



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09_01

PROJECT: **VOGHIERA PV 001**

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_p 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 |
| 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.



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 Condotto 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

| <i>Descrizione</i> | <i>Descrizione terreno</i> |
|------------------------|--|
| <i>g</i> | Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc] |
| <i>g_{sat}</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_u</i> | Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm ²] |
| <i>C_{ua}</i> | Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm ²] |

Parametri geotecnici

| Descrizione | g | g_{sat} | f | d | C_u | C_{ua} |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
| | [kg/mc] | [kg/mc] | [°] | [°] | [kg/cm ²] | [kg/cm ²] |
| | | | | |] |] |
| 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/cm²/cm

Ks Coefficiente di spinta

a Coefficiente di espansione laterale

| n° | Z1 | Z2 | Z3 | Terreno | Kw | Ks | a |
|----|--------|--------|--------|-------------------------|-------------------------------|------|------|
| | [m] | [m] | [m] | | [kg/cm ² /cm m] | | |
| 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 rigidità 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 _{Temp} | 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_{Temp} 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.



| Ang | NV | CD | MP | Dir | TS | EcA | Ir _{tmp} | 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 ₀ | K _R | a _u /a ₁ | k _w |
|---|----|-------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| | - | 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).

q₀ Valore di base (comprensivo di k_w).

K_R 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_u/a₁ Rapporto di sovraresistenza.

k_w Fattore di riduzione di q₀.

| 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.
F₀ 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 $i > 15^\circ$.

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:

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

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:

$$\int^L (C(c_a + K_s s_v \operatorname{tg} d) dz)$$

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 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 rigidità 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 dy_e la lunghezza del tratto di influenza della molla, con D il diametro del palo la molla avrà una rigidità pari a:

$$K_m = dy_e \cdot D \cdot K_k$$

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):

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

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 rigidità 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 rigidità delle molle si assume uno spostamento di riferimento pari a $DY = 3.000$. La rigidità della generica molla, posta a profondità z rispetto al piano campagna sarà data da



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

In questa espressione c_a è l'aderenza palo terreno, σ_h è la pressione orizzontale alla profondità z , δ 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 ΔN 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 |

Materiali palo*Acciaio*

| | | |
|--|------------|----------|
| Tipo | S355 | |
| Tensione caratteristica di snervamento | 3619,93 | [kg/cmq] |
| Modulo elastico | 2100000,00 | [kg/cmq] |

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_{sat}</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_u</i> | Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cmq] |
| <i>C_{ua}</i> | Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cmq] |

Parametri geotecnici

| Descrizione | g | g_{sat} | f | d | C_u | C_{ua} |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|----------|----------------------|-----------------------|
| | [kg/mc] | [kg/mc] | [°] | [°] | [kg/cmq] | [kg/cmq] |
| | | | | |] |] |
| 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/cm²/cm

Ks Coefficiente di spinta

a Coefficiente di espansione laterale

| n° | Z | Terreno | Kw | Ks | a |
|----|--------|-------------------------|--------------------------|------|------|
| | [m] | | [kg/cm ² /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_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanentig_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanentig_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabilig_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabilig_{tanf} Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenatog_{c'} Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenatag_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenatag_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimog_g 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 _{Gsfav} | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | g _{Qfav} | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | g _{Qsfav} | 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]

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

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



Condizione n° 1 - Permanenti - PERMANENTE

| Fondazione | N _{TOT} | My _{TOT} | Tx _{TOT} |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | [kg] | [kgm] | [kg] |
| Palo 160x160x8 | 1093,0 | 188,0 | 39,0 |

Condizione n° 2 - Neve - VARIABILE

| Fondazione | N _{TOT} | My _{TOT} | Tx _{TOT} |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | [kg] | [kgm] | [kg] |
| Palo 160x160x8 | 360,0 | 76,0 | 13,0 |

Condizione n° 3 - Vento +X - VARIABILE

| Fondazione | N _{TOT} | My _{TOT} | Tx _{TOT} |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | [kg] | [kgm] | [kg] |
| Palo 160x160x8 | 787,0 | 3145,0 | 990,0 |

Condizione n° 4 - Vento -X - VARIABILE

| Fondazione | N _{TOT} | My _{TOT} | Tx _{TOT} |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | [kg] | [kgm] | [kg] |
| Palo 160x160x8 | -787,0 | -3145,0 | 990,0 |

Condizione n° 5 - Vento +Y - VARIABILE

| Fondazione | N _{TOT} | My _{TOT} | Tx _{TOT} |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | [kg] | [kgm] | [kg] |
| Palo 160x160x8 | 785,0 | 3104,0 | 976,0 |

Condizione n° 6 - Vento -Y - VARIABILE

| Fondazione | N _{TOT} | My _{TOT} | Tx _{TOT} |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | [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_{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^q]*c_{ua}* Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm^q]**Parametri geotecnici**

| Descrizione | <i>g</i> | <i>g_{sat}</i> | <i>f</i> | <i>d</i> | <i>c_u</i> | <i>c_{ua}</i> |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
| | [kg/mc] | [kg/mc] | [°] | [°] | [kg/cm ^q] | [kg/cm ^q] |
| | | | | |] |] |
| 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^q]L'andamento della pressione verticale *s_v* 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 verificheVerifica della portanza assiale*Simbologia adottata**cmb* Identificativo della combinazione*N_c, N_q* Fattori di capacità portante*N'_c* = *f*(*N_c*, *s_c*, *d_c*)*N'_q* = *f*(*N_q*, *s_q*, *d_q*)



dove:

sc, sq Fattori di forma

dc, dq Fattori di profondità

Pl_{min}, Pl_{med} Portanza laterale minima e media espressa in [kg]

Pp_{min}, Pp_{med} 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 _{med} | Pp _{med} | Pl _{min} | Pp _{min} | 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 |



| | 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^q]

| n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr |
|-----|------|---------|--------------------------|-----|------|---------|--------------------------|-----|------|---------|--------------------------|
| | [m] | [cm] | [kg/cm ^q] | | [m] | [cm] | [kg/cm ^q] | | [m] | [cm] | [kg/cm ^q] |
| 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] |
| s_f | tensione normale nell'acciaio espressa in [kg/cm ²] |
| s_{id} | tensione ideale nell'acciaio espressa in [kg/cm ²] |
| t_f | tensione tangenziale nell'acciaio espressa in [kg/cm ²] |
| 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] |



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE
32 di/of 75

| Y | A _f | M | N | M _u | N _u | CS | T | V _{Rd} | CS _T |
|------|----------------|-------|------|----------------|----------------|--------|------|-----------------|-----------------|
| [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_f | M | N | S_c | S_f |
|------------|----------------------|--------------|-------------|----------------------|----------------------|
| <i>[m]</i> | <i>[cmq]</i> | <i>[kgm]</i> | <i>[kg]</i> | <i>[kg/cmq]</i> | <i>[kg/cmq]</i> |
| | | | | <i>]</i> | <i>]</i> |
| 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**

| | |
|------------------------|--|
| <i>Descrizione</i> | Descrizione terreno |
| <i>g</i> | Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc] |
| <i>g_{sat}</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_u</i> | Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm ²] |
| <i>c_{ua}</i> | Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm ²] |

Parametri geotecnici

| Descrizione | g | g_{sat} | f | d | c_u | c_{ua} |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
| | [kg/mc] | [kg/mc] | [°] | [°] | [kg/cm ²] | [kg/cm ²] |
| 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/cm²]

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_{min}, Pl_{med} Portanza laterale minima e media espressa in [kg]Pp_{min}, Pp_{med} 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 _{med} | Pp _{med} | Pl _{min} | Pp _{min} | 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 |



| | 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/cm²]

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 |
|----|------|-------|----|------|-------|----|------|-------|----|------|-------|
| | [kg] | [cm] |
| 1 | 200 | 0,021 | 2 | 209 | 0,022 | 3 | 247 | 0,026 | 4 | 398 | 0,041 |



| 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 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 |
| 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_f tensione normale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]
 S_{id} tensione ideale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]
 t_r tensione tangenziale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]
 CS coefficiente di sicurezza
 M momento agente, espresso in [kgm]
 N sforzo normale agente, espresso in [kg]
 M_u momento ultimo, espresso in [kgm]
 N_u sforzo normale ultimo, espresso in [kg]
 T taglio agente, espresso in [kg]
 V_{Rd} taglio resistente, espresso in [kg]

| Y | A _f | M | N | M _u | N _u | CS | T | V _{Rd} | CS _T |
|------|--------------------|-------|------|----------------|----------------|--------|------|-----------------|-----------------|
| [m] | [cm ²] | [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 _f | M | N | M _u | N _u | CS | T | V _{Rd} | CS _T |
|------|----------------|-------|------|----------------|----------------|--------|------|-----------------|-----------------|
| [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 _f | M | N | S _c | S _f |
|------|----------------|-------|------|----------------|----------------|
| [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 |



| Y | A_f | M | N | S_c | S_f |
|------------|----------------------|--------------|-------------|----------------------|----------------------|
| <i>[m]</i> | <i>[cmq]</i> | <i>[kgm]</i> | <i>[kg]</i> | <i>[kg/cmq]</i> | <i>[kg/cmq]</i> |
| | | | | <i>]</i> | <i>]</i> |
| 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_{sat}</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_u</i> | Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm ^q] |
| <i>c_{ua}</i> | Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm ^q] |

Parametri caratteristici

| Descrizione | g | g_{sat} | f | d | C_u | C_{ua} |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
| | [kg/mc] | [kg/mc] | [°] | [°] | [kg/cm ^q] | [kg/cm ^q] |
| | | | | |] |] |
| 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_w</i> | Costante di Winkler espressa in Kg/cm ² /cm |



Ks Coefficiente di spinta

a Coefficiente di espansione laterale

| n° | Z1 [m] | Z2 [m] | Z3 [m] | Terreno | Kw [kg/cmq /cm] | Ks | a |
|----|-----------|-----------|-----------|-------------------------|-----------------------|------|------|
| 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 _{tmp} | 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 _{tmp} | 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_{tmp} 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 ₀ | K _R | a _u /a ₁ | k _w |
|---|----|-------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| | - | 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).

q₀ Valore di base (comprensivo di k_w).

