
 <b>iCube Development 16 s.r.l.</b>		CODE: VOG-PV001-R09_01
		PROJECT: <b>VOGHIERA PV 001</b>
		PAGE 1 di/of 75

TITLE. Relazione Geotecnica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

## RELAZIONE GEOTECNICA

Impianto agrivoltaico avanzato denominato “Voghiera PV 001” di potenza pari a 24,54 MW<sub>p</sub> e relative opere di connessione alla RTN nel Comune di Voghiera (FE) e Ferrara (FE)  
“VOGHIERA PV 001”

**Comune di Voghiera (FE) e Ferrara (FE)**

File: VOG-PV001-R09\_01\_Relazione geotecnica

01	31/01/2025	Rev.01	P. De Rose	F.Trovati	L.Spaccino
					P. De Rose
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
CLIENT CODE					
VOG-PV001-R09					
PROJECT		TYPE	PROGR.		REV
VOG-PV001		R	09		01
CLASSIFICATION      Company		UTILIZATION SCOPE      Emissione per procedura di PAUR ai sensi dell'art. 27bis D.Lgs. 152/2006			
Questo documento è di proprietà di iCube Development 16. È severamente vietato riprodurre questo documento, in tutto o in parte, e fornire ad altri qualsiasi informazione correlata senza il previo consenso scritto di iCube Development 16.					



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
2 di/of 75

## INDICE

1. INTRODUZIONE .....	3
2. RELAZIONE GEOTECNICA FONDAZIONI TRACKER 1X12 .....	5
2.1. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....	5
2.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
2.3. INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	7
2.3.1. Caratterizzazione geotecnica .....	7
2.3.2. Area di sedime .....	8
2.3.3. Idrogeologia .....	8
2.4. MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO .....	9
2.4.1. Modellazione geotecnica .....	9
2.4.2. Pericolosità sismica .....	9
2.5. VERIFICHE FONDAZIONI TRACKER 1X12.....	13
2.5.1. Premessa .....	13
2.5.2. Dati e analisi.....	17
3. RELAZIONE GEOTECNICA FONDAZIONI TRACKER 1X24 .....	42
3.1. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....	42
3.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	42
3.3. INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	43
3.3.1. Caratterizzazione geotecnica .....	43
3.3.2. Area di sedime .....	44
3.3.3. Idrogeologia .....	44
3.3.4. MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.....	44
3.3.5. Dati e analisi.....	53
3.3.6. ANALISI E VERIFICHE IN CONDIZIONI NON DRENATE .....	61
3.3.7. ANALISI E VERIFICHE IN CONDIZIONI DRENATE.....	68

## ANNEX – STUDIO GEOLOGICO



## 1. INTRODUZIONE

Lo scopo della presente relazione è la definizione di un modello geotecnico, sulla base del quale sono state condotte le analisi ed il dimensionamento delle strutture di fondazione relative al progetto proposto da iCube Development 16, che prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato denominato "Voghiera PV-001". L'analisi ed il dimensionamento delle opere di fondazione è stato condotto sulla base delle risultanze dei seguenti elaborati forniti dalla committenza:

- relazione geologica, dalla quale sono stati estrapolati la stratigrafia, i relativi parametri geotecnici ed il livello di falda. Nella stessa è riportata la verifica a liquefazione dalla quale il deposito risulta non liquefacibile con un coefficiente di sicurezza pari a 1.7737 ( $F_s = CRR / CSR$ ). È stata ottenuta una  $V_{seq} = 283$  m/s a cui corrisponde una categoria di sottosuolo C. trattandosi di una zona pianeggiante la categoria topografia attribuita è T1.
- relazione idrologica ed idraulica (VOG-PV001-R10\_01), dalla quale risulta che i deflussi con tempi di ritorno 50, 100 e 200 anni non interferiscono con le aree di impianto. Tali risultati sono stati ottenuti dalla modellazione di un tratto d'asta in moto permanente monodimensionale del canale di bonifica Condotta Galvano in terra, che si sviluppa planimetricamente tra le aree di intervento del futuro impianto e che defluisce ai lati del sito oggetto di intervento.
- studio di compatibilità idraulica (VOG-PV001-R10A\_01), da tale studio risulta che gli interventi ricadono nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po e che l'eventuale interferenza con le aree a rischio idraulico è stata verificata previa consultazione della cartografia della pericolosità/rischio idraulica/o messa a disposizione sul sito dell'Ente. Inoltre, si evidenzia come le aree oggetto di intervento ricadono in aree a pericolosità/rischio idraulico. Per dettaglio si rimanda alle cartografie riportate nello studio di compatibilità idraulica.

Per come riportato nelle conclusioni, sia della relazione idrologica ed idraulica che dello studio di compatibilità idraulica, in fase di realizzazione dell'opera dovranno essere effettuati tutti gli studi necessari per poter definire le attività di cantiere in modo da non comportare incrementi delle condizioni di pericolosità/rischio durante l'esecuzione dei lavori. Di seguito si procede alla redazione della Relazione Geotecnica per l'area di intervento sita nel Comune di Voghiera (FE), secondo quanto riportato nella cartografia di cui appresso, per le opere previste e descritte nelle pagine successive.



**Fig. 1: Area di intervento**

Sull'area di sedime sono state condotte indagini in situ e di laboratorio i cui risultati hanno consentito di definire la stratigrafia, i parametri geotecnici e le velocità Vs30; inoltre, in base a:

- coordinate dell'area (si è fatto riferimento alle coordinate di un punto posto centralmente ad ogni area di intervento)
- alla ipotesi di classe (coefficiente d'uso, e vita nominale e periodo di riferimento per l'azione sismica) del manufatto
- al coefficiente di amplificazione stratigrafico;
- al coefficiente di amplificazione topografico;

si è proceduto alla determinazione dei parametri di pericolosità sismica di base (secondo normativa NTC2018).

Come manufatti da realizzare, si è fatto riferimento a due tipi di strutture di supporto dei pannelli fotovoltaici (TRACKER):

- tipo 1 (1x12) con i seguenti dati dimensionali: lunghezza 14,193 m; larghezza m 2,382; altezza massima sostegni verticali (pilastri) m 3.00.
- tipo 2 (1x24) con i seguenti dati dimensionali: lunghezza 28,361 m; larghezza m 2,382; altezza massima sostegni verticali (pilastri) m 3.00.

La relazione geotecnica e sulle fondazioni ha riguardato la struttura in acciaio di supporto per l'utilizzo di moduli fotovoltaici.

In riferimento alle fondazioni dei "TRACKER", si tratta di pali in acciaio del tipo infissi, quali prolungamento dei sovrastanti pilastri. Trattandosi di un progetto preliminare, tra le varie tipologie di TRACKER, si è scelto di verificare quella che rappresenta la situazione più sfavorevole, anche in riferimento alla inclinazione del piano che sostiene i pannelli (coprendo un angolo sotteso tra  $\pm 55^\circ$ ). Si rimanda al progetto esecutivo per una progettazione accurata e riferita a tutte le tipologie di TRACKER da utilizzare ed eventuali altre strutture. Trattandosi di una struttura con elementi prefabbricati si dovrà procedere, prima della realizzazione, alla redazione di un progetto esecutivo e relative prove in funzione di: - caratteristiche geometriche e di resistenza





dei materiali utilizzati, sia in riferimento alle travi principali e secondarie, sia in riferimento ai pilastri; - gradi di vincolo previsti tra i vari elementi strutturali (trave-trave, travi-pilastri, pilastri-pali ecc.); - numero, tipologia e profondità dei pali di fondazione; - numero e caratteristiche del meccanismo che consente la rotazione della struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici.

La struttura prevista, per il calcolo delle opere fondali del "TRACKER", è di tipo mobile ad inseguitore solare mono-assiale. Nella struttura ad inseguitore solare i moduli fotovoltaici sono fissati ad un telaio in acciaio, che ne forma il piano d'appoggio, a sua volta opportunamente vincolato a dei pali, anch'essi in acciaio, da infiggere o trivellare direttamente nel terreno, ove il terreno risultasse idoneo. Questa tipologia di struttura eviterà l'esecuzione di opere di calcestruzzo e faciliterà enormemente sia la costruzione che la dismissione dell'impianto a fine vita, diminuendo drasticamente le modifiche subite dal suolo. In fase esecutiva si potrebbe decidere di utilizzare fondazioni in calcestruzzo nel caso in cui non fosse possibile l'utilizzo di pali infissi (o trivellati).

In base all'altitudine media dell'area, all'inclinazione dell'impalcato di sostegno dei pannelli ecc, è stato determinato il carico neve e le azioni del vento. Evidentemente, gli scarichi della struttura in elevazione rappresentano le azioni utilizzate in testa ai pali per la verifica degli stessi.

Come appresso riportato, tenendo conto delle scarse caratteristiche geotecniche che caratterizzano il terreno di fondazione, nonché della presenza della falda a m 1.50 da piano campagna, i pali di fondazione si spingono ad una profondità di m 5.30, fino al raggiungimento del secondo strato definito nella relazione geologica.

In riferimento alla profondità della falda, questa è stata determinata in un momento specifico e non è stato condotto un monitoraggio a lungo periodo, per cui la stessa può essere suscettibile di variazioni in riferimento alla profondità dal piano campagna.

## 2. RELAZIONE GEOTECNICA FONDAZIONI TRACKER 1X12

### 2.1. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La presente relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del "volume significativo" per l'opera in esame e valuta l'interazione opera/terreno ai fini della verifica delle relative fondazioni. La struttura nel suo complesso è sostenuta da 3 pilastri, quindi da 3 pali di fondazione. Questa relazione è stata redatta sulla base dei dati risultanti dalla Relazione Geologica e dalle relative prove di campagna e/o di laboratorio effettuate.



## 2.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

- Circolare 7 del 21/01/2019

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.



## 2.3. INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

In riferimento all'area in esame, si è proceduto ad una campagna di indagini geognostiche finalizzate alla determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dal "volume significativo" dell'opera in esame. In particolare, i risultati, relativamente ai parametri geotecnici, sono riportati nell'allegato studio geologico.

### 2.3.1. Caratterizzazione geotecnica

Al fine della determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni coinvolti nel "volume significativo" dell'opera in esame, sono state condotte delle prove geotecniche, come sopra riportato.

Le indagini eseguite hanno permesso di ricostruire le seguenti stratigrafie per ognuna delle quali sono state definite le proprietà geotecniche dei singoli terreni coinvolti. Nelle verifiche di cui appresso si considera l'asportazione del terreno superficiale.

#### Descrizione terreni e falda

##### *Simbologia adottata*

Descrizione	Descrizione terreno
$g$	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$g_{sat}$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$f$	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
$d$	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
$C_u$	Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm <sup>q</sup> ]
$C_{ua}$	Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm <sup>q</sup> ]

#### **Parametri geotecnici**

Descrizione	$g$	$g_{sat}$	$f$	$d$	$C_u$	$C_{ua}$
	[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>q</sup> ]	[kg/cm <sup>q</sup> ]
					]	]
Limi sabbioso-argillosi	1360,0	1850,0	20,43	18,00	0,095	0,095
Argilla limosa	1500,0	1930,0	23,34	20,00	0,798	0,798

#### **Falda**

Profondità dal piano di posa     1,50 [m]



### Descrizione stratigrafia

#### *Simbologia adottata*

*N* Identificativo strato

*Z* Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio in [m]

*Terreno* Terreno dello strato

*Kw* Costante di Winkler espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm

*Ks* Coefficiente di spinta

*a* Coefficiente di espansione laterale

n°	Z1	Z2	Z3	Terreno	Kw	Ks	a
	[m]	[m]	[m]		[kg/cm <sup>2</sup> /cm]		
1	-5,20	-5,20	-7,00	Limi sabbioso-argillosi	2.00	0.60	1.00
2	-13,40	-13,40	-13,40	Argilla limosa	2.00	0.80	1.00

### **2.3.2. Area di sedime**

Il sito oggetto della relazione è individuato posta mediamente ad una quota di m 3/4 s.l.m. quasi pianeggiante.

### **2.3.3. Idrogeologia**

Tipologia di falda	Quota Piezometrica
Falda	1.50 m



## 2.4. MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

Le indagini effettuate, hanno permesso di classificare il profilo stratigrafico, ai fini della determinazione dell'azione sismica, di categoria **C** essendo il valore determinato di  $V_{s30} = 283$  m/s.

**C [C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti]**., basandosi sulla valutazione della velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ) e/o del numero di colpi dello Standard Penetration Test ( $N_{SPT}$ ) e/o della resistenza non drenata equivalente ( $c_{u,30}$ ).

Tutti i parametri che caratterizzano i terreni di fondazione sono riportati nei successivi paragrafi.

### 2.4.1. Modellazione geotecnica

Ai fini del calcolo strutturale, il terreno sottostante l'opera viene modellato secondo lo schema di Winkler, cioè un sistema costituito da un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti. Ciò consente di ricavare le rigidezze offerte dai manufatti di fondazione, siano queste profonde o superficiali, che sono state calcolate separatamente per tener conto dell'interazione opera/terreno.

### 2.4.2. Pericolosità sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018.

In particolare, il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica;
- individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_c$  per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC);
- determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- calcolo del periodo  $T_c$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerate.

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito rispetto al Datum **ED50**:

Latitudine	Longitudine	Altitudine
[°]	[°]	[m]
44.781985	11.723057	3



## DATI GENERALI ANALISI SISMICA

Ang	NV	CD	MP	Dir	TS	EcA	Ir <sub>Temp</sub>	C.S.T.	RP	RH	x
[°]											[%]
0	15	A	ac	X	[M]	S	N	C	SI	SI	5
				Y	[M]						

## LEGENDA:

**Ang** Direzione di una componente dell'azione sismica rispetto all'asse X (sistema di riferimento globale); la seconda componente dell'azione sismica e' assunta con direzione ruotata di 90 gradi rispetto alla prima.

**NV** Nel caso di analisi dinamica, indica il numero di modi di vibrazione considerati.

**CD** Classe di duttilità: [A] = Alta - [B] = Media - [ND] = Non Dissipativa - [-] = Nessuna.

**MP** Tipo di struttura sismo-resistente prevalente: [ca] = calcestruzzo armato - [caOld] = calcestruzzo armato esistente - [muOld] = muratura esistente - [muNew] = muratura nuova - [muArm] = muratura armata - [ac] = acciaio.

**Dir** Direzione del sisma.

**TS** Tipologia della struttura:

Cemento armato: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [P] = Pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti - [2P NC] = Due pareti per direzione non accoppiate - [P NC] = Pareti non accoppiate - [DT] = Deformabili torsionalmente - [PI] = Pendolo inverso - [PM] = Pendolo inverso intelaiate monopiano;

Muratura: [P] = un solo piano - [PP] = più di un piano - [C-P/MP] = muratura in pietra e/o mattoni pieni - [C-BAS] = muratura in blocchi artificiali con percentuale di foratura > 15%;

Acciaio: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [CT] = controventi concentrici diagonale tesa - [CV] = controventi concentrici a V - [M] = mensola o pendolo inverso - [TT] = telaio con tamponature.

**EcA** Eccentricità accidentale: [S] = considerata come condizione di carico statica aggiuntiva - [N] = Considerata come incremento delle sollecitazioni.

**Ir<sub>Temp</sub>** Per piani con distribuzione dei tamponamenti in pianta fortemente irregolare, l'eccentricità accidentale è stata incrementata di un fattore pari a 2: [SI] = Distribuzione tamponamenti irregolare fortemente - [NO] = Distribuzione tamponamenti regolare.

**C.S.** Categoria di sottosuolo: [A] = Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi - [B] = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti - [C] = Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti - [D] = Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti - [E] = Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D.

**RP** Regolarità in pianta: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.

**RH** Regolarità in altezza: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
11 di/of 75

Ang	NV	CD	MP	Dir	TS	EcA	Ir <sub>Tmp</sub>	C.S.T.	RP	RH	x
[°]											[%]

**x** Coefficiente viscoso equivalente.

**NOT** [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.

**E**

#### DATI GENERALI ANALISI SISMICA - FATTORI DI COMPORTAMENTO

r	q'	q	q <sub>0</sub>	K <sub>R</sub>	a <sub>u</sub> /a <sub>1</sub>	k <sub>w</sub>
	-	2,000	2,000	1,00	1,00	-
	-	2,000	2,000	1,00	1,00	-
	-	1,500	-	-	-	-

#### LEGENDA:

**q'** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU ridotto (Fattore di comportamento ridotto - relazione C7.3.1 circolare NTC)

**q** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU (Fattore di comportamento).

**q<sub>0</sub>** Valore di base (comprensivo di k<sub>w</sub>).

**K<sub>R</sub>** Fattore riduttivo funzione della regolarità in altezza: pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza, 0,8 per costruzioni non regolari in altezza, e 0,75 per costruzioni in muratura esistenti non regolari in altezza (§ C8.5.5.1)..

**a<sub>u</sub>/a<sub>1</sub>** Rapporto di sovraresistenza.

**k<sub>w</sub>** Fattore di riduzione di q<sub>0</sub>.

Stato Limite	T <sub>r</sub>	a <sub>g</sub> /g	Amplif. Stratigrafica		F <sub>0</sub>	F <sub>v</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	T <sub>B</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>D</sub>
			S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>						
	[t]						[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	30	0,0380	1,500	1,644	2,542	0,669	0,257	0,141	0,423	1,752
SLD	50	0,0484	1,500	1,612	2,487	0,739	0,273	0,147	0,440	1,794
SLV	475	0,1412	1,480	1,617	2,593	1,315	0,270	0,146	0,437	2,165
SLC	975	0,1902	1,410	1,598	2,545	1,498	0,280	0,149	0,447	2,361

#### LEGENDA:

**T<sub>r</sub>** Periodo di ritorno dell'azione sismica. [t] = anni.

**a<sub>g</sub>/g** Coefficiente di accelerazione al suolo.

**S<sub>s</sub>** Coefficienti di Amplificazione Stratigrafica allo SLO/SLD/SLV/SLC.



- C<sub>c</sub>** Coefficienti di Amplificazione di T<sub>c</sub> allo SLO/SLD/SLV/SLC.
- F<sub>0</sub>** Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- F<sub>v</sub>** Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale.
- T<sub>c</sub><sup>\*</sup>** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T<sub>B</sub>** Periodo di inizio del tratto accelerazione costante dello spettro di progetto.
- T<sub>c</sub>** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di progetto.
- T<sub>D</sub>** Periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro di progetto.

CI Ed	V <sub>N</sub>	V <sub>R</sub>	Lat.	Long.	Q <sub>g</sub>	C <sub>Top</sub>	S <sub>T</sub>
	[t]	[t]	[°ssdc]	[°ssdc]	[m]		
2	50	50	44.781985	11.723057	3	T1	1,00

LEGENDA:

**CI Ed** Classe dell'edificio

**V<sub>N</sub>** Vita nominale ([t] = anni).

**V<sub>R</sub>** Periodo di riferimento. [t] = anni.

**Lat.** Latitudine geografica del sito.

**Long** Longitudine geografica del sito.

.

**Q<sub>g</sub>** Altitudine geografica del sito.

**C<sub>Top</sub>** Categoria topografica (Vedi NOTE).

**S<sub>T</sub>** Coefficiente di amplificazione topografica.

**NOT** [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.

**E** Categoria topografica.

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .

T2: Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ .

T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .

T4: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ .





## 2.5. VERIFICHE FONDAZIONI TRACKER 1X12

### 2.5.1. Premessa

#### Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

- Circolare 7 del 21/01/2019

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

#### Richiami teorici

##### Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il valore di calcolo della resistenza verticale del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, la resistenza di calcolo verticale del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:



$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

$Q_T$  Portanza totale del palo;

$Q_P$  Portanza di base del palo;

$Q_L$  Portanza per attrito laterale del palo;

$W_P$  Peso proprio del palo.

Le due componenti  $Q_P$  e  $Q_L$  sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo  $Q_A$  applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente  $g_b$  e  $g_s$ .

I coefficienti  $g_b$  e  $g_s$  rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P/g_b + Q_L/g_s - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L/g_s + W_P$$

#### *Capacità portante di punta*

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$

dove  $A_P$  è l'area portante efficace della punta del palo,  $c$  è la coesione,  $q_b$  è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti  $N_c$  e  $N_q$  sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

$N_c$  ed  $N_q$  dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ( $f$  e  $c$ ).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di  $N_c$  ed  $N_q$ .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ( $f=0$ ,  $c=c_u$ ) si assume in genere per  $N_c$  il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre  $N_q=1$ . Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore  $N_c$  ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore  $N_q$  per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro. In particolare, da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato. In particolare, si assume che la pressione verticale  $s_v$  cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità  $z_c$  ( $s_v=s_c$ ); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene



costante e pari a  $s_c$ : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di  $z_c$  (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo,  $D$ , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno  $f$ .

Nella determinazione di  $z_c$  il valore di  $f$  da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo,  $f'$ , secondo le seguenti relazioni:

Per pali infissi  $f = 3/4 f' + 10$

Per pali trivellati  $f = f' - 3$

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa  $D_r$ ) e la resistenza alla punta cresce con il crescere della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di  $N_c$  ed  $N_q$ .

#### *Capacità portante per attrito laterale*

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \int (t_a) dS$$

dove  $t_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$t_a = c_a + s_h \tan d$$

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $d$  è l'angolo di attrito palo-terreno, e  $s_h$  è la tensione orizzontale alla generica profondità  $z$ . La tensione orizzontale  $s_h$  è legata alla pressione verticale  $s_v$  tramite il coefficiente di spinta  $K_s$

$$s_h = K_s s_v$$

Indicando con  $C$  il perimetro e con  $L$  la lunghezza del palo abbiamo:

$$\int^L (C(c_a + K_s s_v \tan d) dz)$$

#### Analisi del palo soggetto a forze orizzontali (Portanza trasversale)

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo ed il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo. Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto) mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidezze non eccessive rispetto al terreno di infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante di rigidezza elastica,  $K_h$ , espressa in  $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$  che rappresenta la pressione (in  $\text{Kg/cm}^2$ ) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm. La determinazione di questa costante può essere fatta o tramite prove di carico su piastra o mediante metodi analitici (convenzionali). La variazione della costante di Winkler con la profondità dipende dal tipo di terreno in cui il palo è immerso. Ad esempio nel caso di terreni coesivi in condizioni non drenate  $K_h$  assume un valore costante con la profondità mentre nel caso di terreni incoerenti la variazione di  $K_h$  è di tipo lineare (crescente con la profondità). In generale l'espressione di  $K_h$  assume una forma binomia del tipo:

$$K_h(z) = A + B z^n$$



Per l'analisi di pali caricati trasversalmente si utilizza il modello di Winkler. Il palo viene suddiviso in un determinato numero (100) di elementi tipo trave aventi area ed inerzia pari a quella della sezione trasversale del palo. In corrispondenza di ogni nodo di separazione fra i vari elementi viene inserita una molla orizzontale di opportuna rigidezza che schematizza il terreno. Il comportamento delle molle che schematizzano il terreno non è infinitamente elastico ma è di tipo elastoplastico. La singola molla reagisce fino ad un valore limite di spostamento o di reazione; una volta che è stato superato tale limite la molla non offre ulteriori incrementi di resistenza (diagramma tipo elastoplastico perfetto). Indicando con  $d_y$  la lunghezza del tratto di influenza della molla, con  $D$  il diametro del palo la molla avrà una rigidezza pari a:

$$K_m = d_y \cdot D \cdot K_k$$

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che il terreno può esprimere quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale. La resistenza limite  $p_u = p_u(z)$  dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo. In terreni puramente coesivi ( $c = c_u$ ,  $f = 0$ ) la resistenza cresce dal valore 0 in sommità fino ad un valore limite in corrispondenza di una profondità pari a circa 3 diametri. Il valore limite in tal caso è variabile fra 8 e 12  $c_u$ . Nel caso di terreni dotati di attrito e coesione la resistenza limite ad una generica profondità  $z$  è rappresentata dalla relazione (Brinch Hansen):

$$P_u = q \cdot K_{pq} + c \cdot K_{pc}$$

dove:

$D$  diametro del palo

$q$  pressione geostatica alla profondità  $z$

$c$  coesione alla profondità  $z$

$K_{pq}$ ,  $K_{pc}$  coefficienti funzione dell'angolo di attrito del terreno  $f$  e del rapporto  $z/D$ .

Broms ha eseguito l'analisi considerando il caso sia di palo vincolato in testa che di palo libero immerso in un mezzo omogeneo. Nel caso di terreni coesivi Broms assume in questo caso un diagramma di resistenza nullo fino ad una profondità pari a  $1,5D$  e poi valore costante pari a  $9c_u D$ .

Nel caso di terreni incoerenti Broms assume che la resistenza laterale sia variabile con la profondità dal valore 0 (in testa) fino al valore  $3s_v K_p D$  (alla base) essendo  $K_p$  il coefficiente di resistenza passiva espresso da  $K_p = \tan^2(45^\circ + f/2)$ .

#### Calcolo dei cedimenti verticali dei pali

Il calcolo dei cedimenti viene condotto con il metodo degli elementi finiti.

Determinata la portanza laterale e di punta del palo lo stesso viene discretizzato in  $n$  elementi tipo trave aventi area ed inerzia corrispondenti alla sezione trasversale del palo e lunghezza pari ad  $l_e$ . Vengono disposte, inoltre, lungo il fusto del palo una serie di molle (una per ogni elemento), coassiali al palo stesso, aventi rigidezza opportuna. Una ulteriore molla viene disposta alla base del palo. Le suddette molle hanno un comportamento elastoplastico. In particolare, le molle lungo il fusto saranno in grado di reagire linearmente fino a quando la pressione in corrispondenza di esse non raggiunge il valore limite dell'aderenza palo terreno. Una volta raggiunto tale valore le molle non saranno più in grado di fornire ulteriore resistenza. La molla posta alla base del palo avrà invece una resistenza limite pari alla portanza di punta del palo stesso. Per la determinazione delle rigidezze delle molle si assume uno spostamento di riferimento pari a  $DY = 3.000$ . La rigidezza della generica molla, posta a profondità  $z$  rispetto al piano campagna sarà data da



$$R_l = \frac{(c_a + \sigma_h K_s \tan \delta) \pi D l_e}{\Delta Y}$$

In questa espressione  $c_a$  è l'aderenza palo terreno,  $\sigma_h$  è la pressione orizzontale alla profondità  $z$ ,  $\delta$  è l'angolo d'attrito palo terreno,  $K_s$  è il coefficiente di spinta e  $D$  è il diametro del palo.

Indicando con  $Q_p$  la portanza alla punta del palo, la rigidezza della molla posta alla base dello stesso è data da:

$$R_p = \frac{Q_p}{\Delta Y}$$

Il processo di soluzione è, naturalmente, di tipo iterativo: a partire da un carico iniziale  $N_0$  si determinano gli spostamenti assiali e quindi le reazioni delle molle. La reazione della molla dovrà essere corretta per tener conto di eventuali plasticizzazioni rispettando le equazioni di equilibrio per ogni passo di carico. Il carico iniziale verrà allora incrementato di un passo opportuno  $\Delta N$  e si ripeterà il procedimento. Il processo iterativo termina quando tutte le molle risultano plasticizzate.

### 2.5.2. Dati e analisi

#### Geometria della fondazione

##### *Simbologia adottata*

<i>Descr</i>	Descrizione del palo
<i>Frm</i>	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
<i>D</i>	Diametro equivalente del palo espresso in [cm]
<i>L</i>	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descr	Frm	X	Y	D	L
		[m]	[m]	[cm]	[m]
Palo 16 (TUBOLARE QUADRO 16X16X8)	(C)	0,00	0,00	20,00	5.30



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
18 di/of 75

### Materiali palo

#### Acciaio

Tipo	S355	
Tensione caratteristica di snervamento	3619,93	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo elastico	2100000,00	[kg/cm <sup>2</sup> ]

### Coefficienti di sicurezza sui materiali

Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza sezione	1.00

### Caratteristiche pali

Pali in acciaio

Tipo di palo INFISSO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta (per l'area perimetrale piena)

### Descrizione terreni e falda

#### *Simbologia adottata*

*Descrizione*      Descrizione terreno

<i>g</i>	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
<i>g<sub>sat</sub></i>	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
<i>f</i>	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
<i>d</i>	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

*c<sub>u</sub>*      Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

*c<sub>ua</sub>*      Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

### **Parametri geotecnici**

Descrizione	<b>g</b>	<b>g<sub>sat</sub></b>	<b>f</b>	<b>d</b>	<b>c<sub>u</sub></b>	<b>c<sub>ua</sub></b>
	[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Limi sabbioso-argillosi	1360,0	1850,0	20,43	18,00	0,095	0,095
Argilla limosa	1500,0	1930,0	23,34	20,00	0,798	0,798

Descrizione stratigrafia*Simbologia adottata**N* Identificativo strato*Z* Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio espressa in [m]*Terreno* Terreno dello strato*Kw* Costante di Winkler espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm*Ks* Coefficiente di spinta*a* Coefficiente di espansione laterale

n°	Z	Terreno	Kw	Ks	a
	[m]		[kg/cm <sup>2</sup> /cm]		
1	-5,20	Limi sabbioso-argillosi	2,00	0,60	1.00
2	-13,40	Argilla limosa	2.00	0.80	1.00

Normativa

N.T.C. 2018

*Simbologia adottata**g<sub>Gsfav</sub>* Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti*g<sub>Gfav</sub>* Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti*g<sub>Qsfav</sub>* Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili*g<sub>Qfav</sub>* Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili*g<sub>tanf</sub>* Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato*g<sub>c'</sub>* Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata*g<sub>cu</sub>* Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata*g<sub>qu</sub>* Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo*g<sub>g</sub>* Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce**Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:**

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	<i>g<sub>Gfav</sub></i>	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	<i>g<sub>Gsfav</sub></i>	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	<i>g<sub>Qfav</sub></i>	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	<i>g<sub>Qsfav</sub></i>	1.50	1.30	1.00	1.00

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:**

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$g_{\tan f}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	$g_c'$	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$g_{cu}$	1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	$g_g$	1.00	1.00	1.00	1.00

**PALI DI FONDAZIONE**

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali  $g_R$  per le verifiche dei pali

**Pali infissi**

		R1	R2	R3
Punta	$g_b$	1.00	1.45	1.15
Laterale compressione	$g_s$	1.00	1.45	1.15
Totale compressione	$g_t$	1.00	1.45	1.15
Laterale trazione	$g_{st}$	1.00	1.60	1.25

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali  $g_T$  per le verifiche dei pali.

		R1	R2	R3
	$g_T$	1.00	1.60	1.30

Coefficienti di riduzione  $x$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1  $x_3=1.70$   $x_4=1.70$

**Condizioni di carico*****Simbologia e convenzioni di segno adottate***

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

$f_{nd}$  Indice della fondazione

$N_{TOT}$  Sforzo normale totale espressa in [kg]

$M_{YTOT}$  Momento in direzione Y espresso in [kgm]

$T_{TOT}$  Forza di taglio espressa in [kg]





Condizione n° 1 - Permanenti - PERMANENTE

Fondazione	N <sub>TOT</sub>	My <sub>TOT</sub>	Tx <sub>TOT</sub>
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	1093,0	188,0	39,0

Condizione n° 2 - Neve - VARIABILE

Fondazione	N <sub>TOT</sub>	My <sub>TOT</sub>	Tx <sub>TOT</sub>
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	360,0	76,0	13,0

Condizione n° 3 - Vento +X - VARIABILE

Fondazione	N <sub>TOT</sub>	My <sub>TOT</sub>	Tx <sub>TOT</sub>
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	787,0	3145,0	990,0

Condizione n° 4 - Vento -X - VARIABILE

Fondazione	N <sub>TOT</sub>	My <sub>TOT</sub>	Tx <sub>TOT</sub>
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	-787,0	-3145,0	990,0

Condizione n° 5 - Vento +Y - VARIABILE

Fondazione	N <sub>TOT</sub>	My <sub>TOT</sub>	Tx <sub>TOT</sub>
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	785,0	3104,0	976,0

Condizione n° 6 - Vento -Y - VARIABILE

Fondazione	N <sub>TOT</sub>	My <sub>TOT</sub>	Tx <sub>TOT</sub>
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	-785,0	-3104,0	976,0

Descrizione combinazioni di carico

*Simbologia adottata*

g Coefficiente di partecipazione della condizione

Y Coefficiente di combinazione della condizione



Combinazione n° 1 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00

Combinazione n° 2 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento +X	1.50	1.00
Neve	1.50	0.50

Combinazione n° 3 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento +X	1.50	0.60
Neve	1.50	1.00

Combinazione n° 4 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento -X	1.50	1.00
Neve	1.50	0.50

Combinazione n° 5 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento -X	1.50	0.60
Neve	1.50	1.00

Combinazione n° 6 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento +Y	1.50	1.00
Neve	1.50	0.50



Combinazione n° 7 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento +Y	1.50	0.60
Neve	1.50	1.00

Combinazione n° 8 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento -Y	1.50	1.00
Neve	1.50	0.50

Combinazione n° 9 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento -Y	1.50	0.60
Neve	1.50	1.00

Combinazione n° 10 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +X	1.00	1.00
Neve	1.00	0.50

Combinazione n° 11 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +X	1.00	0.20

Combinazione n° 12 - SLEQ

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00



Combinazione n° 13 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +X	1.00	0.60
Neve	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Neve	1.00	0.20

Combinazione n° 15 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -X	1.00	1.00
Neve	1.00	0.50

Combinazione n° 16 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -X	1.00	0.20

Combinazione n° 17 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -X	1.00	0.60
Neve	1.00	1.00

Combinazione n° 18 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +Y	1.00	1.00
Neve	1.00	0.50



Combinazione n° 19 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +Y	1.00	0.20

Combinazione n° 20 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +Y	1.00	0.60
Neve	1.00	1.00

Combinazione n° 21 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -Y	1.00	1.00
Neve	1.00	0.50

Combinazione n° 22 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -Y	1.00	0.20

Combinazione n° 23 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -Y	1.00	0.60
Neve	1.00	1.00

Opzioni di calcolo

**2.5.2.1. ANALISI E VERIFICHE IN CONDIZIONI NON DRENATE**Descrizione terreni e falda*Simbologia adottata**Descrizione* Descrizione terreno*g* Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]*g<sub>sat</sub>* Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]*f* Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi*d* Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi*c<sub>u</sub>* Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]*c<sub>ua</sub>* Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]**Parametri geotecnici**

Descrizione	<i>g</i>	<i>g<sub>sat</sub></i>	<i>f</i>	<i>d</i>	<i>c<sub>u</sub></i>	<i>c<sub>ua</sub></i>
	[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
					]	]
Limi sabbioso-argillosi	1360,0	1850,0	0,00	0,00	0,095	0,095
Argilla limosa	1500,0	1930,0	0,00	0,00	0,798	0,798

**Verifica della portanza assiale**

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Vesic.

È stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).

È stata impostata una pressione a piano campagna pari a 0,02 [kg/cm<sup>2</sup>]L'andamento della pressione verticale *s<sub>v</sub>* con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come "Pressione geostatica".

L'andamento della pressione verticale è stata utilizzata anche per il calcolo della portanza laterale.

**Verifica della portanza trasversale**

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO

Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Binomia:  $p_{lim} = A + B \times z^n = 1.00 + 1.00 \times z^{1.00}$ )**Cedimento verticale in testa ai pali**

Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo degli Elementi Finiti.

