugnano (BO), Piazza Kennedy
SONDAGGIO: 1      CAMPIONE: 1      PROFONDITA': m 2.00 - 2.40

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma AGI(1999), ASTM D3080-03

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,011	1,3	0,10	0,059	0,9	0,03	0,007	4,4	0,12
0,175	7,7	0,17	0,235	5,5	0,03	0,123	32,2	0,14
0,421	13,3	0,24	0,369	18,4	0,06	0,347	59,4	0,18
0,673	18,4	0,30	0,580	26,4	0,10	0,582	76,1	0,22
0,932	22,3	0,35	0,808	32,8	0,13	0,820	88,1	0,27
1,194	25,9	0,38	1,040	38,6	0,17	1,056	96,7	0,31
1,453	29,6	0,40	1,282	41,7	0,19	1,295	103,1	0,36
1,716	31,2	0,41	1,521	45,3	0,21	1,534	108,6	0,41
1,984	33,4	0,42	1,769	47,9	0,22	1,771	113,6	0,45
2,249	34,3	0,43	2,015	51,7	0,23	2,012	118,3	0,49
2,512	35,4	0,43	2,259	55,3	0,24	2,254	122,2	0,54
2,771	37,4	0,43	2,502	58,5	0,26	2,497	125,8	0,58
3,032	37,8	0,44	2,749	61,3	0,27	2,738	128,9	0,62
3,210	37,5	0,44	2,996	63,8	0,29	2,984	131,1	0,65
3,387	36,9	0,44	3,244	65,7	0,31	3,226	133,3	0,69
3,565	36,3	0,44	3,490	68,3	0,32	3,424	135,0	0,72
3,866	35,7	0,44	3,742	70,0	0,33	3,670	135,8	0,76
4,114	35,6	0,44	3,991	72,1	0,35	3,915	138,3	0,80
4,363	35,6	0,44	4,238	73,8	0,36	4,160	139,2	0,83
4,614	35,5	0,44	4,487	75,0	0,37	4,410	140,6	0,87
4,865	35,4	0,44	4,738	76,2	0,37	4,660	142,2	0,90
5,116	35,2	0,44	4,992	76,9	0,39	4,909	143,1	0,94
5,366	35,1	0,44	5,241	78,4	0,39	5,160	143,6	0,97
5,616	35,1	0,44	5,486	79,3	0,41	5,410	145,6	1,01
5,865	35,0	0,44	5,736	80,7	0,41	5,658	147,8	1,04
6,115	35,0	0,44	5,987	81,2	0,42	5,907	148,3	1,07
6,365	34,9	0,45	6,240	81,2	0,43	6,157	149,7	1,10
6,615	34,8	0,45	6,488	81,7	0,43	6,407	150,0	1,13
6,865	34,7	0,45	6,740	81,9	0,44	6,657	150,8	1,16
7,115	34,6	0,45	6,989	82,4	0,45	6,909	151,7	1,18
7,365	34,4	0,45	7,240	83,1	0,45	7,158	152,5	1,22
7,614	34,3	0,45	7,485	83,8	0,46	7,408	152,8	1,25
7,864	34,1	0,45	7,733	84,6	0,46	7,660	152,8	1,27
8,113	33,9	0,45	7,986	84,3	0,46	7,911	153,6	1,29
8,364	33,7	0,45	8,238	84,6	0,47	8,158	153,9	1,32
8,615	33,5	0,45	8,486	84,6	0,47	8,409	154,4	1,34
8,867	33,3	0,45	8,738	84,8	0,47	8,658	155,0	1,37
9,118	33,1	0,45	8,992	84,8	0,47	8,908	155,3	1,39
			9,244	85,0	0,47	9,159	155,0	1,41
			9,490	85,8	0,47	9,413	155,6	1,44
			9,652	82,7	0,48	9,577	149,2	1,45
			9,653	81,7	0,48			

COMMITTENTE: Geo Group srl			
RIFERIMENTO: Camugnano (BO), Piazza Kennedy			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	2.00 - 2.40