K_R 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_u/a₁ Rapporto di sovrarresistenza.

k_w Fattore di riduzione di q₀.



| 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.
- F₀** 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 | C _{Top} | 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.
- C_{Top}** 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 _N | V _R | Lat. | Long. | Q _g | C _{Top} | S _T |
|-------|----------------|----------------|------|-------|----------------|------------------|----------------|
|-------|----------------|----------------|------|-------|----------------|------------------|----------------|

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:

$$\int_0^L (C(c_a + K_s s_v \tan d) dz)$$

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 rigidità 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 rigidità elastica, K_h , espressa in $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$ che rappresenta la pressione (in 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 rigidità 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_e} la lunghezza del tratto di influenza della molla, con D il diametro del palo la molla avrà una rigidità 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

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

In questa espressione c_a è l'aderenza palo terreno, σ_h è la pressione orizzontale alla profondità z , δ 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 ΔN 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 ²] |
| Modulo elastico | 2100000,00 | [kg/cm ²] |

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_{sat}</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_u</i> | Coesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm ²] |
| <i>c_{ua}</i> | Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm ²] |

**Parametri geotecnici**

| Descrizione | g | g _{sat} | f | d | C _u | C _{ua} |
|-------------------------|---------|------------------|-------|-------|----------------|-----------------|
| | [kg/mc] | [kg/mc] | [°] | [°] | [kg/cmq] | [kg/cmq] |
| | | | | |] |] |
| 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/cm²/cm

Ks Coefficiente di spinta

a Coefficiente di espansione laterale

| n° | Z | Terreno | Kw | Ks | a |
|----|--------|-------------------------|------------|------|------|
| | [m] | | [kg/cmq/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_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanentig_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanentig_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabilig_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabilig_{tanf} Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenatog_{c'} Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenatag_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenatag_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimog_g 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 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.

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_{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/cmq]

C_{ua} Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cmq]

Parametri geotecnici

| Descrizione | g | g_{sat} | f | d | C_u | C_{ua} |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|----------|----------------------|-----------------------|
| | [kg/mc] | [kg/mc] | [°] | [°] | [kg/cmq] | [kg/cmq] |
| | | | | |] |] |
| 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/cmq]

L'andamento della pressione verticale s_v 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_{min}, Pl_{med} Portanza laterale minima e media espressa in [kg]Pp_{min}, Pp_{med} 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 _{med} | Pp _{med} | Pl _{min} | Pp _{min} | 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 |



| 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 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]

s_f tensione normale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]s_{id} tensione ideale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]t_r tensione tangenziale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]

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 _f | M | N | M _u | N _u | CS | T | V _{Rd} | CS _T |
|------|----------------|-------|------|----------------|----------------|--------|------|-----------------|-----------------|
| [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 |



| Y | A _f | M | N | S _c | S _f |
|------|----------------|-------|------|----------------|----------------|
| [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_{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^q]

c_{ua} Adesione non drenata del terreno espressa in [kg/cm^q]

Parametri geotecnici

| Descrizione | g | g_{sat} | f | d | c_u | c_{ua} |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
| | [kg/mc] | [kg/mc] | [°] | [°] | [kg/cm ^q] | [kg/cm ^q] |
| | | | | |] |] |
| 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^q]

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: $p_{lim} = A + B \times z^n = 1.00 + 1.00 \times z^{1.00}$)

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_c, N_q Fattori di capacità portante

N'_c = f(N_c, s_c, d_c)

N'_q = f(N_q, s_q, d_q)

dove:



sc, sq Fattori di forma

dc, dq Fattori di profondità

Pl_{min}, Pl_{med} Portanza laterale minima e media espressa in [kg]

Pp_{min}, Pp_{med} 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 _{med} | Pp _{med} | Pl _{min} | Pp _{min} | 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^q]

| n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr | n° | Y | Ur | Pr |
|-----|------|---------|-----------------------|-----|------|---------|-----------------------|-----|------|---------|-----------------------|
| | [m] | [cm] | [kg/cm ^q] | | [m] | [cm] | [kg/cm ^q] | | [m] | [cm] | [kg/cm ^q] |
| 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 |



| 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_f tensione normale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]
- s_{id} tensione ideale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]
- t_r tensione tangenziale nell'acciaio espressa in [kg/cm²]
- 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]



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE
74 di/of 75

| Y | A _f | M | N | M _u | N _u | CS | T | V _{Rd} | CS _T |
|------|----------------|-------|------|----------------|----------------|--------|------|-----------------|-----------------|
| [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 16 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R09_01

PROJECT: VOGHIERA PV 001

PAGINA - PAGE
75 di/of 75

| Y | A _f | M | N | S _c | S _f |
|------|----------------|-------|------|----------------|----------------|
| [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

| | |
|--|---------|
| 1. PREMESSA | Pag. 02 |
| 2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO | Pag. 04 |
| 3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO | Pag. 10 |
| 4. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME | Pag. 14 |
| 5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO | 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 |
| 6. MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO | Pag. 31 |
| 7. MODELLAZIONE SISMICA DEL LOTTO INVESTIGATO ED ELABORATI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA | Pag. 47 |
| 8. CONCLUSIONI | 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:

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



- 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.



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



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**.



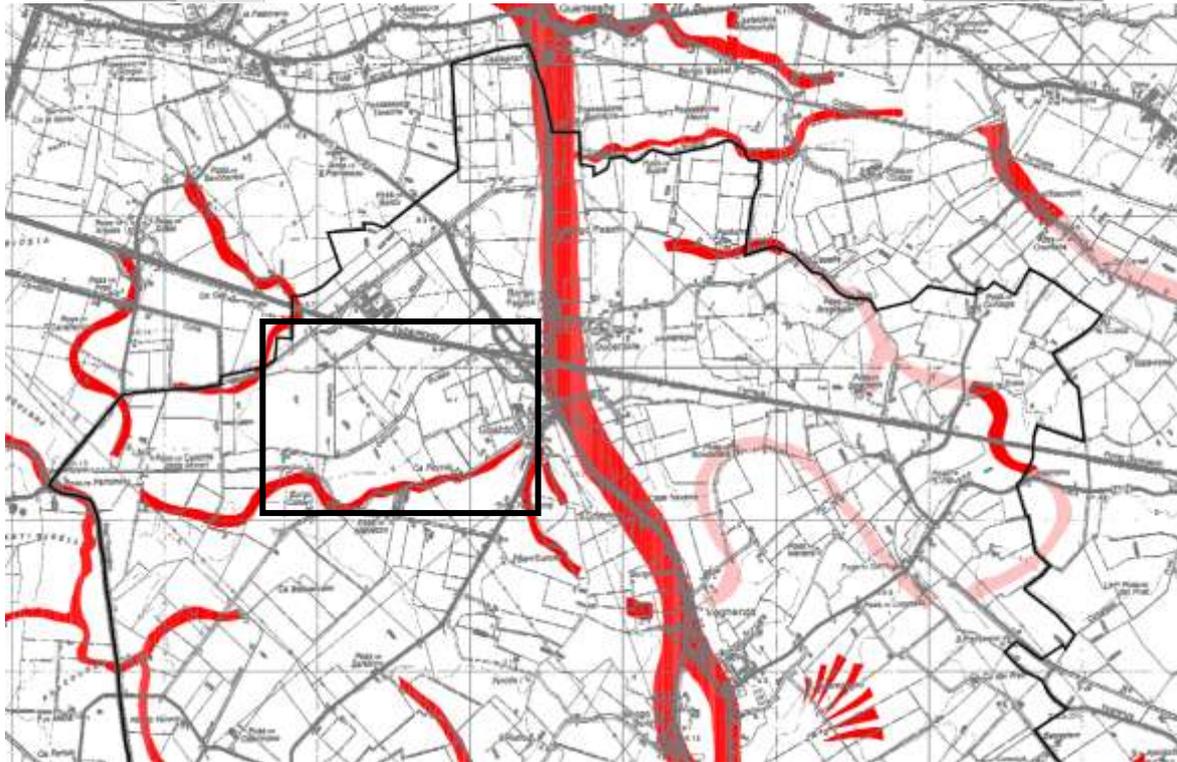
Si riporta la cartografia relativa.



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

 Paleovalveo di ubicazione sicura

 Paleovalveo 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

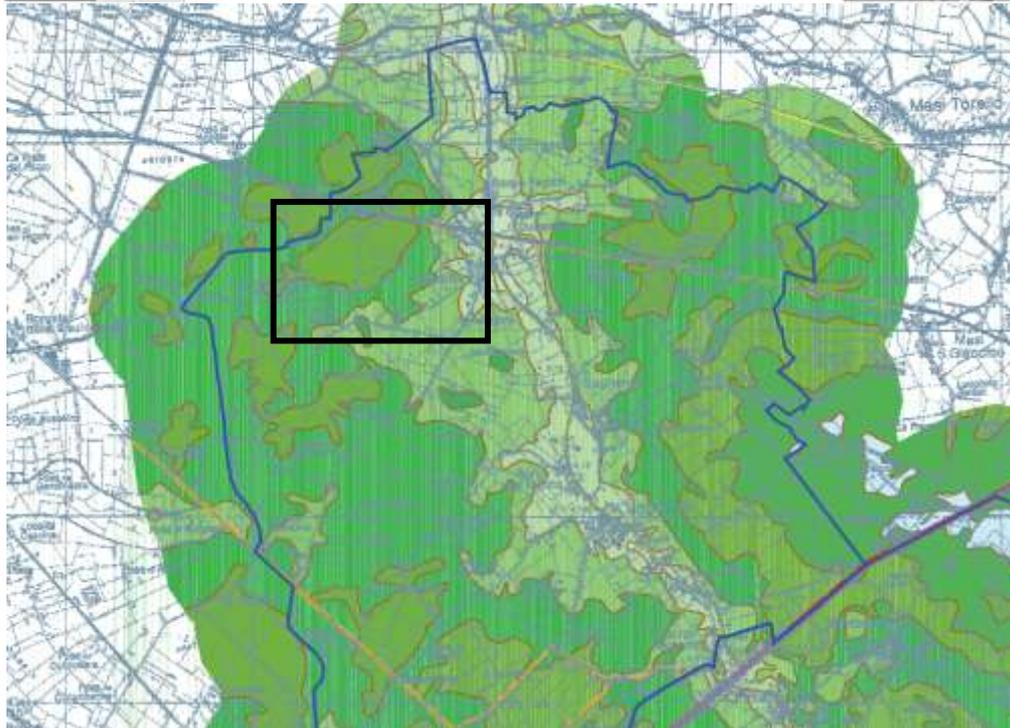


Fig. 4: Carta altimetrica e dei rilevati dell'area di interesse, tratta dal Piano Strutturale Comunale, in scala 1:50.000

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELONA 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.

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

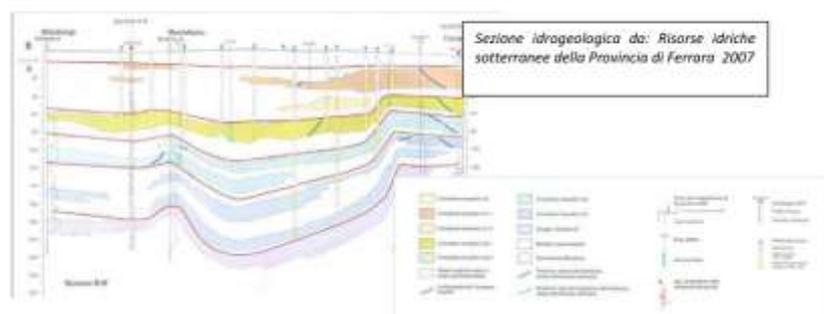


Dalla bibliografia specializzata e da indagini dirette condotte, risulta che nel sottosuolo sono presenti diversi acquiferi confinati di cui solo i più superficiali, fino a 50 – 60 metri di profondità, sfruttabili per scopi civili e industriali per la natura delle acque dolci.