Spostamento limite attrito laterale: 0,50 [cm]

Spostamento limite punta: 3,00 [cm]

**Risultati e verifiche**Verifica della portanza assiale*Simbologia adottata**cmb* Identificativo della combinazione*N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>* Fattori di capacità portante*N'<sub>c</sub>* = *f*(*N<sub>c</sub>*, *s<sub>c</sub>*, *d<sub>c</sub>*)*N'<sub>q</sub>* = *f*(*N<sub>q</sub>*, *s<sub>q</sub>*, *d<sub>q</sub>*)



dove:

sc, sq Fattori di forma

dc, dq Fattori di profondità

Pl<sub>min</sub>, Pl<sub>med</sub> Portanza laterale minima e media espressa in [kg]

Pp<sub>min</sub>, Pp<sub>med</sub> Portanza di punta minima e media espressa in [kg]

Pd Portanza di progetto espressa in [kg]

N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kg]

h Coeff. di sicurezza per carichi verticali

cmb	Nc	Nq	N'c	N'q
1	9.00	1.00	7.18	1.00
2	9.00	1.00	7.18	1.00
3	9.00	1.00	7.18	1.00
4	9.00	1.00	7.18	1.00
5	9.00	1.00	7.18	1.00
6	9.00	1.00	7.18	1.00
7	9.00	1.00	7.18	1.00
8	9.00	1.00	7.18	1.00
9	9.00	1.00	7.18	1.00

cmb	Pl <sub>med</sub>	Pp <sub>med</sub>	Pl <sub>min</sub>	Pp <sub>min</sub>	Wp	Pd	N	h
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1	3605	2548	3605	2548	202	2884	1421	2.030
2	3605	2548	3605	2548	202	2884	2871	1.005
3	3605	2548	3605	2548	202	2884	2669	1.081
4	3605	2548	3605	2548	202	2884	510	5.651
5	3605	2548	3605	2548	202	2884	1253	2.303
6	3605	2548	3605	2548	202	2884	2868	1.006
7	3605	2548	3605	2548	202	2884	2667	1.081
8	3605	2548	3605	2548	202	2884	513	5.618
9	3605	2548	3605	2548	202	2884	1254	2.299



### Verifica della portanza trasversale

#### *Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

Td Taglio resistente di progetto in testa al palo, espresso in [kg]

T Taglio agente in testa al palo, espresso in [kg]

$h=Td/T$  Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali

cmb	Td	T	h
	[kg]	[kg]	
1	6522	-51	128,639
2	2008	-1545	1,300
3	1966	-961	2,045
4	2104	1425	1,477
5	2166	821	2,638
6	2006	-1524	1,316
7	1963	-949	2,069
8	2101	1404	1,497
9	2165	808	2,678

### Cedimento verticale in testa ai pali

#### *Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

w Cedimento in testa al palo, espresso in [cm]

u Spostamento orizzontale in testa al palo, espresso in [cm]

cmb	w	u
	[cm]	[cm]
1	0,1834	0,0000
2	0,3706	-0,7231
3	0,3445	-0,4615
4	0,0659	-0,6100
5	0,1617	-0,3309
6	0,3702	-0,7148
7	0,3442	-0,4567
8	0,0663	-0,6017
9	0,1619	-0,3260
10	0,2659	-0,4810





iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
29 di/of 75

cmb	w	u
	[cm]	[cm]
11	0,1614	-0,1215
12	0,1411	0,0000
13	0,2485	-0,3121
14	0,1503	0,0000
15	0,0627	-0,3995
16	0,1207	-0,0545
17	0,1266	-0,2161
18	0,2656	-0,4756
19	0,1613	-0,1205
20	0,2483	-0,3089
21	0,0630	-0,3941
22	0,1208	-0,0535
23	0,1267	-0,2129

#### Diagramma Carico-Cedimento verticale

*Simbologia adottata*

N Carico sul palo espressa in [kg]

w Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	629	0,081	2	1550	0,200	3	2931	0,378	4	4052	0,646
5	4391	1,047	6	4900	1,648	7	5663	2,550	8	6063	3,130

#### Diagramma Carico-Cedimento orizzontale

*Simbologia adottata*

N Carico sul palo espressa in [kg]

u Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	200	0,021	2	209	0,022	3	247	0,026	4	398	0,041
5	798	0,083	6	1198	0,124	7	1598	0,166	8	1998	0,207
9	2398	0,249	10	2798	0,290	11	3198	0,332	12	3598	0,373
13	3998	0,415	14	4398	0,456	15	4798	0,498	16	5196	0,541
17	5596	0,584	18	5996	0,627	19	6396	0,670	20	6796	0,713
21	7196	0,757	22	7596	0,800	23	7996	0,843	24	8396	0,886
25	8479	0,912	26			27			28		

Spostamenti e pressioni limiti*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione palo

Y ordinata palo espressa in [cm]

Ur spostamento limite espresso in [cm]

Pr pressione limite espressa in [kg/cm<sup>q</sup>]

n°	Y	Ur	Pr	n°	Y	Ur	Pr	n°	Y	Ur	Pr
	[m]	[cm]	[kg/cm <sup>q</sup> ]		[m]	[cm]	[kg/cm <sup>q</sup> ]		[m]	[cm]	[kg/cm <sup>q</sup> ]
1	0,00	0,9116	1,000	4	0,16	1,0086	2,017	7	0,32	1,0766	2,153
10	0,48	1,1066	2,213	13	0,64	1,1055	2,211	16	0,79	1,0798	2,160
19	0,95	1,0349	2,070	22	1,11	0,9759	1,952	25	1,27	0,9069	1,814
28	1,43	0,8315	1,663	31	1,59	0,7527	1,505	34	1,75	0,6731	1,346
37	1,91	0,5944	1,189	40	2,07	0,5184	1,037	43	2,23	0,4461	0,892
46	2,38	0,3784	0,757	49	2,54	0,3158	0,632	52	2,70	0,2585	0,517
55	2,86	0,2067	0,413	58	3,02	0,1603	0,321	61	3,18	0,1190	0,238
64	3,34	0,0825	0,165	67	3,50	0,0504	0,101	70	3,66	0,0223	0,045
73	3,82	-0,0023	-0,005	76	3,98	-0,0239	-0,048	79	4,13	-0,0430	-0,086
82	4,29	-0,0602	-0,120	85	4,45	-0,0758	-0,152	88	4,61	-0,0902	-0,180
91	4,77	-0,1039	-0,208	94	4,93	-0,1172	-0,234	97	5,09	-0,1302	-0,260
100	5,25	-0,1431	-0,286	103				106			

Verifica paliSollecitazioni limiti*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione

Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])

Nr sforzo normale espresso in [kg]

Tr taglio espresso in [kg]

Mr momento espresso in [kgm]



n°	Y	Mr	Tr	Nr	n°	Y	Mr	Tr	Nr
	[m]	[kgm]	[kg]	[kg]		[m]	[kgm]	[kg]	[kg]
1	0,00	8470,65	8478,61	6046,69	4	0,00	8470,65	8478,61	6046,69
7	0,32	5965,03	7133,61	5856,88	10	0,32	5965,03	7133,61	5856,88
13	0,64	3881,95	5729,92	5667,06	16	0,64	3881,95	5729,92	5667,06
19	0,95	2242,81	4368,21	5477,25	22	0,95	2242,81	4368,21	5477,25
25	1,27	1020,42	3142,68	5287,43	28	1,27	1020,42	3142,68	5287,43
31	1,59	164,02	2102,09	5097,62	34	1,59	164,02	2102,09	5097,62
37	1,91	-388,01	1262,49	4907,80	40	1,91	-388,01	1262,49	4907,80
43	2,23	-699,26	617,95	4717,99	46	2,23	-699,26	617,95	4717,99
49	2,54	-829,45	149,29	4528,17	52	2,54	-829,45	149,29	4528,17
55	2,86	-831,21	-169,20	4338,36	58	2,86	-831,21	-169,20	4338,36
61	3,18	-748,66	-364,90	4148,54	64	3,18	-748,66	-364,90	4148,54
67	3,50	-617,35	-463,56	3958,73	70	3,50	-617,35	-463,56	3958,73
73	3,82	-465,12	-487,17	3768,91	76	3,82	-465,12	-487,17	3768,91
79	4,13	-313,42	-453,00	3579,10	82	4,13	-313,42	-453,00	3579,10
85	4,45	-178,87	-373,31	3389,28	88	4,45	-178,87	-373,31	3389,28
91	4,77	-74,83	-255,71	3199,47	94	4,77	-74,83	-255,71	3199,47
97	5,09	-12,77	-103,92	3009,65	100	5,09	-12,77	-103,92	3009,65

#### Inviluppo verifiche

#### Simbologia adottata

Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso espressa in [m]
$\sigma_f$	tensione normale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{id}$	tensione ideale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\tau_f$	tensione tangenziale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
CS	coefficiente di sicurezza
M	momento agente, espresso in [kgm]
N	sforzo normale agente, espresso in [kg]
M <sub>u</sub>	momento ultimo, espresso in [kgm]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo, espresso in [kg]
T	taglio agente, espresso in [kg]
V <sub>Rd</sub>	taglio resistente, espresso in [kg]



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
32 di/of 75

Y	A <sub>f</sub>	M	N	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	CS	T	V <sub>Rd</sub>	CS <sub>T</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]		[kg]	[kg]	
0,00	48,60	1598	982	8471	0	1.69	1545	44198	28.60
0,16	48,60	1504	970	8471	0	1.79	1968	44198	22.46
0,32	48,60	1394	958	8471	0	1.92	2218	44198	19.93
0,48	48,60	1275	945	8471	0	2.09	2367	44198	18.68
0,64	48,60	1151	933	8471	0	2.31	2431	44198	18.18
0,79	48,60	1026	921	8471	0	2.58	2426	44198	18.22
0,95	48,60	903	909	8471	0	2.92	2366	44198	18.68
1,11	48,60	784	897	8471	0	3.34	2264	44198	19.52
1,27	48,60	672	884	8471	0	3.89	2130	44198	20.75
1,43	48,60	568	872	8471	0	4.58	1973	44198	22.40
1,59	48,60	472	860	8471	0	5.49	1802	44198	24.52
1,75	48,60	385	848	8471	0	6.69	1623	44198	27.23
1,91	48,60	307	836	8471	0	8.32	1442	44198	30.64
2,07	48,60	239	823	8471	0	10.61	1263	44198	34.99
2,23	48,60	179	811	8471	0	13.96	1090	44198	40.55
2,38	48,60	128	799	8471	0	19.14	925	44198	47.79
2,54	48,60	86	787	8471	0	27.89	770	44198	57.38
2,70	48,60	51	775	8471	0	44.81	627	44198	70.46
2,86	48,60	23	762	8471	0	87.92	497	44198	88.95
3,02	48,60	1	750	8471	0	100.00	380	44198	116.42
3,18	48,60	16	738	8471	0	100.00	276	44198	160.33
3,34	48,60	27	726	8471	0	100.00	185	44198	239.05
3,50	48,60	34	714	8471	0	89.19	107	44198	412.83
3,66	48,60	37	701	8471	0	78.15	42	44198	1057.21
3,82	48,60	38	689	8471	0	75.57	16	44198	2803.67
3,98	48,60	36	677	8471	0	78.47	53	44198	837.75
4,13	48,60	32	665	8471	0	86.58	83	44198	532.59
4,29	48,60	27	653	8471	0	100.00	102	44198	431.55
4,45	48,60	22	640	8471	0	100.00	111	44198	396.70
4,61	48,60	16	628	8471	0	100.00	110	44198	400.80
4,77	48,60	10	616	8471	0	100.00	99	44198	445.46
4,93	48,60	5	604	8471	0	100.00	78	44198	563.74
5,09	48,60	2	592	8471	0	100.00	48	44198	922.61
5,25	48,60	0	539	8471	0	100.00	8	44198	5694.09



Y	A <sub>f</sub>	M	N	S <sub>c</sub>	S <sub>f</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kg/cmq ]	[kg/cmq ]
0,00	48,60	1598	982	1483,44	1482,99
0,16	48,60	1504	970	1403,37	1402,57
0,32	48,60	1394	958	1308,43	1307,34
0,48	48,60	1275	945	1203,82	1202,48
0,64	48,60	1151	933	1093,87	1092,32
0,79	48,60	1026	921	982,17	980,45
0,95	48,60	903	909	871,61	869,77
1,11	48,60	784	897	764,51	762,59
1,27	48,60	672	884	662,62	660,65
1,43	48,60	568	872	567,23	565,26
1,59	48,60	472	860	479,24	477,30
1,75	48,60	385	848	399,19	397,31
1,91	48,60	307	836	327,36	325,55
2,07	48,60	239	823	263,77	262,05
2,23	48,60	179	811	208,27	206,64
2,38	48,60	128	799	160,56	159,03
2,54	48,60	86	787	120,21	118,80
2,70	48,60	51	775	86,74	85,44
2,86	48,60	23	762	59,59	58,41
3,02	48,60	1	750	38,20	37,12
3,18	48,60	16	738	40,61	40,09
3,34	48,60	27	726	50,72	50,53
3,50	48,60	34	714	57,09	57,04
3,66	48,60	37	701	60,21	60,20
3,82	48,60	38	689	60,59	60,59
3,98	48,60	36	677	58,76	58,74
4,13	48,60	32	665	55,23	55,19
4,29	48,60	27	653	50,49	50,43
4,45	48,60	22	640	45,04	44,96
4,61	48,60	16	628	39,33	39,24
4,77	48,60	10	616	33,81	33,73
4,93	48,60	5	604	28,94	28,88
5,09	48,60	2	592	25,16	25,13
5,25	48,60	0	539	21,36	21,36

**2.5.2.2. ANALISI E VERIFICHE IN CONDIZIONI DRENATE**

Pur essendo non rappresentativa la condizione in esame, per maggiore sicurezza viene eseguita.

**Descrizione terreni e falda****Simbologia adottata**

**Descrizione**      Descrizione terreno

$g$                       Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

$g_{sat}$                   Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

$f$                       Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

$d$                       Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

$c_u$                     Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

$c_{ua}$                   Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

**Parametri geotecnici**

Descrizione	$g$	$g_{sat}$	$f$	$d$	$c_u$	$c_{ua}$
	[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Limi sabbioso-argillosi	1360,0	1850,0	20,43	18,00	0,00	0,00
Argilla limosa	1500,0	1930,0	23,34	20,00	0,00	0,00

**Verifica della portanza assiale**

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è:      Vesic.

È stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).

È stata impostata una pressione a piano campagna pari a 0,02 [kg/cm<sup>2</sup>]

L'andamento della pressione verticale  $s_v$  con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stato definito come:      Pressione geostatica.

L'andamento della pressione verticale è stato utilizzato anche per il calcolo della portanza laterale.

**Verifica della portanza trasversale**

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO

Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Binomia:       $p_{lim} = A + B \times z_n = 1.00 + 1.00 \times z1.00$ )

**Cedimento verticale in testa ai pali**

Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo degli Elementi Finiti.

Spostamento limite attrito laterale: 0,50 [cm]

Spostamento limite punta: 3,00 [cm]

**Risultati e verifiche**Verifica della portanza assiale*Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

Nc, Nq Fattori di capacità portante

 $N'c = f(Nc, sc, dc)$  $N'q = f(Nq, sq, dq)$ 

dove:

sc, sq Fattori di forma

dc, dq Fattori di profondità

Pl<sub>min</sub>, Pl<sub>med</sub> Portanza laterale minima e media espressa in [kg]Pp<sub>min</sub>, Pp<sub>med</sub> Portanza di punta minima e media espressa in [kg]

Pd Portanza di progetto espressa in [kg]

N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kg]

h Coeff. di sicurezza per carichi verticali

cmb	Nc	Nq	N'c	N'q
1	34.53	22.30	91.67	20.68
2	34.53	22.30	91.67	20.68
3	34.53	22.30	91.67	20.68
4	34.53	22.30	91.67	20.68
5	34.53	22.30	91.67	20.68
6	34.53	22.30	91.67	20.68
7	34.53	22.30	91.67	20.68
8	34.53	22.30	91.67	20.68
9	34.53	22.30	91.67	20.68

cmb	Pl <sub>med</sub>	Pp <sub>med</sub>	Pl <sub>min</sub>	Pp <sub>min</sub>	Wp	Pd	N	h
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1	2740	3559	2740	3559	202	2959	1421	2.082
2	2740	3559	2740	3559	202	2959	2871	1.030
3	2740	3559	2740	3559	202	2959	2669	1.108
4	2740	3559	2740	3559	202	2959	510	5.797
5	2740	3559	2740	3559	202	2959	1253	2.362
6	2740	3559	2740	3559	202	2959	2868	1.032
7	2740	3559	2740	3559	202	2959	2667	1.109
8	2740	3559	2740	3559	202	2959	513	5.763
9	2740	3559	2740	3559	202	2959	1254	2.359



### Verifica della portanza trasversale

#### *Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

Td Taglio resistente di progetto in testa al palo, espresso in [kg]

T Taglio agente in testa al palo, espresso in [kg]

$h=Td/T$  Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali

cmb	Td	T	h
	[kg]	[kg]	
1	6522	-51	128,639
2	2008	-1545	1,300
3	1966	-961	2,045
4	2104	1425	1,477
5	2166	821	2,638
6	2006	-1524	1,316
7	1963	-949	2,069
8	2101	1404	1,497
9	2165	808	2,678

### Cedimento verticale in testa ai pali

#### *Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

w Cedimento in testa al palo, espresso in [cm]

u Spostamento orizzontale in testa al palo, espresso in [cm]

cmb	w	u
	[cm]	[cm]
1	0,2735	0,0000
2	0,7080	-0,7231
3	0,5659	-0,4615
4	0,0983	-0,6100
5	0,2411	-0,3309
6	0,7054	-0,7148
7	0,5654	-0,4567
8	0,0988	-0,6017
9	0,2415	-0,3260
10	0,4193	-0,4810
11	0,2407	-0,1215





iCube Development I 6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
37 di/of 75

cmb	w	u
	[cm]	[cm]
12	0,2104	0,0000
13	0,3869	-0,3121
14	0,2243	0,0000
15	0,0936	-0,3995
16	0,1801	-0,0545
17	0,1888	-0,2161
18	0,4189	-0,4756
19	0,2406	-0,1205
20	0,3866	-0,3089
21	0,0939	-0,3941
22	0,1802	-0,0535
23	0,1890	-0,2129

#### Spostamenti e pressioni limiti

##### *Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione palo  
Y ordinata palo espressa in [cm]  
Ur spostamento limite espresso in [cm]  
Pr pressione limite espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

#### Diagramma Carico-Cedimento verticale

##### *Simbologia adottata*

N Carico sul palo espressa in [kg]  
w Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	644	0,124	2	1586	0,305	3	2718	0,578	4	3199	0,986
5	3921	1,598	6	5004	2,516	7	5603	3,615	8		

#### Diagramma Carico-Cedimento orizzontale

##### *Simbologia adottata*

N Carico sul palo espressa in [kg]  
u Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	200	0,021	2	209	0,022	3	247	0,026	4	398	0,041



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
38 di/of 75

n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
5	798	0,083	6	1198	0,124	7	1598	0,166	8	1998	0,207
9	2398	0,249	10	2798	0,290	11	3198	0,332	12	3598	0,373
13	3998	0,415	14	4398	0,456	15	4798	0,498	16	5196	0,541
17	5596	0,584	18	5996	0,627	19	6396	0,670	20	6796	0,713
21	7196	0,757	22	7596	0,800	23	7996	0,843	24	8396	0,886
25	8479	0,912	26			27			28		

Verifica pali

Sollecitazioni limiti

*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione

Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])

Nr sforzo normale espresso in [kg]

Tr taglio espresso in [kg]

Mr momento espresso in [kgm]

n°	Y	Mr	Tr	Nr	n°	Y	Mr	Tr	Nr
	[m]	[kgm]	[kg]	[kg]		[m]	[kgm]	[kg]	[kg]
1	0,00	8470,65	8478,61	5602,78	4	0,00	8470,65	8478,61	5602,78
7	0,32	5965,03	7133,61	5585,16	10	0,32	5965,03	7133,61	5585,16
13	0,64	3881,95	5729,92	5550,70	16	0,64	3881,95	5729,92	5550,70
19	0,95	2242,81	4368,21	5499,39	22	0,95	2242,81	4368,21	5499,39
25	1,27	1020,42	3142,68	5431,23	28	1,27	1020,42	3142,68	5431,23
31	1,59	164,02	2102,09	5346,65	34	1,59	164,02	2102,09	5346,65
37	1,91	-388,01	1262,49	5250,27	40	1,91	-388,01	1262,49	5250,27
43	2,23	-699,26	617,95	5143,37	46	2,23	-699,26	617,95	5143,37
49	2,54	-829,45	149,29	5025,94	52	2,54	-829,45	149,29	5025,94
55	2,86	-831,21	-169,20	4897,98	58	2,86	-831,21	-169,20	4897,98
61	3,18	-748,66	-364,90	4759,49	64	3,18	-748,66	-364,90	4759,49
67	3,50	-617,35	-463,56	4610,47	70	3,50	-617,35	-463,56	4610,47
73	3,82	-465,12	-487,17	4450,92	76	3,82	-465,12	-487,17	4450,92
79	4,13	-313,42	-453,00	4280,84	82	4,13	-313,42	-453,00	4280,84
85	4,45	-178,87	-373,31	4100,24	88	4,45	-178,87	-373,31	4100,24
91	4,77	-74,83	-255,71	3909,10	94	4,77	-74,83	-255,71	3909,10
97	5,09	-12,77	-103,92	3707,44	100	5,09	-12,77	-103,92	3707,44



*Inviluppo verifiche*

*Simbologia adottata*

Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso espressa in [m]
S <sub>r</sub>	tensione normale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
S <sub>id</sub>	tensione ideale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
t <sub>r</sub>	tensione tangenziale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
CS	coefficiente di sicurezza
M	momento agente, espresso in [kgm]
N	sforzo normale agente, espresso in [kg]
M <sub>u</sub>	momento ultimo, espresso in [kgm]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo, espresso in [kg]
T	taglio agente, espresso in [kg]
V <sub>Rd</sub>	taglio resistente, espresso in [kg]

Y	A <sub>r</sub>	M	N	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	CS	T	V <sub>Rd</sub>	CS <sub>T</sub>
[m]	[cm <sup>2</sup> ]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]		[kg]	[kg]	
0,00	48,60	1598	982	8471	0	1.69	1545	44198	28.60
0,16	48,60	1504	987	8471	0	1.79	1968	44198	22.46
0,32	48,60	1394	990	8471	0	1.92	2218	44198	19.93
0,48	48,60	1275	992	8471	0	2.09	2367	44198	18.68
0,64	48,60	1151	994	8471	0	2.31	2431	44198	18.18
0,79	48,60	1026	994	8471	0	2.58	2426	44198	18.22
0,95	48,60	903	993	8471	0	2.92	2366	44198	18.68
1,11	48,60	784	992	8471	0	3.34	2264	44198	19.52
1,27	48,60	672	989	8471	0	3.89	2130	44198	20.75
1,43	48,60	568	985	8471	0	4.58	1973	44198	22.40
1,59	48,60	472	980	8471	0	5.49	1802	44198	24.52
1,75	48,60	385	974	8471	0	6.69	1623	44198	27.23
1,91	48,60	307	968	8471	0	8.32	1442	44198	30.64
2,07	48,60	239	961	8471	0	10.61	1263	44198	34.99
2,23	48,60	179	953	8471	0	13.96	1090	44198	40.55
2,38	48,60	128	945	8471	0	19.14	925	44198	47.79
2,54	48,60	86	936	8471	0	27.89	770	44198	57.38
2,70	48,60	51	927	8471	0	44.81	627	44198	70.46
2,86	48,60	23	916	8471	0	87.92	497	44198	88.95
3,02	48,60	1	906	8471	0	100.00	380	44198	116.42
3,18	48,60	16	894	8471	0	100.00	276	44198	160.33
3,34	48,60	27	882	8471	0	100.00	185	44198	239.05
3,50	48,60	34	869	8471	0	89.19	107	44198	412.83



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
40 di/of 75

Y	A <sub>f</sub>	M	N	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	CS	T	V <sub>Rd</sub>	CS <sub>T</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]		[kg]	[kg]	
3,66	48,60	37	855	8471	0	78.15	42	44198	1057.21
3,82	48,60	38	841	8471	0	75.57	16	44198	2803.67
3,98	48,60	36	826	8471	0	78.47	53	44198	837.75
4,13	48,60	32	811	8471	0	86.58	83	44198	532.59
4,29	48,60	27	794	8471	0	100.00	102	44198	431.55
4,45	48,60	22	778	8471	0	100.00	111	44198	396.70
4,61	48,60	16	760	8471	0	100.00	110	44198	400.80
4,77	48,60	10	742	8471	0	100.00	99	44198	445.46
4,93	48,60	5	723	8471	0	100.00	78	44198	563.74
5,09	48,60	2	703	8471	0	100.00	48	44198	922.61
5,25	48,60	0	680	8471	0	100.00	8	44198	5694.09

Y	A <sub>f</sub>	M	N	S <sub>c</sub>	S <sub>f</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kg/cmq ]	[kg/cmq ]
0,00	48,60	1598	982	1483,44	1482,99
0,16	48,60	1504	987	1404,03	1403,23
0,32	48,60	1394	990	1309,71	1308,62
0,48	48,60	1275	992	1205,67	1204,33
0,64	48,60	1151	994	1096,25	1094,70
0,79	48,60	1026	994	985,04	983,32
0,95	48,60	903	993	874,93	873,10
1,11	48,60	784	992	768,24	766,32
1,27	48,60	672	989	666,71	664,76
1,43	48,60	568	985	571,64	569,69
1,59	48,60	472	980	483,93	482,01
1,75	48,60	385	974	404,14	402,28
1,91	48,60	307	968	332,54	330,75
2,07	48,60	239	961	269,15	267,46
2,23	48,60	179	953	213,82	212,24
2,38	48,60	128	945	166,25	164,78
2,54	48,60	86	936	126,02	124,68
2,70	48,60	51	927	92,63	91,42
2,86	48,60	23	916	65,54	64,47



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
41 di/of 75

Y	A <sub>f</sub>	M	N	S <sub>c</sub>	S <sub>f</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kg/cmq ]	[kg/cmq ]
3,02	48,60	1	906	44,15	43,22
3,18	48,60	16	894	46,68	46,22
3,34	48,60	27	882	56,82	56,66
3,50	48,60	34	869	63,19	63,14
3,66	48,60	37	855	66,26	66,25
3,82	48,60	38	841	66,56	66,56
3,98	48,60	36	826	64,62	64,60
4,13	48,60	32	811	60,95	60,92
4,29	48,60	27	794	56,06	56,01
4,45	48,60	22	778	50,42	50,35
4,61	48,60	16	760	44,50	44,42
4,77	48,60	10	742	38,75	38,67
4,93	48,60	5	723	33,61	33,56
5,09	48,60	2	703	29,55	29,53
5,25	48,60	0	680	26,88	26,88



### 3. RELAZIONE GEOTECNICA FONDAZIONI TRACKER 1X24

#### 3.1. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La presente relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del "volume significativo" per l'opera in esame e valuta l'interazione opera/terreno ai fini della verifica delle relative fondazioni. La struttura nel suo complesso è sostenuta da 5 pilastri, quindi da 5 pali di fondazione. Questa relazione è stata redatta sulla base dei dati risultanti dalla Relazione Geologica e dalle relative prove di campagna e/o di laboratorio effettuate.

#### 3.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

- Circolare 7 del 21/01/2019



Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

### 3.3. INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

In riferimento all'area in esame, si è proceduto ad una campagna di indagini geognostiche finalizzate alla determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dal “*volume significativo*” dell'opera in esame. In particolare, i risultati, relativamente ai parametri geotecnici, sono riportati in premessa e nell'allegato studio geologico.

#### 3.3.1. Caratterizzazione geotecnica

Al fine della determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni coinvolti nel “*volume significativo*” dell'opera in esame, sono state condotte delle prove geotecniche, come sopra riportato.

Le indagini eseguite hanno permesso di ricostruire le seguenti stratigrafie per ognuna delle quali sono state definite le proprietà geotecniche dei singoli terreni coinvolti. Nelle verifiche di cui appresso si considera l'asportazione del terreno superficiale.

#### Descrizione terreni e falda

##### *Simbologia adottata*

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
<i>g</i>	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
<i>g<sub>sat</sub></i>	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
<i>f</i>	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
<i>d</i>	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
<i>c<sub>u</sub></i>	Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
<i>c<sub>ua</sub></i>	Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

##### **Parametri caratteristici**

Descrizione	<b>g</b>	<b>g<sub>sat</sub></b>	<b>f</b>	<b>d</b>	<b>c<sub>u</sub></b>	<b>c<sub>ua</sub></b>
	[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Limi sabbioso-argillosi	1360,0	1850,0	20,43	18,00	0,095	0,095
Argilla limosa	1500,0	1930,0	23,34	20,00	0,798	0,798

#### **Falda**

Profondità dal piano di posa 1,50 [m]

#### Descrizione stratigrafia

##### *Simbologia adottata*

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato
<i>K<sub>w</sub></i>	Costante di Winkler espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm



Ks Coefficiente di spinta

a Coefficiente di espansione laterale

n°	Z1	Z2	Z3	Terreno	Kw	Ks	a
	[m]	[m]	[m]		[kg/cm <sup>2</sup> /cm]		
1	-5,20	-5,20	-7,00	Limi sabbioso-argillosi	2.00	0.60	1.00
2	-13,40	-13,40	-13,40	Argilla limosa	2.00	0.80	1.00

### 3.3.2. Area di sedime

Il sito oggetto della relazione è individuato posta mediamente ad una quota di m 3/4 s.l.m. quasi pianeggiante.

### 3.3.3. Idrogeologia

Tipologia di falda	Quota Piezometrica
Falda	1.50 m

### 3.3.4. MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

Le indagini effettuate, hanno permesso di classificare il profilo stratigrafico, ai fini della determinazione dell'azione sismica, di categoria **C** essendo il valore determinato di  $V_{s30} = 283$  m/s.

**C [C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti]**., basandosi sulla valutazione della velocità delle onde di taglio ( $V_{s30}$ ) e/o del numero di colpi dello Standard Penetration Test ( $N_{SPT}$ ) e/o della resistenza non drenata equivalente ( $c_{u,30}$ ).

Tutti i parametri che caratterizzano i terreni di fondazione sono riportati nei successivi paragrafi.

#### 3.3.4.1. Modellazione geotecnica

Ai fini del calcolo strutturale, il terreno sottostante l'opera viene modellato secondo lo schema di Winkler, cioè un sistema costituito da un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti. Ciò consente di ricavare le rigidità offerte dai manufatti di fondazione, siano queste profonde o superficiali, che sono state calcolate separatamente per tener conto dell'interazione opera/terreno.

#### 3.3.4.2. Pericolosità sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018.

In particolare, il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato





alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica;

- individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio;
- determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- calcolo del periodo  $T_c$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerate.

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito rispetto al Datum **ED50**:

Latitudine	Longitudine	Altitudine
[°]	[°]	[m]
44.781985	11.723057	3

#### DATI GENERALI ANALISI SISMICA

Ang	NV	CD	MP	Dir	TS	EcA	Ir <sub>tmp</sub>	C.S.T.	RP	RH	x
[°]											[%]
0	15	A	ac	X	[M]	S	N	C	SI	SI	5
				Y	[M]						

#### LEGENDA:

**Ang** Direzione di una componente dell'azione sismica rispetto all'asse X (sistema di riferimento globale); la seconda componente dell'azione sismica e' assunta con direzione ruotata di 90 gradi rispetto alla prima.

**NV** Nel caso di analisi dinamica, indica il numero di modi di vibrazione considerati.

**CD** Classe di duttilità: [A] = Alta - [B] = Media - [ND] = Non Dissipativa - [-] = Nessuna.

**MP** Tipo di struttura sismo-resistente prevalente: [ca] = calcestruzzo armato - [caOld] = calcestruzzo armato esistente - [muOld] = muratura esistente - [muNew] = muratura nuova - [muArm] = muratura armata - [ac] = acciaio.

**Dir** Direzione del sisma.

**TS** Tipologia della struttura:

Cemento armato: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [P] = Pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti- [2P NC] = Due pareti per direzione non accoppiate - [P NC] = Pareti non accoppiate - [DT] = Deformabili torsionalmente - [PI] = Pendolo inverso - [PM] = Pendolo inverso intelaiate monopiano;

Muratura: [P] = un solo piano - [PP] = più di un piano - [C-P/MP] = muratura in pietra e/o mattoni pieni - [C-BAS] = muratura in blocchi artificiali con percentuale di foratura > 15%;

Acciaio: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [CT] = controventi concentrici diagonale tesa - [CV] = controventi concentrici a V - [M] = mensola o pendolo inverso - [TT]



Ang	NV	CD	MP	Dir	TS	EcA	Ir <sub>tmp</sub>	C.S.T.	RP	RH	x
[°]											[%]

= telaio con tamponature.

**EcA** Eccentricità accidentale: [S] = considerata come condizione di carico statica aggiuntiva - [N] = Considerata come incremento delle sollecitazioni.

**Ir<sub>tmp</sub>** Per piani con distribuzione dei tamponamenti in pianta fortemente irregolare, l'eccentricità accidentale è stata incrementata di un fattore pari a 2: [SI] = Distribuzione tamponamenti irregolare fortemente - [NO] = Distribuzione tamponamenti regolare.

**C.S.** Categoria di sottosuolo: [A] = Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi - [B] = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti - [C] = Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti - [D] = Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti - [E] = Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D.

**RP** Regolarità in pianta: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.

**RH** Regolarità in altezza: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.

**x** Coefficiente viscoso equivalente.

**NOT** [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.

**E**

#### DATI GENERALI ANALISI SISMICA - FATTORI DI COMPORTAMENTO

r	q'	q	q <sub>0</sub>	K <sub>R</sub>	a <sub>u</sub> /a <sub>1</sub>	k <sub>w</sub>
	-	2,000	2,000	1,00	1,00	-
	-	2,000	2,000	1,00	1,00	-
	-	1,500	-	-	-	-

#### LEGENDA:

**q'** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU ridotto (Fattore di comportamento ridotto - relazione C7.3.1 circolare NTC)

**q** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU (Fattore di comportamento).

**q<sub>0</sub>** Valore di base (comprensivo di k<sub>w</sub>).

**K<sub>R</sub>** Fattore riduttivo funzione della regolarità in altezza : pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza, 0,8 per costruzioni non regolari in altezza, e 0,75 per costruzioni in muratura esistenti non regolari in altezza (§ C8.5.5.1)..

**a<sub>u</sub>/a<sub>1</sub>** Rapporto di sovrarresistenza.

**k<sub>w</sub>** Fattore di riduzione di q<sub>0</sub>.



Stato Limite	$T_r$	$a_g/g$	Amplif. Stratigrafica		$F_0$	$F_v$	$T_c^*$	$T_B$	$T_c$	$T_D$
			$S_s$	$C_c$						
	[t]						[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	30	0,0380	1,500	1,644	2,542	0,669	0,257	0,141	0,423	1,752
SLD	50	0,0484	1,500	1,612	2,487	0,739	0,273	0,147	0,440	1,794
SLV	475	0,1412	1,480	1,617	2,593	1,315	0,270	0,146	0,437	2,165
SLC	975	0,1902	1,410	1,598	2,545	1,498	0,280	0,149	0,447	2,361

## LEGENDA:

 $T_r$  Periodo di ritorno dell'azione sismica. [t] = anni. $a_g/g$  Coefficiente di accelerazione al suolo. $S_s$  Coefficienti di Amplificazione Stratigrafica allo SLO/SLD/SLV/SLC. $C_c$  Coefficienti di Amplificazione di  $T_c$  allo SLO/SLD/SLV/SLC. $F_0$  Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale. $F_v$  Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale. $T_c^*$  Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. $T_B$  Periodo di inizio del tratto accelerazione costante dello spettro di progetto. $T_c$  Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di progetto. $T_D$  Periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro di progetto.

CI Ed	$V_N$	$V_R$	Lat.	Long.	$Q_g$	CTop	$S_T$
	[t]	[t]	[°ssdc]	[°ssdc]	[m]		
2	50	50	44.781985	11.723057	3	T1	1,00

## LEGENDA:

**CI Ed** Classe dell'edificio $V_N$  Vita nominale ([t] = anni). $V_R$  Periodo di riferimento. [t] = anni.**Lat.** Latitudine geografica del sito.**Long** Longitudine geografica del sito.

.

 $Q_g$  Altitudine geografica del sito.**CTop** Categoria topografica (Vedi NOTE). $S_T$  Coefficiente di amplificazione topografica.**NOT** [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.**E** Categoria topografica.T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .T2: Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ .



Cl Ed	V <sub>N</sub>	V <sub>R</sub>	Lat.	Long.	Q <sub>g</sub>	C <sub>Top</sub>	S <sub>T</sub>
-------	----------------	----------------	------	-------	----------------	------------------	----------------

T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .

T4: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ .

### 3.5 – VERIFICHE FONDAZIONI TRACKER 1X24

#### 3.5.1 - Premessa

##### Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

- Circolare 7 del 21/01/2019

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.



## Richiami teorici

### Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il valore di calcolo della resistenza verticale del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, la resistenza di calcolo verticale del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

$Q_T$  Portanza totale del palo;

$Q_P$  Portanza di base del palo;

$Q_L$  Portanza per attrito laterale del palo;

$W_P$  Peso proprio del palo.

Le due componenti  $Q_P$  e  $Q_L$  sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo  $Q_A$  applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente  $g_b$  e  $g_s$ .

I coefficienti  $g_b$  e  $g_s$  rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P/g_b + Q_L/g_s - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L/g_s + W_P$$

### *Capacità portante di punta*

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$



dove  $A_p$  è l'area portante efficace della punta del palo,  $c$  è la coesione,  $q_b$  è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti  $N_c$  e  $N_q$  sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

$N_c$  ed  $N_q$  dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ( $f$  e  $c$ ).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di  $N_c$  ed  $N_q$ .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ( $f=0$ ,  $c=c_u$ ) si assume in genere per  $N_c$  il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre  $N_q=1$ . Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore  $N_c$  ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore  $N_q$  per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro.

In particolare da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato.

In particolare si assume che la pressione verticale  $s_v$  cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità  $z_c$  ( $s_v=s_c$ ); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene costante e pari a  $s_c$ : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di  $z_c$  (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo,  $D$ , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno  $f$ .

Nella determinazione di  $z_c$  il valore di  $f$  da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo,  $f'$ , secondo le seguenti relazioni:

Per pali infissi  $f = 3/4 f' + 10$

Per pali trivellati  $f = f' - 3$

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa  $D_r$ ) e la resistenza alla punta cresce con il crescere della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di  $N_c$  ed  $N_q$ .

#### *Capacità portante per attrito laterale*

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \int (t_a) dS$$

dove  $t_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$t_a = c_a + s_h \operatorname{tg} d$$



dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $d$  è l'angolo di attrito palo-terreno, e  $s_h$  è la tensione orizzontale alla generica profondità  $z$ . La tensione orizzontale  $s_h$  è legata alla pressione verticale  $s_v$  tramite il coefficiente di spinta  $K_s$

$$s_h = K_s s_v$$

Indicando con  $C$  il perimetro e con  $L$  la lunghezza del palo abbiamo:

$$\text{Int}^L (C(c_a + K_s s_v \tan d) dz)$$

#### Analisi del palo soggetto a forze orizzontali (Portanza trasversale)

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo ed il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo. Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto) mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidezze non eccessive rispetto al terreno di infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante di rigidezza elastica,  $K_h$ , espressa in  $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$  che rappresenta la pressione (in  $\text{Kg/cm}^2$ ) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm. La determinazione di questa costante può essere fatta o tramite prove di carico su piastra o mediante metodi analitici (convenzionali). La variazione della costante di Winkler con la profondità dipende dal tipo di terreno in cui il palo è immerso. Ad esempio nel caso di terreni coesivi in condizioni non drenate  $K_h$  assume un valore costante con la profondità mentre nel caso di terreni incoerenti la variazione di  $K_h$  è di tipo lineare (crescente con la profondità). In generale l'espressione di  $K_h$  assume una forma binomia del tipo:

$$K_h(z) = A + B z^n$$

Per l'analisi di pali caricati trasversalmente si utilizza il modello di Winkler. Il palo viene suddiviso in un determinato numero (100) di elementi tipo trave aventi area ed inerzia pari a quella della sezione trasversale del palo. In corrispondenza di ogni nodo di separazione fra i vari elementi viene inserita una molla orizzontale di opportuna rigidezza che schematizza il terreno. Il comportamento delle molle che schematizzano il terreno non è infinitamente elastico ma è di tipo elastoplastico. La singola molla reagisce fino ad un valore limite di spostamento o di reazione; una volta che è stato superato tale limite la molla non offre ulteriori incrementi di resistenza (diagramma tipo elastoplastico perfetto). Indicando con  $d_y$  la lunghezza del tratto di influenza della molla, con  $D$  il diametro del palo la molla avrà una rigidezza pari a:

$$K_m = d_y E D K_k$$

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che il terreno può esplicare quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale. La resistenza limite  $p_u = p_u(z)$  dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo. In terreni puramente coesivi ( $c=c_u$ ,  $f=0$ ) la resistenza cresce dal valore 0 in sommità fino ad un valore limite in corrispondenza di una profondità pari a circa 3 diametri. Il valore limite in tal caso è variabile fra 8 e 12  $c_u$ . Nel caso di terreni dotati di attrito e coesione la resistenza limite ad una generica profondità  $z$  è rappresentata dalla relazione (Brinch Hansen):



$$P_u = q K_{pq} + c K_{pc}$$

dove:

D diametro del palo

q pressione geostatica alla profondità z

c coesione alla profondità z

$K_{pq}$ ,  $K_{pc}$  coefficienti funzione dell'angolo di attrito del terreno  $f$  e del rapporto  $z/D$ .

Broms ha eseguito l'analisi considerando il caso sia di palo vincolato in testa che di palo libero immerso in un mezzo omogeneo. Nel caso di terreni coesivi Broms assume in questo caso un diagramma di resistenza nullo fino ad una profondità pari a  $1,5D$  e poi valore costante pari a  $9c_u D$ .

Nel caso di terreni incoerenti Broms assume che la resistenza laterale sia variabile con la profondità dal valore 0 (in testa) fino al valore  $3s_v K_p D$  (alla base) essendo  $K_p$  il coefficiente di resistenza passiva espresso da  $K_p = \tan^2(45^\circ + f/2)$ .

#### Calcolo dei cedimenti verticali dei pali

Il calcolo dei cedimenti viene condotto con il metodo degli elementi finiti.