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma AGI(1999), ASTM D3080-03

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	49	147	245
Tensione a rottura (kPa):	38	86	156
Deformazione orizzontale e verticale a rottura (mm):	3,03 0,44	9,49 0,47	9,41 1,44
Umidità iniziale e umidità finale (%):	19,6 24,2	19,5 21,9	22,1 24,6
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	17,4 18,6	19,5 20,6	16,8 20,5
Grado di saturazione iniziale e finale (%):	62,3 82,3	80,7 99,8	62,5 100,0

### DIAGRAMMA Tensione - Pressione verticale

Coesione: 10,2 kPa  
Angolo di attrito interno: 29,4 °

Tipo di prova: Consolidata - lenta  
Velocità di deformazione: 0,003 mm / min  
Tempo di consolidazione (ore): 24

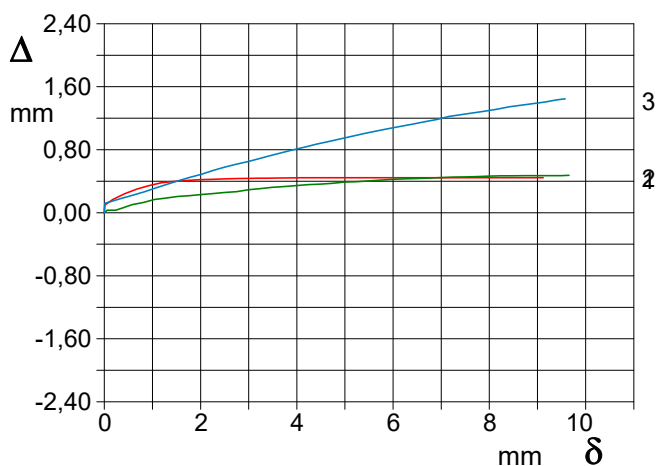
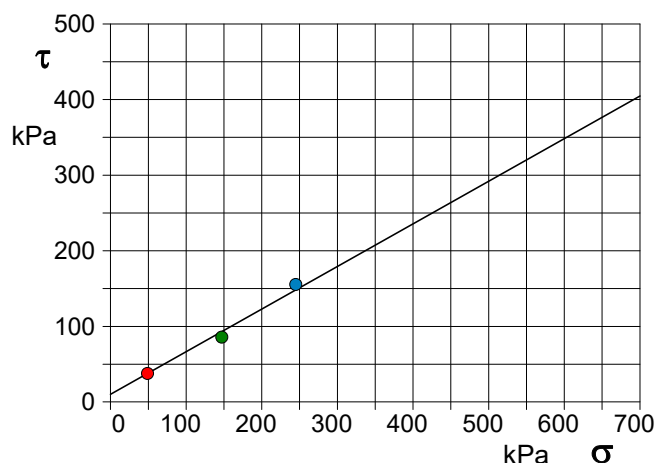


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

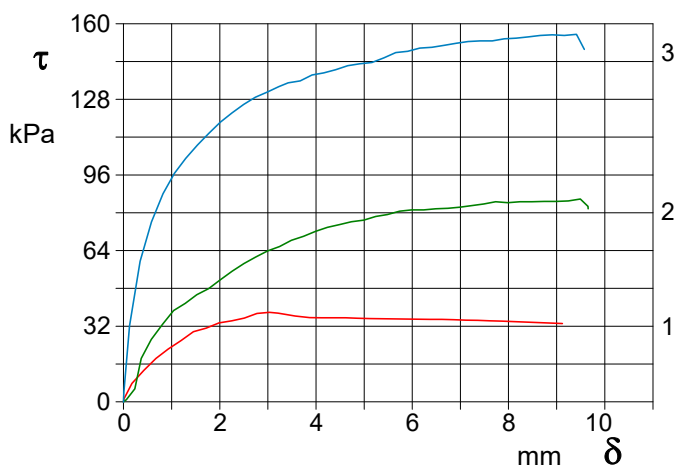


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.