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.

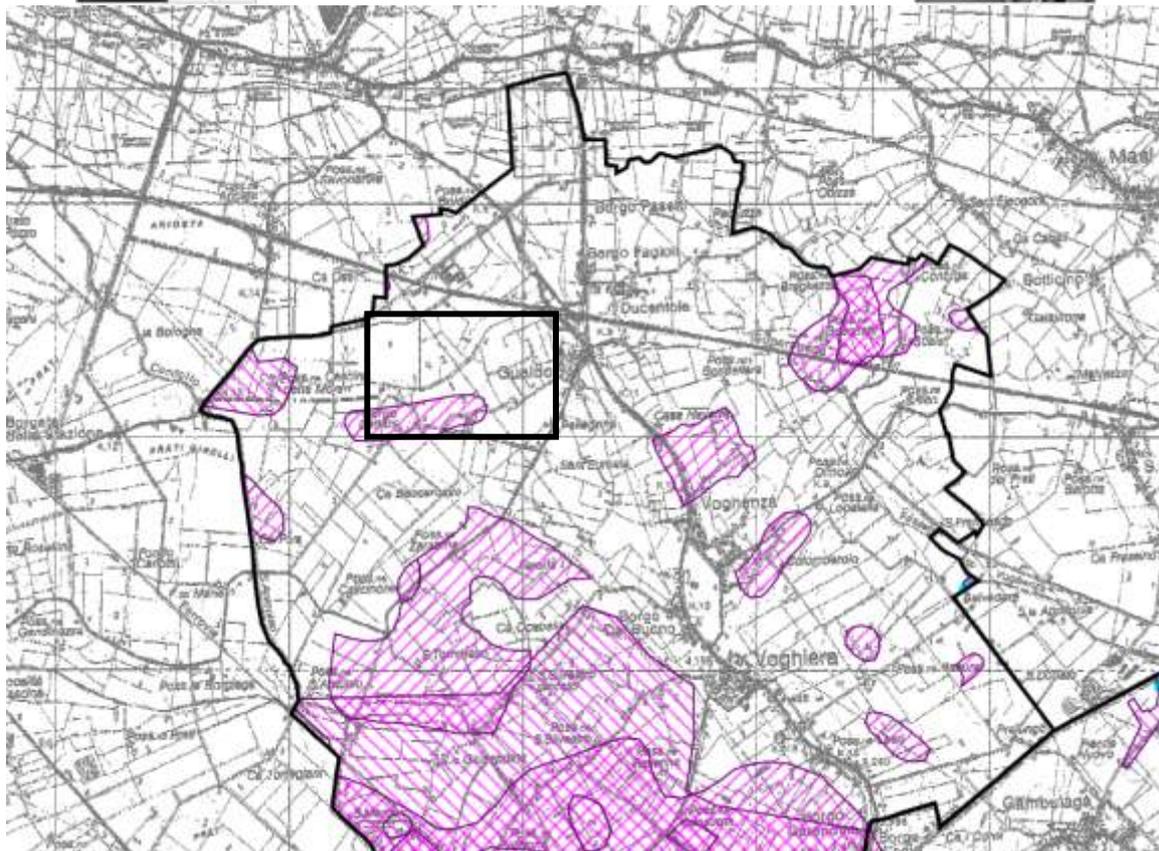


Fig. 5: Carta delle criticità idrauliche dell'area di interesse, tratta dal Piano Strutturale Comunale, in scala 1:50.000



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.

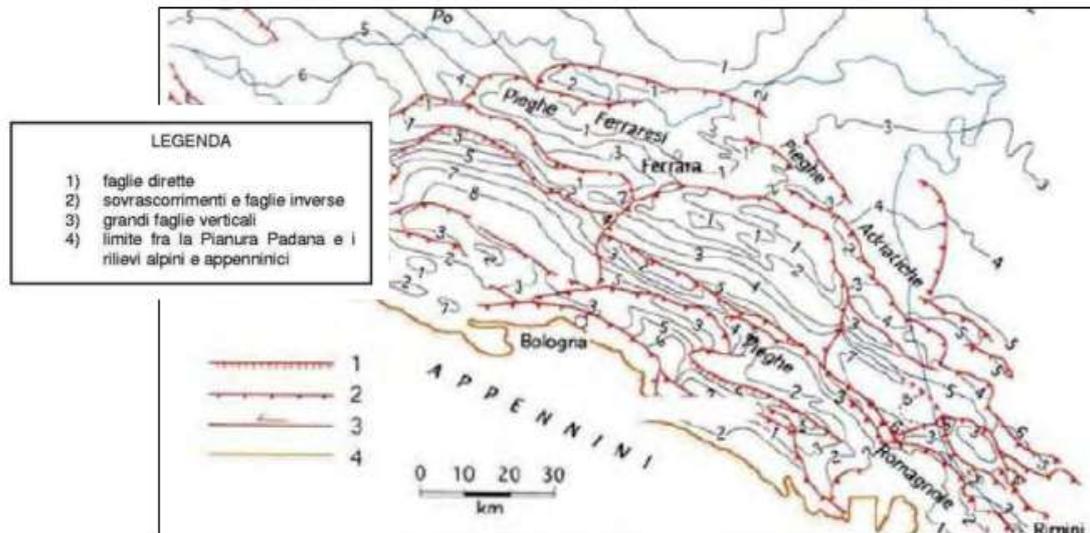
STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

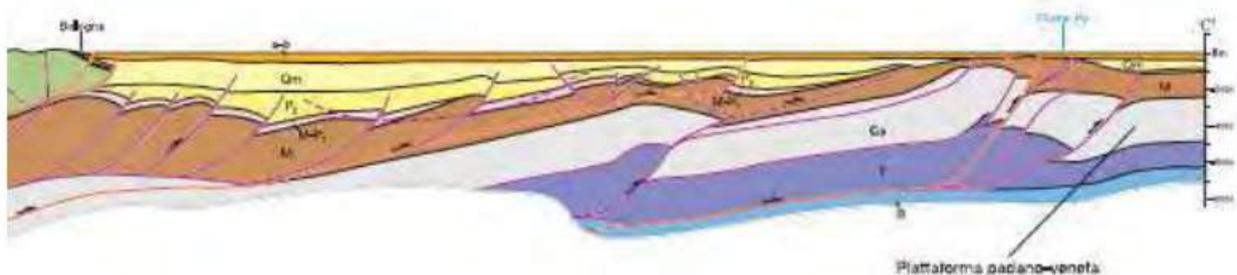
INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

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

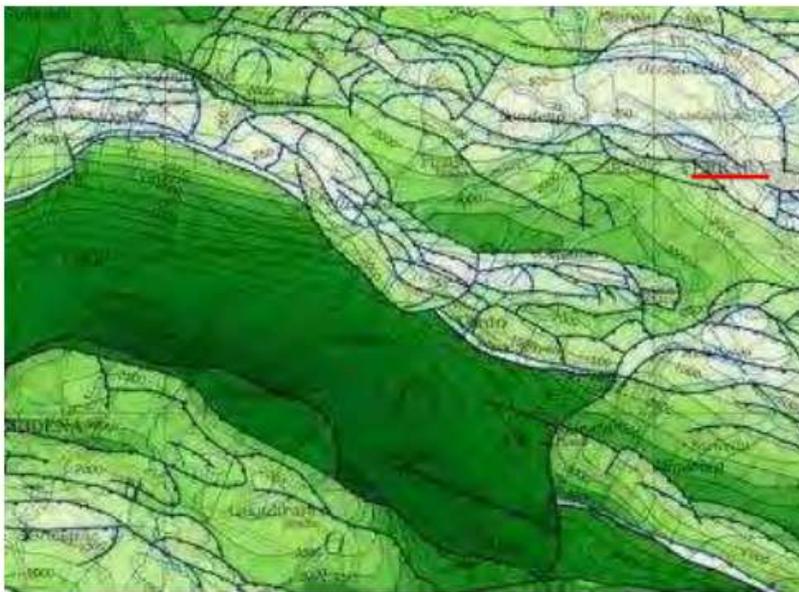
INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

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.



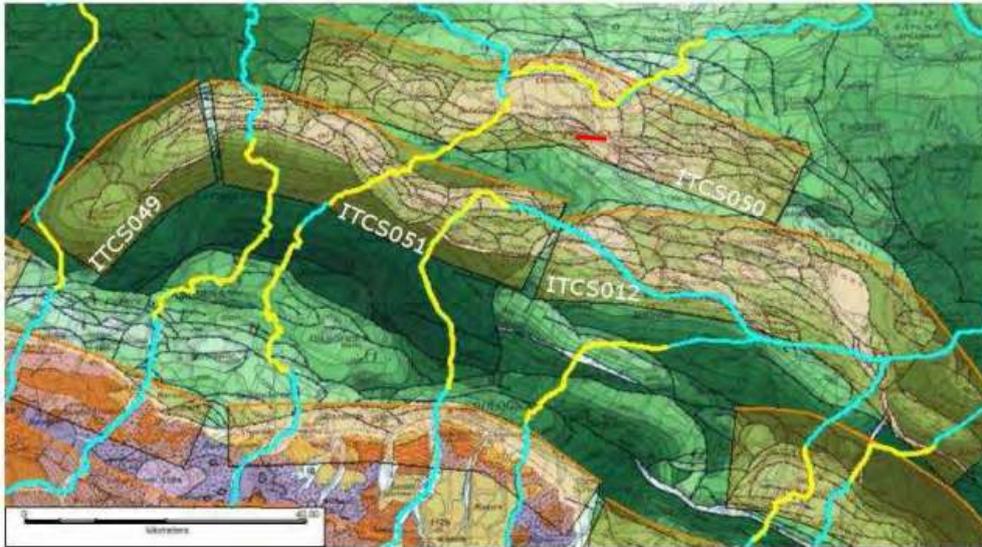
Modello strutturale che evidenzia l'alto strutturale della Dorsale Ferrarese (Bigi e al. 1992)

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.



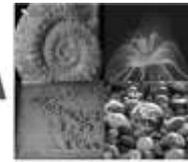
Prima di tale spostamento l'alveo attraversava la zona della dorsale tra Ficarolo e Ospitale di Bondeno (Burrato et al., 2003).