Determinata la portanza laterale e di punta del palo lo stesso viene discretizzato in  $n$  elementi tipo trave aventi area ed inerzia corrispondenti alla sezione trasversale del palo e lunghezza pari ad  $l_e$ . Vengono disposte, inoltre, lungo il fusto del palo una serie di molle (una per ogni elemento), coassiali al palo stesso, aventi rigidezza opportuna. Una ulteriore molla viene disposta alla base del palo. Le suddette molle hanno un comportamento elastoplastico. In particolare, le molle lungo il fusto saranno in grado di reagire linearmente fino a quando la pressione in corrispondenza di esse non raggiunge il valore limite dell'aderenza palo terreno. Una volta raggiunto tale valore le molle non saranno più in grado di fornire ulteriore resistenza. La molla posta alla base del palo avrà invece una resistenza limite pari alla portanza di punta del palo stesso. Per la determinazione delle rigidezze delle molle si assume uno spostamento di riferimento pari a  $\Delta Y = 3.000$ . La rigidezza della generica molla, posta a profondità  $z$  rispetto al piano campagna sarà data da

$$R_l = \frac{(c_a + s_h K_s \tan \delta) \pi D l_e}{\Delta Y}$$

In questa espressione  $c_a$  è l'aderenza palo terreno,  $s_h$  è la pressione orizzontale alla profondità  $z$ ,  $\delta$  è l'angolo d'attrito palo terreno,  $K_s$  è il coefficiente di spinta e  $D$  è il diametro del palo.

Indicando con  $Q_p$  la portanza alla punta del palo, la rigidezza della molla posta alla base dello stesso è data da:

$$R_p = \frac{Q_p}{\Delta Y}$$

Il processo di soluzione è, naturalmente, di tipo iterativo: a partire da un carico iniziale  $N_0$  si determinano gli spostamenti assiali e quindi le reazioni delle molle. La reazione della molla dovrà essere corretta per tener conto di eventuali plasticizzazioni rispettando le equazioni di equilibrio per ogni passo di carico. Il carico iniziale verrà allora incrementato di un passo opportuno  $\Delta N$  e si ripeterà il procedimento. Il processo iterativo termina quando tutte le molle risultano plasticizzate.



**3.3.5. Dati e analisi**Geometria della fondazione*Simbologia adottata*

<i>Descr</i>	Descrizione del palo
<i>Frm</i>	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
<i>D</i>	Diametro equivalente del palo espresso in [cm]
<i>L</i>	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descr	Frm	X	Y	D	L
		[m]	[m]	[cm]	[m]
Palo 16 (TUBOLARE QUADRO 16X16X8)	(C)	0,00	0,00	20,00	5.30

Materiali palo*Acciaio*

Tipo	S355	
Tensione caratteristica di snervamento	3619,93	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo elastico	2100000,00	[kg/cm <sup>2</sup> ]

Coefficienti di sicurezza sui materiali

Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza sezione	1.00

Caratteristiche pali

## Pali in acciaio

## Tipo di palo INFISSO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta (per l'area perimetrale piena)

Descrizione terreni e falda*Simbologia adottata*

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
<i>g</i>	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
<i>g<sub>sat</sub></i>	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
<i>f</i>	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
<i>d</i>	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
<i>c<sub>u</sub></i>	Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
<i>c<sub>ua</sub></i>	Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
54 di/of 75

### Parametri geotecnici

Descrizione	g	g <sub>sat</sub>	f	d	C <sub>u</sub>	C <sub>ua</sub>
	[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>q</sup> ]	[kg/cm <sup>q</sup> ]
Limi sabbioso-argillosi	1360,0	1850,0	20,43	18,00	0,095	0,095
Argilla limosa	1500,0	1930,0	23,34	20,00	0,798	0,798

### Descrizione stratigrafia

#### Simbologia adottata

N Identificativo strato

Z Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio espressa in [m]

Terreno Terreno dello strato

Kw Costante di Winkler espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm

Ks Coefficiente di spinta

a Coefficiente di espansione laterale

n°	Z	Terreno	Kw	Ks	a
	[m]		[kg/cm <sup>q</sup> /c m]		
1	-5,20	Limi sabbioso-argillosi	2,00	0,60	1.00
2	-13,40	Argilla limosa	2.00	0.80	1.00

### Normativa

N.T.C. 2018

#### Simbologia adottata

g<sub>Gsfav</sub> Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti

g<sub>Gfav</sub> Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti

g<sub>Qsfav</sub> Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili

g<sub>Qfav</sub> Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili

g<sub>tanf</sub> Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato

g<sub>c'</sub> Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata

g<sub>cu</sub> Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata

g<sub>qu</sub> Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo

g<sub>g</sub> Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

**Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:**

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	$g_{Gfav}$	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$g_{Gs fav}$	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	$g_{Qfav}$	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$g_{Qs fav}$	1.50	1.30	1.00	1.00

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:**

Parametri			Statici		Sismici	
			M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$g_{tanf}$		1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	$g_{c'}$		1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$g_{cu}$		1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	$g_g$		1.00	1.00	1.00	1.00

**PALI DI FONDAZIONE**CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali  $g_R$  per le verifiche dei pali**Pali infissi**

		R1	R2	R3
Punta	$g_b$	1.00	1.45	1.15
Laterale compressione	$g_s$	1.00	1.45	1.15
Totale compressione	$g_t$	1.00	1.45	1.15
Laterale trazione	$g_{st}$	1.00	1.60	1.25

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali  $g_T$  per le verifiche dei pali.

		R1	R2	R3
	$g_T$	1.00	1.60	1.30

Coefficienti di riduzione  $x$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei paliNumero di verticali indagate 1  $x_3=1.70$   $x_4=1.70$ **Condizioni di carico***Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

*fnd* Indice della fondazione



$N_{TOT}$  Sforzo normale totale espressa in [kg]

$M_{yTOT}$  Momento in direzione Y espresso in [kgm]

$T_{TOT}$  Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 - Permanenti - PERMANENTE

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{yTOT}$	$T_{xTOT}$
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	1036,0	127,0	21,0

Condizione n° 2 - Neve - VARIABILE

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{yTOT}$	$T_{xTOT}$
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	337,0	60,0	3,0

Condizione n° 3 - Vento +X - VARIABILE

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{yTOT}$	$T_{xTOT}$
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	603,0	3087,0	938,0

Condizione n° 4 - Vento -X - VARIABILE

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{yTOT}$	$T_{xTOT}$
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	-603,0	-3087,0	938,0

Condizione n° 5 - Vento +Y - VARIABILE

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{yTOT}$	$T_{xTOT}$
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	603,0	2992,0	887,0

Condizione n° 6 - Vento -Y - VARIABILE

Fondazione	$N_{TOT}$	$M_{yTOT}$	$T_{xTOT}$
	[kg]	[kgm]	[kg]
Palo 160x160x8	-602,0	-2992,0	887,0

Descrizione combinazioni di carico

*Simbologia adottata*

$g$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$Y$  Coefficiente di combinazione della condizione



Combinazione n° 1 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00

Combinazione n° 2 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento +X	1.50	1.00
Neve	1.50	0.50

Combinazione n° 3 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento +X	1.50	0.60
Neve	1.50	1.00

Combinazione n° 4 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento -X	1.50	1.00
Neve	1.50	0.50

Combinazione n° 5 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento -X	1.50	0.60
Neve	1.50	1.00

Combinazione n° 6 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento +Y	1.50	1.00
Neve	1.50	0.50



Combinazione n° 7 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento +Y	1.50	0.60
Neve	1.50	1.00

Combinazione n° 8 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento -Y	1.50	1.00
Neve	1.50	0.50

Combinazione n° 9 - A1-M1-R3

Cond	g	Y
Permanenti	1.30	1.00
Vento -Y	1.50	0.60
Neve	1.50	1.00

Combinazione n° 10 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +X	1.00	1.00
Neve	1.00	0.50

Combinazione n° 11 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +X	1.00	0.20

Combinazione n° 12 - SLEQ

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00



Combinazione n° 13 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +X	1.00	0.60
Neve	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Neve	1.00	0.20

Combinazione n° 15 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -X	1.00	1.00
Neve	1.00	0.50

Combinazione n° 16 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -X	1.00	0.20

Combinazione n° 17 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -X	1.00	0.60
Neve	1.00	1.00



Combinazione n° 18 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +Y	1.00	1.00
Neve	1.00	0.50

Combinazione n° 19 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +Y	1.00	0.20

Combinazione n° 20 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento +Y	1.00	0.60
Neve	1.00	1.00

Combinazione n° 21 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -Y	1.00	1.00
Neve	1.00	0.50

Combinazione n° 22 - SLEF

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -Y	1.00	0.20

Combinazione n° 23 - SLER

Cond	g	Y
Permanenti	1.00	1.00
Vento -Y	1.00	0.60
Neve	1.00	1.00



**3.3.6. ANALISI E VERIFICHE IN CONDIZIONI NON DRENATE**Descrizione terreni e falda*Simbologia adottata**Descrizione*      Descrizione terreno*g*                      Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]*g<sub>sat</sub>*                  Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]*f*                      Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi*d*                      Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi*c<sub>u</sub>*                    Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]*c<sub>ua</sub>*                   Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]**Parametri geotecnici**

Descrizione	<i>g</i>	<i>g<sub>sat</sub></i>	<i>f</i>	<i>d</i>	<i>c<sub>u</sub></i>	<i>c<sub>ua</sub></i>
	[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
					]	]
Limi sabbioso-argillosi	1360,0	1850,0	0,00	0,00	0,095	0,095
Argilla limosa	1500,0	1930,0	0,00	0,00	0,798	0,798

**Verifica della portanza assiale**

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è:      Vesic.

E' stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).

E' stata impostata una pressione a piano campagna pari a 0,02 [kg/cm<sup>2</sup>]

L'andamento della pressione verticale *s<sub>v</sub>* con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come:      Pressione geostatica.

L'andamento della pressione verticale è stata utilizzata anche per il calcolo della portanza laterale.

**Verifica della portanza trasversale**

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO

Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Binomia:       $p_{lim} = A + B \times z^n = 1.00 + 1.00 \times z^{1.00}$ )

**Cedimento verticale in testa ai pali**

Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo degli Elementi Finiti.

Spostamento limite attrito laterale: 0,50 [cm]

Spostamento limite punta: 3,00 [cm]

**Risultati e verifiche**Verifica della portanza assiale*Simbologia adottata*

cmb      Identificativo della combinazione

Nc, Nq      Fattori di capacità portante



$$N'c = f(Nc, sc, dc)$$

$$N'q = f(Nq, sq, dq)$$

dove:

sc, sq Fattori di forma

dc, dq Fattori di profondità

Pl<sub>min</sub>, Pl<sub>med</sub> Portanza laterale minima e media espressa in [kg]Pp<sub>min</sub>, Pp<sub>med</sub> Portanza di punta minima e media espressa in [kg]

Pd Portanza di progetto espressa in [kg]

N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kg]

h Coeff. di sicurezza per carichi verticali

cmb	Nc	Nq	N'c	N'q
1	9.00	1.00	7.18	1.00
2	9.00	1.00	7.18	1.00
3	9.00	1.00	7.18	1.00
4	9.00	1.00	7.18	1.00
5	9.00	1.00	7.18	1.00
6	9.00	1.00	7.18	1.00
7	9.00	1.00	7.18	1.00
8	9.00	1.00	7.18	1.00
9	9.00	1.00	7.18	1.00

cmb	Pl <sub>med</sub>	Pp <sub>med</sub>	Pl <sub>min</sub>	Pp <sub>min</sub>	Wp	Pd	N	h
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1	3605	2548	3605	2548	202	2884	1347	2.142
2	3605	2548	3605	2548	202	2884	2504	1.152
3	3605	2548	3605	2548	202	2884	2395	1.204
4	3605	2548	3605	2548	202	2884	695	4.150
5	3605	2548	3605	2548	202	2884	1310	2.203
6	3605	2548	3605	2548	202	2884	2504	1.152
7	3605	2548	3605	2548	202	2884	2395	1.204
8	3605	2548	3605	2548	202	2884	697	4.141
9	3605	2548	3605	2548	202	2884	1311	2.201

Verifica della portanza trasversale*Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

Td Taglio resistente di progetto in testa al palo, espresso in [kg]

T Taglio agente in testa al palo, espresso in [kg]

h=Td/T Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali



cmb	Td	T	h
	[kg]	[kg]	
1	6522	27	238,901
2	1856	-1377	1,347
3	1746	-812	2,150
4	2120	1437	1,475
5	2263	876	2,584
6	1806	-1301	1,388
7	1695	-767	2,212
8	2072	1360	1,524
9	2221	830	2,676

Cedimento verticale in testa ai pali

*Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

w Cedimento in testa al palo, espresso in [cm]

u Spostamento orizzontale in testa al palo, espresso in [cm]

cmb	w	u
	[cm]	[cm]
1	0,1738	0,0000
2	0,3232	-0,7386
3	0,3091	-0,4753
4	0,0897	-0,6067
5	0,1690	-0,3241
6	0,3232	-0,7295
7	0,3091	-0,4701
8	0,0899	-0,5977
9	0,1691	-0,3189
10	0,2333	-0,4917
11	0,1493	-0,1283
12	0,1337	0,0000
13	0,2239	-0,3221
14	0,1424	0,0000
15	0,0776	-0,3965
16	0,1181	-0,0494
17	0,1305	-0,2108
18	0,2333	-0,4859
19	0,1493	-0,1271



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
64 di/of 75

cmb	w	u
	[cm]	[cm]
20	0,2239	-0,3186
21	0,0778	-0,3907
22	0,1182	-0,0482
23	0,1306	-0,2073

#### Diagramma Carico-Cedimento verticale

*Simbologia adottata*

N Carico sul palo espressa in [kg]

w Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	629	0,081	2	1550	0,200	3	2931	0,378	4	4052	0,646
5	4391	1,047	6	4900	1,648	7	5663	2,550	8	6063	3,130

#### Diagramma Carico-Cedimento orizzontale

*Simbologia adottata*

N Carico sul palo espressa in [kg]

u Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	200	0,021	2	209	0,022	3	247	0,026	4	398	0,041
5	798	0,083	6	1198	0,124	7	1598	0,166	8	1998	0,207
9	2398	0,249	10	2798	0,290	11	3198	0,332	12	3598	0,373
13	3998	0,415	14	4398	0,456	15	4798	0,498	16	5196	0,541
17	5596	0,584	18	5996	0,627	19	6396	0,670	20	6796	0,713
21	7196	0,757	22	7596	0,800	23	7996	0,843	24	8396	0,886
25	8479	0,912	26			27			28		



### Verifica pali

#### Sollecitazioni limiti

##### *Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione

Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])

Nr sforzo normale espresso in [kg]

Tr taglio espresso in [kg]

Mr momento espresso in [kgm]

n°	Y	Mr	Tr	Nr	n°	Y	Mr	Tr	Nr
	[m]	[kgm]	[kg]	[kg]		[m]	[kgm]	[kg]	[kg]
1	0,00	8470,65	8478,61	6046,69	4	0,00	8470,65	8478,61	6046,69
7	0,32	5965,03	7133,61	5856,88	10	0,32	5965,03	7133,61	5856,88
13	0,64	3881,95	5729,92	5667,06	16	0,64	3881,95	5729,92	5667,06
19	0,95	2242,81	4368,21	5477,25	22	0,95	2242,81	4368,21	5477,25
25	1,27	1020,42	3142,68	5287,43	28	1,27	1020,42	3142,68	5287,43
31	1,59	164,02	2102,09	5097,62	34	1,59	164,02	2102,09	5097,62
37	1,91	-388,01	1262,49	4907,80	40	1,91	-388,01	1262,49	4907,80
43	2,23	-699,26	617,95	4717,99	46	2,23	-699,26	617,95	4717,99
49	2,54	-829,45	149,29	4528,17	52	2,54	-829,45	149,29	4528,17
55	2,86	-831,21	-169,20	4338,36	58	2,86	-831,21	-169,20	4338,36
61	3,18	-748,66	-364,90	4148,54	64	3,18	-748,66	-364,90	4148,54
67	3,50	-617,35	-463,56	3958,73	70	3,50	-617,35	-463,56	3958,73
73	3,82	-465,12	-487,17	3768,91	76	3,82	-465,12	-487,17	3768,91
79	4,13	-313,42	-453,00	3579,10	82	4,13	-313,42	-453,00	3579,10
85	4,45	-178,87	-373,31	3389,28	88	4,45	-178,87	-373,31	3389,28
91	4,77	-74,83	-255,71	3199,47	94	4,77	-74,83	-255,71	3199,47
97	5,09	-12,77	-103,92	3009,65	100	5,09	-12,77	-103,92	3009,65

##### *Inviluppo verifiche*

##### *Simbologia adottata*

Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso espressa in [m]

s<sub>f</sub> tensione normale nell'acciaio espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

s<sub>id</sub> tensione ideale nell'acciaio espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

t<sub>r</sub> tensione tangenziale nell'acciaio espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

CS coefficiente di sicurezza

M momento agente, espresso in [kgm]

N sforzo normale agente, espresso in [kg]

Mu momento ultimo, espresso in [kgm]

Nu sforzo normale ultimo, espresso in [kg]

T taglio agente, espresso in [kg]



$V_{Rd}$  taglio resistente, espresso in [kg]

Y	A <sub>f</sub>	M	N	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	CS	T	V <sub>Rd</sub>	CS <sub>T</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]		[kg]	[kg]	
0,00	48,60	1608	1012	8471	0	1.75	1437	44198	30.77
0,16	48,60	1510	999	8471	0	1.84	1811	44198	24.40
0,32	48,60	1398	986	8471	0	1.98	2074	44198	21.32
0,48	48,60	1276	974	8471	0	2.15	2235	44198	19.77
0,64	48,60	1150	961	8471	0	2.36	2313	44198	19.11
0,79	48,60	1024	949	8471	0	2.63	2321	44198	19.04
0,95	48,60	900	936	8471	0	2.97	2275	44198	19.43
1,11	48,60	780	923	8471	0	3.40	2185	44198	20.23
1,27	48,60	668	911	8471	0	3.93	2063	44198	21.42
1,43	48,60	563	898	8471	0	4.62	1917	44198	23.05
1,59	48,60	467	885	8471	0	5.51	1757	44198	25.16
1,75	48,60	380	873	8471	0	6.69	1587	44198	27.85
1,91	48,60	302	860	8471	0	8.28	1414	44198	31.26
2,07	48,60	234	847	8471	0	10.49	1242	44198	35.58
2,23	48,60	175	835	8471	0	13.69	1075	44198	41.12
2,38	48,60	124	822	8471	0	18.55	915	44198	48.29
2,54	48,60	82	809	8471	0	26.55	765	44198	57.76
2,70	48,60	47	797	8471	0	41.15	626	44198	70.60
2,86	48,60	19	784	8471	0	73.72	499	44198	88.60
3,02	48,60	2	771	8471	0	100.00	384	44198	115.08
3,18	48,60	18	759	8471	0	100.00	282	44198	156.72
3,34	48,60	29	746	8471	0	100.00	193	44198	229.43
3,50	48,60	36	733	8471	0	93.94	116	44198	380.24
3,66	48,60	39	721	8471	0	84.21	53	44198	835.34
3,82	48,60	39	708	8471	0	82.44	17	44198	2655.63
3,98	48,60	37	695	8471	0	84.60	52	44198	850.05
4,13	48,60	33	683	8471	0	92.60	78	44198	569.88
4,29	48,60	28	670	8471	0	100.00	94	44198	470.12
4,45	48,60	22	657	8471	0	100.00	104	44198	425.55
4,61	48,60	16	645	8471	0	100.00	104	44198	425.88
4,77	48,60	10	632	8471	0	100.00	94	44198	470.27
4,93	48,60	6	619	8471	0	100.00	75	44198	592.34
5,09	48,60	2	607	8471	0	100.00	46	44198	965.93
5,25	48,60	0	553	8471	0	100.00	7	44198	5942.64



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
67 di/of 75

Y	A <sub>f</sub>	M	N	S <sub>c</sub>	S <sub>f</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kg/cmq ]	[kg/cmq ]
0,00	48,60	1608	1012	1423,89	1423,52
0,16	48,60	1510	999	1351,79	1351,09
0,32	48,60	1398	986	1264,28	1263,31
0,48	48,60	1276	974	1166,51	1165,28
0,64	48,60	1150	961	1062,76	1061,32
0,79	48,60	1024	949	956,61	955,00
0,95	48,60	900	936	850,98	849,24
1,11	48,60	780	923	748,17	746,35
1,27	48,60	668	911	649,98	648,11
1,43	48,60	563	898	557,74	555,86
1,59	48,60	467	885	472,38	470,52
1,75	48,60	380	873	394,49	392,68
1,91	48,60	302	860	324,40	322,64
2,07	48,60	234	847	262,17	260,49
2,23	48,60	175	835	207,69	206,10
2,38	48,60	124	822	160,70	159,22
2,54	48,60	82	809	120,84	119,46
2,70	48,60	47	797	87,92	86,70
2,86	48,60	19	784	61,36	60,24
3,02	48,60	2	771	40,26	39,24
3,18	48,60	18	759	32,77	32,08
3,34	48,60	29	746	43,17	42,93
3,50	48,60	36	733	49,98	49,90
3,66	48,60	39	721	53,59	53,57
3,82	48,60	39	708	54,49	54,49
3,98	48,60	37	695	53,19	53,18
4,13	48,60	33	683	50,18	50,15
4,29	48,60	28	670	45,96	45,90
4,45	48,60	22	657	40,98	40,90
4,61	48,60	16	645	35,69	35,61
4,77	48,60	10	632	30,55	30,47
4,93	48,60	6	619	25,99	25,93
5,09	48,60	2	607	22,45	22,42
5,25	48,60	0	553	18,98	18,98

**3.3.7. ANALISI E VERIFICHE IN CONDIZIONI DRENATE**

Pur essendo non rappresentativa la condizione in esame, per maggiore sicurezza viene eseguita.

Descrizione terreni e falda*Simbologia adottata*

*Descrizione*      Descrizione terreno

*g*                      Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

*g<sub>sat</sub>*                  Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

*f*                        Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

*d*                        Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

*c<sub>u</sub>*                    Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

*c<sub>ua</sub>*                   Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

**Parametri geotecnici**

Descrizione	<b>g</b>	<b>g<sub>sat</sub></b>	<b>f</b>	<b>d</b>	<b>c<sub>u</sub></b>	<b>c<sub>ua</sub></b>
	[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
					]	]
Limi sabbioso-argillosi	1360,0	1850,0	20,43	18,00	0,00	0,00
Argilla limosa	1500,0	1930,0	23,34	20,00	0,00	0,00

**Verifica della portanza assiale**

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è:      Vesic.

È stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).

È stata impostata una pressione a piano campagna pari a 0,02 [kg/cm<sup>2</sup>]

L'andamento della pressione verticale *s<sub>v</sub>* con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stato definito come:      Pressione geostatica.

L'andamento della pressione verticale è stato utilizzato anche per il calcolo della portanza laterale.

**Verifica della portanza trasversale**

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO

Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Binomia:       $p_{lim} = A + B \times z^n = 1.00 + 1.00 \times z^{1.00}$ )

**Cedimento verticale in testa ai pali**

Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo degli Elementi Finiti.

Spostamento limite attrito laterale: 0,50 [cm]

Spostamento limite punta: 3,00 [cm]

**Risultati e verifiche**Verifica della portanza assiale*Simbologia adottata*

cmb      Identificativo della combinazione

Nc, Nq      Fattori di capacità portante

N'<sub>c</sub> = f(Nc, sc, dc)

N'<sub>q</sub> = f(Nq, sq, dq)

dove:





sc, sq Fattori di forma

dc, dq Fattori di profondità

Pl<sub>min</sub>, Pl<sub>med</sub> Portanza laterale minima e media espressa in [kg]

Pp<sub>min</sub>, Pp<sub>med</sub> Portanza di punta minima e media espressa in [kg]

Pd Portanza di progetto espressa in [kg]

N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kg]

h Coeff. di sicurezza per carichi verticali

cmb	Nc	Nq	N'c	N'q
1	34.53	22.30	91.67	20.68
2	34.53	22.30	91.67	20.68
3	34.53	22.30	91.67	20.68
4	34.53	22.30	91.67	20.68
5	34.53	22.30	91.67	20.68
6	34.53	22.30	91.67	20.68
7	34.53	22.30	91.67	20.68
8	34.53	22.30	91.67	20.68
9	34.53	22.30	91.67	20.68

cmb	Pl <sub>med</sub>	Pp <sub>med</sub>	Pl <sub>min</sub>	Pp <sub>min</sub>	Wp	Pd	N	h
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1	2740	3559	2740	3559	202	2959	1347	2.197
2	2740	3559	2740	3559	202	2959	2504	1.182
3	2740	3559	2740	3559	202	2959	2395	1.235
4	2740	3559	2740	3559	202	2959	695	4.257
5	2740	3559	2740	3559	202	2959	1310	2.259
6	2740	3559	2740	3559	202	2959	2504	1.182
7	2740	3559	2740	3559	202	2959	2395	1.235
8	2740	3559	2740	3559	202	2959	697	4.248
9	2740	3559	2740	3559	202	2959	1311	2.258

#### Verifica della portanza trasversale

##### *Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

Td Taglio resistente di progetto in testa al palo, espresso in [kg]

T Taglio agente in testa al palo, espresso in [kg]

h=Td/T Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali



cmb	Td	T	h
	[kg]	[kg]	
1	6522	27	238,901
2	1856	-1377	1,347
3	1746	-812	2,150
4	2120	1437	1,475
5	2263	876	2,584
6	1806	-1301	1,388
7	1695	-767	2,212
8	2072	1360	1,524
9	2221	830	2,676

Cedimento verticale in testa ai pali

*Simbologia adottata*

cmb Identificativo della combinazione

w Cedimento in testa al palo, espresso in [cm]

u Spostamento orizzontale in testa al palo, espresso in [cm]

cmb	w	u
	[cm]	[cm]
1	0,2593	0,0000
2	0,5262	-0,7386
3	0,4999	-0,4753
4	0,1338	-0,6067
5	0,2521	-0,3241
6	0,5262	-0,7295
7	0,4999	-0,4701
8	0,1341	-0,5977
9	0,2523	-0,3189
10	0,3586	-0,4917
11	0,2227	-0,1283
12	0,1994	0,0000
13	0,3411	-0,3221
14	0,2124	0,0000
15	0,1158	-0,3965
16	0,1762	-0,0494
17	0,1947	-0,2108
18	0,3586	-0,4859
19	0,2227	-0,1271



cmb	w	u
	[cm]	[cm]
20	0,3411	-0,3186
21	0,1160	-0,3907
22	0,1763	-0,0482
23	0,1948	-0,2073

Spostamenti e pressioni limiti*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione palo

Y ordinata palo espressa in [cm]

Ur spostamento limite espresso in [cm]

Pr pressione limite espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

n°	Y	Ur	Pr	n°	Y	Ur	Pr	n°	Y	Ur	Pr
	[m]	[cm]	[kg/cm <sup>2</sup> ]		[m]	[cm]	[kg/cm <sup>2</sup> ]		[m]	[cm]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
1	0,00	0,9116	1,000	4	0,16	1,0086	2,017	7	0,32	1,0766	2,153
10	0,48	1,1066	2,213	13	0,64	1,1055	2,211	16	0,79	1,0798	2,160
19	0,95	1,0349	2,070	22	1,11	0,9759	1,952	25	1,27	0,9069	1,814
28	1,43	0,8315	1,663	31	1,59	0,7527	1,505	34	1,75	0,6731	1,346
37	1,91	0,5944	1,189	40	2,07	0,5184	1,037	43	2,23	0,4461	0,892
46	2,38	0,3784	0,757	49	2,54	0,3158	0,632	52	2,70	0,2585	0,517
55	2,86	0,2067	0,413	58	3,02	0,1603	0,321	61	3,18	0,1190	0,238
64	3,34	0,0825	0,165	67	3,50	0,0504	0,101	70	3,66	0,0223	0,045
73	3,82	-0,0023	-0,005	76	3,98	-0,0239	-0,048	79	4,13	-0,0430	-0,086
82	4,29	-0,0602	-0,120	85	4,45	-0,0758	-0,152	88	4,61	-0,0902	-0,180
91	4,77	-0,1039	-0,208	94	4,93	-0,1172	-0,234	97	5,09	-0,1302	-0,260
100	5,25	-0,1431	-0,286	103				106			

Diagramma Carico-Cedimento verticale*Simbologia adottata*

N Carico sul palo espressa in [kg]

w Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	644	0,124	2	1586	0,305	3	2718	0,578	4	3199	0,986
5	3921	1,598	6	5004	2,516	7	5603	3,615	8		

Diagramma Carico-Cedimento orizzontale*Simbologia adottata*

N Carico sul palo espressa in [kg]

u Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u	n°	N	u
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	200	0,021	2	209	0,022	3	247	0,026	4	398	0,041
5	798	0,083	6	1198	0,124	7	1598	0,166	8	1998	0,207
9	2398	0,249	10	2798	0,290	11	3198	0,332	12	3598	0,373
13	3998	0,415	14	4398	0,456	15	4798	0,498	16	5196	0,541
17	5596	0,584	18	5996	0,627	19	6396	0,670	20	6796	0,713
21	7196	0,757	22	7596	0,800	23	7996	0,843	24	8396	0,886
25	8479	0,912	26			27			28		

Verifica paliSollecitazioni limiti*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione

Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])

Nr sforzo normale espresso in [kg]

Tr taglio espresso in [kg]

Mr momento espresso in [kgm]

n°	Y	Mr	Tr	Nr	n°	Y	Mr	Tr	Nr
	[m]	[kgm]	[kg]	[kg]		[m]	[kgm]	[kg]	[kg]
1	0,00	8470,65	8478,61	5602,78	4	0,00	8470,65	8478,61	5602,78
7	0,32	5965,03	7133,61	5585,16	10	0,32	5965,03	7133,61	5585,16
13	0,64	3881,95	5729,92	5550,70	16	0,64	3881,95	5729,92	5550,70
19	0,95	2242,81	4368,21	5499,39	22	0,95	2242,81	4368,21	5499,39
25	1,27	1020,42	3142,68	5431,23	28	1,27	1020,42	3142,68	5431,23
31	1,59	164,02	2102,09	5346,65	34	1,59	164,02	2102,09	5346,65
37	1,91	-388,01	1262,49	5250,27	40	1,91	-388,01	1262,49	5250,27
43	2,23	-699,26	617,95	5143,37	46	2,23	-699,26	617,95	5143,37
49	2,54	-829,45	149,29	5025,94	52	2,54	-829,45	149,29	5025,94
55	2,86	-831,21	-169,20	4897,98	58	2,86	-831,21	-169,20	4897,98
61	3,18	-748,66	-364,90	4759,49	64	3,18	-748,66	-364,90	4759,49
67	3,50	-617,35	-463,56	4610,47	70	3,50	-617,35	-463,56	4610,47
73	3,82	-465,12	-487,17	4450,92	76	3,82	-465,12	-487,17	4450,92



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
73 di/of 75

n°	Y	Mr	Tr	Nr	n°	Y	Mr	Tr	Nr
	[m]	[kgm]	[kg]	[kg]		[m]	[kgm]	[kg]	[kg]
79	4,13	-313,42	-453,00	4280,84	82	4,13	-313,42	-453,00	4280,84
85	4,45	-178,87	-373,31	4100,24	88	4,45	-178,87	-373,31	4100,24
91	4,77	-74,83	-255,71	3909,10	94	4,77	-74,83	-255,71	3909,10
97	5,09	-12,77	-103,92	3707,44	100	5,09	-12,77	-103,92	3707,44

#### *Inviluppo verifiche*

#### *Simbologia adottata*

Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso espressa in [m]
s <sub>f</sub>	tensione normale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
s <sub>id</sub>	tensione ideale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
t <sub>r</sub>	tensione tangenziale nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
CS	coefficiente di sicurezza
M	momento agente, espresso in [kgm]
N	sforzo normale agente, espresso in [kg]
M <sub>u</sub>	momento ultimo, espresso in [kgm]
N <sub>u</sub>	sforzo normale ultimo, espresso in [kg]
T	taglio agente, espresso in [kg]
V <sub>Rd</sub>	taglio resistente, espresso in [kg]



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
74 di/of 75

Y	A <sub>f</sub>	M	N	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	CS	T	V <sub>Rd</sub>	CS <sub>T</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]		[kg]	[kg]	
0,00	48,60	1608	1012	8471	0	1.75	1437	44198	30.77
0,16	48,60	1510	1016	8471	0	1.84	1811	44198	24.40
0,32	48,60	1398	1020	8471	0	1.98	2074	44198	21.32
0,48	48,60	1276	1022	8471	0	2.15	2235	44198	19.77
0,64	48,60	1150	1023	8471	0	2.36	2313	44198	19.11
0,79	48,60	1024	1024	8471	0	2.63	2321	44198	19.04
0,95	48,60	900	1023	8471	0	2.97	2275	44198	19.43
1,11	48,60	780	1021	8471	0	3.40	2185	44198	20.23
1,27	48,60	668	1018	8471	0	3.93	2063	44198	21.42
1,43	48,60	563	1013	8471	0	4.62	1917	44198	23.05
1,59	48,60	467	1008	8471	0	5.51	1757	44198	25.16
1,75	48,60	380	1002	8471	0	6.69	1587	44198	27.85
1,91	48,60	302	996	8471	0	8.28	1414	44198	31.26
2,07	48,60	234	988	8471	0	10.49	1242	44198	35.58
2,23	48,60	175	980	8471	0	13.69	1075	44198	41.12
2,38	48,60	124	972	8471	0	18.55	915	44198	48.29
2,54	48,60	82	963	8471	0	26.55	765	44198	57.76
2,70	48,60	47	953	8471	0	41.15	626	44198	70.60
2,86	48,60	19	942	8471	0	73.72	499	44198	88.60
3,02	48,60	2	931	8471	0	100.00	384	44198	115.08
3,18	48,60	18	918	8471	0	100.00	282	44198	156.72
3,34	48,60	29	906	8471	0	100.00	193	44198	229.43
3,50	48,60	36	892	8471	0	93.94	116	44198	380.24
3,66	48,60	39	878	8471	0	84.21	53	44198	835.34
3,82	48,60	39	864	8471	0	82.44	17	44198	2655.63
3,98	48,60	37	848	8471	0	84.60	52	44198	850.05
4,13	48,60	33	832	8471	0	92.60	78	44198	569.88
4,29	48,60	28	815	8471	0	100.00	94	44198	470.12
4,45	48,60	22	798	8471	0	100.00	104	44198	425.55
4,61	48,60	16	780	8471	0	100.00	104	44198	425.88
4,77	48,60	10	761	8471	0	100.00	94	44198	470.27
4,93	48,60	6	741	8471	0	100.00	75	44198	592.34
5,09	48,60	2	721	8471	0	100.00	46	44198	965.93
5,25	48,60	0	697	8471	0	100.00	7	44198	5942.64



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09\_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE  
75 di/of 75

Y	A <sub>f</sub>	M	N	S <sub>c</sub>	S <sub>f</sub>
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kg/cmq ]	[kg/cmq ]
0,00	48,60	1608	1012	1423,89	1423,52
0,16	48,60	1510	1016	1352,37	1351,67
0,32	48,60	1398	1020	1265,42	1264,44
0,48	48,60	1276	1022	1168,15	1166,93
0,64	48,60	1150	1023	1064,88	1063,44
0,79	48,60	1024	1024	959,17	957,56
0,95	48,60	900	1023	853,93	852,19
1,11	48,60	780	1021	751,48	749,66
1,27	48,60	668	1018	653,61	651,75
1,43	48,60	563	1013	561,66	559,79
1,59	48,60	467	1008	476,55	474,70
1,75	48,60	380	1002	398,89	397,09
1,91	48,60	302	996	329,00	327,27
2,07	48,60	234	988	266,94	265,30
2,23	48,60	175	980	212,62	211,07
2,38	48,60	124	972	165,76	164,32
2,54	48,60	82	963	126,01	124,68
2,70	48,60	47	953	93,16	92,01
2,86	48,60	19	942	66,65	65,62
3,02	48,60	2	931	45,56	44,66
3,18	48,60	18	918	38,12	37,53
3,34	48,60	29	906	48,59	48,37
3,50	48,60	36	892	55,39	55,32
3,66	48,60	39	878	58,96	58,95
3,82	48,60	39	864	59,79	59,79
3,98	48,60	37	848	58,40	58,39
4,13	48,60	33	832	55,27	55,24
4,29	48,60	28	815	50,90	50,85
4,45	48,60	22	798	45,75	45,69
4,61	48,60	16	780	40,28	40,21
4,77	48,60	10	761	34,94	34,86
4,93	48,60	6	741	30,14	30,09
5,09	48,60	2	721	26,35	26,33
5,25	48,60	0	697	23,88	23,88



**REGIONE EMILIA ROMAGNA**

**COMUNE di  
VOGHIERA**

(Provincia di FERRARA)



**VOGHIERA-PV-001**

**COMMITTENZA: ICUBE DEVELOPMENT 16 SRL**

## **RELAZIONE GEOLOGICA E MODELLAZIONE SISMICA**



Il Geologo:

**Dott. Geol. Vincenzo Cortese**

**DATA:** GENNAIO 2025

Rev. 02







**SOMMARIO**

<b>1. PREMESSA</b>	Pag. 02
<b>2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO</b>	Pag. 04
<b>3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO</b>	Pag. 10
<b>4. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME</b>	Pag. 14
<b>5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO</b>	Pag. 23
5.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE	Pag. 25
5.2 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO	Pag. 26
5.3 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO	Pag. 30
<b>6. MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO</b>	Pag. 31
<b>7. MODELLAZIONE SISMICA DEL LOTTO INVESTIGATO ED     ELABORATI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA</b>	Pag. 47
<b>8. CONCLUSIONI</b>	Pag. 61

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



## 1. PREMESSA

Il sottoscritto:

- Geologo Vincenzo CORTESE, nato a Mugnano di Napoli (NA) il 28/12/1983 (C.F. **CRTVCN83T28F799C**) e residente in Bojano (CB) alla Via Gino Di Biase n° 32, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Molise* al n° **155** - sez. A "Geologi Specialisti",

con **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA** avente sede in BOJANO (CB) alla Via Barcellona n° 20, ha eseguito uno studio di carattere geologico - tecnico nel tenimento del Comune di **VOGHIERA (FE)** a corredo del Progetto denominato "**VOGHIERA-PV-001**" su incarico di **ICUBE DEVELOPMENT 16 SRL**.

E' stato effettuato un primo sopralluogo per constatare lo stato di fatto della zona di studio.

In seguito, sono stati compiuti ulteriori sopralluoghi, sia sull'area interessata dall'intervento che nelle aree adiacenti, allo scopo di ottenere una visione globale del territorio in cui si trova la zona interessata.

**Il lavoro è redatto nel rispetto delle N.T.C. 2018, e dei CONTENUTI MINIMI DELLA RELAZIONE PREVISTI NELL'ALLEGATO C DEL R.R. 26/2020 ha avuto lo scopo di:**

- *definire le condizioni morfologiche, idrogeologiche e tettoniche dell'area;*
- *valutare l'assetto litostratigrafico dell'area;*
- *definire la categoria sismica del sottosuolo secondo le Norme del D.M. 17 Gennaio 2018.*

Il lavoro stesso è altresì stato compilato in due fasi distinte e successive:



- nella prima fase è stata effettuata un'analisi geomorfologica, idrogeologica, geologica e tettonica della zona in cui ricade l'area oggetto di studio;
- nella seconda fase è stato realizzato un rilevamento geologico di superficie esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed è stata presenziata, diretta ed interpretata una campagna di indagini geotecniche e geofisiche in situ.

Tutti i risultati desunti dalle indagini effettuate e le relative elaborazioni grafiche, si riportano nel presente fascicolo.

Di seguito si espongono le risultanze di cui trattasi e le considerazioni emerse dallo studio effettuato.



*Fig. 1: Ubicazione del lotto investigato.*



## **2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO E DELLA ZONA INTERESSATA DALL'INTERVENTO**

L'area interessata dalla presente indagine geologico-tecnica, trovasi nel territorio comunale di **VOGHIERA (FE)**, ad una quota compresa tra 3 e 4 m s.l.m. Tale area risulta cartografata nel **F.° 76 "FERRARA"** della Carta Geologica D'Italia in scala 1:100.000.

Lo studio geomorfologico, oltre che all'area direttamente interessata dall'opera in oggetto è stato esteso, in modo particolarmente accurato, ad un'ampia area ritenuta significativa ai fini della valutazione dei caratteri geomorfologici rilevanti per la stabilità dell'area stessa.

Le caratteristiche morfologiche dell'area in esame, sono state fortemente condizionate dalla natura delle rocce affioranti e dai processi, endogeni ed esogeni, che si sono succeduti ed avvicendati negli ultimi milioni di anni.

**A scala regionale** il territorio della provincia di Ferrara è parte dell'ampio bacino subsidente padano in cui, a partire dal periodo Cenozoico, si sono riversati i sedimenti provenienti dall'erosione della catena alpina e degli Appennini e il cui assetto deve essere visto nel suo complesso di substrato roccioso e coltre alluvionale.

**Alla meso-scala, sotto il profilo geomorfologico** il territorio in esame è caratterizzato da un microrilievo dovuto alla regimazione delle acque superficiali, formato nella sua parte più superficiale dall'azione del fiume Po e dei suoi rami secondari i cui caratteri sono ancora evidenti.

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



Il territorio a nord-ovest della città è costituito da sedimenti alluvionali recenti legati all'azione di deposito dei fiumi alpini e appenninici, come il Po, il Reno, il Panaro e i loro rami secondari.

In superficie le sedimentazioni sono databili all'olocene e costituite da materiali fini, quali sabbia, limo e argilla, con frequenti episodi torbosi.

Nel sottosuolo, al di sotto di queste alluvioni recenti, è presente una coltre di sedimenti di età pliocenico – pleistocenica caratterizzata da sedimenti marini, deltizi, lagunari e fluvio palustri, con spessori variabili dai 50 metri di Casaglia ai 200 metri nella zona sud-est di Ferrara.

Il substrato roccioso si rileva fra i 200 e i 2000 metri di profondità, costituente il margine settentrionale dell'Appennino e caratterizzato da una fitta serie di anticlinali, faglie inverse e ricoprimenti con assi a direzione generale W NW – E SE. Le fasi orogenetiche interessanti il substrato sono databili al Miocene; successivamente prevalsero movimenti di tipo verticale.

Nel Pliocene e nel Quaternario si ebbe dapprima l'emersione con l'erosione delle culminazioni e sedimentazione nelle depressioni. Seguirono fenomeni collegati alla subsidenza con sedimentazione fino a verificarsi il completo ricoprimento delle strutture e la deposizione in ambiente continentale dei terreni più recenti, funzione delle variazioni climatiche e delle conseguenti migrazioni dei vari ambienti.

La lettura della storia geologica più recente è possibile ancora tramite l'osservazione dell'assetto geomorfologico, quando non sia stato troppo invasivo l'intervento antropico. La condizione dei corsi d'acqua nella bassa pianura padana è sempre stata di sedimentazione: il fiume, libero di espandere le sue acque di piena nelle aree circostanti, tende a distribuire i sedimenti più grossolani come le sabbie nelle barre e si costruisce argini naturali a granulometria limosa. Man mano che si allontanano dall'alveo le acque depositano materiali sempre più fini come limi e argille. Questi

### **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)



sedimenti si costipano maggiormente rispetto alle sabbie per cui per effetto naturale si creano dislivelli tra i corsi d'acqua e le aree laterali.

Nelle aree più depresse intercluse e con terreni più fini e meno permeabili si creano ristagni con paludi e acquitrini che permettono la deposizione di materiale organico che porterà alla formazione di argille organiche e torbe.

Questa situazione in continua evoluzione cambia naturalmente quando i fiumi più rilevati rispetto alle zone laterali, tendono a mutare il loro corso riversando con maggiore facilità le acque nelle zone di basso morfologico. Su questo processo naturale è intervenuta l'azione dell'uomo che, per difendersi dalle inondazioni, ha alzato argini sempre più elevati costringendo i fiumi nei letti originari e, di fatto, irrigidendo il reticolo idrografico portando all'esaltazione dei dislivelli fra le zone più basse comprese all'interno della rete e le strutture fluviali argini – alveo.

In particolare, l'area in esame è ubicata a Voghiera, a sud-est di Ferrara, nella frazione di Gualdo.

**Dal punto di vista litologico**, nella zona in esame, superficialmente affiorano terreni alluvionali di natura prevalentemente argillosa e limosa con qualche lente di sabbia o di sabbia limosa.

Per quel che concerne la **caratterizzazione geomorfologica di dettaglio** del lotto oggetto del presente studio geologico-tecnico, è possibile affermare che l'area stessa sia collocata in una zona caratterizzata dall'**assenza di fenomeni di dissesto geomorfologico di versante**.

Le pendenze molto esigue unite alla compattezza dei litotipi affioranti conferiscono al suolo del territorio in questione un **alto indice di stabilità**, precludendo così ogni possibilità ai terreni di evolvere in forme di dissesto superficiale di tipo gravitativo.

L'area oggetto di intervento, infine, rientra nelle competenze dell'**Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po**.





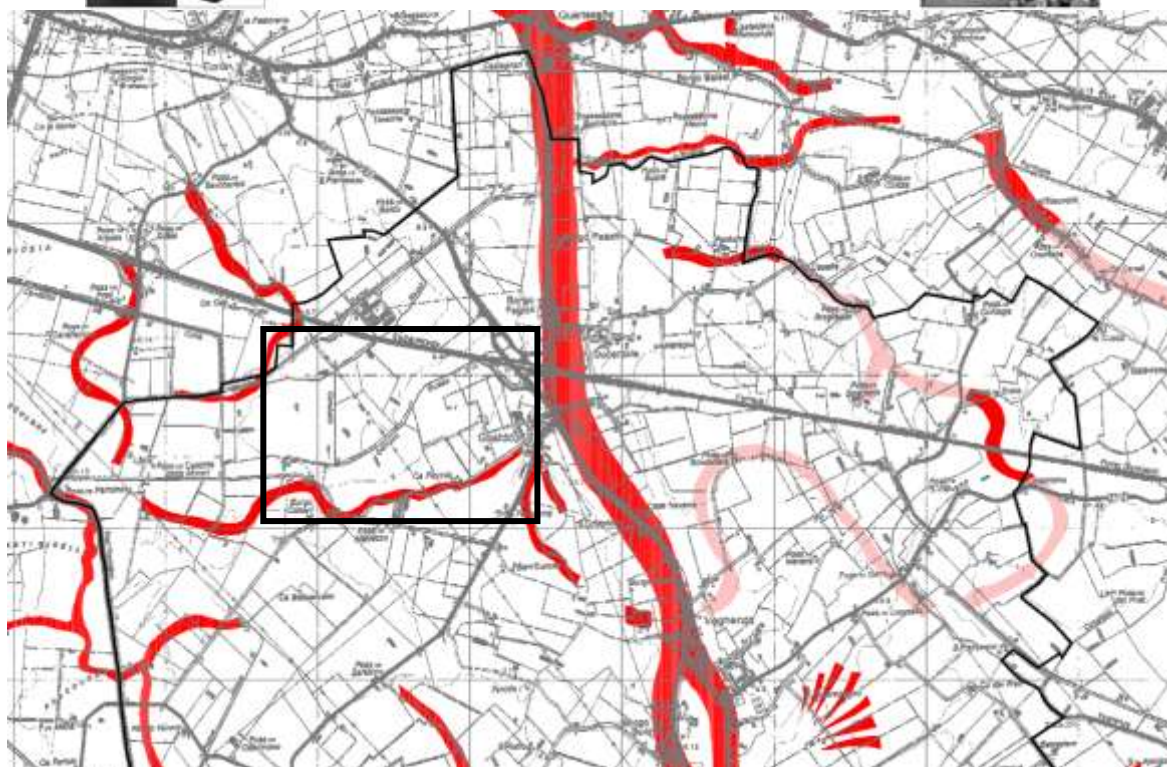
Si riporta la cartografia relativa.










*Fig. 2: Stralcio P.S.A.I. dell'area di interesse*

Detta area di intervento risulta **INCLUSA** nella perimetrazione di **PERICOLOSITA' IDRAULICA MEDIA** definita dai Piani di Bacino.

Detta area risulta **ESCLUSA** dalla perimetrazione di **PERICOLOSITA' DA FRANA** definita dai Piani di Bacino.



## Legenda

-  Confini comunali
-  Tracce di migrazione di meandri e di anse fluviali
-  Cordoni litoranei affioranti
-  Cordoni litoranei sepolti
-  Paleoalveo di ubicazione sicura
-  Paleoalveo di ubicazione incerta
-  Depositi di rotta e tracimazione

*Fig. 3: Carta geomorfologica dell'area di interesse, tratta dal Piano Strutturale Comunale, in scala 1:25.000*

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

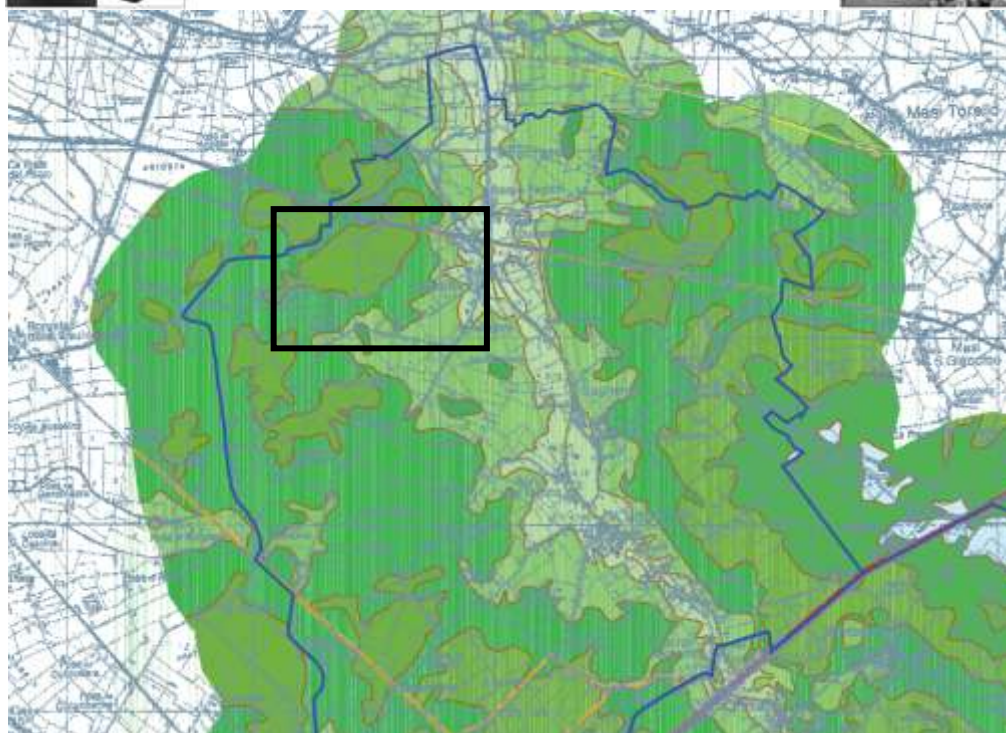
GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





*Fig. 4: Carta altimetrica e dei rilevati dell'area di interesse, tratta dal Piano Strutturale Comunale, in scala 1:50.000*

## **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



### **3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO**

Lo **schema generale** della circolazione idrica sotterranea dell'area di studio risulta strettamente connessa alla natura litologica ed allo spessore dei depositi che ne costituiscono la sequenza stratigrafica tipo.

**Dal punto di vista idrografico** il territorio in esame appartiene al bacino idrografico del Fiume Po; il fiume Po (che nel corso dei secoli ha più volte cambiato il suo corso) ha influenzato la città sin dalla nascita e ne ha condizionato lo sviluppo. Il territorio comunale e molta parte di quello provinciale costituiscono un paesaggio modificato artificialmente, risultato dell'azione umana concretizzatasi nelle grandi opere di bonifica ricordate.

La città è ad un'altitudine inferiore al livello medio delle acque del Po ed il fiume deve essere controllato da argini imponenti. Serve un continuo lavoro delle pompe idrovore per non far sommergere la pianura dall'acqua e permettere così che le acque derivanti dalle precipitazioni vengano avviate verso il mare attraverso i numerosi canali artificiali.

Il territorio è contraddistinto da numerosi canali artificiali per l'irrigazione ed il drenaggio delle campagne, rese coltivabili e abitabili.

**Dal punto di vista idrogeologico**, il territorio del comune di Voghiera è interessato da una falda superficiale strettamente connessa con le antiche direttrici dei drenaggi ora estinti e con i canali e scoli della rete della Bonifica.

Questa falda è comunemente denominata falda freatica, anche se localmente presenta un certo grado di salienza.

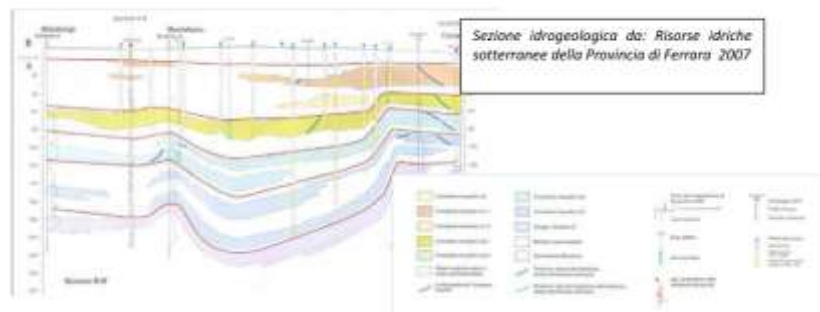


Dalla bibliografia specializzata e da indagini dirette condotte, risulta che nel sottosuolo sono presenti diversi acquiferi confinati di cui solo i più superficiali, fino a 50 – 60 metri di profondità, sfruttabili per scopi civili e industriali per la natura delle acque dolci.

Nel territorio in esame in particolare, la falda freatica è influenzata localmente dalla natura dei terreni, dal grado di impermeabilizzazione superficiale, dall'uso del sottosuolo nello strato interessato da questa, dall'interferenza con la rete dei canali/scoli della bonifica.

In profondità si riconoscono ulteriori acquiferi caratterizzati da acque salmastre e chiaramente salate. La serie idrogeologica locale può essere così sintetizzata:

falda	Prof tetto m Da p.c.	Potenza m	Tipo	Note
Freatica	0÷2	---	Freatica	
I° acquifero	4÷37	3÷40	Confinata	Dolce
II° acquifero	29÷62	8÷30	Confinata	Dolce
III° acquifero	55÷110	15÷25	Confinata	Salmastra
IV° acquifero	90÷126	3÷15	Confinata	Salmastra
V° acquifero	135÷152	10÷30	Confinata	Salmastra
VI° acquifero	200÷210	40÷110	Confinata	Salmastra



Nell'area di pianura in studio sono presenti depositi sedimentari di ambiente continentale, prevalentemente fluviali, la cui genesi è legata all'azione di trasporto e sedimentazione operata dai fiumi e dai torrenti principali durante il Quaternario.



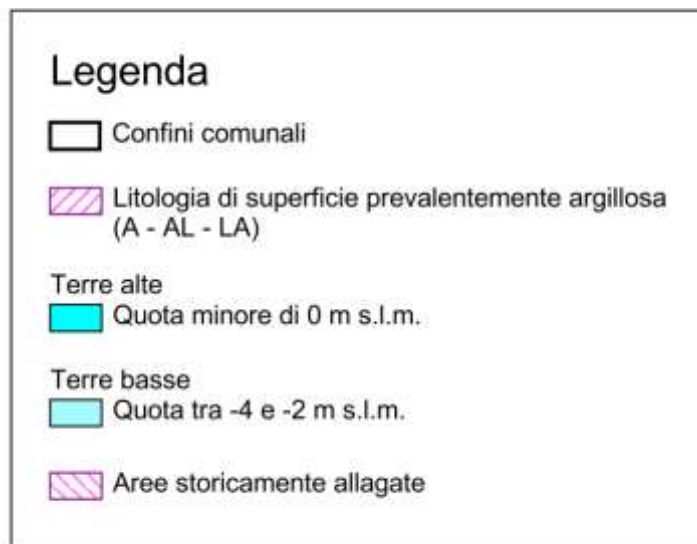
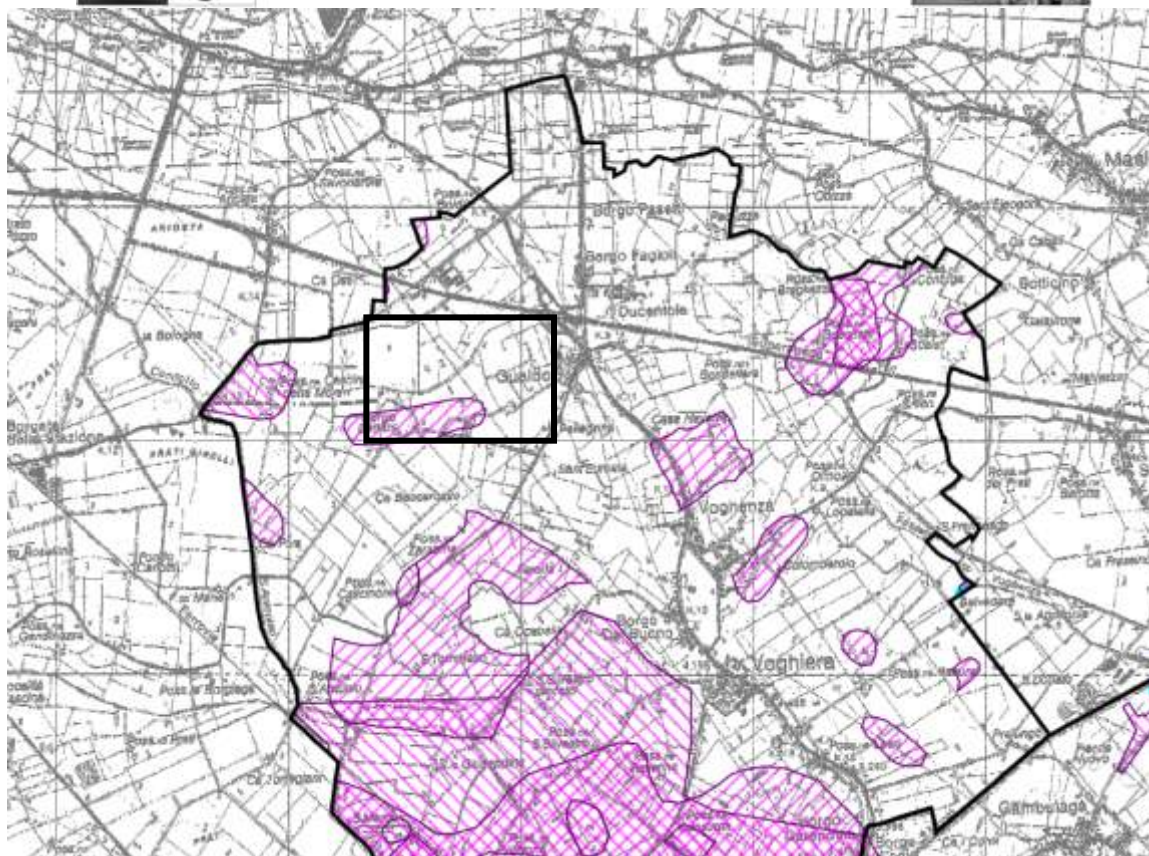
Superficialmente affiorano terreni prevalentemente sabbioso-limosi, con una permeabilità medio bassa, lateralmente interdigitali a corpi con litologie prevalentemente argillose la cui permeabilità è bassa.

Per quanto riguarda gli **aspetti idrogeologici di dettaglio del territorio in cui è compresa l'area di studio**, la circolazione delle acque superficiali risente fortemente delle caratteristiche litologiche di cui sopra, essendo condizionata essenzialmente dall'assetto litostratigrafico e tettonico.

Per quel che concerne la caratterizzazione idrogeologica di dettaglio del lotto in esame, durante le indagini eseguite **è stata rilevata la presenza di una falda idrica superficiale alla profondità di -1.50 mt dal piano campagna**.

L'area oggetto di intervento, infine, rientra nelle competenze dell'**Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po**. Detta area di intervento risulta **INCLUSA** nella perimetrazione di **PERICOLOSITA' IDROGEOLOGICA MEDIA** definita dai Piani di Bacino.





*Fig. 5: Carta delle criticità idrauliche dell'area di interesse, tratta dal Piano Strutturale Comunale, in scala 1:50.000*

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



## 4. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME

**Il quadro geologico e tettonico dell'area** il territorio di Voghiera e della provincia di Ferrara è parte dell'ampio bacino subsidente padano in cui, a partire dal periodo Cenozoico, si sono riversati i sedimenti provenienti dall'erosione della catena alpina e degli Appennini e il cui assetto deve essere visto nel suo complesso di substrato roccioso e coltre alluvionale. Il substrato roccioso costituisce il margine della struttura nord-appenninica formatasi a partire dalla fine dell'era mesozoica con l'avvicinamento del Margine europeo a quello Insubro-appenninico e il formarsi delle prime catene montuose nel Cretaceo-Eocene consistente nella formazione di coltri dovute alla subduzione della crosta continentale con il suo successivo riaffioramento in superficie a causa della minore densità rispetto alla crosta oceanica e al mantello stesso. Nell'Oligo-Miocene, con la completa consunzione della crosta oceanica, la deformazione interessa la crosta continentale. In questa fase si ha un trasporto del margine interno, tirrenico, verso quello esterno, adriatico, fino all'apertura, nel tardo Miocene, del Bacino Tirrenico. Il Sistema Nord-appenninico è contraddistinto, e si riconoscono ancora ora (Boccaletti et al., 1984), da una serie di strutture omogenee longitudinali: il margine interno tirrenico, il margine esterno adriatico, una parte sepolta sotto la coltre alluvionale padana, l'omoclinale pede-alpina.

Queste strutture longitudinali hanno subito dislocazioni individuate in lineamenti trasversali.

Le strutture che interessano la provincia ferrarese appartengono alla catena esterna nella sua parte sepolta. Essa presenta sovrascorrimenti pede-appenninici attivi dal tardo Miocene fino ad ora, che si presentano come una tipica struttura da ambiente compressivo, a ventaglio embriciato, il cui scollamento principale si trova alla base delle successioni mesozoiche.

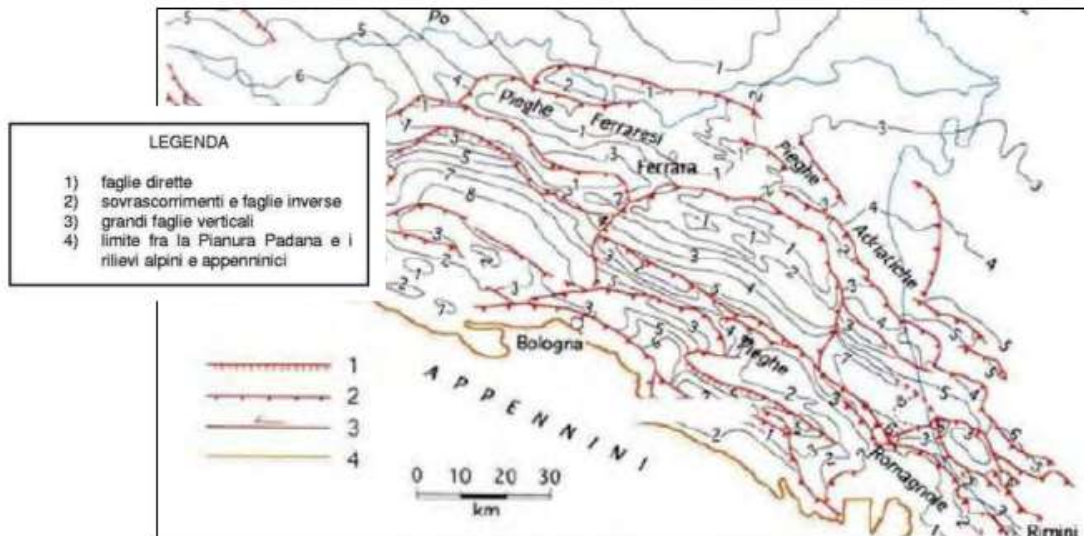
**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

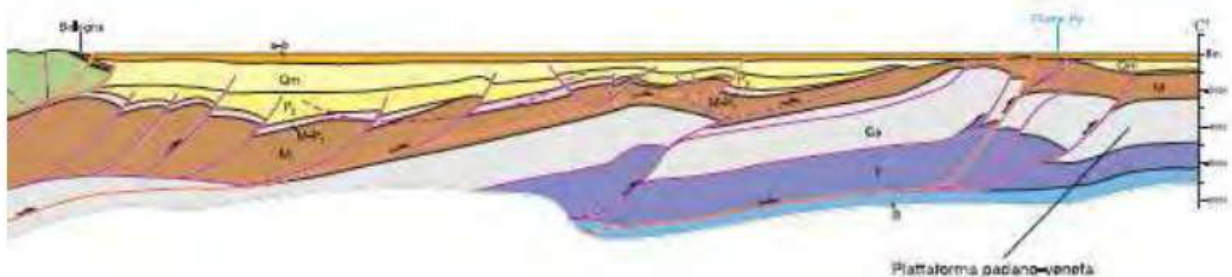
INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



*Carta strutturale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1992)*



*Sezione litostrutturale con direzione Sud – Nord da Bologna al fiume Po*

I cunei sinsedimentari ricoprono e fissano le strutture tettoniche permettendone la datazione. Risulta che le fasi tettoniche più accentuate si sono verificate tra il Messiniano e il Pliocene inferiore (5 ml di anni fa) e alla fine del Pliocene (2 ml di anni fa), mentre il Quaternario mostra ondulazione accentuata fino al Pleistocene medio superiore, non escludendo una attività olocenica (Castellarin et al., 1985).

La sedimentazione avvenuta contemporaneamente agli avvenimenti tettonici, è stata di ambiente marino nel Pleistocene medio e inferiore a causa della continua subsidenza seguita dal ritiro del

## **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





mare a più riprese. In seguito, per la regressione wurmiana dell'ultima era glaciale, si ha la conseguente sedimentazione continentale e quindi la trasgressione olocenica che interesserà la parte orientale della struttura, in subsidenza rispetto all'alto strutturale della dorsale. Ne consegue pertanto un assetto tettonico prepliocenico molto vario, con profondità del substrato dai 2700 metri del sinclinorio di Ferrara sud, ai 202 metri del Pozzo Casaglia 1 della Dorsale Ferrarese.



*Modello strutturale che evidenzia l'alto strutturale della Dorsale Ferrarese (Bigi e al. 1992)*

Da livellazioni della rete altimetrica nazionale, è stato riscontrato un movimento di subsidenza generale e differenziale per cui l'alto di Casaglia si sarebbe ulteriormente sollevato rispetto alle fasce circostanti, in accordo con recenti studi neotettonici e dati sismici.

Una maggiore testimonianza dell'attività Quaternaria (Olocenica), è data senza dubbio dallo spostamento dell'alveo principale del Po verificatosi nel XII secolo d.C. con la rotta di Ficarolo.

### **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

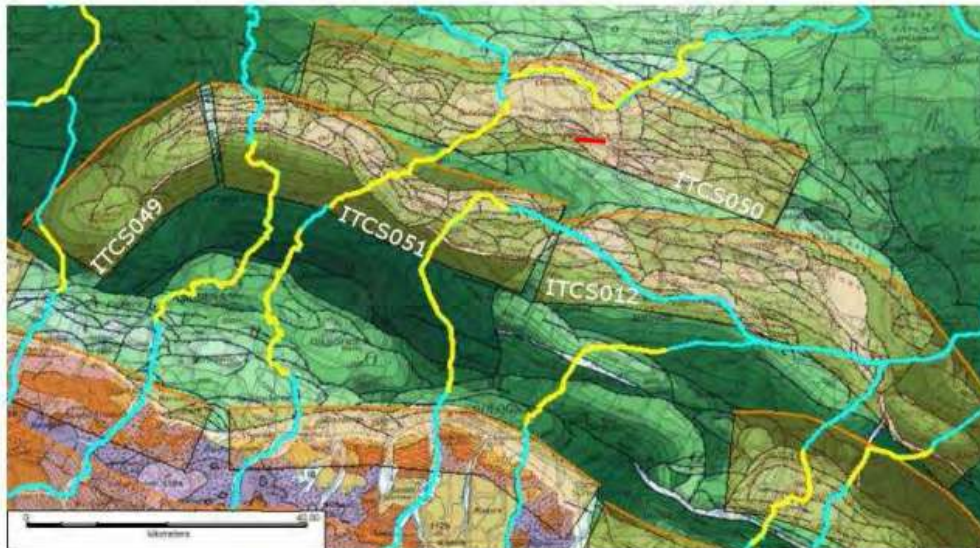
TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





Prima di tale spostamento l'alveo attraversava la zona della dorsale tra Ficarolo e Ospitale di Bondeno (Burrato et al., 2003).



*Dal DISS (Database of Individual Seismogenetic Sources) dell'INGV  
Sorgenti sismogenetiche ITCS050 Poggiorusco-Migliarino – ITCS051 Novi-Poggiorenatico  
Corso dei fiumi: in azzuro corso regolare – in giallo corso anomalo*

Inoltre, dai confronti dei dati sulla neotettonica (Bondesan e Castellani) e da recenti studi sismici (Agip, carta dei riflettori), si deduce la presenza di una faglia trascorrente, a direzione NE-SW, probabilmente ancora attiva. Infine, dall'analisi delle linee sismiche che attraversano la zona (Agip), gli accavallamenti più vecchi sono a Sud, mentre quelli più recenti sono a Nord del cuneo di accrezione, quindi una eventuale attività Quaternaria sarebbe logico aspettarsela proprio nella zona della dorsale.

Per quanto riguarda i rigetti, il piano principale di sovrascorrimento fa registrare un rigetto di almeno 2800 m, in quanto si ritrova il Cretaceo sotto la Dolomia Principale (Trias); per quanto riguarda il Quaternario si trovano rigetti sensibilmente minori, ma comunque molto marcati: basti

## **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

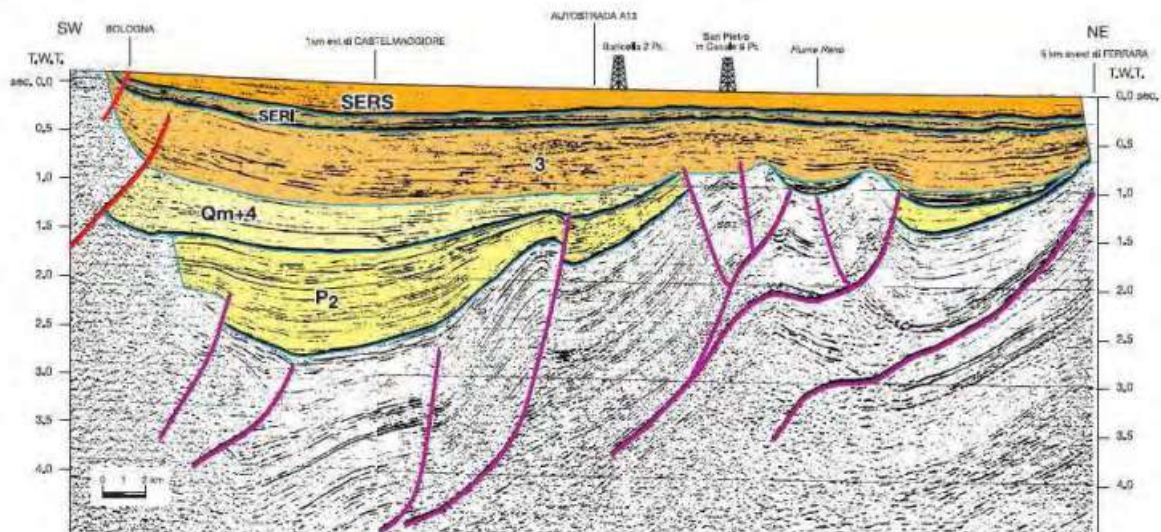
TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



pensare che nel pozzo Casaglia 1 si hanno 200 m di potenza della coltre alluvionale, mentre nel Ferrara 1 si ha una potenza di 900 m.

L'alto strutturale di Casaglia, limitato da due faglie inverse, si inquadra in un ambiente tettonico di tipo compressivo, con piani di scollamento sempre più ripidi da nord a sud, situazione che conferma la successione temporale degli avvenimenti da sud a nord e quindi non esclude la possibilità di una eventuale attività quaternaria proprio nella zona nord del cuneo di accrezione.



*AGIP – sezione sismica con direzione sud – nord da Bologna a Ferrara*

A scala locale, dalla ricostruzione tettonica operata sulla base delle ricerche AGIP, la città di Ferrara è localizzata sull'anticlinale con asse NW-SE interessata da una linea di dislocazione che dalla zona di Cona si riporta verso il Parco Urbano, a est della città storica.

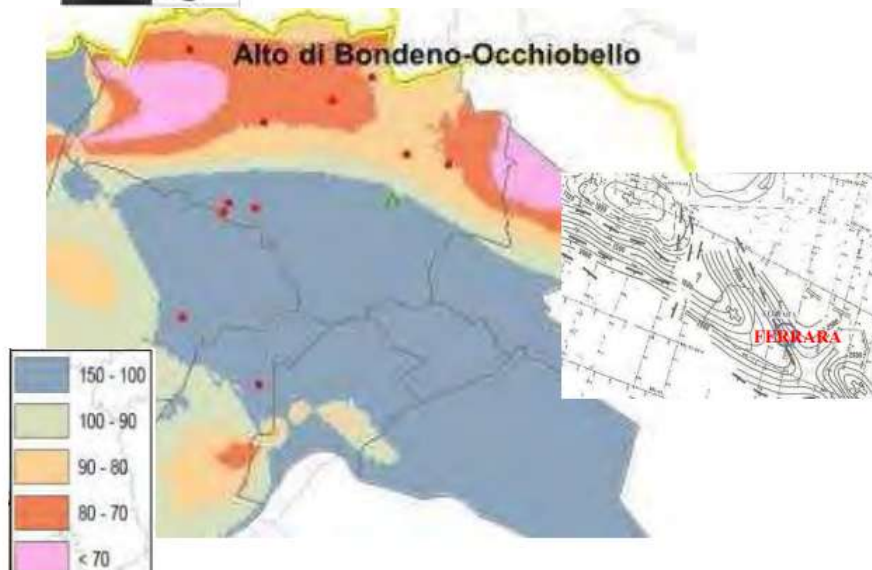
## **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)



*Carte strutturali con la ricostruzione dell'anticlinale di Bondeno (Regione E-R 2013) e di Ferrara (AGIP)*

**Da un punto di vista stratigrafico**, l'area indagata si trova nell'ambito dei depositi eluvio-colluviali; in particolare si rinvencono in superficie terreni naturali di natura argilloso limosa e terreni di riporto di natura diversa e manufatti.

Seguono sedimenti limosi con intercalati livelli sabbiosi di spessore variabile collegabili al livello sabbioso caratterizzante la fascia interessata dal paleoalveo. La profondità del letto è variabile da 3 a 7 metri.

Continuano in profondità fino a c.a 13 metri sedimenti limoso argillosi con intercalazioni torbose e con lenti a sabbie fini o sabbie limose verso il letto nella parte ovest mentre verso est i depositi sono più argillosi e sempre con intercalazioni torbose.

Segue uno strato sabbioso di età wurmiana sede del primo acquifero confinato che raggiunge la profondità di 40-45 metri dal piano campagna.

Quanto esposto è rappresentato in figura 4.