*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*

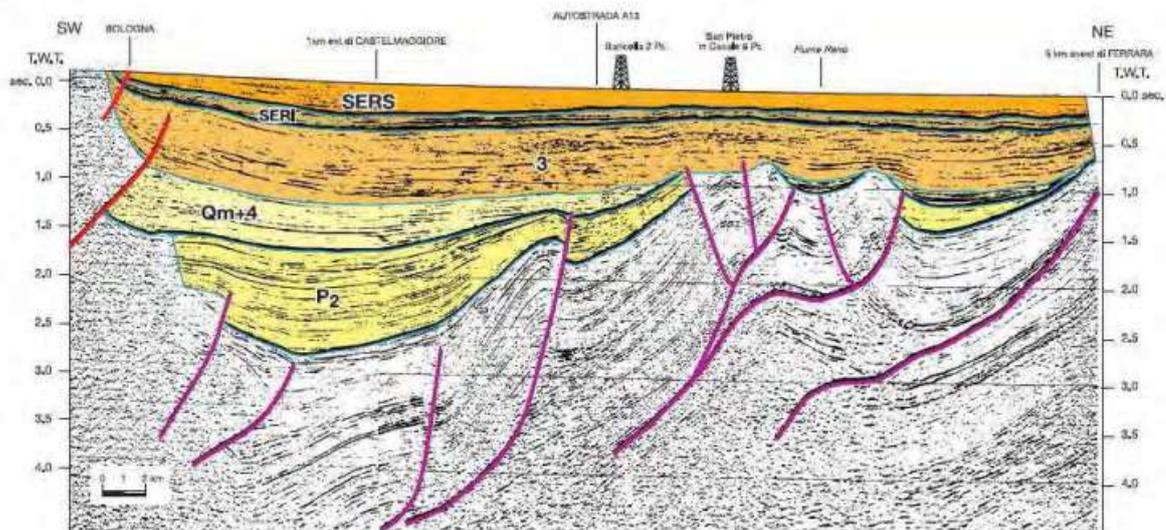
Inoltre, dai confronti dei dati sulla neotettonica (Bondesan e Castellani) e da recenti studi sismici (Agip, carta dei riflettori), si deduce la presenza di una faglia trascorrente, a direzione NE-SW, probabilmente ancora attiva. Infine, dall'analisi delle linee sismiche che attraversano la zona (Agip), 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



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.

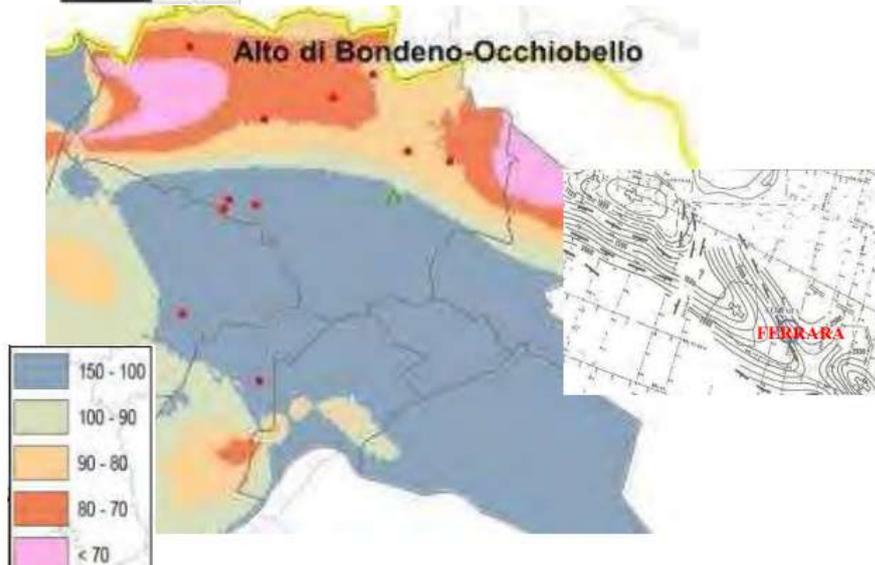
STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

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



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.

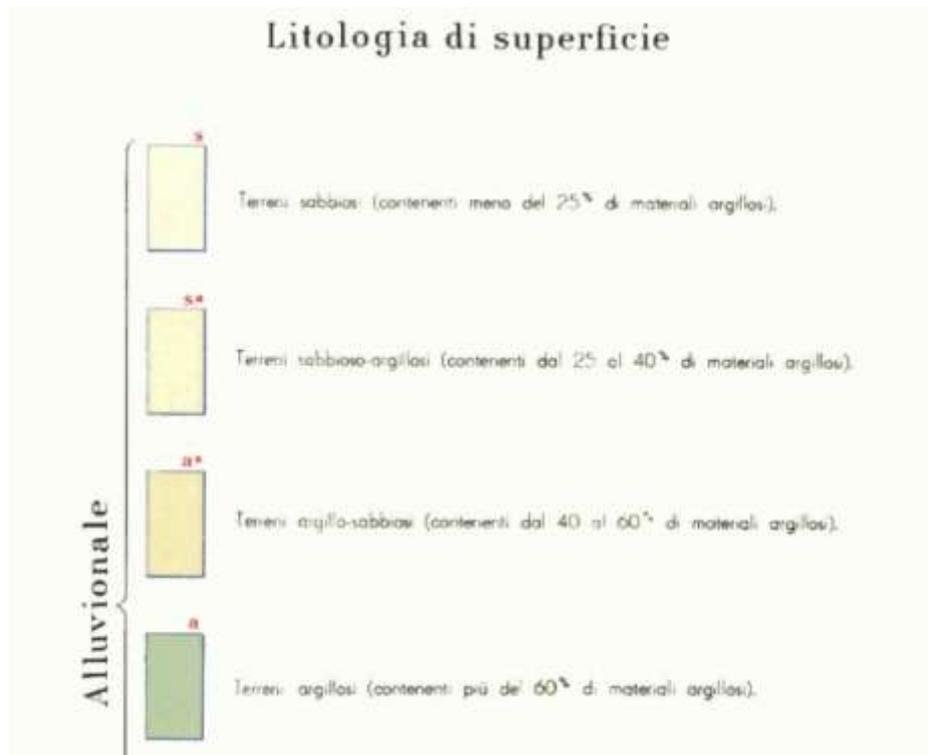
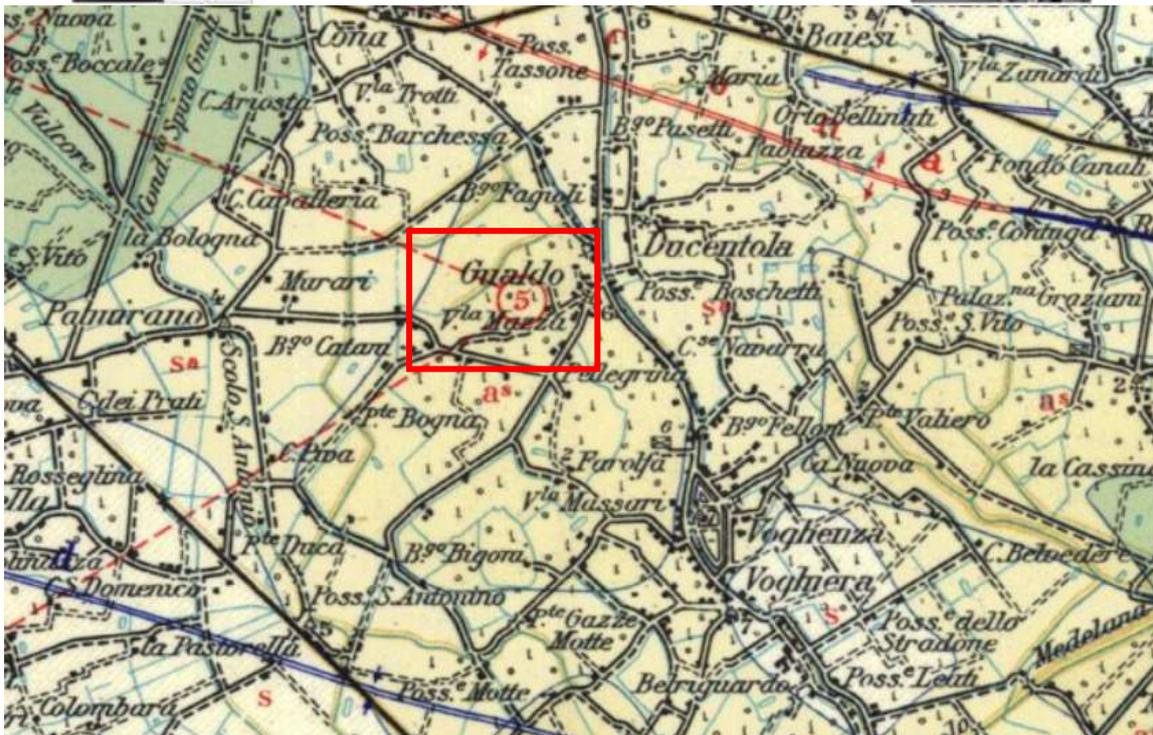
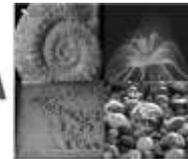


Fig. 6: Stralcio del F. 76 "FERRARA" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000

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

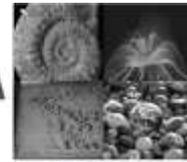
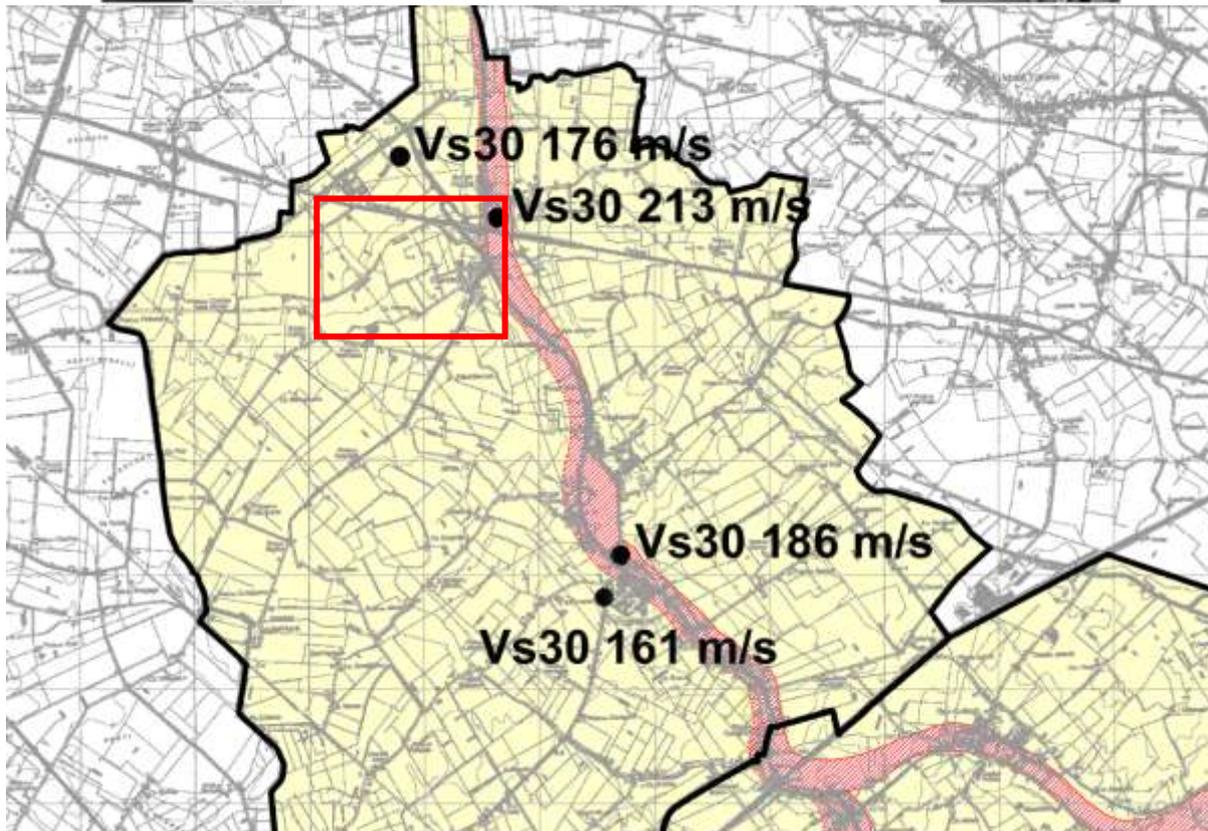