## **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

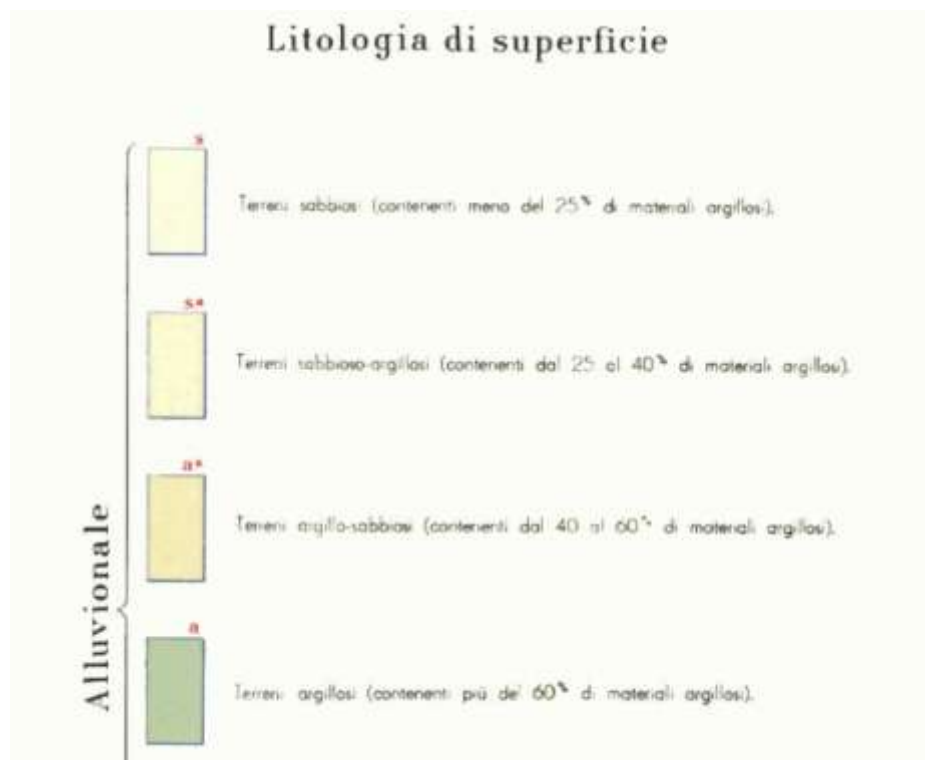
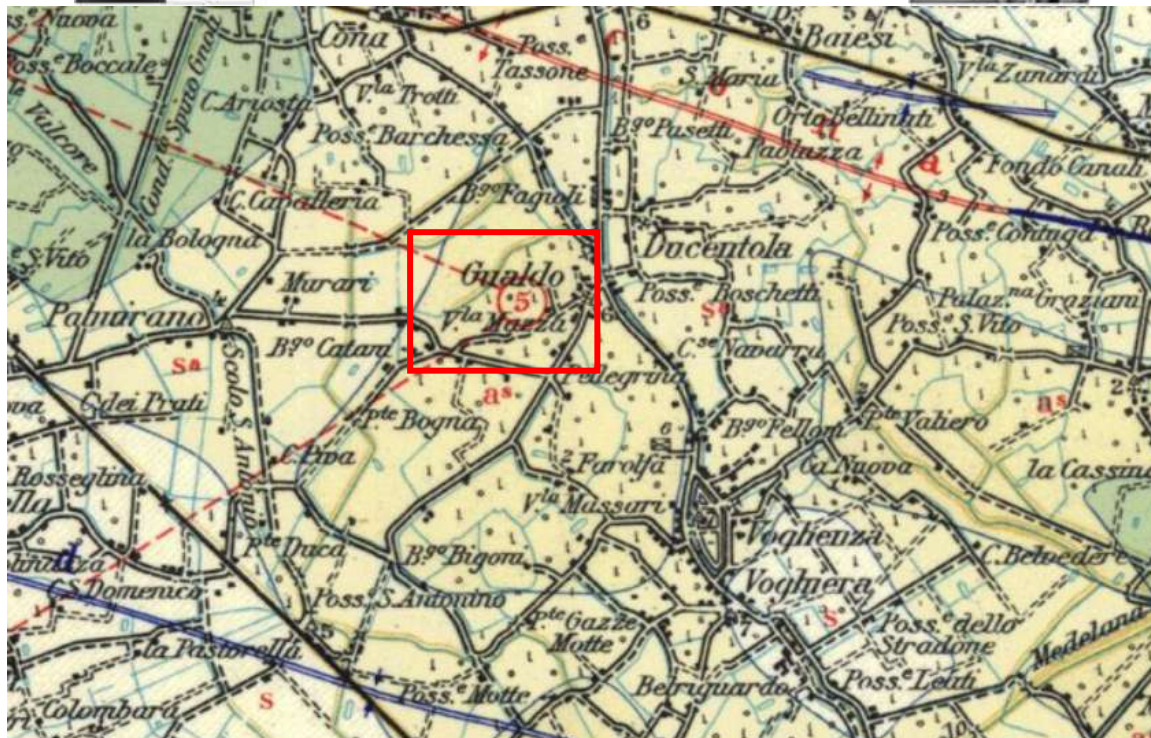
GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





**Fig. 6: Stralcio del F. 76 "FERRARA" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000**

## **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)



## Legenda

□ Confini comunali

- A - Argilla
- AL - Argilla limosa
- ALS - Argilla limosa sabbiosa
- AS - Argilla sabbiosa
- L - Limo
- LA - Limo argilloso
- LS - Limo sabbioso
- S - Sabbia
- SA - Sabbia argillosa
- SL - sabbia limosa
- T - Torba

*Fig.7: Carta delle litologie di superficie dell'area di interesse, tratta dal Piano Strutturale Comunale, in scala 1:50.000*

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

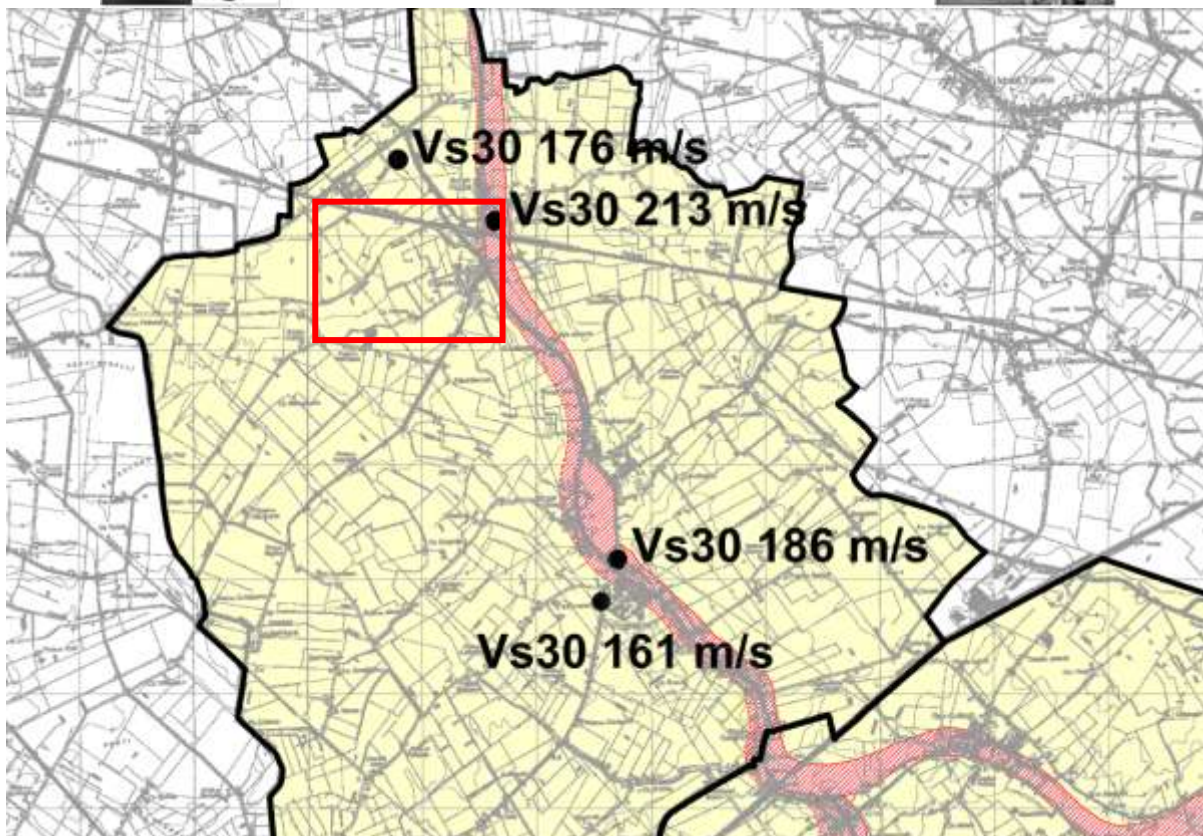
GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





## LEGENDA

Atto di Indirizzo Regione Emilia Romagna n. 112/2007

Il Fattore di Amplificazione su tutto il territorio è  $F. A. = 1,5$  per  $V_s 30 < 300$  m/sec



Possibili depositi di spessore significativo di sabbie immerse in falda (paleovallei ed allineamenti di paleo dune)  
Aree soggette ad analisi di III livello



Possibili depositi coesivi molto soffici ( $C_u < 70 \text{ kPa}$   $IP > 30\%$ )  
Aree soggette ad analisi di III livello



Misure dirette in campo



Confini comunali

*Fig.8: Carta delle aree suscettibili di effetti locali, in scala 1:50.000*

### STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



## **5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO DELL'AREA**

Per la ricostruzione delle caratteristiche **geologiche, geotecniche e geofisiche** di dettaglio del lotto interessato dal Progetto di cui in oggetto è stato eseguito un rilevamento geologico esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed una campagna di indagini geognostiche, geotecniche in sito e geofisiche.

Le **indagini geognostiche** sono consistite in:

- **n. 01 sondaggio meccanico a carotaggio continuo, denominato S01 e spinto fino alla profondità di 15 mt dal p.c.**

Le **indagini geotecniche** in laboratorio sono consistite in:

- **n. 1 prove di laboratorio geotecnico su 1 campioni di terreno naturale.**

Le **indagini geotecniche in sito** sono consistite in:

- **n° 01 prova penetrometrica di tipo DPSH a punta chiusa;**
- **n°02 prove SPT all'intero del foro di sondaggio S01**

Le **indagini geofisiche in sito** sono infine consistite in:

- **n° 01 prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica**, allo scopo di ottenere una sezione sismica da interpretare in chiave geologica;
- **n° 01 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW**, necessarie per la **misurazione del valore delle  $V_{seq}$** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;



*Fig. 9: Ubicazione delle prove geotecniche e geofisiche eseguite nel sito in esame*

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





## **5.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO**

Per caratterizzare, a livello geologico, geotecnico e geofisico le litologie caratterizzanti l'area di studio, sono stati dapprima consultati tutti i dati di letteratura a disposizione del redattore.

Per confrontare i dati di letteratura alla situazione in esame e per caratterizzare a livello puntuale l'area, è stato eseguito, *in situ*, un rilevamento geologico di superficie esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

In questo paragrafo sono descritte le **indagini di natura geognostica** effettuate nell'area di studio, consistite più precisamente in:

- **n. 01 sondaggio meccanico a carotaggio continuo, denominato S01 e spinto fino alla profondità di 15 mt dal p.c.**

*Le suddette prospezioni dirette sono state eseguite nel mese di **NOVEMBRE 2024**.*

La metodica è stata quella della perforazione con carotiere semplice a carotaggio continuo ai fini di una precisa visione delle litologie attraversate e di una buona conservazione delle carote estratte nonostante il disturbo laterale dovuto alla rotazione.

In **ALLEGATO N.1** sono riportate le descrizioni stratigrafiche integrali relative alla prospezione diretta eseguita *in situ* e in laboratorio.



## **5.2 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO**

In questo paragrafo sono descritte le **indagini geotecniche in sito** effettuate nell'area di studio, consistite precisamente in:

- **N° 01 Prova Penetrometrica Dinamica DPSH**, spinte rispettivamente fino alla profondità di 16,40 metri dal p.c.

Le *indagini geotecniche in sito denominate* sono state eseguite, nel mese di **OTTOBRE 2024**.

La **prova penetrometrica dinamica DPSH** (Dynamic Probing Super Heavy) consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione.

Viene registrato il numero di colpi necessari per l'infissione ogni 20 cm di affondamento.

L'attrezzatura è composta da una batteria di aste lunghe 1 metro con diametro di 32 mm, alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica avente angolo di apertura di 60°, e da un maglio battente di 63.5 kg che viene fatto cadere da un'altezza di 75 cm.

La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano campagna, ma in alcuni casi può essere anche condotta come proseguimento di una prova statica interrotta a causa di un livello ad elevata resistenza. Le informazioni fornite dalle prove penetrometriche dinamiche sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.



## METODOLOGIA

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (pertratti consecutivi) 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.

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)  $d$*

- *presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).*

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



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

- tipo **LEGGERO (DPL)**

- tipo **MEDIO (DPM)**

- tipo **PESANTE (DPH)**

- tipo **SUPERPESANTE (DPSH)**

## Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

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

- **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30)** (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



- **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20)** (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.
- **DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE** secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A = 20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni.
- **DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Tipo EMILIA)**  
massa battente  $M = 63.5$  kg, altezza caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 20-30$  cm, punta conica ( $\alpha = 90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5 - 51,0$  mm, area base cono  $A = 20,0 - 20,43$  cm<sup>2</sup>, rivestimento/ fango bentonitico : talora previsto.

## PENETROMETRO DINAMICO IN USO PER LA SEGUENTE INDAGINE

**TG 63-200 EML .C Pagani**

### CARATTERISTICHE TECNICHE

Rit. Norme:	DIN 4004
PESO MASSA BATTENTE : M	63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA : H	0,75m
PESO SISTEMA BATTUTA : Mb	0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA: D	51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA : A	20,43 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA: $\alpha$	90°
LUNGHEZZA DELLE ASTE: La	1,00m
PESO ASTE PER METRO: Ma	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1° ASTA: Pl	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA : $\delta$	0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA: N = N(20)	Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO : $Q = (MBH) / (A \cdot \delta) = 11,65565$ kg/cm <sup>2</sup> $\epsilon$ prova SPT: $Q_{spt} = 7,83$ kg/cm <sup>2</sup>	
CORF. TEORICO DI ENERGIA : $\beta = Q/Q_{spt} = 1,489$ (normalizzato: $N_{spt} = \beta \cdot N$ )	

***Specifiche tecniche del Penetrometro utilizzato in situ.***

**In ALLEGATO N. 1 sono riportati i certificati relativi alle INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO.**

### **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

**GEOLOGO VINCENZO CORTESE**

**INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)**

**TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991**

**E-MAIL: vincenzocortese@live.it**



## **5.3 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO**

E' stata eseguita, nell'area allo studio, una **campagna di indagini geofisiche in sito** costituita, nello specifico, da:

- **n° 01 prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica**, allo scopo di ottenere una sezione sismica da interpretare in chiave geologica;
- **n° 01 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW**, necessarie per la **misurazione del valore delle  $V_{seq}$** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;

Le **indagini geofisiche** sono state eseguite dalla **Ditta GEOSECURE SRL** avente sede in ROMA (RM) alla Via Degli Scipioni, n°268°. I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area ed in particolar modo quelli provenienti dall'esecuzione delle prospezioni con metodologia di indagine "MASW" hanno permesso di classificare il suolo di fondazione del sito in esame.

Nel caso specifico si è ottenuto tale risultato:

- $V_s$  Equivalente  $M1$  pari a **283 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt = suolo categoria C.**

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di  $V_{seq}$  valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo C**: tale sottosuolo è definito come *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s"*.



## **7 MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO**

La consultazione dei **dati di letteratura** disponibili per l'area di studio, la **diretta osservazione di campo** ottenuta durante il **rilevamento geologico di dettaglio** effettuato sia direttamente nell'area di intervento che nelle zone adiacenti (al fine di ampliare la visione dei terreni affioranti e delle strutture geologiche presenti) e le **ricostruzioni lito-stratigrafiche** derivanti dalla consultazione dei sondaggi geognostici esistenti nelle immediate vicinanze del sito di intervento, opportunamente verificati mediante le informazioni acquisite dalla lettura dei risultati provenienti dall'esecuzione della **campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche in sito**, hanno consentito il raggiungimento di una sufficiente definizione del quadro litologico e stratigrafico del sottosuolo in esame.

Per il sito di specifico interesse è pertanto possibile definire il seguente **modello geologico**, come si riporta nelle **Figura 17**, inerente la descrizione lito-stratigrafica del sondaggio geognostico **ESEGUITO IN SITU**.





# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



**S1**

IMPRESA: GEOSECURE SRL  
GEOLOGO REDATTORE: Geol. Vincenzo Cortese  
METODO DI PERFORAZIONE: Carotaggio Continuo  
CANTIERE: VOGHIERA (FE)  
DATA PERFORAZIONE: 04/11/2024

Scala 1:100

Valori Profondità	Profondità (mt)	Potenza (mt)	Stratigrafia	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI	Campioni		S. P. T.	Falda Rinvenuta	% Carotaggio				
					Prof.	Tipo			20	40	60	80	100
	0.20	0.20		TERRENO VEGETALE									
1.00				LIMI SABBIOSO-ARGILLOSI OCRACEI, POCO CONSISTENTI				1.50					
2.00													
3.00	2.80	2.60											
4.00													
5.00													
6.00													
7.00					6.50-7.00	IND							
8.00													
9.00				ARGILLA LIMOSA GRIGIA DA POCO A MEDIAMENTE CONSISTENTE									
10.00													
11.00													
12.00													
13.00													
14.00													
15.00	15.00	12.20											

**Fig. 17: Sondaggio geognostico S01**

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



Si riportano, di seguito, le analisi di laboratorio eseguite sul campione indisturbato prelevato ad una quota di 6,50- 7.00 m dal p.c. durante l'esecuzione del sondaggio geognostico S01.

Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024

Rapporto di Prova N°: S6522/24 del 06/12/2024

## APERTURA E DESCRIZIONE VISIVA DEL CAMPIONE

Richiedente: Carlo CORTESE (Amministratore Unico)

Committente: -

Impresa: GEOSECURE S.r.l.  
Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)

Lavoro: VOGHIERA

Identificativo Campione: S1

Profondità di Prelievo: 6,50 - 7,00 mt

Tipologia di Materiale: ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Emprise S.r.l.

Coordinata N:

-

Data Prelievo:

-

Data Inizio Prova:

18/11/2024

Coordinata E:

-

Data Consegna in Lab.:

14/11/2024

Data Fine Prova:

18/11/2024

### Descrizione Campione:

Il campione esaminato si presenta con una tonalità cromatica scura tendente al nero. La matrice si mostra morbida costituita da materiale di tipo limo/argilla. Allo stato naturale sembra avere una umidità media e una plasticità medio-bassa. Al suo interno non si intravedono elementi litoidi e ne sostanze organiche. La struttura presenta un grado di cementazione basso. Assenti sono i fenomeni di ossidazione e/o alterazione.

### Pocket Penetrometro (kg/cm<sup>2</sup>):

Resistenza (Kg/cm<sup>2</sup>)

2,0

2,5

1,5

-

-

-

Punto di misura sul campione (cm)

4

11

22

-

-

-

Colore Munsell:

10YR - 2/1 "Black"

Lunghezza:

circa 25 cm

## RESTITUZIONE FOTOGRAFICA e DETTAGLIO UTILIZZO CAMPIONE



N.B.: La quantità del campione non ha consentito l'esecuzione della prova meccanica "Compressione assiale non confinata (ELL) - Triassiale non confinata non drenata (UU)".

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024  
Rapporto di Prova N°: S6523/24 del 06/12/2024

## DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI

**Richiedente:** Carlo CORTESE (Amministratore Unico)  
**Committente:** -  
**Impresa:** GEOSECURE S.r.l.  
**Lavoro:** VOGHIERA  
**Identificativo Campione:** S1  
**Profondità di Prelievo:** 6,50 - 7,00 mt  
**Tipologia di Materiale:** ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Emprise S.r.l.

**Coordinata N:** - **Data Prelievo:** - **Data Inizio Prova:** 18/11/2024  
**Coordinata E:** - **Data Consegna in Lab.:** 14/11/2024 **Data Fine Prova:** 19/11/2024

Parametri	u.m.	Provino 1	Provino 2	Provino 3	Valore Medio Contenuto d'Acqua
Peso campione umido + tara	g	154,80	265,40	222,23	10,76 (%)
Peso campione secco + tara	g	139,83	240,00	202,23	
Peso tara	g	6,30	6,26	6,15	
Contenuto d'Acqua	%	11,21	10,87	10,20	

## PESO SPECIFICO DEI GRANI

Normativa di Riferimento: ASTM D854/ UNI CEN ISO-TS 17892 - 3

Determinazione	u.m.	1	2	3	Valore Medio Peso Specifico
Peso tara (picnometro + tappo)	g	55,26	55,43	55,82	2,63 (g/cm <sup>3</sup> )
Peso campione secco + tara	g	86,63	86,23	86,00	
Peso picnometro + acqua distill. alla temp. di prova T (°)	g	164,32	164,25	164,00	
Peso picnometro+acqua+campione saturo	g	183,79	183,40	182,70	
Temperatura di prova T	°C	20,0	20,0	20,0	
Costante K		0,9980	0,9980	0,9980	
Peso specifico Gs	(g/cm <sup>3</sup> )	2,631	2,638	2,624	

## DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME NATURALE, SATURO E SECCO

Normativa di Riferimento: UNI CEN ISO-TS 17892 - 2

Determinazione	u.m.	1	2	3	Valore Medio
Peso campione umido + tara	g	279,82	282,23	283,33	1,907 (g/cm <sup>3</sup> )
Peso tara	g	144,23	144,58	144,46	
Volume tara cm <sup>3</sup>	g	72,00	72,00	72,00	
Determinazione dell'indice dei Vuoti	-	0,556	0,526	0,503	0,528
Grado di Saturazione	%	53,05	54,38	53,33	53,59
Peso di Volume Naturale	(g/cm <sup>3</sup> )	1,880	1,912	1,929	1,907
Peso di Volume Secco	(g/cm <sup>3</sup> )	1,691	1,724	1,750	1,722
Peso di Volume Saturo	(g/cm <sup>3</sup> )	2,047	2,061	2,084	2,064

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



## ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE

(Normativa di Riferimento: ASTM D422-63 ASTM D421-85 UNI CEN ISO/TS 17892-4)

Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024  
Rapporto di Prova N°: S6524/24 del 06/12/2024

Richiedente: Carlo CORTESE (Amministratore Unico)  
Committente: -  
Impresa: GEOSECURE S.r.l.  
Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)  
Lavoro: VOGHIERA  
Identificativo Campione: S1  
Profondità di Prelievo: 6,50 - 7,00 mt  
Tipologia di Materiale: ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Emprise S.r.l

Coordinata N: -  
Coordinata E: -

Data Prelievo: -  
Data Consegna in Lab.: 14/11/2024

Data Inizio Prova: 18/11/2024  
Data Fine Prova: 20/11/2024

### Risultato Analitico della Prova

#### Setacciatura:

Massa materiale ante-lavaggio (g): 309,6  
Massa materiale post-lavaggio (g): 6,5

Apertura Setacci (mm)	Massa Trattenuta (g)	Trattenuto %	Passante %
63	0,0	0,00	100,0
40	0,0	0,00	100,0
31,5	0,0	0,00	100,0
20	0,0	0,00	100,0
16	0,0	0,00	100,0
14	0,0	0,00	100,0
12,5	0,0	0,00	100,0
10	0,0	0,00	100,0
8	0,0	0,00	100,0
6	0,0	0,00	100,0
4	0,0	0,00	100,0
2	0,0	0,00	100,0
1	0,0	0,00	100,0
0,500	0,2	0,06	99,9
0,250	0,8	0,26	99,7
0,125	2,3	0,74	99,3
0,063	6,5	2,10	97,9

#### Densimetria:

Massa materiale (g): 32,60

Soluzione  
esametafosfato di sodio (40 g/l)

Densimetro: ASTM I151H

Temp. (°C)	Tempo (min)	Lettura Densimetro	Diametro (mm)	Passante %
19,8	1	1,0220	0,0821	92,2
19,8	1	1,0200	0,0450	82,5
19,8	2	1,0180	0,0325	72,9
19,8	4	1,0170	0,0233	68,0
19,7	8	1,0160	0,0166	63,1
19,7	16	1,0150	0,0119	58,2
19,7	30	1,0145	0,0087	55,8
19,7	60	1,0140	0,0062	53,4
19,7	120	1,0135	0,0044	51,0
19,9	240	1,0135	0,0031	51,2
19,9	480	1,0130	0,0022	48,8
19,9	1440	1,0130	0,0013	48,8

### STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





## DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG

(Normativa di Riferimento: ASTM D4318-84 UNI CEN ISO/TS 17892-12 UNI 10014)

Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024

Rapporto di Prova N°: S6524/24 del 06/12/2024

Richiedente: Carlo CORTESE (Amministratore Unico)

Committente: -

Impresa: GEOSECURE S.r.l.  
Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)

Lavoro: VOGHIERA

Identificativo Campione: S1

Profondità di Prelievo: 6,50 - 7,00 mt

Tipologia di Materiale: ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Empire S.r.l.

Coordinata N: -  
Coordinata E: -

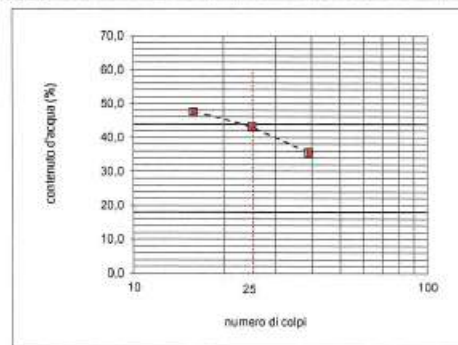
Data Prelievo: -  
Data Consegna in Lab.: 14/11/2024

Data Inizio Prova: 18/11/2024  
Data Fine Prova: 20/11/2024

### Risultato della Prova

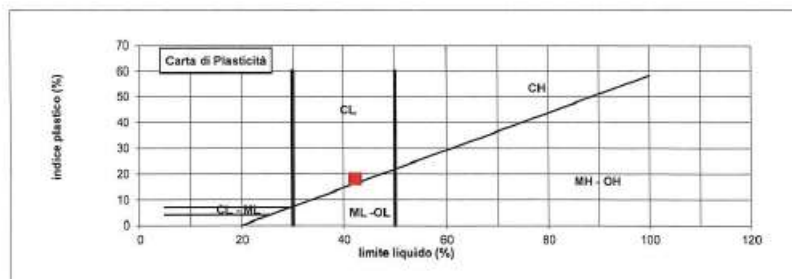
Limite Liquido		A	B	C
Numero tara				
Numero dei colpi		16	25	39
P. umido + tara	g	53,65	54,00	55,23
P. secco + tara	g	42,23	43,02	45,56
Peso tara	g	18,25	17,56	18,33
Peso umido	g	35,40	36,44	36,90
Peso secco	g	23,98	25,46	27,23
Contenuto d'acqua	%	47,62	43,13	35,51

Limite Plastico		1	2	3
Numero tara				
P. umido + tara	g	32,23	32,63	33,00
P. secco + tara	g	27,50	27,85	28,16
Peso tara	g	7,85	7,93	8,02
Peso umido	g	24,38	24,70	24,98
Peso secco	g	19,65	19,92	20,14
Contenuto d'acqua	%	24,07	24,00	24,03



$$I_p = LL - LP$$

Limite Liquido LL	42,1
Limite Plastico LP	24,0
Indice di Plasticità $I_p$	18,0



**ML**  
Limi inorganici di media plasticità  
**MH**  
Limi inorganici di alta plasticità  
**CL**  
Argille inorganiche di media plasticità  
**CH**  
Argille inorganiche di alta plasticità  
**OL**  
Argille organiche di media plasticità  
**OH**  
Argille organiche di alta plasticità

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024

Rapporto di Prova N°: S6524/24 del 06/12/2024

Richiedente: Carlo CORTESE (Amministratore Unico)

Committente: -

Impresa: GEOSECURE S.r.l.  
Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)

Lavoro: VOGHIERA

Identificativo Campione: S1

Profondità di Prelievo: 6,50 - 7,00 mt

Tipologia di Materiale: ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

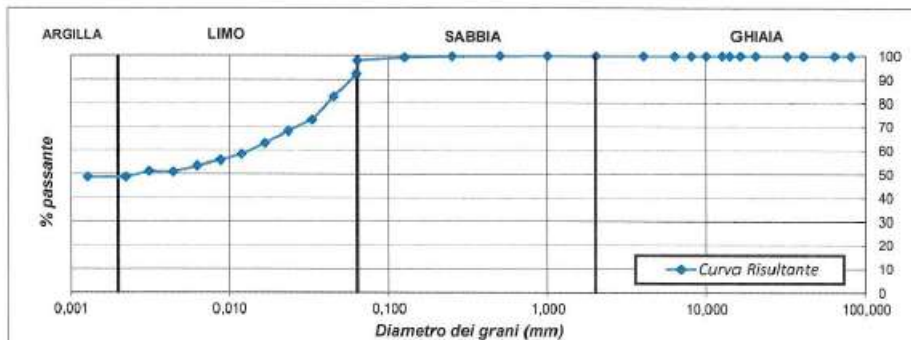
COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Emprise S.r.l.

Coordinata N: -  
Coordinata E: -

Data Prelievo: -  
Data Consegna in Lab.: 14/11/2024

Data Inizio Prova: 18/11/2024  
Data Fine Prova: 20/11/2024

## Risultato Grafico della Prova di Analisi Granulometrica per Setacciatura e Sedimentazione



## Classificazione

Normativa ASTM - USCS (Unified Soil Classification System)

GHIAIA (%)	0,0	Passante <sub>(0,063)</sub> > 50%	TERRENI FINI
SABBIA (%)	2,1		
LIMO (%)	46,9		
ARGILLA (%)	51,0		

LIMITE LIQUIDO	42,1	CL	ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'
LIMITE PLASTICO	24,0		
INDICE DI PLASTICITA'	18,0		

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





Rapporto di Prova N°: S5525/24 del 06/12/2024

COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA EDITRICE S.r.l

## FASE DI ROTTURA

[illegible]

PROVINO n.	2	SFORZO NORMALE, N/mmq.			100,0	Porta provini n.		
		Lato fustella, mm				Massa Campione, g		
		292,23				144,58		
		24				18,744		
Cedimenti a filo cono, mm		24				24		
Tempi, mm		24				24		
Spostamento orizzontale, mm		24				24		
Cella di Carico, N		24				24		
Spostamento verticale, mm		24				24		
SFORZI di TAGLIO, sN/m <sup>2</sup>		24				24		

PROVINO n.		SFORZO NORMALE, Minq		150,0		Portaprovin n.	
		00					
		283,33		144,46		138,87	
		24		17,938		11,12	
Cedimenti a fine cors. mm		Lato fustella, mm		Altezza fustella, mm		C	
		Massa Fustella+Campione, g		Massa fustella, g		Massa Campione, g	
		doppio h				Consolidante, %	
Tempi, min		8		18		45	
		0,02		0,05		0,14	
Spostamento orizzontale, mm		0,006		0,31		0,67	
Cella di Carico N		8		20		33	
Spostamento verticale, mm		0,007		0,010		0,015	
Sforzi di TAGLIO, N/mm <sup>2</sup>		2,22		5,56		9,17	
		16,67		22,78		34,72	
		51,11		61,67		75,00	
		83,33		89,44		96,96	

### Lo Sperimentatore

Geom. Rossella TRACI

IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumi

Dott. Geol. Remo MAROTTA



GAMA-EMPIRE S.R.L. - Sede Via Tormesio Merlino 18-7 - Area Industriale 69050 VOGHERA (PV) Tel. 0375 311398 - CCIAA-BI-BO-BS-PZ - P.A. 03/01/07/07/01  
LABORATORIO AUTORIZZATO AD EFFETTUARE E CERTIFICARE PROVE SULLE TERRE E  
SULLE ROCCE A BENI DELLA C.R.C. 761810 D.D. del 06/09/2019 - N° INF-CAS/P N° H, 003356 AZIENDA CERTIFICATA AI SENSI DEL D.M. 14011/2015 Catibale No PC 0074-GAM-E; UN EN ISO 14001:2015 Catibale No PC 0074-GAM-E e ISO 45001:2018 No PC 0074-GAM-E (Catibale No PC 0074-GAM-E) (Catibale No PC 0074-GAM-E)

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

**INDIRIZZO:** VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

**TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991**

E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)



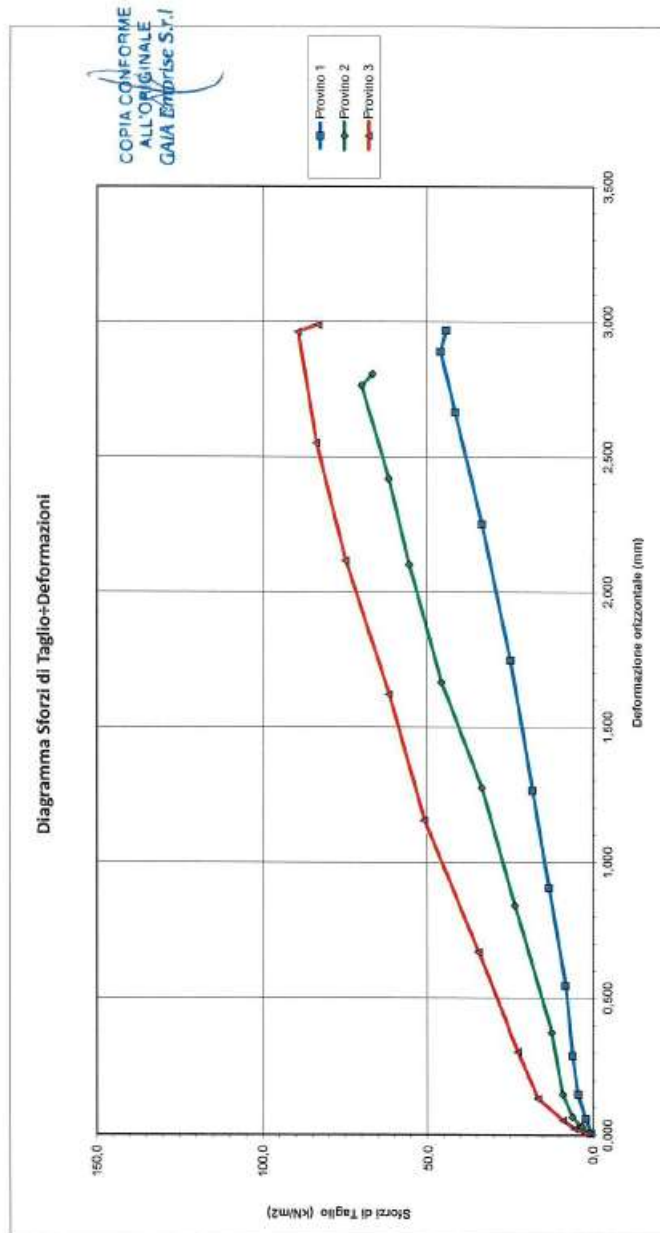


# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



Rapporto di Prova N°: 56525/24 del 06/12/2024

56525/24



Lo Sperimentatore  
Gegri. Rossella TRACCI  
Rossella T.

IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati

Dott. Geol. Remy MAROTTA

via Torrione Molino 75-77 - Area Industriale RIVER VEGGIANO (PV) - Tel. 0873.311006 - CODA REARUP - PVA 0101010701 - LABORATORIO AUTORIZZATO AD EFFETTUARE E CERTIFICARE PROVE SULLE TERRE E SULLE ROCCE AI SENSI DELLA CIRC. MINIST. DEL 08/09/2010 - M. INF. CSUP. N° 11. 5003258 AZIENDA CERTIFICATA UNI EN ISO 9001:2015 Certificata No. PC 02/14-GEOM-Q. UNI EN ISO 14001:2015 No. PC 02/14-GEOM-E ISO 45001:2018 No. PC 02/14-GEOM-H No. PC 02/14-GEOM-SI Cert. S.r.l.

Pagina 3 di

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it

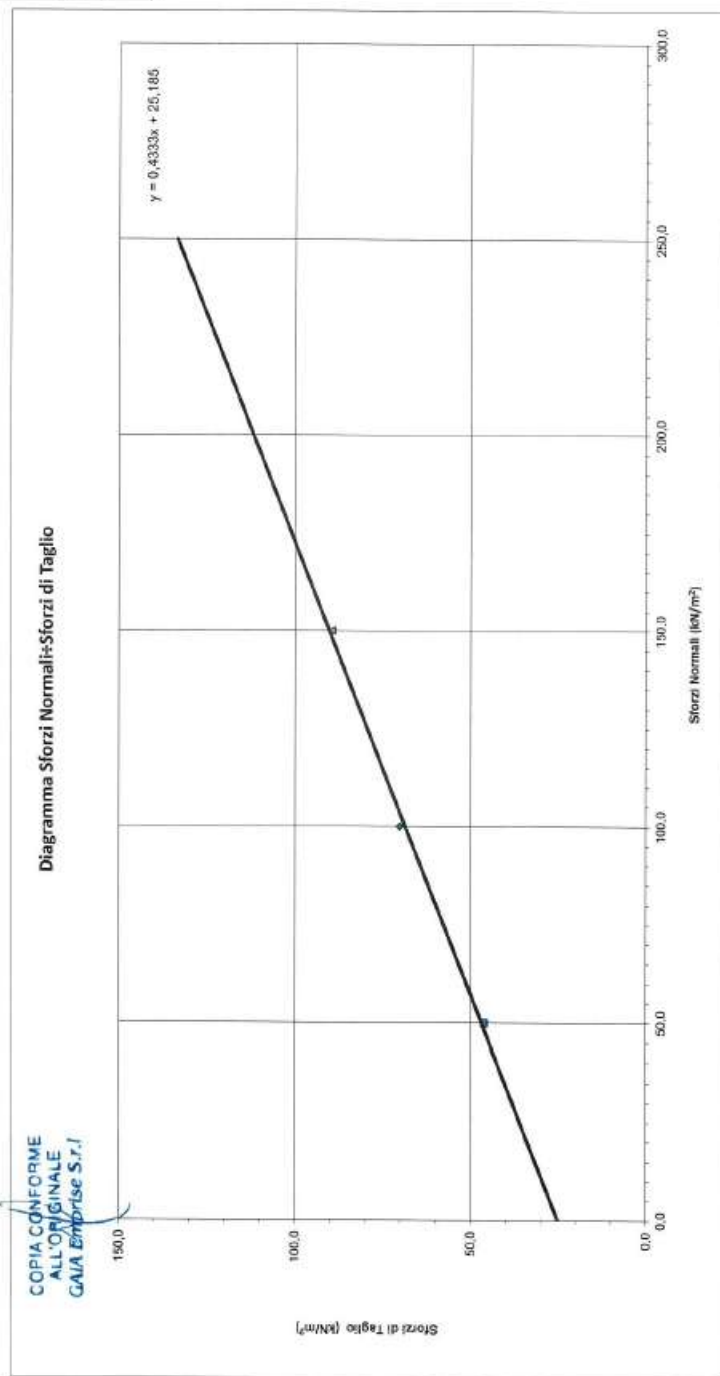




# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



rapporto di prova n° : 585/25/24 del 06/11/24



IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati

Dott. Geol. Romo MAROTTA

Lo Sperimentatore  
Geom. Rossella TRACCI  
Fossette R.

A. EMPRISE S.R.L. - Sede: Via Torrione Matteo 75-77 - Area Industriale 86050 VERGIANO (PZ) - Tel. 0875.311388 - CCIAA 84348 PZ - P.IVA 01318170761 - LABORATORIO AUTORIZZATO AD EFFETTUARE E CERTIFICARE PROVE SULLE TERRE E SULLE ROCCE AI SENSI DELLA CIRC. N°18/90 STC DEL 08/05/90  
C.S.G.P. N° R. 0003559 AGENZIA CERTIFICATA UNI ISO 9001:2015 Certificata No PC 05 1A-CAEM-C, UNI EN ISO 14001:2015 No PC 01 1A-GAEM-E ISO 45001:2018 No PC 01 1A-GAEM-PH-SI-Cert. S.r.l.