Fig.7: Carta delle litologie di superficie dell'area di interesse, tratta dal Piano Strutturale Comunale, in scala 1:50.000



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

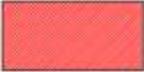
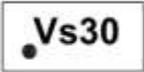
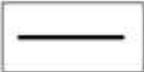
| | |
|---|--|
|  | Possibili depositi di spessore significativo di sabbie immerse in falda (paleovalvei ed allineamenti di paleo dune) Aree soggette ad analisi di III livello |
|  | Possibili depositi coesivi molto soffici ($C_u < 70$ kPa $I_P > 30\%$) Aree soggette ad analisi di III livello |
|  | 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 BARCELONA 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;

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



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 (per tratti 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 α)*

- *avanzamento (penetrazione) d*

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

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



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 $A = 10$ cm² 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 $A = 10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.
- **DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE** secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H = 0.75$ m, avanzamento $d = 30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A = 20.27$ cm² 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 $A = 20,0 - 20,43$ cm², rivestimento/ fango bentonitico : talora previsto.

PENETROMETRO DINAMICO IN USO PER LA SEGUENTE INDAGINE

TG 63-200 EML .C Pagani

CARATTERISTICHE TECNICHE

| | |
|---|-------------------------------------|
| Rif. 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 ² |
| ANGOLO APERTURA PUNTA : α | 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 : δ | 0,20 m |
| NUMERO DI COLPI PUNTA : N _o N(20) | Relativo ad un avanzamento di 20 cm |
| RIVESTIMENTO / FANGHI | NO |
| ENERGIA SPECIFICA x COLPO : $Q = (MBH) / (A \delta) = 11,65565$ kg/cm ² (prova SPT: $Q_{spt} = 7,83$ kg/cm ²) | |
| CORRIF. TEORICO DI ENERGIA : $\beta = Q/Q_{spt} = 1,489$ (teoricamente: $N_{spt} = \beta \cdot N$) | |

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 situ**, 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 | | | | | | | | | N.1: 2 - 2 - 3 | | | | | | |
| 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



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/cm²): | | | | | | |
| Resistenza (Kg/cm ²) | 2,0 | 2,5 | 1,5 | - | - | - |
| Punta 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



Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024
Rapporto di Prova N°: 56523/24 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 ³) |
| 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 ³) | 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 ³) |
| Peso tara | g | 144,23 | 144,58 | 144,46 | |
| Volume tara cm ³ | 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 ³) | 1,880 | 1,912 | 1,929 | 1,907 |
| Peso di Volume Secco | (g/cm ³) | 1,691 | 1,724 | 1,750 | 1,722 |
| Peso di Volume Saturo | (g/cm ³) | 2,047 | 2,061 | 2,084 | 2,064 |

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



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) | Letture 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 |

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

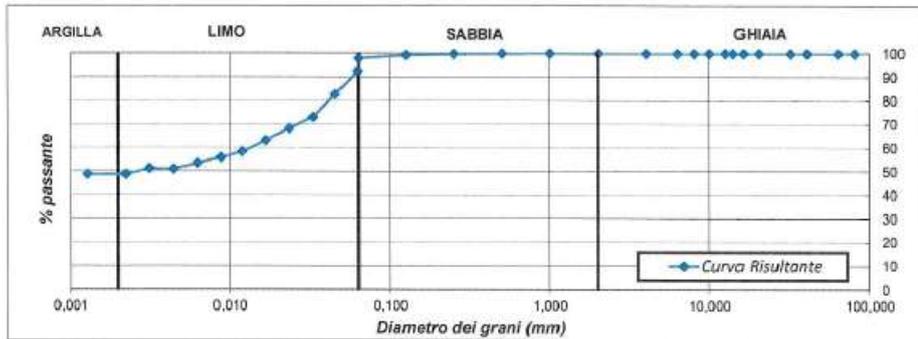
Identificativo Campione: S1
Profondità di Prelievo: 6,50 - 7,00 mt
Tipologia di Materiale: ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

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

Coordinata N: - Data Prelievo: -
Coordinata E: - 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 $(0,062) > 50\%$ | 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

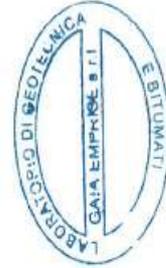
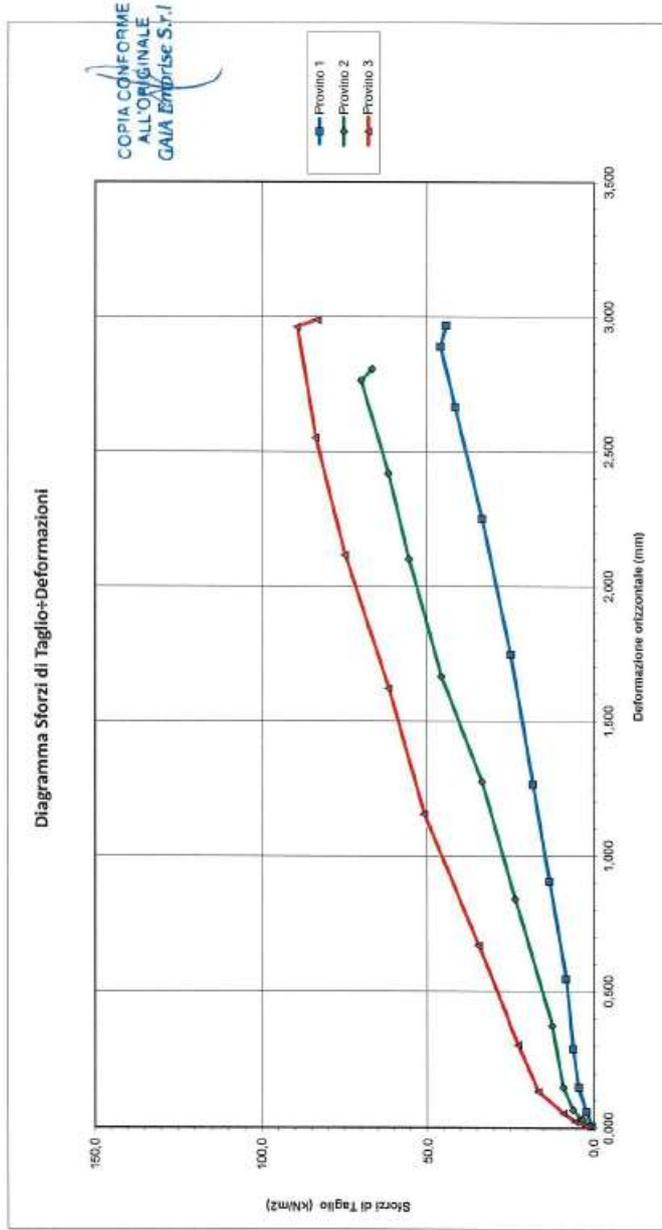


STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



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

E. EMPRESI



Lo Sperimentatore
Gegri. Rossella TRACCI
Rossette

IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati

Dot. Geol. Remy MAROTTA

via Torrione Mellino 75-77 - Area Industriale BIRDA VEGAMIO (PZ) - Tel. 0973.310091 - CO.MA.MARITZ - P.MA.OTTOBRETTI - LABORATORIO AUTORIZZATO AD EFFETTUARE E CERTIFICARE PROVE SULLE TERRE E SULLE ROCCE AI SENSI DELLA CIRC. MINISTRO DTC. DEL 08/09/2010 - M. INF. CSUP. N° 11. 5000358 AZIENDA CERTIFICATA UNI EN ISO 9001:2015 Certificata No. PC 02/14-CAEM-0 - UNI EN ISO 14001:2015 Certificata No. PC 02/14-CAEM-0 - UNI EN ISO 45001:2018 No. PC 02/14-CAEM-0 - S.r.l.

Pagina 3 di

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

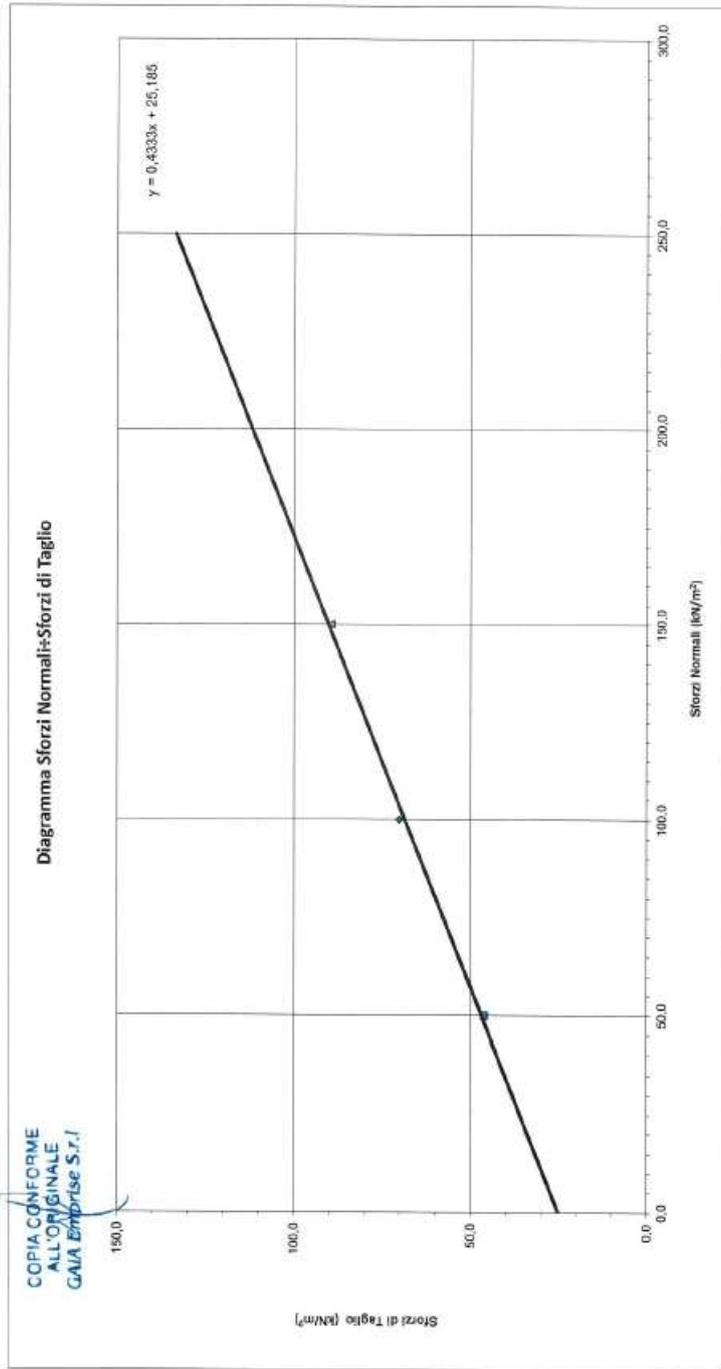
INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

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

E-MAIL: vincenzocortese@live.it

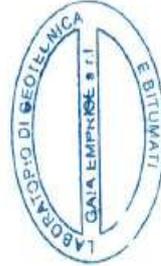


STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati

Dot. Geol. Remo MARZITTA



Lo Sperimentatore

Geom. Rossella TRINIZIO

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:

| STRATO | Spessore dello strato (m) | Nipi | Tipi | Coesione a saturazione (kg/cm ²) | Presso unità di volume (t/m ³) | Presso unità di volume saturato (t/m ³) | Angolo φ | Indice di Poisson | Densità (kg/cm ³) | Coefficiente di Poisson α | Mod. Elastico (kg/cm ²) | Mod. Elastico (kg/cm ²) | DE (kg/cm ²) |
|--------|------------------------------|------|---------|--|--|---|----------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 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 | - |

PROVA N.1

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



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 ²) | Peso unità di volume (t/m ³) | Peso unità di volume saturo (t/m ³) | Angolo φ | Coefficiente spinta a Riposo K0 | Modulo di Poisson | Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²) | Mod. Edometrico E ₅₀ (Kg/cm ²) | Mod. Elastico di Young E ₅₀ (Kg/cm ²) | Q _t Resistenza alla punta (Kg/cm ²) |
|----------------|---------|--|--|---|----------|---------------------------------|-------------------|--|---|--|--|
| 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 ²) | Peso unità di volume (t/m ³) | Peso unità di volume saturo (t/m ³) | Angolo φ | Coefficiente spinta a Riposo K0 | Modulo di Poisson | Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²) | Mod. Edometrico E ₅₀ (Kg/cm ²) | Mod. Elastico di Young E ₅₀ (Kg/cm ²) | Q _t Resistenza alla punta (Kg/cm ²) |
|----------------|---------|--|--|---|----------|---------------------------------|-------------------|--|---|--|--|
| 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

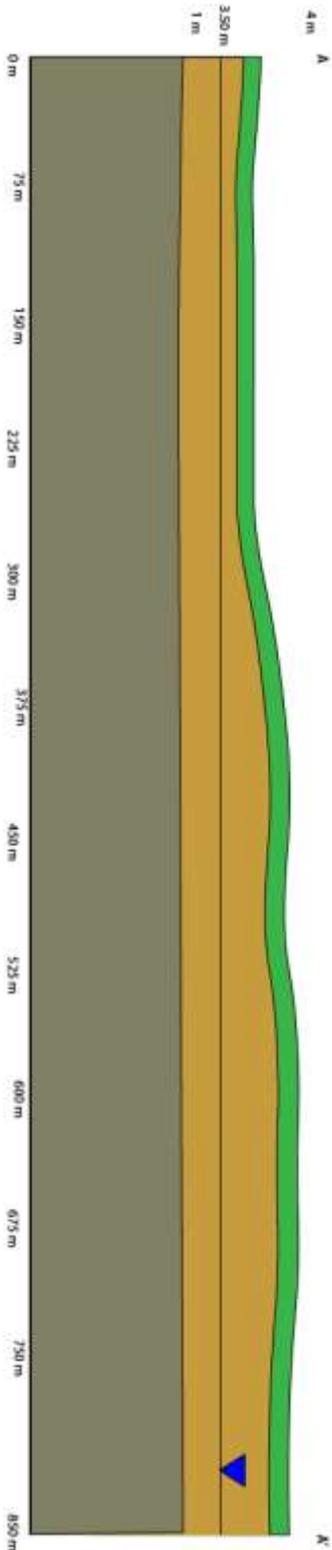
INDIRIZZO: VIA BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

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

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



- TERRENO VEGETALE
- LIMITI SABBIOSO-ARGILLOSI OCRACEI, POCO CONSISTENTI
- ARGILLA LIMOSA GRIGIA DA POCO A MEDIAMENTE CONSISTENTE

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



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

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



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 BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

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

E-MAIL: 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 $0,05 < a_g \leq 0,15$ 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 BARCELONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

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

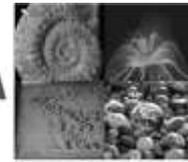
E-MAIL: vincenzocortese@live.it



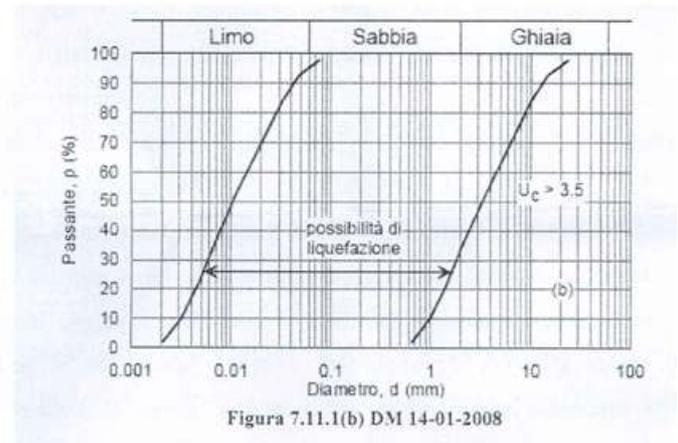
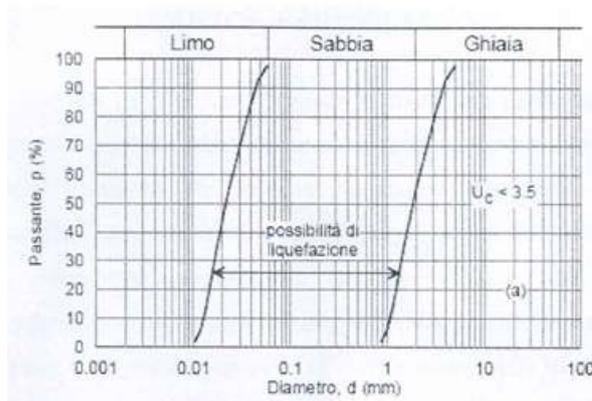
VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE IN CONDIZIONI SISMICHE

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;



- 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 ³ |
| 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 | <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> |
| 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 BARCELONA 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 MI 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

PAGINA 54 di 68



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_{seq}** 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**



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 (amax)**, che viene riportata di seguito nella seguente espressione:

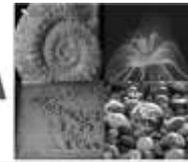
$$a_{max} = a_g * S_s * S_t$$

L'accelerazione massima attesa **amax** è fornita in m/s^2 (dal valore nominale di **ag(g)**), accelerazione massima attesa al sito, si passa ad **ag** (m/s^2) moltiplicando per 9.81.

Infine, si passa alla determinazione del **Coefficiente Sismico orizzontale (Kh)** e **Coefficiente Sismico verticale (Kv)**, 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)

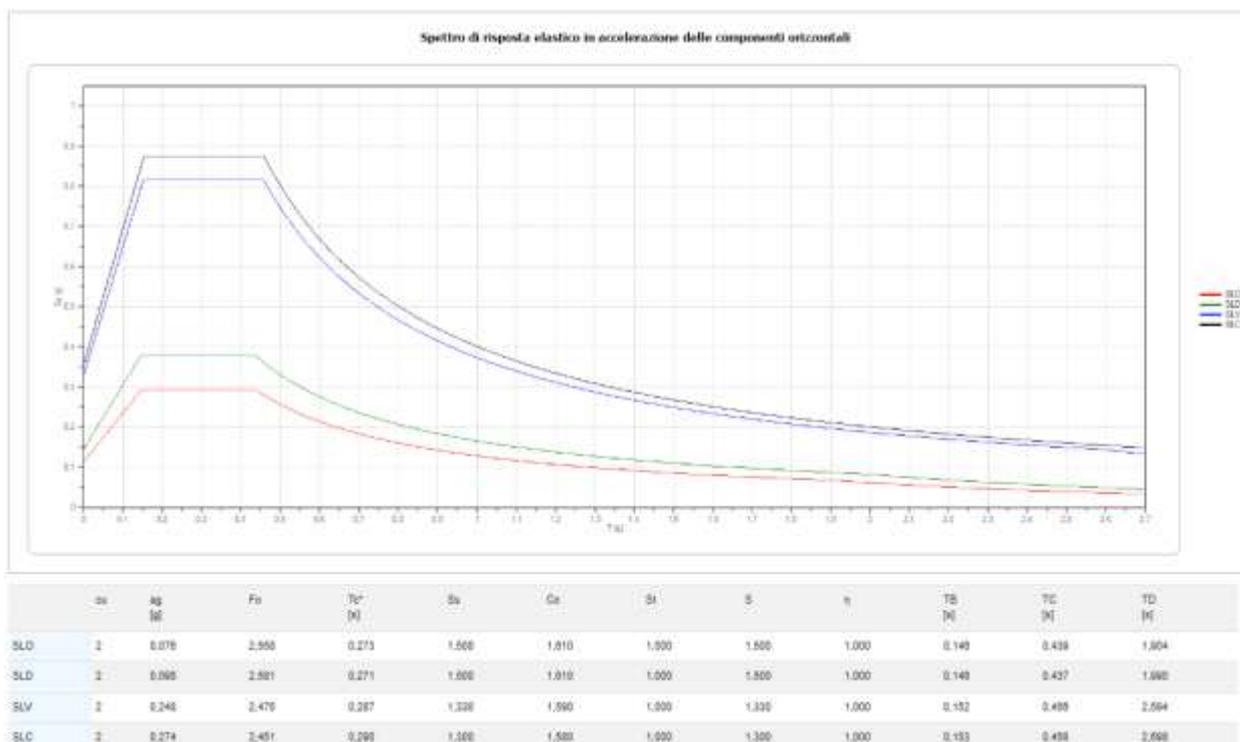
In definitiva l'analisi degli spettri di risposta è completata in funzione dell'incremento relativo alla **Classe d'uso della struttura in oggetto** e alla **Vita Nominale dell'opera**, ulteriormente incrementata con i **Coefficienti Stratigrafici e Topografici** di cui sopra e verificata agli **Stati 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>0,05 – 0,15</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.