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Dall'esecuzione delle prospezioni geotecniche in sito di tipo **DPSH** eseguite nell'area è stato possibile produrre le seguenti tabelle mostranti una sintesi dei parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione e dei parametri sismici ed elastici ricavati dall'esecuzione delle prospezioni geofisiche:

### PROVA N.1

STRATO	Spessore dello strato (m)	N <sub>60</sub>	Tipi	Coesione a 100% di umidità (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unitario di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unitario di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Indice di Plasticità	Densità reale (kg/cm <sup>3</sup> )	Coefficiente di compressibilità $\alpha$	Mod. Edometrico in $E_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young $E_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0,00 A METRI 5,20	1	Coesivo	0,09	1,36	1,85	20,43	0,35	160,14	0,65	30,55	37,65	3,00
2	DA METRI 5,20 A METRI 13,40	12	Coesivo	0,79	1,50	1,93	23,34	0,33	561,79	0,60	51,50	91,43	23,40
3	DA METRI 13,40 A METRI 16,40	35	Coesivo	2,38	1,65	2,03	27,17	0,3	895,48	0,54	79,01	157,07	70,38
4	DA METRI 16,40 A METRI 30,00	-	Coesivo	3,80	2,10	2,30	32	0,28	960,00	0,47	150,00	240,00	-

### STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



## SONDAGGIO S1

### PROVA SPT1

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità' (m)	Nr. Colpi
4.70	2
4.85	2
5.00	3

Profondità (m)	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume satura (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Coefficiente spinta a Riposo K0	Modulo di Poisson	Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edometrico $E_{ed}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young $E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Qr Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
5.00 METRI	Coesivo	0.31	1.41	1.88	21.43	0.63	0.34	334.18	37.73	58.60	10.00

### PROVA SPT2

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità' (m)	Nr. Colpi
9.70	5
9.85	6
10.00	6

Profondità (m)	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume satura (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Coefficiente spinta a Riposo K0	Modulo di Poisson	Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edometrico $E_{ed}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young $E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Qr Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
10.00 METRI	Coesivo	0.81	1.50	1.94	23.43	0.60	0.33	570.54	52.11	92.90	24.00

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

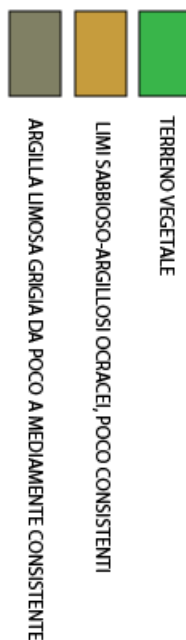
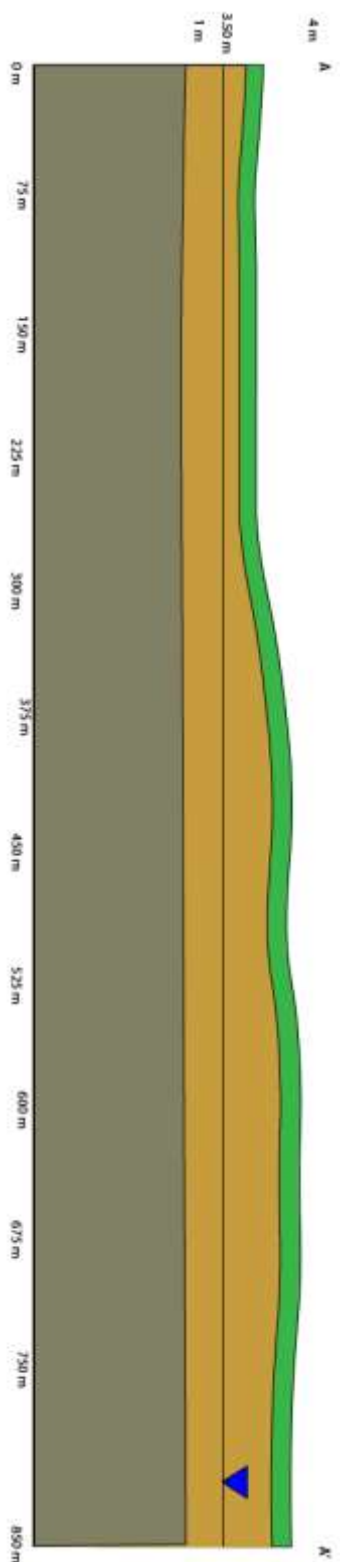
INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



È quindi possibile definire la seguente stratigrafia per l'area in esame:

**LIMI SABBIOSO-ARGILLOSI OCRACEI , POCO CONSISTENTI (da 0,0 a 5,20)**

Peso di unità di volume secco ( $t/m^3$ ): 1.36

Peso di unità di volume saturo ( $t/m^3$ ): 1.85

Angolo di attrito ( $^\circ$ ): 20.43

Coesione non drenata  $C_u$  ( $Kg/cm^2$ ) : 0.09

**ARGILLA LIMOSA GRIGIA POCO CONSISTENTE (da 5,20 a 13,40)**

Peso di unità di volume secco ( $t/m^3$ ): 1.50

Peso di unità di volume saturo ( $t/m^3$ ): 1.93

Angolo di attrito ( $^\circ$ ): 23.34

Coesione non drenata  $C_u$  ( $Kg/cm^2$ ): 0.79

**ARGILLA LIMOSA GRIGIA MEDIAMENTE CONSISTENTE (da 13,40 a 16,40)**

Peso di unità di volume secco ( $t/m^3$ ): 1.65

Peso di unità di volume saturo ( $t/m^3$ ): 2.03

Angolo di attrito ( $^\circ$ ): 27.17

Coesione non drenata  $C_u$  ( $Kg/cm^2$ ) : 2.38



## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



ARGILLA LIMOSA GRIGIA CONSISTENTE (da 16,40 a 30,00)

Peso di unità di volume secco ( $t/m^3$ ): 2.10

Peso di unità di volume saturo ( $t/m^3$ ): 2.30

Angolo di attrito ( $^\circ$ ): 32

Coesione non drenata  $C_u$  ( $Kg/cm^2$ ) : 3.80

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)





## 7. MODELLAZIONE SISMICA DEL LOTTO INVESTIGATO

Definire i modelli di comportamento dei materiali superficiali (che possono costituire possibili piani di posa di sistemi fondali), in chiave sismica, significa trattare di una problematica di notevole interesse nell'ambito di ricerche di carattere geologico-tecnico e geofisico applicate all'Ingegneria.

Determinare il comportamento di un litotipo, vale a dire la risposta a sollecitazioni costanti o variabili nel tempo, significa definire la o le relazioni sforzo-deformazioni sue caratteristiche, tramite i Moduli Elastici.

In particolare, in un contesto di **prevenzione da rischio sismico**, di notevole importanza è la valutazione della “**Risposta sismica locale**”, che consiste nel definire come i terreni più superficiali d'interesse ingegneristico, rispondono alle sollecitazioni prodotte da un evento sismico, modificandone le caratteristiche spettrali, nel senso di amplificazioni e/o attenuazioni in termini di ampiezze delle onde. Da tali modifiche, è noto, dipendono i maggiori danni alle strutture durante una scossa di terremoto, poiché la vulnerabilità di un edificio è funzione oltre che della durata e dell'intensità della sollecitazione, principalmente dall'ampiezza delle onde di taglio.

L'assetto litostratigrafico locale del sito investigato, rappresenta, da questo punto di vista, una zona sismica di tipo 3 “Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti..”, caratterizzata da  $0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$ , secondo i criteri della mappa di **pericolosità sismica** definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'**accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ )** su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 75 anni ( $a_g$  rappresenta l'indice di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 75 anni).



## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



### RIFERIMENTI VALIDI PER L'AREA ALLO STUDIO

Il sito in esame, sulla base della **Riclassificazione Sismica del Territorio Italiano** secondo l'**Ordinanza n° 3234** del 29 luglio 2003 emanata dal **Presidente del Consiglio dei Ministri**, successivamente ripresa dal **D.M. 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”**, è compreso in **ZONA SISMICA 3**.

#### STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**



## **VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE IN CONDIZIONI SISMICHE**

Il fenomeno della liquefazione dinamica assume una particolare pericolosità in presenza di materiali granulari poco addensati saturi; il meccanismo di tale fenomeno dipende sia dalle caratteristiche relative al sisma (magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione massima al sito) che da quelle del terreno (distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in situ iniziale, etc.). La previsione della pericolosità di liquefazione si basa, oltre che sui parametri del sisma atteso, sulla stima di un "potenziale di liquefazione" del terreno, il quale dipende da una serie di parametri geotecnici. Come riportato nel par.7.11.3.4.2 del DM 14-01-2008 e modificata nelle N.T.C. 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
- 2) Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(Nl)_{60} > 30$  oppure  $q_{clN} > 180$  dove  $(Nl)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e  $q_{clN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

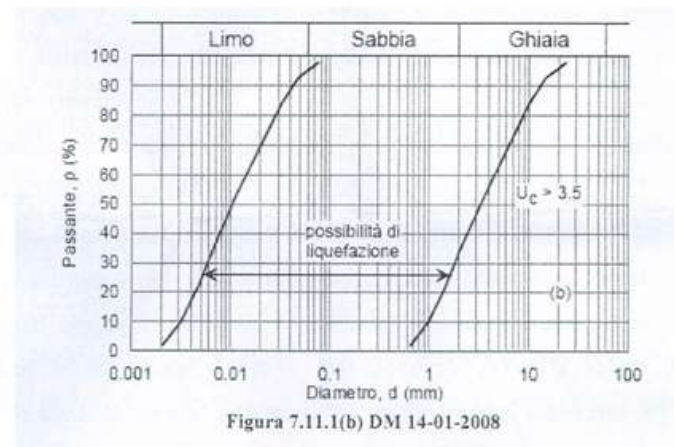
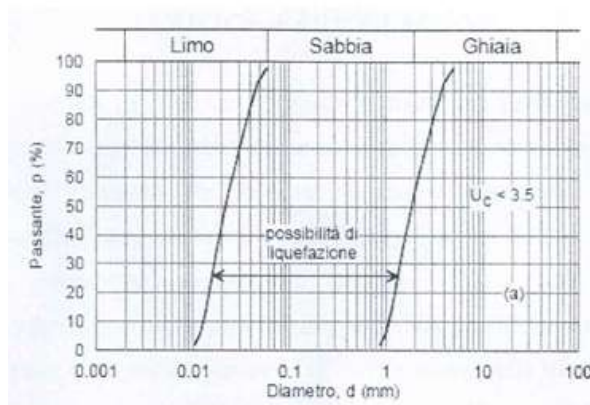
INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



- 4) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



Nel caso specifico, la situazione oggetto di questo studio non rientra in nessuna delle circostanze sopracitate, per cui le verifiche a liquefazione non possono essere omesse.

Si riporta, di seguito, la verifica a liquefazione effettuata con il software Geostru.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione  $(1.0) FS = CCR / CSR$  dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma. I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il



numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio Vs. Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza.

## Input dati:

Profondità di calcolo	1.60	m
Profondità della falda dal p. c.	1.50	m
Peso di volume del terreno	13.6	kN/m <sup>3</sup>
Numero di colpi SPT	1	-
Frazione argillosa	0.5	%
Accelerazione sismica massima	0,05	g
Magnitudo	6	-
Fattore imposto dalla normativa	1.2	-
Tipo di deposito:	Sabbie limose	
Consistenza del deposito:	Sabbie sciolte	

Seed & Idriss		
Pressione totale del terreno	21.76	kPa
Pressione efficace del terreno	21.66	kPa
Fattore correttivo per la frazione argillosa	0.00	-
Numero di colpi standard corretto	1.8461	
Resistenza alla liquefazione (CRR)	0.0565	
Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	0.0319	
Coefficiente di sicurezza ( $F_s = CRR / CSR$ )	1.7737	

Il deposito non è liquefacibile



## CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Riguardo alla classificazione sismica dei suoli di fondazione *in situ* prevista dalla Normativa in vigore (D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), vengono identificate n° 5 classi (denominate rispettivamente A, B, C, D e E) ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

CAT.	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valore di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	<b><u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s</u></b>
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100m/s e 180 m/s
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m

### STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



Per  $V_{seq}$  s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione.

Per il suolo di fondazione della zona di studio le  $V_{seq}$  mostrano i seguenti valori :

- $V_s$  Equivalente  $M_I$  pari a **283 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt = suolo categoria C.**

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di  $V_{seq}$  valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo C**: tale sottosuolo è definito come *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s”*.



STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



**STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA**

Il **D.M. 17 gennaio 2018** (*Norme Tecniche per le Costruzioni in Zone Sismiche*) decreta che le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "**pericolosità sismica di base**" del sito di costruzione.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La **pericolosità sismica** è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa **ag** in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **Se (T)**, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza **PVR**, nel periodo di riferimento **VR**.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **ag**= accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo** = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- **Tc\***= periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)



Nella presente relazione, per il sito considerato, sono forniti valori di **ag**, **Fo** e **Tc\*** necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Il "**range**" dei valori calcolati mette in evidenza che, il sottosuolo del sito in oggetto, risulta caratterizzato da valori della **V<sub>seq</sub>** riconducibili alla **Categoria di Suolo di tipo C**.

Come anzi detto, il livello di sismicità di una specifica area viene caratterizzato attraverso lo spettro di risposta elastico.

Una volta individuate le coordinate del sito in oggetto sono state inserite nel programma che, riferendosi ad una griglia di parametri spettrali di riferimento che copre tutto il territorio nazionale con passo di circa 15 km per nodo, ha ricavato i valori di **Ag**, **Fo** e **Tc\*** riferiti al punto indicativo del sito in oggetto, in condizioni di campo libero sul sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), ossia in assenza di effetti locali.

Questi parametri degli spettri di risposta come detto in precedenza sono relativi ad un sito privo di effetti al suolo, ossia senza effetti locali stratigrafici e topografici.

Per quanto riguarda l'amplificazione stratigrafica la norma individua due fattori di incremento **Ss** e **Cc** in funzione della **categoria di sottosuolo** di fondazione calcolata nel sito di realizzazione, mentre per quanto riguarda l'amplificazione topografica la norma individua quattro classi di variabilità assegnando a ciascuna un valore del coefficiente stratigrafico **Ts**.

Nelle *tabelle* successive vengono riportati i **range di variabilità** dei **coefficienti di**

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





## amplificazione:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
→ T1		1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

**Tabella 2: Valori del Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T$  per le diverse categorie topografiche.**

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (I_C^*)^{-0.20}$
→ C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (I_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (I_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (I_C^*)^{-0.40}$

**Tabella 3: Espressioni di calcolo dei coefficienti di Amplificazione Stratigrafica  $S_s$  e  $C_c$  per le diverse categorie di suolo.**

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

**Tabella 4: Categorie di amplificazione topografica.**



Dalle analisi geologiche, geomorfologiche e geotecniche effettuate, si evince che, per il sito in oggetto, può essere ragionevolmente assegnata una categoria di amplificazione topografica di **tipo T1** ossia assimilabile a *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* .

Il passo successivo consiste nella valutazione dell'**accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}$ )**, che viene riportata di seguito nella seguente espressione:

$$a_{max} = a_g * S_s * S_t$$

L'accelerazione massima attesa  **$a_{max}$**  è fornita in  $m/s^2$  (dal valore nominale di  **$a_g(g)$** ), accelerazione massima attesa al sito, si passa ad  **$a_g$**  ( $m/s^2$ ) moltiplicando per 9.81.

Infine, si passa alla determinazione del **Coefficiente Sismico orizzontale ( $K_h$ )** e **Coefficiente Sismico verticale ( $K_v$ )**, seguendo le seguenti relazioni:

- **Coefficiente sismico orizzontale  $K_h = \beta S * a_{max} / g$**  (per fondazioni)
- **Coefficiente sismico verticale  $K_v = 0.5 K_h$**  (per fondazioni)

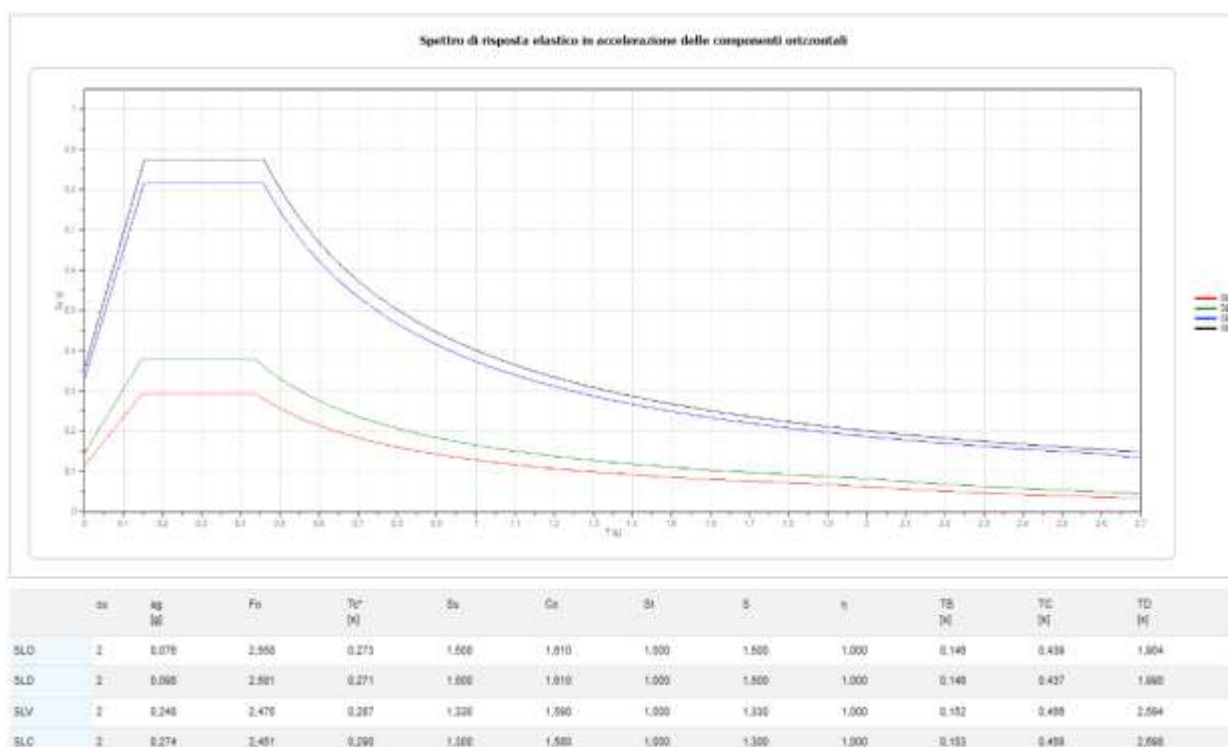
In definitiva l'analisi degli spettri di risposta è completata in funzione dell'incremento relativo alla **Classe d'uso della struttura in oggetto** e alla **Vita Nominale dell'opera**, ulteriormente incrementata con i **Coefficienti Stratigrafici e Topografici** di cui sopra e verificata agli **Stati Limiti** così come previsto da norma. Nella **tabella** seguente sono riportati i valori dell'accelerazione del suolo orizzontale di picco  $a_g$  espressi in percentuale di  $g$ , riferiti ad ogni zona omogenea di riferimento, tali valori sono riferiti alle accelerazioni attese in seguito ad un evento sismico in siti su roccia o suolo molto rigido (*bedrock*) con  $V_s > 800$  m/s.



Zona sismica (livello di pericolosità)	Accelerazione orizzontale massima con prob. di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ )
1 (alto)	$> 0,25$
2 (medio)	$0,15 - 0,25$
<u>3 (basso)</u>	<u><math>0,05 - 0,15</math></u>
4 (minimo)	$< 0,05$

L'area in esame ricade per intero della zona sismica 3.

Si riportano di seguito, infine, i **Parametri Sismici fondamentali** validi per il sito in esame ed il **Report inerente gli spettri di risposta elastici in accelerazione** delle componenti orizzontali e verticali, calcolati con software dedicati.



## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

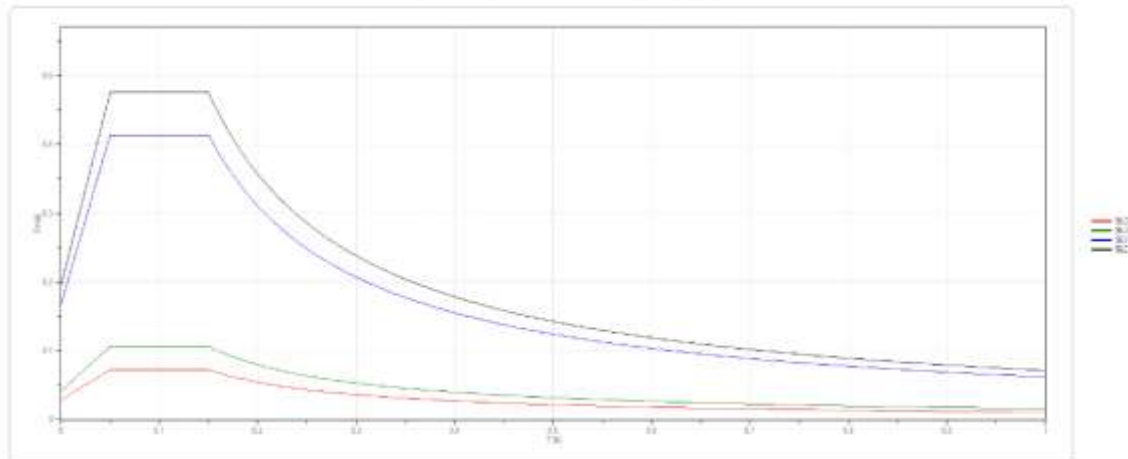
E-MAIL: vincenzocortese@live.it



# STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cc	kg [g]	Fa	Ta* [s]	Sa	Cs	Si	S	s	TB [s]	TD [s]	TD [s]
SLO	2	0.276	2.568	0.273	1.900	1.910	1.880	1.880	1.900	0.088	0.190	1.900
SLD	2	0.366	2.581	0.271	1.900	1.910	1.880	1.880	1.900	0.088	0.190	1.900
SLV	2	0.248	2.479	0.287	1.900	1.900	1.880	1.880	1.900	0.088	0.190	1.900
SLC	2	0.274	2.481	0.290	1.900	1.980	1.880	1.880	1.900	0.088	0.190	1.900

Spettro di Progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale  $q =$

1.5  $\eta = 0.667$

Fattore di struttura spettro vertical  $q =$

1.5  $\eta = 0.667$

Stato limite

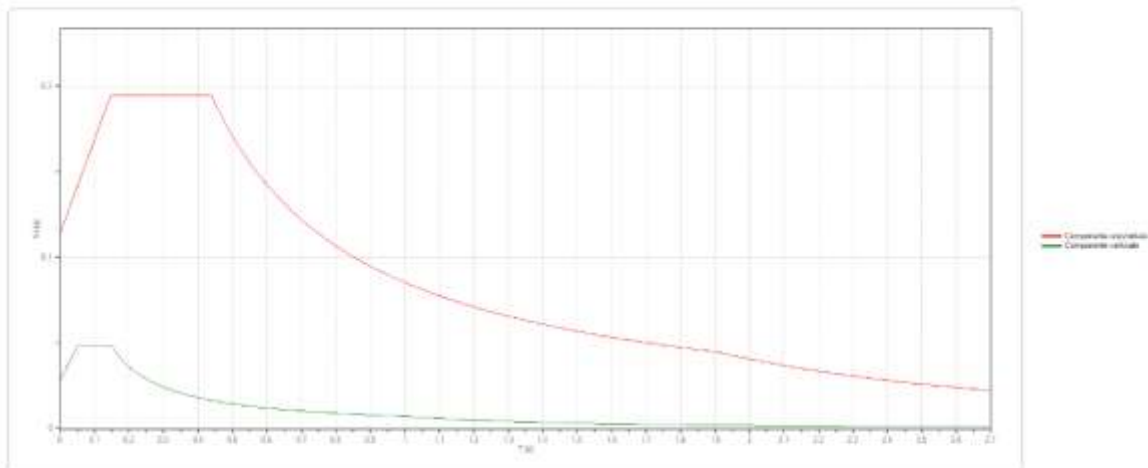
SLO



Periodo di riferimento

sec

Spettri di progetto per lo stato limite SLO



	cc	kg [g]	Fa	Ta* [s]	Sa	Cs	Si	S	s	TB [s]	TD [s]	TD [s]
SLO orizzontale	2	0.276	2.568	0.273	1.900	1.910	1.880	1.880	1.900	0.146	0.499	1.904
SLO verticale	2	0.276	2.568	0.273	1.900	1.910	1.880	1.880	1.900	0.088	0.190	1.900

## STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it







## **9.CONCLUSIONI**

Il sottoscritto:

- Geologo Vincenzo CORTESE, nato a Mugnano di Napoli (NA) il 28/12/1983 (C.F. **CRTVCN83T28F799C**) e residente in Bojano (CB) alla Via Gino Di Biase n° 32, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Molise* al n° **155** - sez. A "Geologi Specialisti",

con **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA** avente sede in BOJANO (CB) alla Via Barcellona n° 20, ha eseguito uno studio di carattere geologico - tecnico nel tenimento del Comune di **VOGHIERA (FE)** a corredo del Progetto denominato "**VOGHIERA-PV-001**" su incarico di **ICUBE DEVELOPMENT 16 SRL**.

E' stato effettuato un primo sopralluogo per constatare lo stato di fatto della zona di studio.

In seguito, sono stati compiuti ulteriori sopralluoghi, sia sull'area interessata dall'intervento che nelle aree adiacenti, allo scopo di ottenere una visione globale del territorio in cui si trova la zona interessata.

Il lavoro, nel rispetto delle **N.T.C. 2018** e dei **CONTENUTI MINIMI DELLA RELAZIONE PREVISTI NELL'ALLEGATO C DEL R.R. 26/2020**, ha avuto lo scopo di:

- *definire le condizioni morfologiche, idrogeologiche e tettoniche dell'area;*
- *valutare l'assetto litostratigrafico dell'area;*
- *definire la categoria sismica del sottosuolo secondo le Norme del D.M. 17 Gennaio 2018.*

Il lavoro stesso è altresì stato compilato in due fasi distinte e successive:



- nella prima fase è stata effettuata una analisi geomorfologica, idrogeologica, geologica e tettonica della zona in cui ricade l'area oggetto di studio;
- nella seconda fase è stato realizzato un rilevamento geologico di superficie esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed è stata presenziata, diretta ed interpretata una campagna di indagini geotecniche e geofisiche in situ.

**L'area interessata dalla presente indagine geologico-tecnica**, trovasi nel territorio comunale di **VOGHIERA (FE)**, ad una quota compresa tra 3 e 4 m s.l.m. Tale area risulta cartografata nel **F.° 76 “FERRARA”** della Carta Geologica D'Italia in scala 1:100.000.

Il territorio della provincia di Ferrara è parte dell'ampio bacino subsidente padano in cui, a partire dal periodo Cenozoico, si sono riversati i sedimenti provenienti dall'erosione della catena alpina e degli Appennini e il cui assetto deve essere visto nel suo complesso di substrato roccioso e coltre alluvionale.

Per quel che concerne la **caratterizzazione geomorfologica di dettaglio** del lotto oggetto del presente studio geologico-tecnico, è possibile affermare che l'area stessa sia collocata in una zona caratterizzata dall'**assenza di fenomeni di dissesto geomorfologico di versante**.

Le pendenze molto esigue unite alla compattezza dei litotipi affioranti conferiscono al suolo del territorio in questione un **alto indice di stabilità**, precludendo così ogni possibilità ai terreni di evolvere in forme di dissesto superficiale di tipo gravitativo.

L'area oggetto di intervento, infine, rientra nelle competenze dell'**Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po**.

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it





Detta area di intervento risulta **INCLUSA** nella perimetrazione di **PERICOLOSITA' IDRAULICA MEDIA** definita dai Piani di Bacino.

Detta area risulta **ESCLUSA** dalla perimetrazione di **PERICOLOSITA' DA FRANA** definita dai Piani di Bacino.

Per quel che concerne la caratterizzazione idrogeologica di dettaglio del lotto in esame, durante le indagini eseguite è stata rilevata la presenza di una falda idrica superficiale alla profondità di -1.50 mt dal piano campagna.

Si evidenzia inoltre che, durante l'esecuzione delle prove geognostiche e geotecniche eseguite in situ, non è stata rinvenuta la falda idrica superficiale.

Da un punto di vista stratigrafico, l'area indagata si trova nell'ambito dei depositi eluvio-colluviali; in particolare si rinvencono in superficie terreni naturali di natura argilloso limosa e terreni di riporto di natura diversa e manufatti.

Seguono sedimenti limosi con intercalati livelli sabbiosi di spessore variabile collegabili al livello sabbioso caratterizzante la fascia interessata dal paleoalveo. La profondità del letto è variabile da 3 a 7 metri.

Continuano in profondità fino a c.a 13 metri sedimenti limoso argillosi con intercalazioni torbose e con lenti a sabbie fini o sabbie limose verso il letto nella parte ovest mentre verso est i depositi sono più argillosi e sempre con intercalazioni torbose.

Segue uno strato sabbioso di età wurmiana sede del primo acquifero confinato che raggiunge la profondità di 40-45 metri dal piano campagna.



Per la ricostruzione delle caratteristiche **geologiche, geotecniche e geofisiche** di dettaglio del lotto interessato dal Progetto di cui in oggetto è stato eseguito un rilevamento geologico esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed una campagna di indagini geognostiche, geotecniche in sito e geofisiche.

Le indagini geognostiche sono consistite in:

- **n. 01 sondaggio meccanico a carotaggio continuo, denominato S01 e spinto fino alla profondità di 15 mt dal p.c.**

Le indagini geotecniche in laboratorio sono consistite in:

- **n. 1 prove di laboratorio geotecnico su 1 campioni di terreno naturale.**

Le indagini geotecniche in sito sono consistite in:

- **n° 01 prova penetrometrica di tipo DPSH a punta chiusa;**
- **n°02 prove SPT all'intero del foro di sondaggio S01**

Le indagini geofisiche in sito sono infine consistite in:

- **n° 01 prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica**, allo scopo di ottenere una sezione sismica da interpretare in chiave geologica;
- **n° 01 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW**, necessarie per la **misurazione del valore delle  $V_{seq}$** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;



I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area ed in particolar modo quelli provenienti dall'esecuzione delle prospezioni con metodologia di indagine "MASW" hanno permesso di classificare il suolo di fondazione del sito in esame: nel caso specifico si è ottenuto tale risultato:

- Vs Equivalente *MASWI* pari a **283 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a - 30,00 mt = suolo categoria C,**

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di **V<sub>seq</sub>** valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo C**: tale sottosuolo è definito come *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s"*.

Dall'esecuzione delle prospezioni geotecniche in sito di tipo **DPSH** eseguite nell'area è stato possibile, inoltre, produrre le tabelle mostranti i **parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione**.

E' stata effettuata, infine, la **modellazione sismica** dell'area di studio.

Il sito in esame, sulla base della **Riclassificazione Sismica del Territorio Italiano** secondo l'**Ordinanza n° 3234** del 29 luglio 2003 emanata dal **Presidente del Consiglio dei Ministri**, successivamente ripresa dal **D.M. 2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"**, è compreso in **ZONA SISMICA 3**.

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Vincenzo CORTESE



**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**



## **ALLEGATO N.1**

# **SONDAGGIO GEOGNOSTICO E CERTIFICATO DI LABORATORIO**

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

**GEOLOGO VINCENZO CORTESE**

**INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)**

**TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991**

**E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)**



**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**



## **ALLEGATO N.2**

### **PROVE GEOTECNICHE**

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

**GEOLOGO VINCENZO CORTESE**

**INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)**

**TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991**

**E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)**

**PAGINA 67 di 68**



**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**



## **ALLEGATO N.3**

## **PROVE GEOFISICHE**

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

**GEOLOGO VINCENZO CORTESE**

**INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)**

**TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991**

**E-MAIL: [vincenzocortese@live.it](mailto:vincenzocortese@live.it)**

**PAGINA 68 di 68**



IMPRESA: GEOSECURE SRL  
GEOLOGO REDATTORE: Geol. Vincenzo Cortese  
METODO DI PERFORAZIONE: Carotaggio Continuo  
CANTIERE: VOGHIERA (FE)  
DATA PERFORAZIONE: 04/11/2024

Scala 1:100

[illegible]





S1

IMPRESA: GEOSECURE SRL  
GEOLOGO REDATTORE: Geol. Vincenzo Cortese  
METODO DI PERFORAZIONE: Carotaggio Continuo  
CANTIERE: VOGHIERA (FE)  
DATA PERFORAZIONE: 04/11/2024

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO POSTAZIONE



CASSETTA N.1 - Da 0,00 a 5,00 mt



CASSETTA N.3 - Da 10,00 a 15,00 mt



CASSETTA N.2 - Da 5,00 a 10,00 mt



**Verbale d'Accettazione N°:** G0970/24 del 14/11/2024  
**Rapporto di Prova N°:** S6522/24 del 06/12/2024

**APERTURA E DESCRIZIONE VISIVA DEL CAMPIONE**

**Richiedente:** Carlo CORTESE (Amministratore Unico)  
**Committente:** -  
**Impresa:** GEOSECURE S.r.l.  
Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)  
**Lavoro:** VOGHIERA  
**Identificativo Campione:** S1  
**Profondità di Prelievo:** 6,50 - 7,00 mt  
**Tipologia di Materiale:** ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Emprise S.r.l.

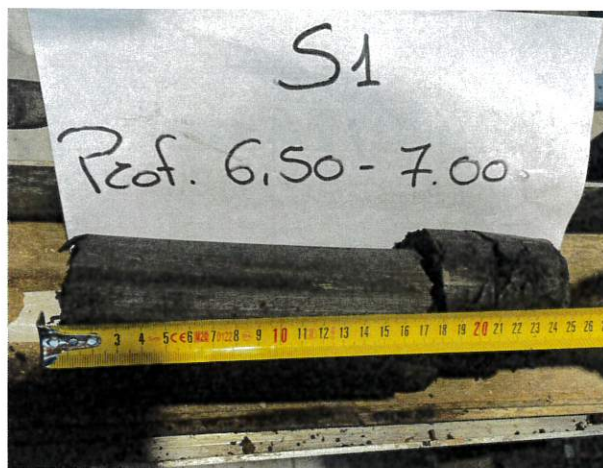
**Coordinata N:** - **Data Prelievo:** - **Data Inizio Prova:** 18/11/2024  
**Coordinata E:** - **Data Consegna in Lab.:** 14/11/2024 **Data Fine Prova:** 18/11/2024

<b>Descrizione Campione:</b>	Il campione esaminato si presenta con una tonalità cromatica scura tendente al nero. La matrice si mostra morbida costituita da materiale di tipo limo/argilla. Allo stato naturale sembra avere una umidità media e una plasticità medio-bassa. Al suo interno non si intravedono elementi litoidi e ne sostanze organiche. La struttura presenta un grado di cementazione basso. Assenti sono i fenomeni di ossidazione e/o alterazione.					
------------------------------	--	--	--	--	--	--

<b>Pocket Penetrometro (kg/cm<sup>2</sup>):</b>						
<b>Resistenza (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2,0	2,5	1,5	-	-	-
<b>Punto di misura sul campione (cm)</b>	4	11	22	-	-	-

<b>Colore Munsell:</b>	10YR - 2/1 "Black"
<b>Lunghezza:</b>	circa 25 cm

**RESTITUZIONE FOTOGRAFICA e DETTAGLIO UTILIZZO CAMPIONE**



N.B.: La quantità del campione non ha consentito l'esecuzione della prova meccanica "Compressione assiale non confinata (ELL) - Triassiale non confinata non drenata (UU)".

Lo Sperimentatore  
Geom. Rossella TRACCI

Il Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati  
Dott. Geol. Remo MAROTTA

Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024  
Rapporto di Prova N°: S6523/24 del 06/12/2024

**DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE GENERALI**

**Richiedente:** Carlo CORTESE (Amministratore Unico)  
**Committente:** -  
**Impresa:** GEOSECURE S.r.l.  
**Lavoro:** VOGHIERA  
**Identificativo Campione:** S1  
**Profondità di Prelievo:** 6,50 - 7,00 mt  
**Tipologia di Materiale:** ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Empire S.r.l.

**Coordinata N:** - **Data Prelievo:** - **Data Inizio Prova:** 18/11/2024  
**Coordinata E:** - **Data Consegna in Lab.:** 14/11/2024 **Data Fine Prova:** 19/11/2024

Parametri	u.m.	Provino 1	Provino 2	Provino 3	Valore Medio Contenuto d'Acqua
Peso campione umido + tara	g	154,80	265,40	222,23	10,76 (%)
Peso campione secco + tara	g	139,83	240,00	202,23	
Peso tara	g	6,30	6,26	6,15	
Contenuto d'Acqua	%	11,21	10,87	10,20	

**PESO SPECIFICO DEI GRANI**



Normativa di Riferimento: ASTM D854/ UNI CEN ISO-TS 17892 - 3

Determinazione	u.m.	1	2	3	Valore Medio Peso Specifico
Peso tara (picnometro + tappo)	g	55,26	55,43	55,82	2,63 (g/cm³)
Peso campione secco + tara	g	86,63	86,23	86,00	
Peso picnometro + acqua distill. alla temp. di prova T (°)	g	164,32	164,25	164,00	
Peso picnometro+acqua+campione saturo	g	183,79	183,40	182,70	
Temperatura di prova T	°C	20,0	20,0	20,0	
Costante K		0,9980	0,9980	0,9980	
<b>Peso specifico</b> Gs (g/cm³)		2,631	2,638	2,624	

**DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME NATURALE, SATURO E SECCO**

Normativa di Riferimento: UNI CEN ISO-TS 17892 - 2

Determinazione	u.m.	1	2	3	Valore Medio (g/cm³)
Peso campione umido + tara	g	279,62	282,23	283,33	0,528
Peso tara	g	144,23	144,58	144,46	
Volume tara cm³	g	72,00	72,00	72,00	
Determinazione dell'indice dei Vuoti	-	0,556	0,526	0,503	0,528
Grado di Saturazione	%	53,05	54,38	53,33	53,59
Peso di Volume Naturale	(g/cm³)	1,880	1,912	1,929	1,907
Peso di Volume Secco	(g/cm³)	1,691	1,724	1,750	1,722
Peso di Volume Saturo	(g/cm³)	2,047	2,061	2,084	2,064

Lo Sperimentatore  
Geom. Rossella TRALCI  
  


Il Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati  
Dott. Geol. Remo MAROTTA  


GAIA EMPIRE S.r.l. - Sede: Via T. Morino 75-77 - Area Industriale 85058 - 0975 311388 - www.gaiaempire.it; commerciale@gaiaempire.it - CCIAA 84348 PZ - P. IVA 01201870781

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare prove sulle terre e sulle rocce ai sensi della Circolare 7618/10 STC del 08/09/2010 - M. INF. CSLP N° R. 0000363 del 05/09/2023

AZIENDA CERTIFICATA UNI EN ISO 9001:2015 Certificate No PC 021A-GAEM-Q; UNI EN ISO 14001:2015 Certificate No PC 021A-GAEM-E ISO 45001:2018 No PC 021A-GAEM-H da Si.Cert. S.a.g.l.



**ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E PER SEDIMENTAZIONE**

(Normativa di Riferimento: ASTM D422-63 ASTM D421-85 UNI CEN ISO/TS 17892-4)

Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024

Rapporto di Prova N°: S6524/24 del 06/12/2024

Richiedente: Carlo CORTESE (Amministratore Unico)

Committente: -

Impresa: GEOSURE S.r.l.  
Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)

Lavoro: VOGHIERA

Identificativo Campione: S1

Profondità di Prelievo: 6,50 - 7,00 mt

Tipologia di Materiale: ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Empire S.r.l.

Coordinata N: -

Data Prelievo: -

Data Inizio Prova: 18/11/2024

Coordinata E: -

Data Consegna in Lab.: 14/11/2024

Data Fine Prova: 20/11/2024

**Risultato Analitico della Prova**

**Setacciatura:**

Massa materiale ante-lavaggio (g): 309,6  
Massa materiale post-lavaggio (g): 6,5

Apertura Setacci (mm)	Massa Trattenuta (g)	Trattenuto %	Passante %
63	0,0	0,00	100,0
40	0,0	0,00	100,0
31,5	0,0	0,00	100,0
20	0,0	0,00	100,0
16	0,0	0,00	100,0
14	0,0	0,00	100,0
12,5	0,0	0,00	100,0
10	0,0	0,00	100,0
8	0,0	0,00	100,0
6	0,0	0,00	100,0
4	0,0	0,00	100,0
2	0,0	0,00	100,0
1	0,0	0,00	100,0
0,500	0,2	0,06	99,9
0,250	0,8	0,26	99,7
0,125	2,3	0,74	99,3
0,063	6,5	2,10	97,9

**Densimetria:**

Massa materiale (g): 32,60

Soluzione  
esametafosfato di sodio (40 g/l)

Densimetro: ASTM I151H

Temp. (°C)	Tempo (min)	Lettura Densimetro	Diametro (mm)	Passante %
19,8	1	1,0220	0,0621	92,2
19,8	1	1,0200	0,0450	82,5
19,8	2	1,0180	0,0325	72,9
19,8	4	1,0170	0,0233	68,0
19,7	8	1,0160	0,0166	63,1
19,7	16	1,0150	0,0119	58,2
19,7	30	1,0145	0,0087	55,8
19,7	60	1,0140	0,0062	53,4
19,7	120	1,0135	0,0044	51,0
19,9	240	1,0135	0,0031	51,2
19,9	480	1,0130	0,0022	48,8
19,9	1440	1,0130	0,0013	48,8



Lo Sperimentatore  
Geom. Rossella TRALLO

Il Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati  
Dott. Geol. Remo MAROTTA

# **DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI ATTERBERG**

(Normativa di Riferimento: ASTM D4318-84 UNI CEN ISO/TS 17892-12 UNI 10014 )

**Verbale d'Accettazione N°:** G0970/24 del 14/11/2024

**Rapporto di Prova N°:** S6524/24 del 06/12/2024

**Richiedente:** Carlo CORTESE (Amministratore Unico)

**Committente:** -

**Impresa:** GEOSURE S.r.l.  
Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)

**Lavoro:** VOGHIERA

**Identificativo Campione:** S1

**Profondità di Prelievo:** 6,50 - 7,00 mt

**Tipologia di Materiale:** ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

**COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Emprise S.r.l.**

**Coordinata N:** -  
**Coordinata E:** -

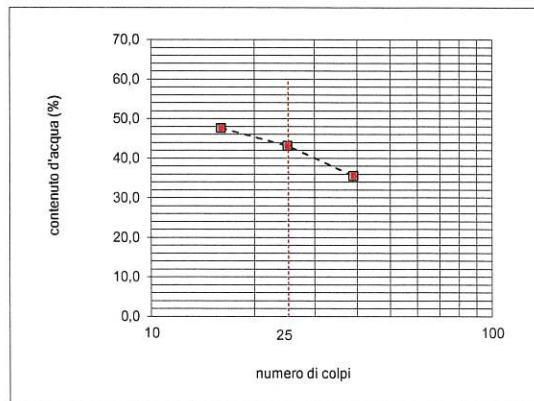
**Data Prelievo:** -  
**Data Consegna in Lab.:** 14/11/2024

**Data Inizio Prova:** 18/11/2024  
**Data Fine Prova:** 20/11/2024

## **Risultato della Prova**

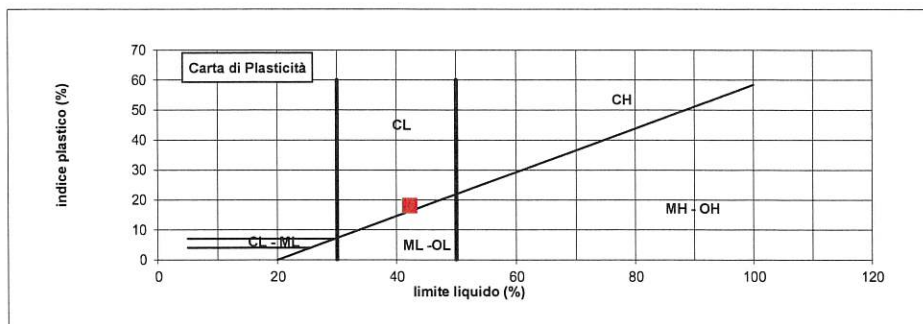
Limite Liquido			42,1
Numero tara	A	B	C
Numero dei colpi	16	25	39
P. umido + tara	g	53,65	54,00
P. secco + tara	g	42,23	43,02
Peso tara	g	18,25	17,56
Peso umido	g	35,40	36,44
Peso secco	g	23,98	25,46
Contenuto d'acqua	%	47,62	43,13

Limite Plastico			24,0
Numero tara	1	2	3
P. umido + tara	g	32,23	32,63
P. secco + tara	g	27,50	27,85
Peso tara	g	7,85	7,93
Peso umido	g	24,38	24,70
Peso secco	g	19,65	19,92
Contenuto d'acqua	%	24,07	24,00



$$I_p = LL - LP$$

Limite Liquido LL	42,1
Limite Plastico LP	24,0
Indice di Plasticità $I_p$	18,0



**ML**  
Limiti inorganici di media plasticità  
**MH**  
Limiti inorganici di alta plasticità  
**CL**  
Argille inorganiche di media plasticità  
**CH**  
Argille inorganiche di alta plasticità  
**OL**  
Argille organiche di media plasticità  
**OH**  
Argille organiche di alta plasticità

Lo Sperimentatore  
Geom. Rossella TRALCI



Il Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati  
Dott. Geol. Remo MAROTTA



Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024

Rapporto di Prova N°: S6524/24 del 06/12/2024

Richiedente: Carlo CORTESE (Amministratore Unico)

Committente: -

Impresa: GEOSECURE S.r.l.  
Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)

Lavoro: VOGHIERA

Identificativo Campione: S1

Profondità di Prelievo: 6,50 - 7,00 mt

Tipologia di Materiale: ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

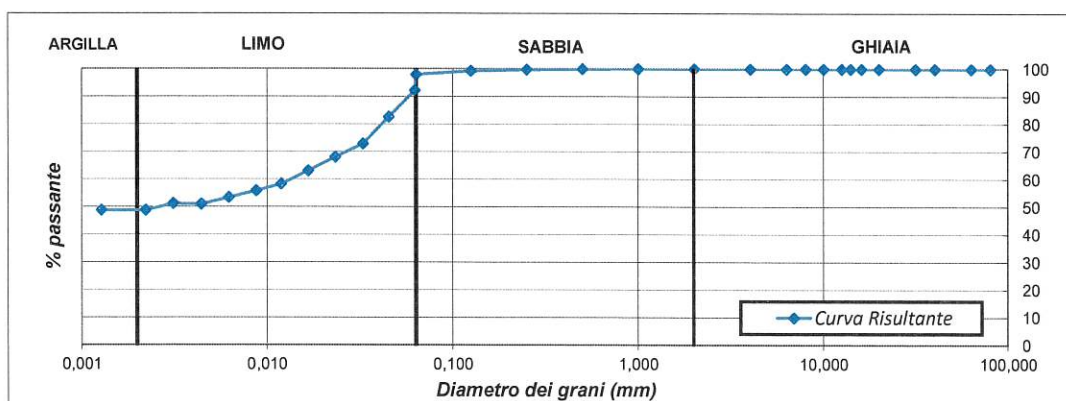
COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA Empire S.r.l.

Coordinata N: -  
Coordinata E: -

Data Prelievo: -  
Data Consegna in Lab.: 14/11/2024

Data Inizio Prova: 18/11/2024  
Data Fine Prova: 20/11/2024

### Risultato Grafico della Prova di Analisi Granulometrica per Setacciatura e Sedimentazione



### Classificazione

Normativa ASTM - USCS (Unified Soil Classification System)

GHIAIA (%)	0,0	Passante (0,063) > 50%	TERRENI FINI
SABBIA (%)	2,1		
LIMO (%)	46,9		
ARGILLA (%)	51,0		
LIMITE LIQUIDO	42,1	CL	ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'
LIMITE PLASTICO	24,0		
INDICE DI PLASTICITA'	18,0		

Lo Sperimentatore  
Geom. Rossella TRALCI



Il Rettore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati  
Dott. Geol. Remo MAROTTA

**Richiedente:** Carlo CORTESE (Amministratore Unico)  
**Committente:** -  
**Impresa:** -  
**Lavoro:** Via Barcellona, 18 - 86021 Boiano (CB)  
VOGHERA  
**Identificativo Campione:** S1  
**Tipologia di Materiale:** 6,50 - 7,00 mt  
**Tipologia di Materiale:** ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'



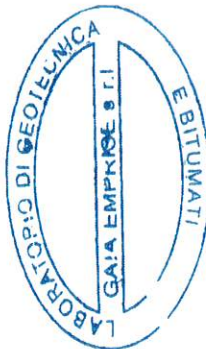
**Coordinata N:** - **Data Prelievo:** - **Data Inizio Prova:** 18/11/2024 **Tipo campione:** INDISTURBATO  
**Coordinata E:** - **Data Consegna in Lab.:** 14/11/2024 **Data Fine Prova:** 20/11/2024 **Tipo:** CONSOLIDATA DRENATA

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (ASTM D3080 UNI CEN ISO-TS 17892-10)

Peso di Vol. Naturale Medio (g/cm <sup>3</sup> ):	1,907
Peso di Vol. Secco Medio (g/cm <sup>3</sup> ):	1,722

Provini	SFORZI, kN/m <sup>2</sup>	Dati Regressione Lineare			Angolo Attrito, °DEG	Coesione, kN/m <sup>2</sup>
		σ	τ	Coefficiente di Correlazione		
1	50,0	46,1	0,997	Coefficiente Angolare Ordinata all' Origine	23,4	25,2
2	100,0	70,0	0,433			
3	150,0	89,4	25,19			

Lo Sperimentatore  
Geom. Rossella TRALCI  
*Rossella Tralci*



Il Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati  
Dott. Geol. Renzo MAROTTA  
*Renzo Marotta*



Rapporto di Prova N°: S6525/24 del 06/12/2024

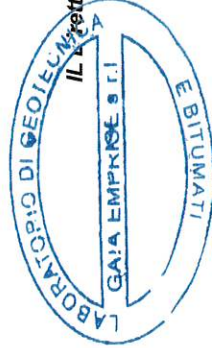
COPIA CONFORME  
ALL'ORIGINALE  
GAIA EMPRISE S.r.l.

## FASE DI ROTTURA

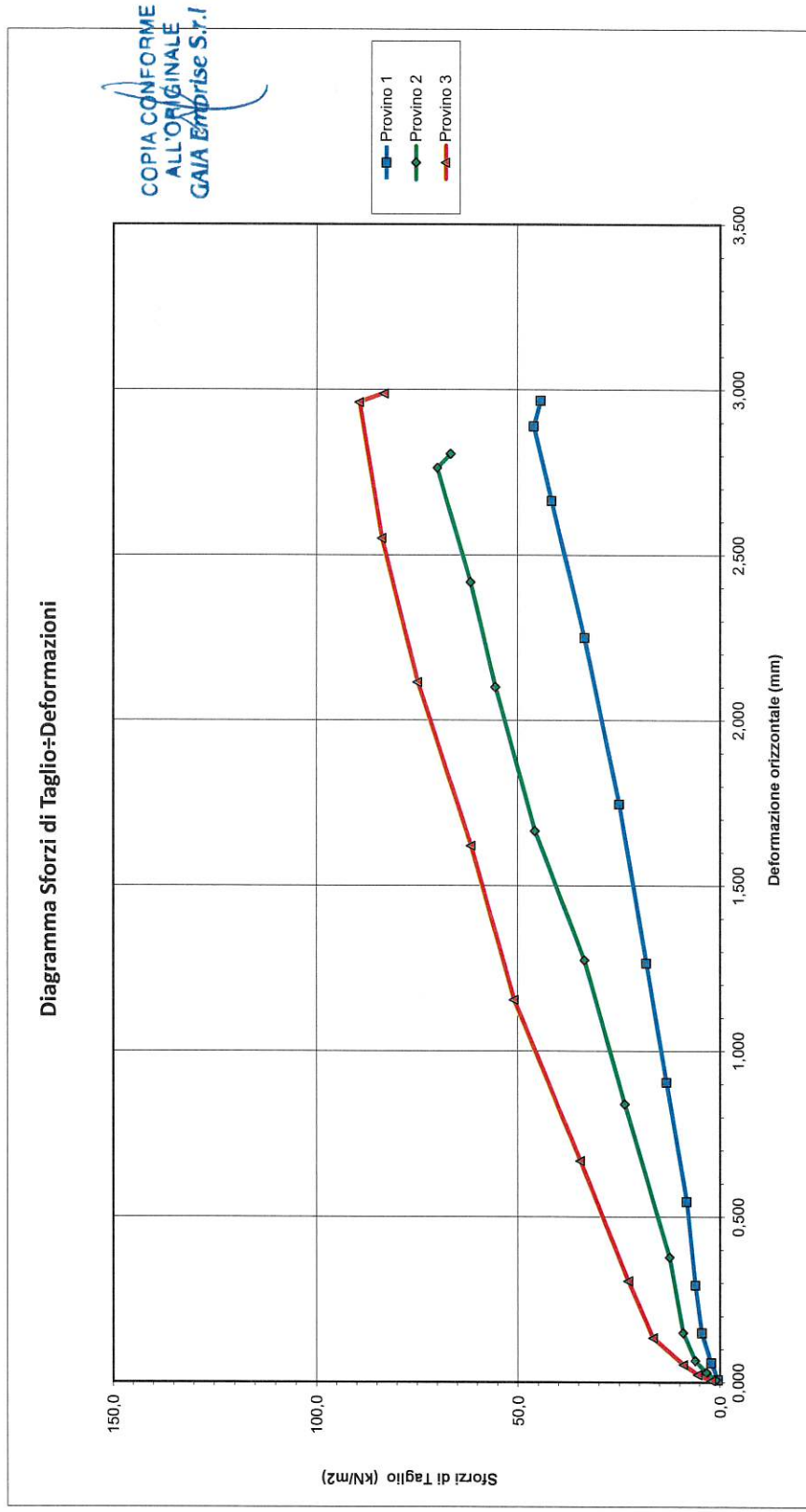
PROVINO n.	1	SFORZO NORMALE, kN/mq:			50,0	Altezza fustella, mm		20	Velocità di taglio, mm/mn:		0,003
		Lato fustella, mm		60		Massa fustella, g		144,23	Portaprovinci n.		A
		Massa fustella+Campione, g		279,62		Altezza Finale Campione, mm		19,255	Massa Campione, g		135,39
		dopo h:		24		Consolidazione, %		963			3,87
Cedimenti a fine cons. mm	0,745	20	50	98	182	302	422	582	750	888	989
Tempi, mn	3,0	0,06	0,15	0,29	0,55	0,91	1,27	1,75	2,25	2,66	2,97
Spostamento orizzontale, mm	0,009	8	16	22	30	48	66	90	121	150	160
Cella di Carico N	2	0,003	0,005	0,007	0,008	0,009	0,010	0,012	0,013	0,015	0,016
Spostamento verticale, mm	0,002	0,003	0,005	0,007	0,008	0,009	0,010	0,012	0,013	0,015	0,016
SFORZI di TAGLIO, kN/m²	0,56	2,22	4,44	6,11	8,33	13,33	18,33	25,00	33,61	41,67	44,44

PROVINO n.	2	SFORZO NORMALE, kN/mq:			100,0	Altezza fustella, mm		20	Velocità di taglio, mm/mn:		0,003
		Lato fustella, mm		60		Massa fustella, g		144,58	Portaprovinci n.		B
		Massa fustella+Campione, g		282,23		Altezza Finale Campione, mm		18,744	Massa Campione, g		137,65
		dopo h:		24		Consolidazione, %		921			6,70
Cedimenti a fine cons. mm	1,256	10	22	50	126	280	425	555	700	806	935
Tempi, mn	3,0	0,03	0,07	0,15	0,38	0,84	1,28	1,67	2,10	2,42	2,81
Spostamento orizzontale, mm	0,009	4	12	22	33	45	85	121	200	222	240
Cella di Carico N	4	0,005	0,007	0,009	0,012	0,014	0,015	0,018	0,021	0,022	0,023
Spostamento verticale, mm	0,005	0,007	0,009	0,012	0,014	0,015	0,018	0,020	0,021	0,022	0,023
SFORZI di TAGLIO, kN/m²	1,11	3,33	6,11	9,17	12,50	23,61	33,61	45,83	55,56	61,67	66,67

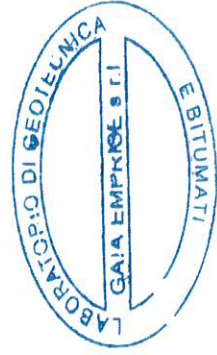
PROVINO n.	3	SFORZO NORMALE, kN/mq:			150,0	Altezza fustella, mm		20	Velocità di taglio, mm/mn:		0,003
		Lato fustella, mm		60		Massa fustella, g		144,46	Portaprovinci n.		C
		Massa fustella+Campione, g		283,33		Altezza Finale Campione, mm		17,998	Massa Campione, g		138,87
		dopo h:		24		Consolidazione, %		987			11,12
Cedimenti a fine cons. mm	2,002	8	18	45	102	223	385	540	705	850	996
Tempi, mn	2,0	0,02	0,05	0,14	0,31	0,67	1,16	1,62	2,12	2,55	2,99
Spostamento orizzontale, mm	0,006	8	20	33	60	82	125	184	270	302	300
Cella di Carico N	8	0,007	0,010	0,012	0,013	0,015	0,018	0,022	0,025	0,030	0,032
Spostamento verticale, mm	0,007	0,010	0,012	0,013	0,015	0,018	0,022	0,025	0,028	0,031	0,032
SFORZI di TAGLIO, kN/m²	2,22	5,56	9,17	16,67	22,78	34,72	51,11	61,67	75,00	83,89	89,44

Lo Sperimentatore  
Geom. Rossella TRACI  
FoscoloIL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati  
Dott. Geol. Remo MAROTTA

Rapporto di Prova N°: 56525/24 del 06/12/2024



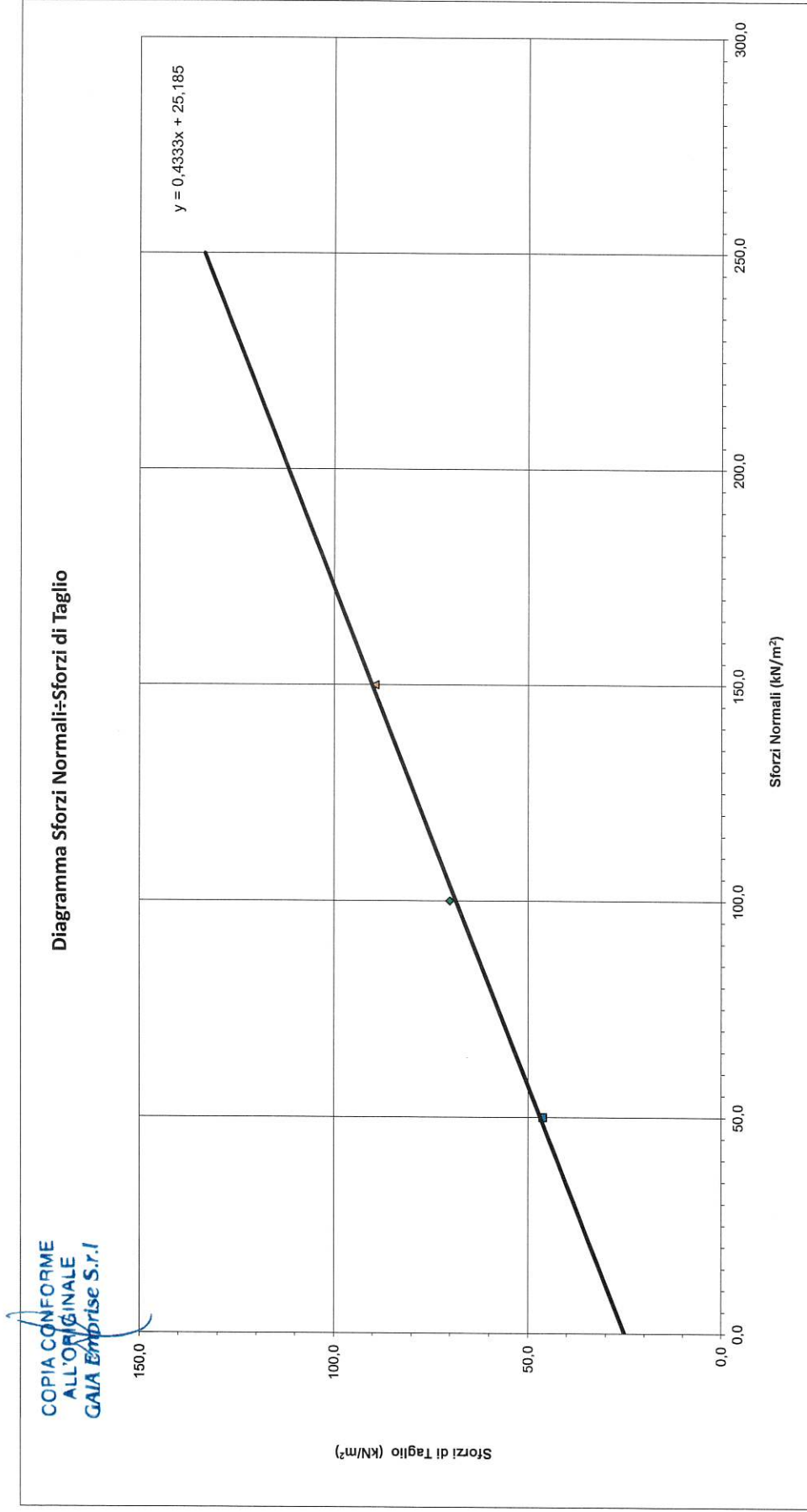
**Lo Sperimentatore**  
Geom. Rossella TRALLO  
Fossette R.



**IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati**

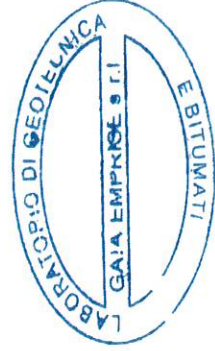
Dott. Geol. Remo MAROTTA

*Remo Marotta*



Lo Sperimentatore

Geom. Rossella TRACCI  
Fossetto R.



IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati

Dott. Geol. Remo MAROTTA  
fucini

# CERTIFICATI PROVE IN SITO



Available versions		
DP Only	CPT Only	DP + CPT
■ DPH □ DPH □ DPM	■ 200 kN	■ DPH + 200 kN □ DPH + 200 kN □ DPM + 200 kN
Rotary head		

Legend	
■	Standard
□	Optional



ATT. N. 11882/63/01



SEDE LEGALE: VIA DEGLI SCIPIONI 268A - ROMA (RM)

SEDE OPERATIVA: VIA BARCELONA N.18 – BOJANO

TEL:0874/783120 CELL.3286429991 FAX:0874/773188

MAIL: [info@geosecure.it](mailto:info@geosecure.it) SITO: [www.geosecure.it](http://www.geosecure.it)

COMMITTENTE : ICUBE DEVELOPMENT 16 SRL

OGGETTO : VOGHIERA-PV-001

LOCALITA' : VOGHIERA (FE)

CODICE DOCUMENTO : CPS 397A/24 DPSH

SPERIMENTATORE

DIRETTORE TECNICO

REV. 02

DOTT. ANTONINO CARUSO

GEOM. GIUSEPPE LA GUARDIA

DATA  
OTTOBRE 2024



**NUMERO E TIPOLOGIE DI PROVE IN SITU:**

N. 1 PROVA PENETROMETRICA DI TIPO DPSH A PUNTA CHIUSA

NEL MESE DI **OTTOBRE 2024** LA GEOSECURE SRL HA ESEGUITO NEL TENIMENTO DI **VOGHIERA (FE)** UNA PROSPEZIONE GEOTECNICA IN SITU DI TIPO DPSH, SU INCARICO DI **ICUBE DEVELOPMENT 16 SRL**, IN RELAZIONE ALLA PRATICA EDILE DENOMINATA “**VOGHIERA-PV-001**”.

IL FASCICOLO, COSTITUITO DA N. PAG. 05, E' RILASCIATO IN TRIPLICE COPIA IN ORIGINALE.



**PROVA 1**

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

Prova eseguita in data

Profondita' prova 16.40 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (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	1	0.855	8.31	9.72	8.31	9.72
0.40	1	0.851	8.27	9.72	8.27	9.72
0.60	1	0.847	8.23	9.72	8.23	9.72
0.80	1	0.843	8.20	9.72	8.20	9.72
1.00	1	0.840	7.55	8.99	7.55	8.99
1.20	1	0.836	7.52	8.99	7.52	8.99
1.40	1	0.833	7.49	8.99	7.49	8.99
1.60	1	0.830	7.46	8.99	7.46	8.99
1.80	1	0.826	7.43	8.99	7.43	8.99
2.00	1	0.823	6.88	8.36	6.88	8.36
2.20	1	0.820	6.86	8.36	6.86	8.36
2.40	1	0.817	6.83	8.36	6.83	8.36
2.60	1	0.814	6.81	8.36	6.81	8.36
2.80	1	0.811	6.79	8.36	6.79	8.36
3.00	1	0.809	6.32	7.82	6.32	7.82
3.20	1	0.806	6.30	7.82	6.30	7.82
3.40	1	0.803	6.28	7.82	6.28	7.82
3.60	1	0.801	6.26	7.82	6.26	7.82
3.80	1	0.798	6.24	7.82	6.24	7.82
4.00	1	0.796	5.84	7.34	5.84	7.34
4.20	1	0.794	5.83	7.34	5.83	7.34
4.40	1	0.791	5.81	7.34	5.81	7.34
4.60	1	0.789	5.79	7.34	5.79	7.34
4.80	1	0.787	5.78	7.34	5.78	7.34
5.00	1	0.785	5.43	6.92	5.43	6.92
5.20	1	0.783	5.42	6.92	5.42	6.92
5.40	5	0.781	27.01	34.59	27.01	34.59
5.60	6	0.779	32.34	41.50	32.34	41.50
5.80	4	0.777	21.51	27.67	21.51	27.67
6.00	5	0.775	25.36	32.70	25.36	32.70
6.20	5	0.774	25.30	32.70	25.30	32.70
6.40	3	0.772	15.15	19.62	15.15	19.62
6.60	7	0.770	35.27	45.78	35.27	45.78
6.80	6	0.769	30.17	39.24	30.17	39.24
7.00	7	0.767	33.31	43.42	33.31	43.42

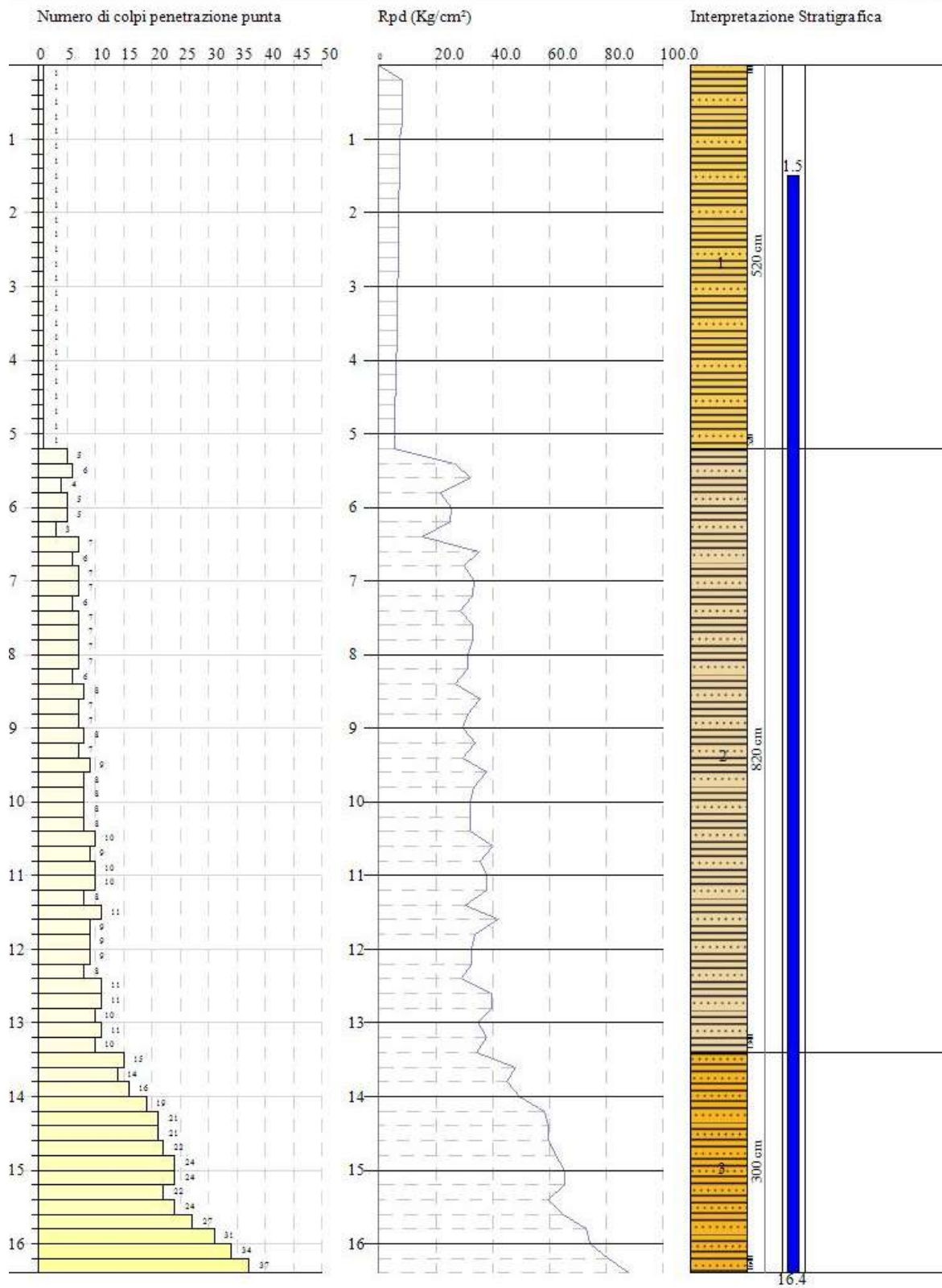


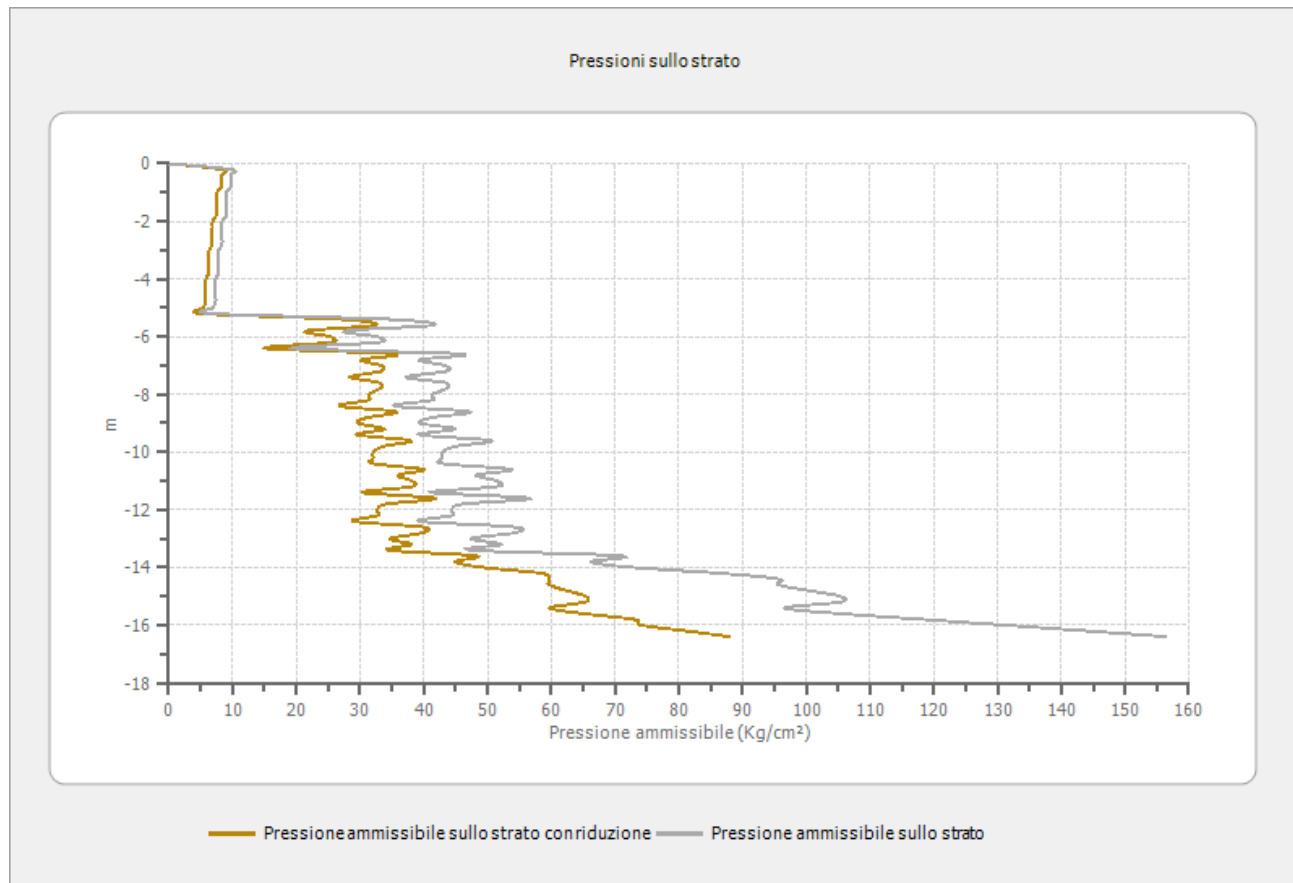
7.20	7	0.766	33.24	43.42	33.24	43.42
7.40	6	0.764	28.44	37.21	28.44	37.21
7.60	7	0.763	33.11	43.42	33.11	43.42
7.80	7	0.761	33.05	43.42	33.05	43.42
8.00	7	0.760	31.37	41.28	31.37	41.28
8.20	7	0.759	31.31	41.28	31.31	41.28
8.40	6	0.757	26.79	35.38	26.79	35.38
8.60	8	0.756	35.67	47.18	35.67	47.18
8.80	7	0.755	31.16	41.28	31.16	41.28
9.00	7	0.753	29.65	39.35	29.65	39.35
9.20	8	0.752	33.83	44.97	33.83	44.97
9.40	7	0.751	29.55	39.35	29.55	39.35
9.60	9	0.750	37.94	50.59	37.94	50.59
9.80	8	0.749	33.67	44.97	33.67	44.97
10.00	8	0.748	32.12	42.96	32.12	42.96
10.20	8	0.747	32.07	42.96	32.07	42.96
10.40	8	0.746	32.03	42.96	32.03	42.96
10.60	10	0.744	39.97	53.70	39.97	53.70
10.80	9	0.743	35.93	48.33	35.93	48.33
11.00	10	0.742	38.15	51.40	38.15	51.40
11.20	10	0.741	38.10	51.40	38.10	51.40
11.40	8	0.740	30.44	41.12	30.44	41.12
11.60	11	0.739	41.79	56.54	41.79	56.54
11.80	9	0.738	34.15	46.26	34.15	46.26
12.00	9	0.737	32.70	44.36	32.70	44.36
12.20	9	0.736	32.66	44.36	32.66	44.36
12.40	8	0.735	28.99	39.43	28.99	39.43
12.60	11	0.734	39.80	54.21	39.80	54.21
12.80	11	0.733	39.75	54.21	39.75	54.21
13.00	10	0.732	34.66	47.34	34.66	47.34
13.20	11	0.731	38.07	52.08	38.07	52.08
13.40	10	0.730	34.56	47.34	34.56	47.34
13.60	15	0.679	48.21	71.01	48.21	71.01
13.80	14	0.678	44.93	66.28	44.93	66.28
14.00	16	0.677	49.32	72.87	49.32	72.87
14.20	19	0.676	58.47	86.54	58.47	86.54
14.40	21	0.625	59.74	95.64	59.74	95.64
14.60	21	0.623	59.63	95.64	59.63	95.64
14.80	22	0.622	62.35	100.20	62.35	100.20
15.00	24	0.621	65.41	105.31	65.41	105.31
15.20	24	0.620	65.29	105.31	65.29	105.31
15.40	22	0.619	59.73	96.54	59.73	96.54
15.60	24	0.617	65.03	105.31	65.03	105.31
15.80	27	0.616	73.00	118.48	73.00	118.48
16.00	31	0.565	74.13	131.23	74.13	131.23
16.20	34	0.564	81.11	143.93	81.11	143.93
16.40	37	0.562	88.05	156.63	88.05	156.63

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente:  
Descrizione:  
Località:

Scala 1:77





## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



## SONDAGGIO S1

### PROVA SPT1

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi
4.70	2
4.85	2
5.00	3

Profondità (m)	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturato (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Coefficiente spinta a Riposo K0	Modulo di Poisson	Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edometrico E <sub>ed</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>el</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Qc Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
5.00 METRI	Coesivo	0.31	1.41	1.88	21.43	0.63	0.34	334.18	37.73	58.60	10.00

## PROVA SPT2

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi
9.70	5
9.85	6
10.00	6

Profondità (m)	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturato (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Coefficiente spinta a Riposo K0	Modulo di Poisson	Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edometrico E <sub>ed</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>el</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Qc Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
10.00 METRI	Coesivo	0.81	1.50	1.94	23.43	0.60	0.33	570.54	52.11	92.90	24.00



**REGIONE EMILIA ROMAGNA**

COMUNE di

**VOGHIERA**

(Provincia di FERRARA)



**VOGHIERA-PV-001**

**Committenza:** ICUBE DEVELOPMENT 16 SRL

## **ALLEGATO SISMICO**



IL DIRETTORE TECNICO

**GEOSECURE SRL**

Il Direttore Tecnico  
Geom. Giuseppe La Guardia

**DATA:** OTTOBRE 2024

Rev. 02



## INDICE

1	<b>INTRODUZIONE GENERALE</b>	PAG. 02
2	<b>INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE</b>	PAG. 03
	2.1 TOMOGRAFIA SISMICA	PAG. 03
	2.2 MASW	PAG. 06
3	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO</b>	PAG. 09
	3.1 TOMOGRAFIA SISMICA SS1	PAG. 09
	3.2 MASW M1	PAG. 13
4	<b>CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE</b>	PAG. 17

## 1. INTRODUZIONE

In questo **ALLEGATO SISMICO** si descrivono i risultati provenienti dalla **campagna di indagini geofisiche** effettuata nel comune di **VOGHIERA (FE)** dalla ditta “**GEOSECURE s.r.l.**”, nel mese di **OTTOBRE 2024**, eseguita a servizio della pratica denominata “**VOGHIERA-PV-001**” per conto di **ICUBE DEVELOPMENT 16 SRL**.