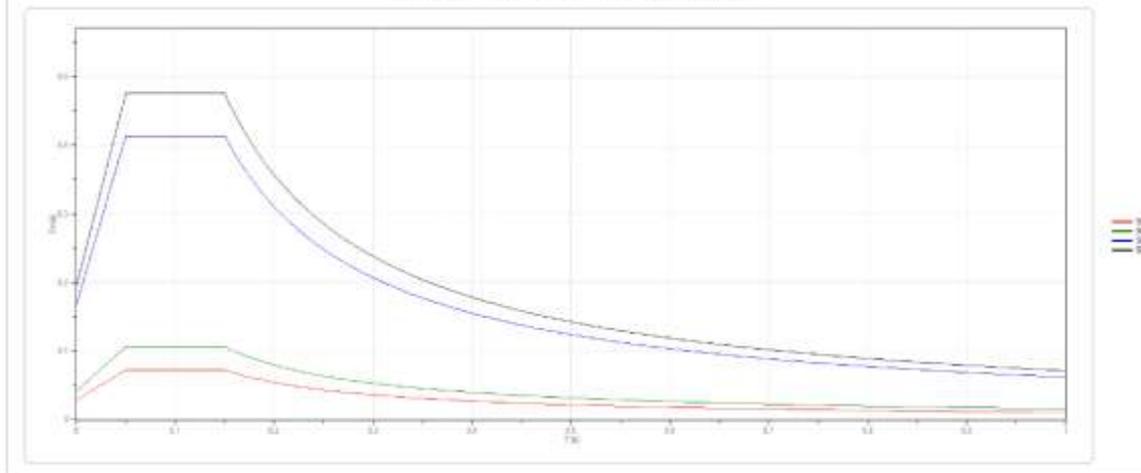




STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



| | cc | kg | Fa | Tp | Sa | Cs | Si | S | s | TB | TD | TD |
|-----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | [m] | | [s] | | | | | | [s] | [s] | [s] |
| SLO | 2 | 0.276 | 2.558 | 0.273 | 1.000 | 1.916 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.058 | 0.150 | 1.000 |
| SLO | 2 | 0.266 | 2.551 | 0.271 | 1.000 | 1.916 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.058 | 0.150 | 1.000 |
| SUV | 2 | 0.248 | 2.475 | 0.281 | 1.000 | 1.900 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.058 | 0.150 | 1.000 |
| SLO | 2 | 0.274 | 2.451 | 0.280 | 1.000 | 1.900 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.058 | 0.150 | 1.000 |

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

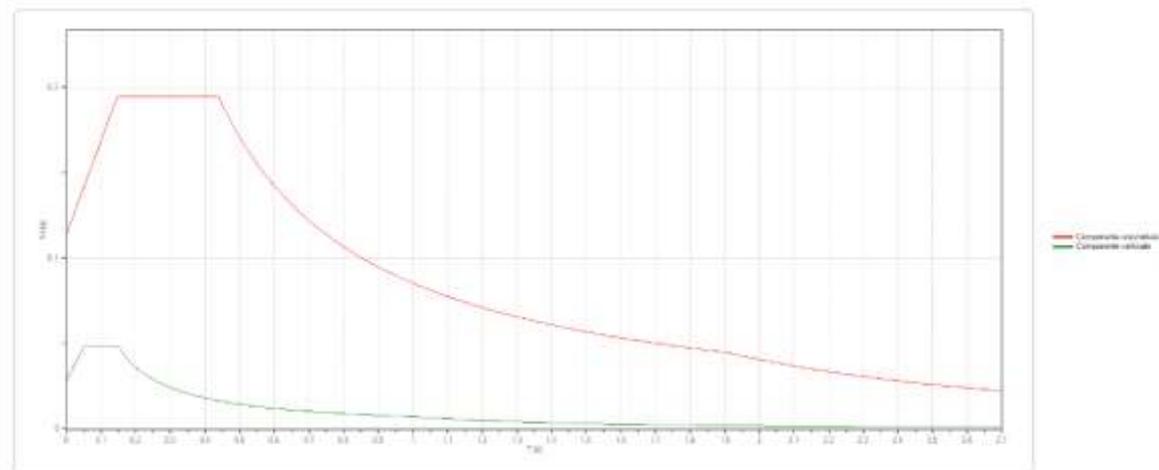
SLO



Periodo di riferimento

sec

Spettri di progetto per lo stato limite SLO



| | cc | kg | Fa | Tp | Sa | Cs | Si | S | s | TB | TD | TD |
|-----------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | [m] | | [s] | | | | | | [s] | [s] | [s] |
| SLO orizzontale | 2 | 0.276 | 2.558 | 0.273 | 1.000 | 1.916 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.146 | 0.439 | 1.004 |
| SLO verticale | 2 | 0.276 | 2.558 | 0.273 | 1.000 | 1.916 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.058 | 0.150 | 1.000 |

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



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**.



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 rinvengono 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.

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 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_{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"*.

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 BARCELONA 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.2

PROVE GEOTECNICHE

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

PAGINA 67 di 68



STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA



ALLEGATO N.3

PROVE GEOFISICHE

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

PAGINA 68 di 68



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.

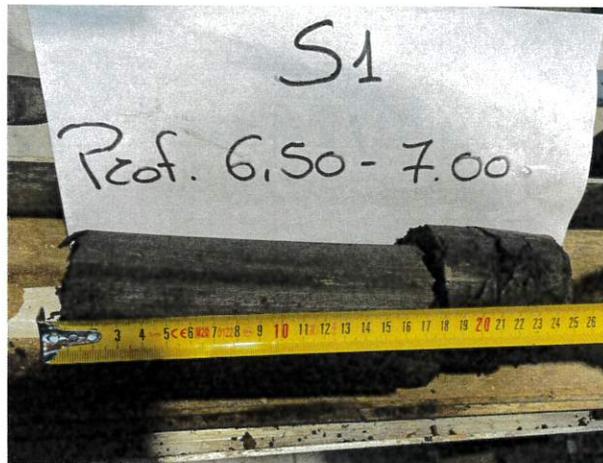
Coordinata N: - **Data Prelievo:** - **Data Inizio Prova:** 18/11/2024
Coordinata E: - **Data Consegna in Lab.:** 14/11/2024 **Data Fine Prova:** 18/11/2024

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 ²): | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|---|---|---|
| Resistenza (Kg/cm ²) | 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)".

Lo Sperimentatore
Geom. Rossella TRACCI
Rossella Tracchi

Il Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati
Dott. Geol. Remo MAROTTA
Remo Marotta

LABORATORIO DI GEOTECNICA
GAIA EMPRISE S.r.l.
E BITUMATI

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 ³) |
| 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 ³) | 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/cm ³) |
|--------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| Peso campione umido + tara | g | 279,62 | 282,23 | 283,33 | 1,907 |
| Peso tara | g | 144,23 | 144,58 | 144,46 | |
| Volume tara cm ³ | 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 ³) | 1,880 | 1,912 | 1,929 | 1,907 |
| Peso di Volume Secco | (g/cm ³) | 1,691 | 1,724 | 1,750 | 1,722 |
| Peso di Volume Saturo | (g/cm ³) | 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 EMPRISE s.r.l. - Sede: Via T. Morino 75-77 - Area Industriale 85058 - 0975 311388 - www.gaiaemprise.it; commerciale@gaiaemprise.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: 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 | 0,0621 | 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
Rossella Trallo



Il Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati
Dott. Geol. Remo MAROTTA
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: 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.

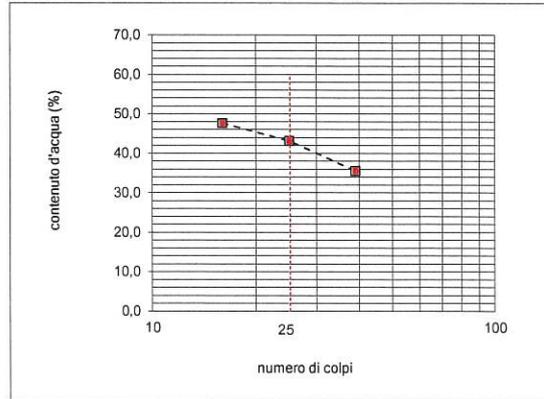
Coordinata N: - Data Prelievo: -
Coordinata E: - Data Consegna in Lab.: 14/11/2024

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

Risultato della Prova

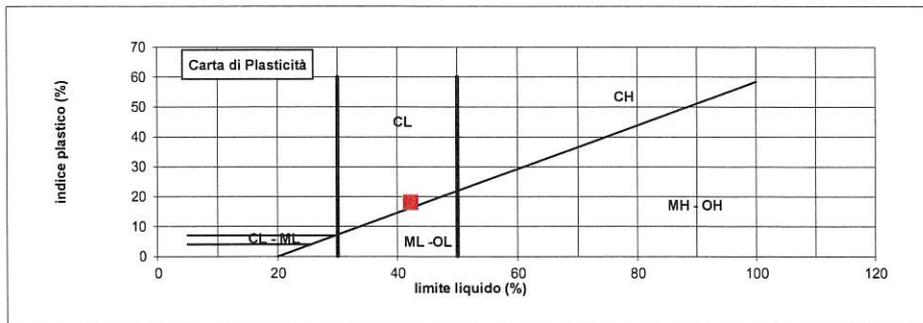
| Limite Liquido | | A | B | C |
|-------------------|---|-------|-------|-------|
| Numero tara | | | | 42,1 |
| Numero dei colpi | | 16 | 25 | 39 |
| P. umido + tara | g | 53,65 | 54,00 | 55,23 |
| P. secco + tara | g | 42,23 | 43,02 | 45,56 |
| Peso tara | g | 18,25 | 17,56 | 18,33 |
| Peso umido | 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 | | | | 24,0 |
| 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 Ip | 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

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

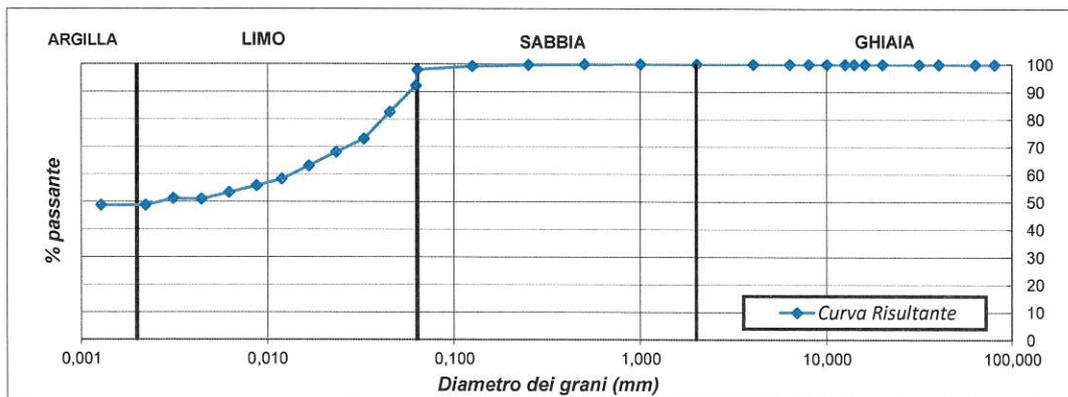
Tipologia di Materiale: ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'