Nel dettaglio, la **campagna di indagini geofisiche** eseguite nell’area è consistita in:

- N° 01 PROSPEZIONE GEOFISICA SUPERFICIALE CON METODOLOGIA DI INDAGINE DENOMINATA “SISMICA A RIFRAZIONE” E “TOMOGRAFIA SISMICA” ESEGUITO MEDIANTE INSTALLAZIONE DI N° 01 STENDIMENTO SISMICO DENOMINATO **SS1** (di lunghezza pari a 48,00 MT);
- N° 01 PROSPEZIONE GEOFISICA SUPERFICIALE CON METODOLOGIA DI INDAGINE “MASW” DENOMINATA **M1** (di lunghezza pari a 48,00 MT).

La corretta ubicazione delle indagini eseguite nell’area allo studio è riportata di seguito in **Figura 1**:



**Fig. 1: ubicazione delle indagini geofisiche eseguite nel comune di Voghiera (FE).**

## 2. INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE

### 2.1 TOMOGRAFIA SISMICA

L'obiettivo delle prospezioni geofisiche effettuate con metodologia di indagine TOMOGRAFICA SISMICA è stato quello di investigare attraverso metodologie geofisiche specifiche il sottosuolo allo scopo di creare un profilo sismo-stratigrafico di riferimento per ciascuna prova effettuata.

#### STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI:

La strumentazione utilizzata nell'area è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S (Figura 2), avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- *capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;*
- *sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);*
- *filtri High Pass e Band Reject;*
- *"Automatic Gain Control";*
- *convertitore A/D a 24 bit;*
- *16 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;*
- *massa battente pesante di 10 Kg.*



**Fig. 2: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S.**

Durante la fase di acquisizione dati la Ditta "GEOSECURE S.r.l." si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

- **n. 1 geofisico prospettore;**
- **n. 2 assistenti al geofisico prospettore.**

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la Ditta "GEOSECURE S.r.l." sono tarati presso il laboratorio della "M.A.E. s.r.l." di Frosolone (IS).

### PRINCIPI DI BASE:

La metodologia **sismica a rifrazione** utilizza la stima delle **velocità di propagazione** delle onde sismiche nel sottosuolo che sono generate quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali o naturali (sisma).

La determinazione delle velocità viene ricavata misurando i **tempi di primo arrivo** delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica, considerando i seguenti *principi di base*:

- *le onde sismiche si propagano con velocità diverse in mezzi con caratteristiche meccaniche diverse*
- *quando il raggio sismico attraversa una discontinuità di velocità (passa da un mezzo più lento ad uno più veloce, o viceversa) cambia direzione come descritto dalla Legge di Snell.*

### I CASI DI APPLICAZIONE DELLA SISMICA A RIFRAZIONE:

I metodi di interpretazione della **sismica a rifrazione di superficie** si basano sull'analisi delle **onde P** o in alternativa **onde S** e trovano numerosi campi di applicazione:

- **Studi di carattere geotecnico (individuazioni delle proprietà fisiche dei mezzi investigati);**
- **Studi di carattere geologico (successioni stratigrafiche, individuazione di faglie, strutture sepolte, ecc.);**
- **Determinazione della profondità del substrato roccioso;**
- **Studi per la pianificazione del territorio (microzonazione sismica);**
- **Studi in campo ambientale (discariche).**

La tabella di seguito riportata illustra i casi di applicazione per ogni metodologia d'indagine.

<u>Metodi di interpretazione</u>	<u>Caso di applicazione</u>
<b>Delle intercette (o convenzionale)</b>	Strati paralleli e sub-orizzontali
Reciproco generalizzato (GRM)	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni < 20°
Reciproco di Hawkins o Delay time	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni < 20°
<b>Tomografico</b>	Morfologie complesse

Considerate le caratteristiche geologiche dell'area di studio, i metodi d'indagine sismica utilizzati sono stati il **metodo delle intercette** (o metodo convenzionale) ed il **metodo tomografico**.

Operativamente, ciò che è stato eseguito in campagna è una disposizione lungo una retta di **trasduttori velocimetrici (geofoni)** lungo la sezione specifica che si desiderava investigare; quindi, in funzione della risoluzione e delle profondità ricercate, si sono adeguatamente disposti i punti di produzione dell'energia elastica; leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni, si sono ricostruite le **dromocrone** che permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e le velocità reali dei diversi sismostrati.

Secondo i tempi di primo arrivo delle onde longitudinali **P** e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (**interspazio geofonico** e **offset di scoppio**) è stato possibile, inoltre, dimensionare gli spessori dei sismo-strati attraversati dalla radiazione elastica e quindi ottenere una **dettagliata perizia sismica** della porzione di sottosuolo sottoposta ad indagine.

Per ciò che concerne la campagna di indagine del lavoro in oggetto, sono stati sviluppati in situ:

- **n° 01 stendimento sismico** – **DENOMINATO SS1** - con l'utilizzo di n° **16 geofoni** distanziati tra di loro su linea retta con distanza intergeofonica pari a **3,00 metri** (LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO = 48,00 MT).

## 2.2 MASW

### INTRODUZIONE:

Il metodo **MASW** (***Multichannel Analysis or Surface Waves***) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della **misura delle onde superficiali** eseguita in corrispondenza di diversi sensori (**geofoni** nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle **onde di Rayleigh**, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde; in un mezzo stratificato le **onde di Rayleigh** sono dispersive (**fenomeno della dispersione geometrica**), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (**Achenbach, IO., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980**) o detto in maniera equivalente **la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione**.

La **natura dispersiva** delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine **MASW** utilizzato è, inoltre, di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite **energizzazione** con mazza battente parallelamente all'*array*) e misurate da uno stendimento lineare di sensori (*geofoni*).

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel **range di frequenze** compreso tra **5-10Hz** e **70-100Hz**, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30,00-50,00 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.



### METODOLOGIA UTILIZZATA:

Il metodo prevede lo svolgimento di **n° 4 fasi** successive e propedeutiche:

- 1) *calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;*
- 2) *calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo **Roma (2001)**;*
- 3) *calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo **Lai-Rix (1998)**;*
- 4) *individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_{sv}$ , modificando opportunamente lo **spessore  $h$** , le **velocità delle onde di taglio  $V_{sv}$**  e di **compressione  $V_p$**  (o in alternativa il **coefficiente di Poisson  $\nu$** ), la **densità di massa  $\rho$**  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'**affidabilità del profilo di velocità  $V_s$**  trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.*

### STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI:

Durante la fase di acquisizione dati la Ditta “**GEOSECURE S.r.l.**” si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

- **n. 1 geofisico prospettore;**
- **n. 2 assistenti al geofisico prospettore.**

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la Ditta “**GEOSECURE S.r.l.**” sono tarati presso il laboratorio della “**M.A.E. s.r.l.**” di Frosolone (IS).

**L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata** nella zona di indagine è stata costituita da:

- *un sistema di energizzazione: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;*

- un sistema di ricezione costituito da 16 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa (peso della massa 12.2 gr) con frequenza propria di 4.5 Hz, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente;
- un sistema di acquisizione dati con memoria dinamica a 24 bit composto da 12 dataloggers a 2 canali ciascuno per un totale di 24 canali, cavo sismico telemetrico di 130 m, MOM power con interfaccia USB 1.1 24 V, notebook PC Windows XP con software Pane I Acquisition a 24 canali; il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione; la conversione A/D avviene già dal primo metro di cavo: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale lungo centinaia di metri di cavo sismico ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

Nello specifico, la **strumentazione utilizzata nell'area** è costituita da un sismografo multicanale **M.A.E. modello A 6000 S (Figura 3)**, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (**time break**);
- filtri High Pass e Band Reject;
- "Automatic Gain Control";
- convertitore A/D a 24 bit;
- 16 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 10 Kg.



**Fig. 3: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S.**

### 3. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO SS1

#### 3.1 TOMOGRAFIA SISMICA

**LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 48,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 3,00 Mt**

Il profilo sismico in oggetto è stato ubicato come mostrato, di seguito, in **Figura 4**:



**Fig. 4: ubicazione del profilo sismico.**

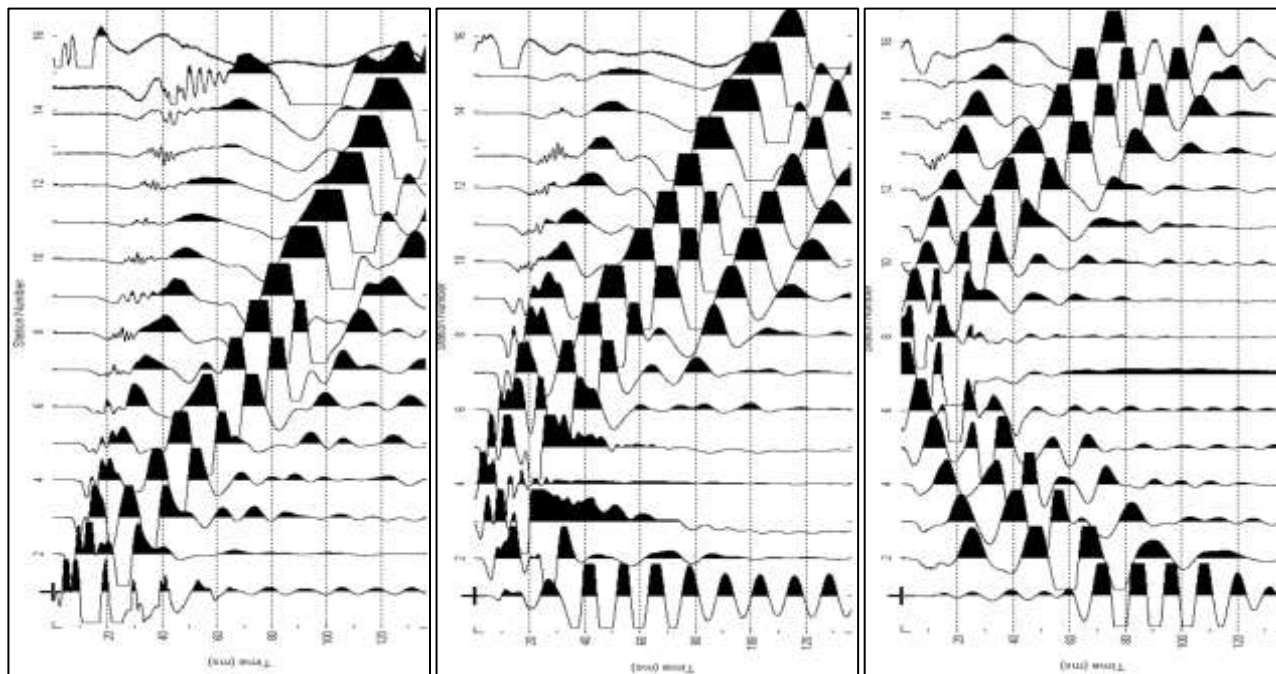
Il terreno è stato energizzato mediante l'utilizzo di una mazza **battente di massa pari a 10.00 kg** effettuando scoppi specifici ubicati in punti ben precisi lungo ciascuno stendimento stesso:

- *due scoppi simmetrici (**off-shots**) esterni allo stendimento ad una distanza 6,00 metri dal geofono più vicino;*
- *uno scoppio (**mid-shot**) al centro dello stendimento stesso.*
- *due scoppi intermedi allo stendimento, il primo tra il 4° e il 5° geofono e il secondo tra il 12° e il 13° geofono.*

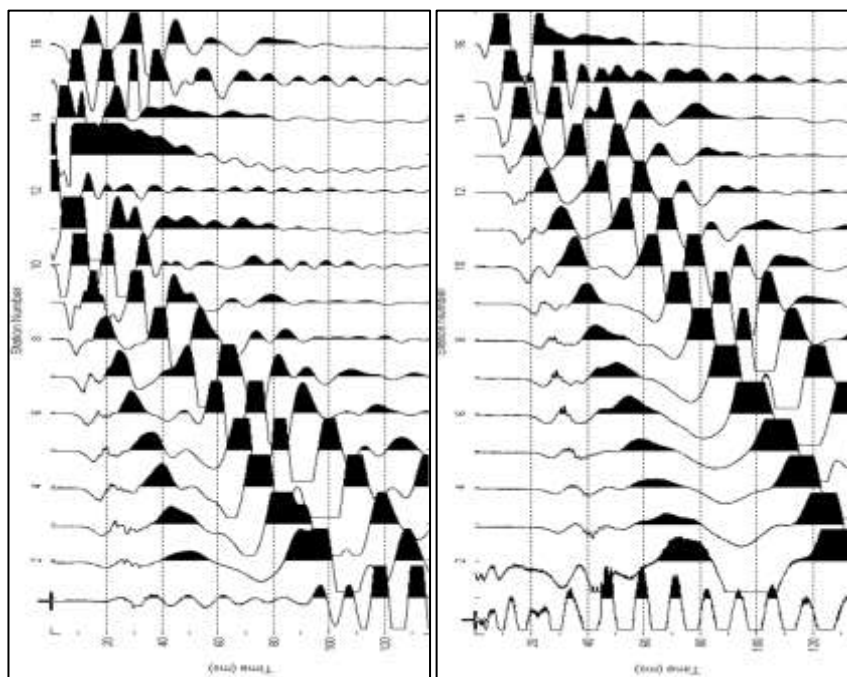
I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 15.000 campioni al secondo per un totale di 0.13 secondi di acquisizione.



Sono riportati le forme d'onda e i dati di picking che sono stati elaborati con il software “**Rayfract 3.36**” della **Intelligent Resources** (Copyright 1996-2019), relativi ai risultati dell'indagine sismica effettuata.



**Fig. 5: sismogrammi dello Scoppio 1 ,2 e 3 – SS1**

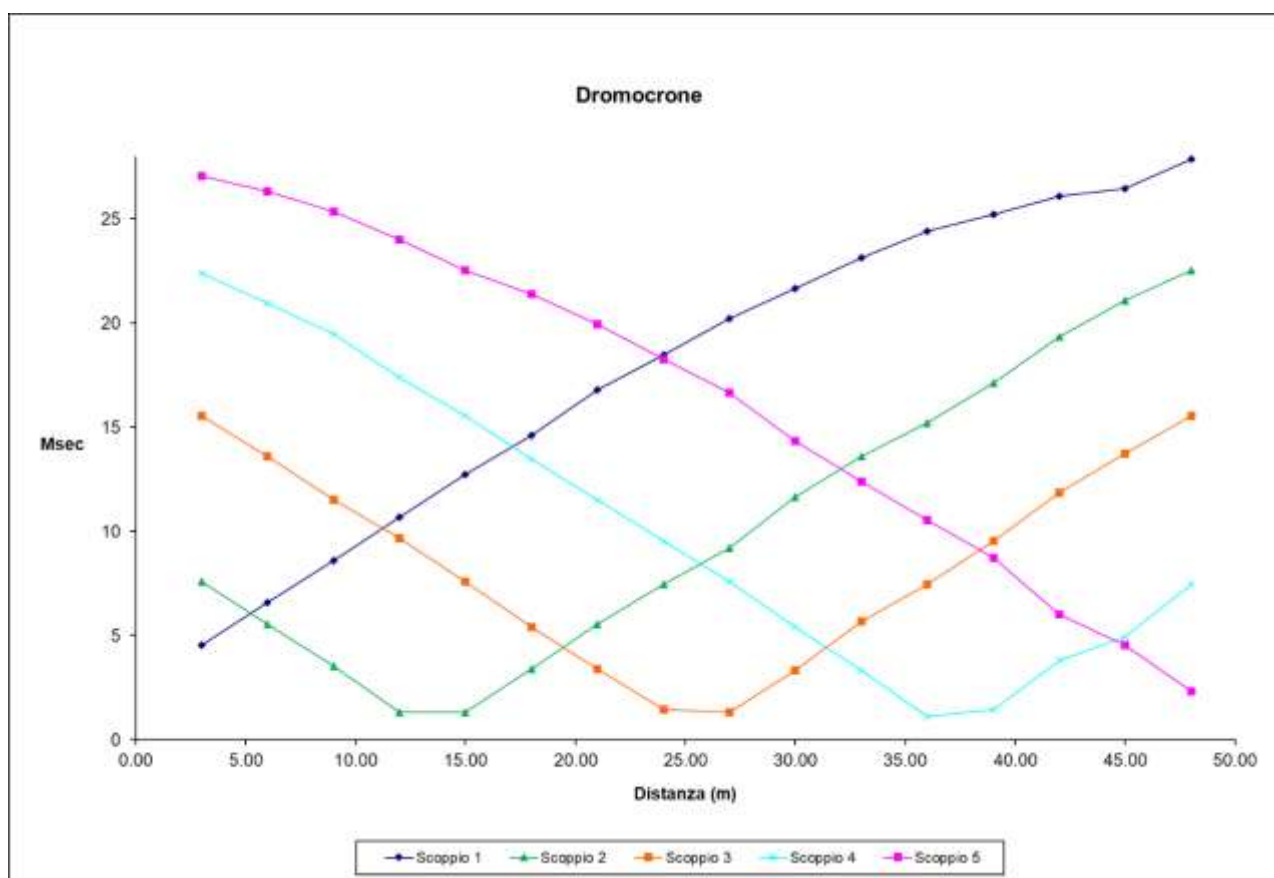


**Fig. 6: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS1**

TABELLA PRIMI ARRIVI					
Scoppi	S1	S2	S3	S4	S5
Distanza (m)	-3.00	12.00	24.00	36.00	48.00
	msec	msec	msec	msec	msec
3.00	4.533	7.6	15.533	22.4	27.067
6.00	6.6	5.533	13.6	20.933	26.333
9.00	8.6	3.533	11.533	19.467	25.333
12.00	10.667	1.333	9.667	17.4	24
15.00	12.733	1.333	7.6	15.533	22.533
18.00	14.6	3.4	5.4	13.467	21.4
21.00	16.8	5.533	3.4	11.533	19.933
24.00	18.467	7.467	1.467	9.533	18.267
27.00	20.2	9.2	1.333	7.6	16.667
30.00	21.667	11.667	3.333	5.4	14.333
33.00	23.133	13.6	5.667	3.333	12.4
36.00	24.4	15.2	7.467	1.133	10.533
39.00	25.2	17.133	9.533	1.467	8.733
42.00	26.067	19.333	11.867	3.8	6
45.00	26.467	21.067	13.733	4.933	4.533
48.00	27.867	22.533	15.533	7.467	2.333

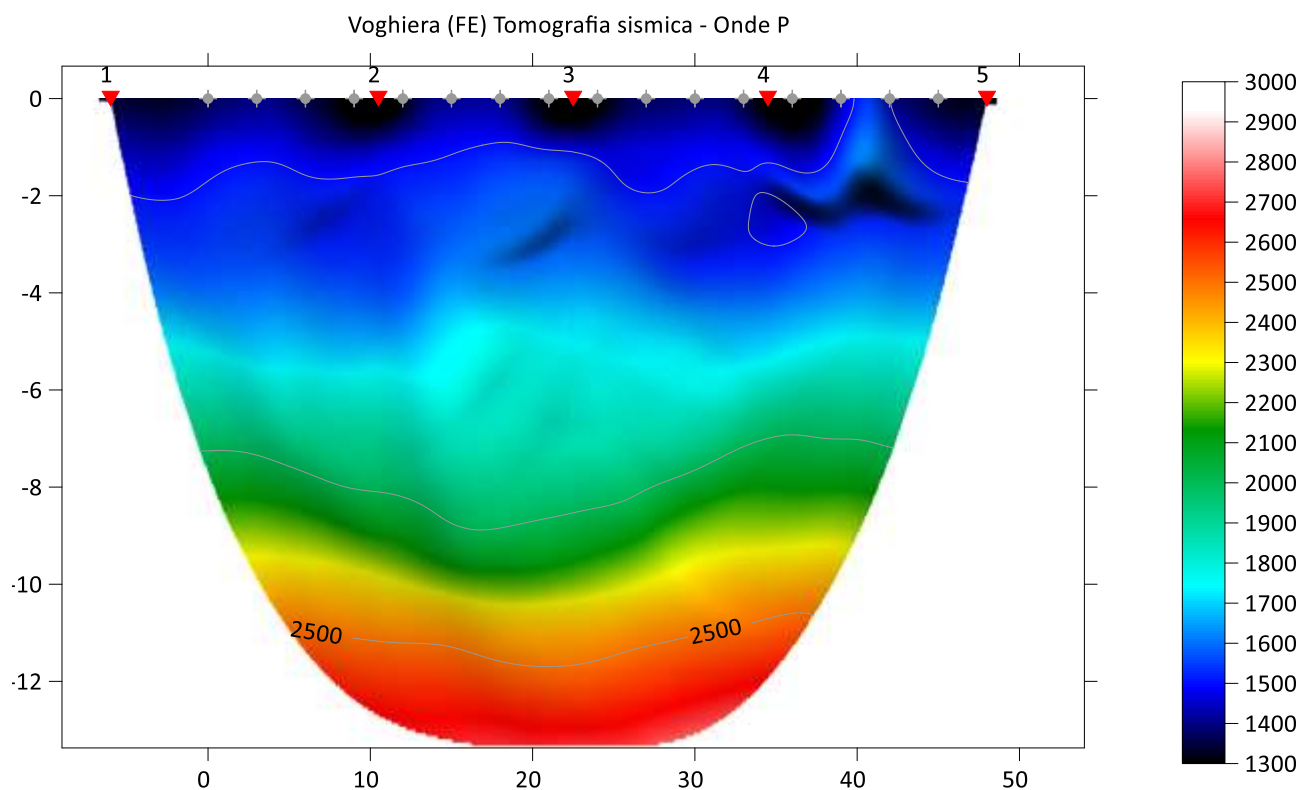
**Fig. 7: tabella dei primi arrivi**

Nella **Figura 8** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.



**Fig. 8: dromocrone dei primi arrivi**

Nella figura seguente viene riportata la tomografia sismica relativa al sito di indagine, calcolata tramite software **Rayfract 3.36** con restituzione grafica ottenuta tramite software **Surfer 27.1.229**.



**Fig. 9: tomografia sismica SS1**



**FOTO 1A: postazione di energizzazione SS1**



### 3.2 MASW

#### ELABORAZIONE DEI DATI M1:

Per ciò che riguarda l'**elaborazione dei dati** è stato utilizzato il software **EasyMasw** per ottenere il **grafico di dispersione** e per l'**elaborazione del profilo di Vs**.

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La **distanza intergeofonica** è stata stabilita in 3,00 metri, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a 6,00 metri dal primo geofono.

#### Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stessa eseguita:

In **Fig. 10** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 11** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;

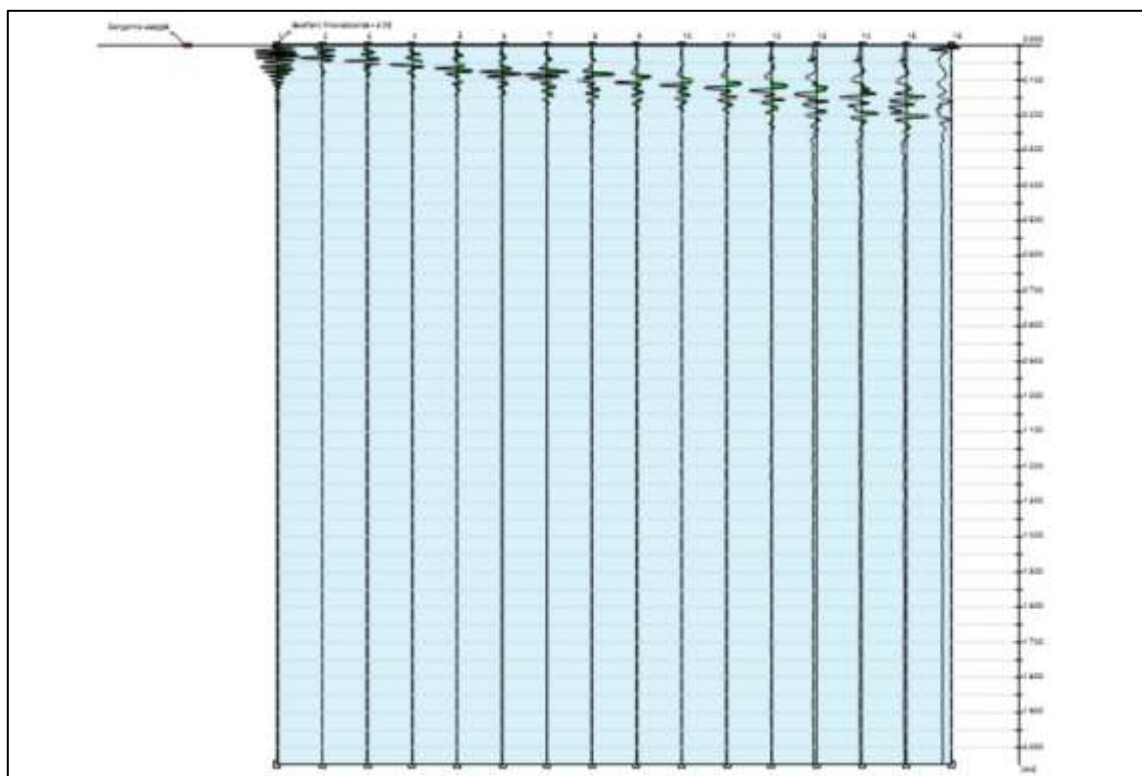
In **Fig. 12** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 13** è riportato il grafico mostrante il profilo di velocità;

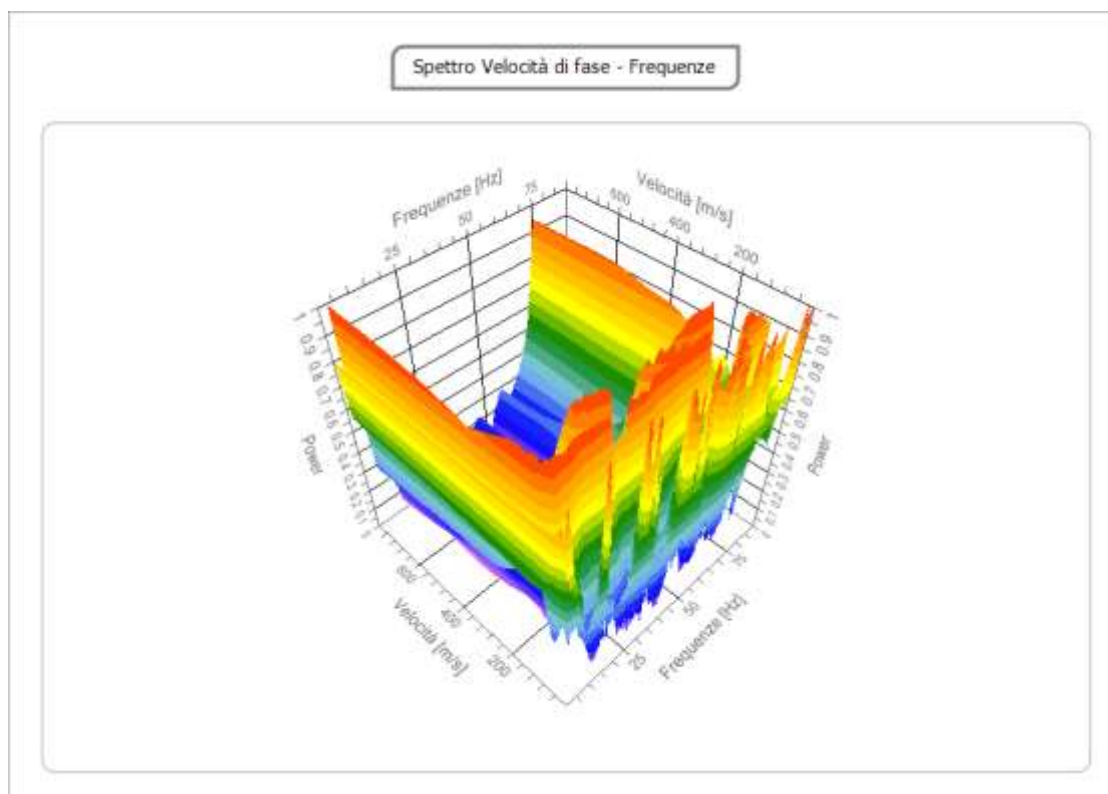
In **Fig. 14** è riportato l'andamento di Vs con la profondità;

In **Fig. 15** è riportato il Calcolo di  $V_{seq}$  M1;

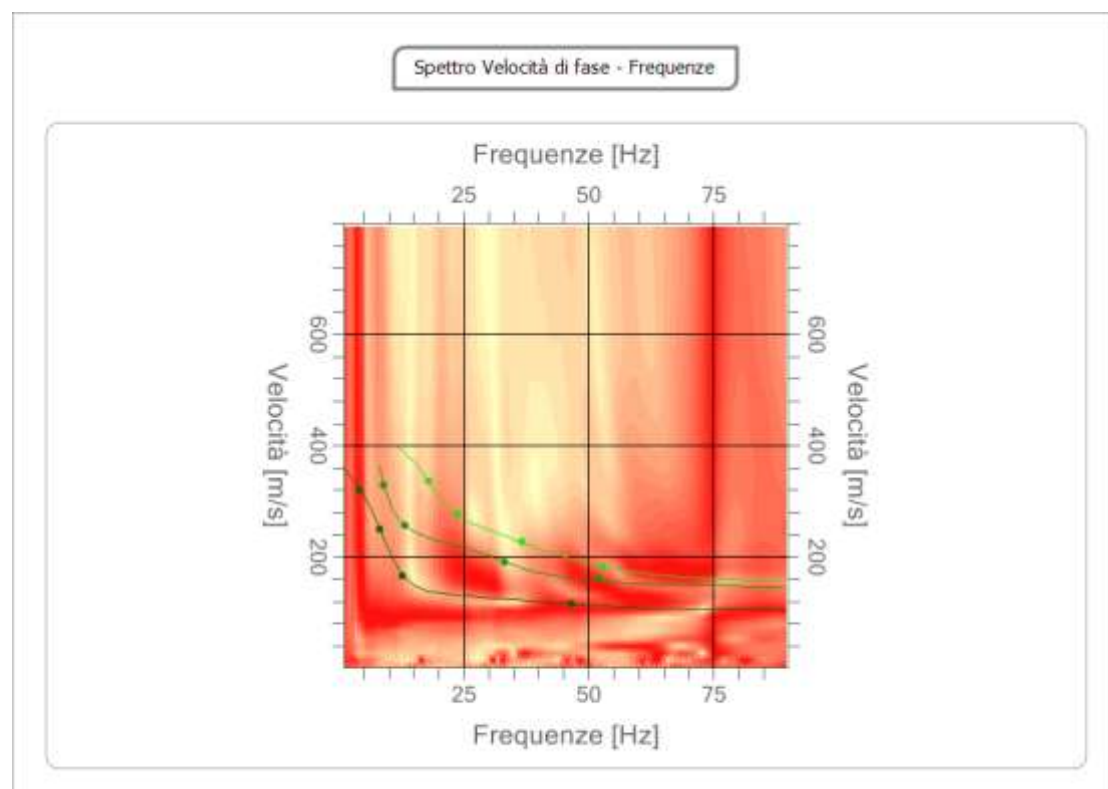
In **Fig. 16** è riportata la Tabella di calcolo di  $V_{seq}$  M1.



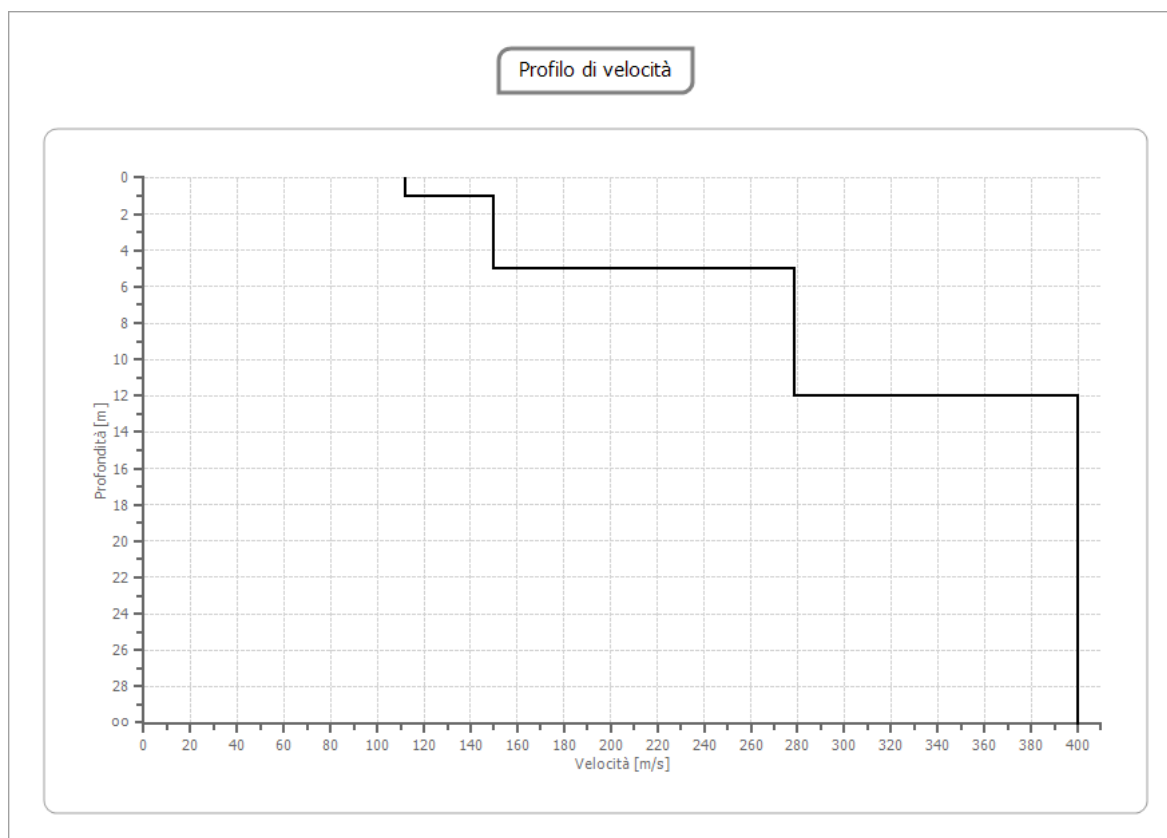
**Fig.10: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M1**



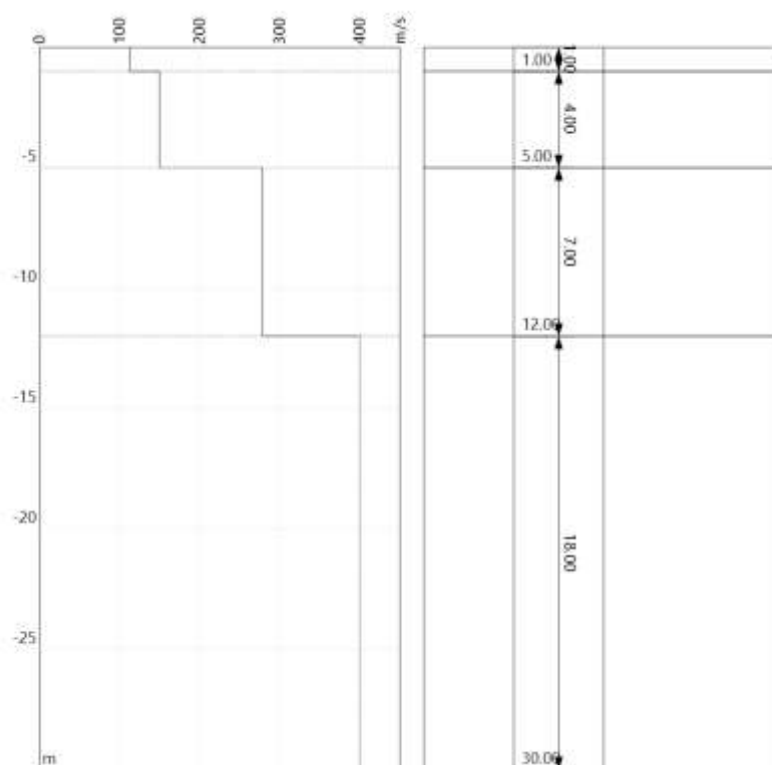
**Fig. 11: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M1**



**Fig. 12: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale M1**



**Fig. 13: profilo di velocità - profondità acquisito M1**



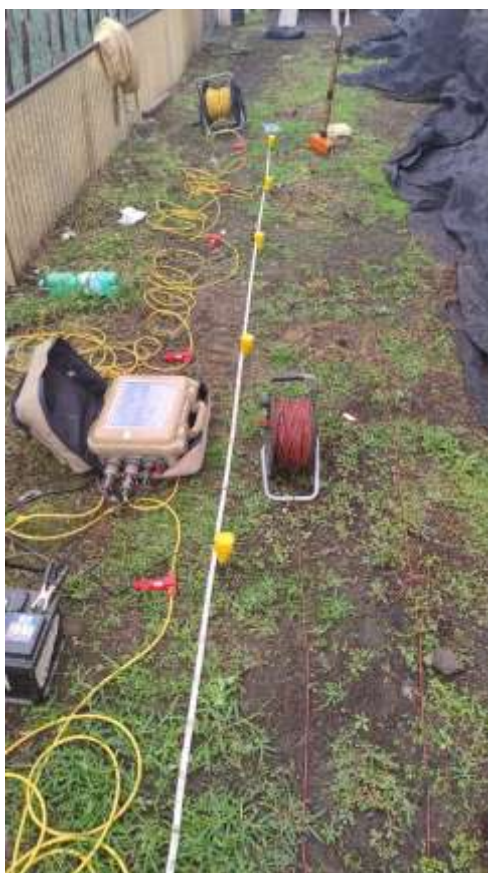
**Fig. 14: andamento di Vs con la profondità - M1**

Profondità piano di posa [m]	0.00
$V_{s,eq}$ [m/sec] ( $H=30.00$ m)	283.60
Categoria del suolo	C

**Fig. 15: Calcolo di  $V_{s,eq}$ . M1**

N.	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_p$ [m/sec]	$V_s$ [m/sec]
1	1.00	1.00	209.9	112.2
2	5.00	4.00	279.9	149.6
3	12.00	7.00	521.1	278.5
4	30.00	18.00	748.2	400.0

**Fig. 16: Tabella di calcolo di  $V_{s,eq}$ . M1**



**FOTO 1B: panoramica dello stendimento M1**

#### 4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE

Riguardo alla **classificazione sismica dei suoli di fondazione** *in situ* prevista dalla Normativa in vigore (**D.M. 17 Gennaio 2018, Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni**), vengono identificate n° **5 classi** (denominate rispettivamente **A, B, C, D** e **E**) ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s.
C	<b><i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s.</i></b>
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

Per  **$V_{s\text{equivalente}}$**  s'intende la media pesata delle velocità delle onde **S** negli strati fino alla profondità alla quale si incontra il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s).

Per il suolo di fondazione della zona di studio il parametro  **$V_s$**  equivalente è caratterizzato dalle seguenti velocità rilevate:

- **$V_s$  Equivalente  $M1$  pari a 283 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt = suolo categoria C.**

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di  **$V_{s\text{eq}}$**  valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo C**: tale sottosuolo è definito come ***“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s”.***

IL DIRETTORE TECNICO

Geom. Giuseppe La Guardia