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

Coordinata N: - Data Prelievo: -
Coordinata E: - 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



Verbale d'Accettazione N°: G0970/24 del 14/11/2024
Rapporto di Prova N°: S6525/24 del 06/12/2024

Richiedente: Carlo CORTESE (Amministratore Unico)

Committente: -
Impresa: -

Via Barcellona, 18 - 86021 Bojano (CB)
VOGHIERA

Lavoro:

Identificativo Campione: S1

6,50 - 7,00 mt

ARGILLA INORGANICA DI BASSA PLASTICITA'



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

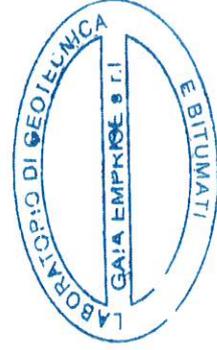
Tipo campione: INDISTURBATO
Tipo: CONSOLIDATA DRENATA

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (ASTM D3080 UNI CEN ISO-TS 17892-10)

| | |
|---|-------|
| Peso di Vol. Naturale Medio (g/cm ³): | 1,907 |
| Peso di Vol. Secco Medio (g/cm ³): | 1,722 |

| Provini | SFORZI, kN/m ² | T | Dati Regressione Lineare | | | Angolo Attrito, °DEG | Coesione, kN/m ² |
|---------|---------------------------|------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|
| | | | α | Coefficiente di Correlazione | Ordinata all' Origine | | |
| 1 | 50,0 | 46,1 | 0,997 | 0,433 | 23,4 | 25,2 | |
| 2 | 100,0 | 70,0 | | | | | |
| 3 | 150,0 | 89,4 | | | | | |

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

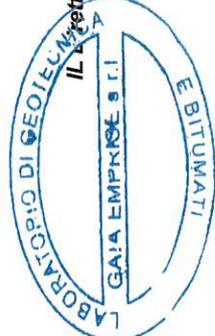
**COPIA CONFORME
ALL'ORIGINALE
GAIA Emprise S.r.l**

FASE DI RIOTTURA

| PROVINO n. | Lato fustella, mm | | SFORZO NORMALE, kN/mq: | | Altezza fustella, mm | | Velocità di taglio, mm/mn: | | Portaprovini n. | |
|--|----------------------------|-------------|------------------------|-------------|----------------------|-----------------|----------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| | Massa fustella+Campione, g | dopo h: | 60 | 50,0 | 20 | Portaprovini n. | Massa Campione, g | Consolidazione, % | 0,003 | A |
| Cedimenti a fine cons. mm Tempi, mn Spostamento orizzontale, mm Cella di Carico N Spostamento verticale, mm SFORZI di TAGLIO, kN/m ² | 0,745 | 24 | 24 | 19,255 | 19,255 | 19,255 | 19,255 | 963 | 989 | 3,87 |
| | 3,0 | 50 | 98 | 302 | 582 | 750 | 888 | 2,89 | 889 | 135,39 |
| | 0,009 | 0,15 | 0,29 | 0,55 | 1,27 | 1,75 | 2,25 | 2,66 | 2,97 | |
| | 2 | 8 | 22 | 30 | 66 | 90 | 121 | 150 | 166 | 160 |
| | 0,002 | 0,005 | 0,007 | 0,008 | 0,010 | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,016 | 0,018 |
| | 0,56 | 2,22 | 6,11 | 8,33 | 13,33 | 18,33 | 25,00 | 33,61 | 41,67 | 44,44 |

| PROVINO n. | Lato fustella, mm | | SFORZO NORMALE, kN/mq: | | Altezza fustella, mm | | Velocità di taglio, mm/mn: | | Portaprovini n. | |
|---|----------------------------|-------------|------------------------|-------------|----------------------|-----------------|----------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| | Massa Fustella+Campione, g | dopo h: | 60 | 100,0 | 20 | Portaprovini n. | Massa Campione, g | Consolidazione, % | 0,003 | B |
| Cedimenti a fine cons. mm Tempi, mn Spostamento orizzontale, mm Cella di Carico, N Spostamento verticale, mm SFORZI di TAGLIO, kN/m ² | 1,256 | 24 | 24 | 18,744 | 18,744 | 18,744 | 18,744 | 921 | 935 | 6,70 |
| | 3,0 | 22 | 50 | 280 | 425 | 555 | 700 | 806 | 806 | 137,65 |
| | 0,009 | 0,03 | 0,15 | 0,38 | 1,28 | 1,67 | 2,10 | 2,42 | 2,76 | 2,81 |
| | 4 | 12 | 33 | 45 | 121 | 165 | 200 | 222 | 252 | 240 |
| | 0,005 | 0,007 | 0,009 | 0,012 | 0,014 | 0,015 | 0,020 | 0,022 | 0,023 | 0,025 |
| | 1,11 | 3,33 | 6,11 | 9,17 | 12,50 | 23,61 | 33,61 | 45,83 | 55,56 | 66,67 |

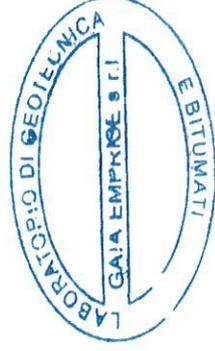
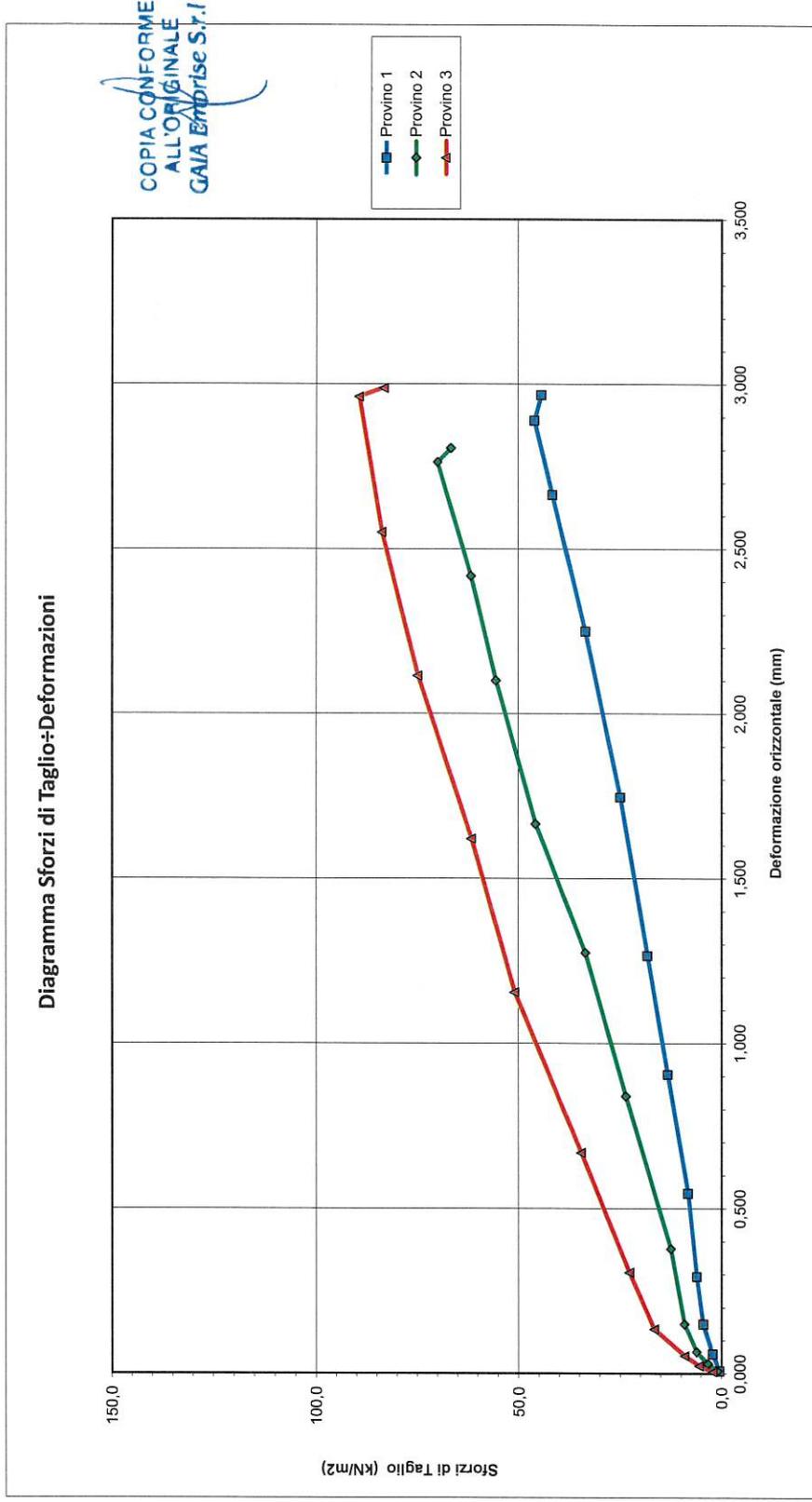
| PROVINO n. | Lato fustella, mm | | SFORZO NORMALE, kN/mq: | | Altezza fustella, mm | | Velocità di taglio, mm/mn: | | Portaprovini n. | |
|--|----------------------------|-------------|------------------------|--------------|----------------------|-----------------|----------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| | Massa Fustella+Campione, g | dopo h: | 60 | 150,0 | 20 | Portaprovini n. | Massa Campione, g | Consolidazione, % | 0,003 | C |
| Cedimenti a fine cons. mm Tempi, mn Spostamento orizzontale, mm Cella di Carico N Spostamento verticale, mm SFORZI di TAGLIO, kN/m ² | 2,002 | 24 | 24 | 17,998 | 17,998 | 17,998 | 17,998 | 987 | 996 | 11,12 |
| | 2,0 | 18 | 45 | 102 | 385 | 540 | 705 | 850 | 850 | 138,87 |
| | 0,006 | 0,02 | 0,05 | 0,14 | 0,67 | 1,16 | 1,62 | 2,12 | 2,55 | 2,99 |
| | 8 | 20 | 33 | 60 | 82 | 125 | 184 | 270 | 302 | 300 |
| | 0,007 | 0,010 | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,018 | 0,022 | 0,025 | 0,030 | 0,031 |
| | 2,22 | 5,56 | 9,17 | 16,67 | 22,78 | 34,72 | 51,11 | 61,67 | 75,00 | 83,33 |



Lo Sperimentatore
Geom. Rossella TRACI
Fossetto

IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati
Dot. Geol. Remo MAROTTA

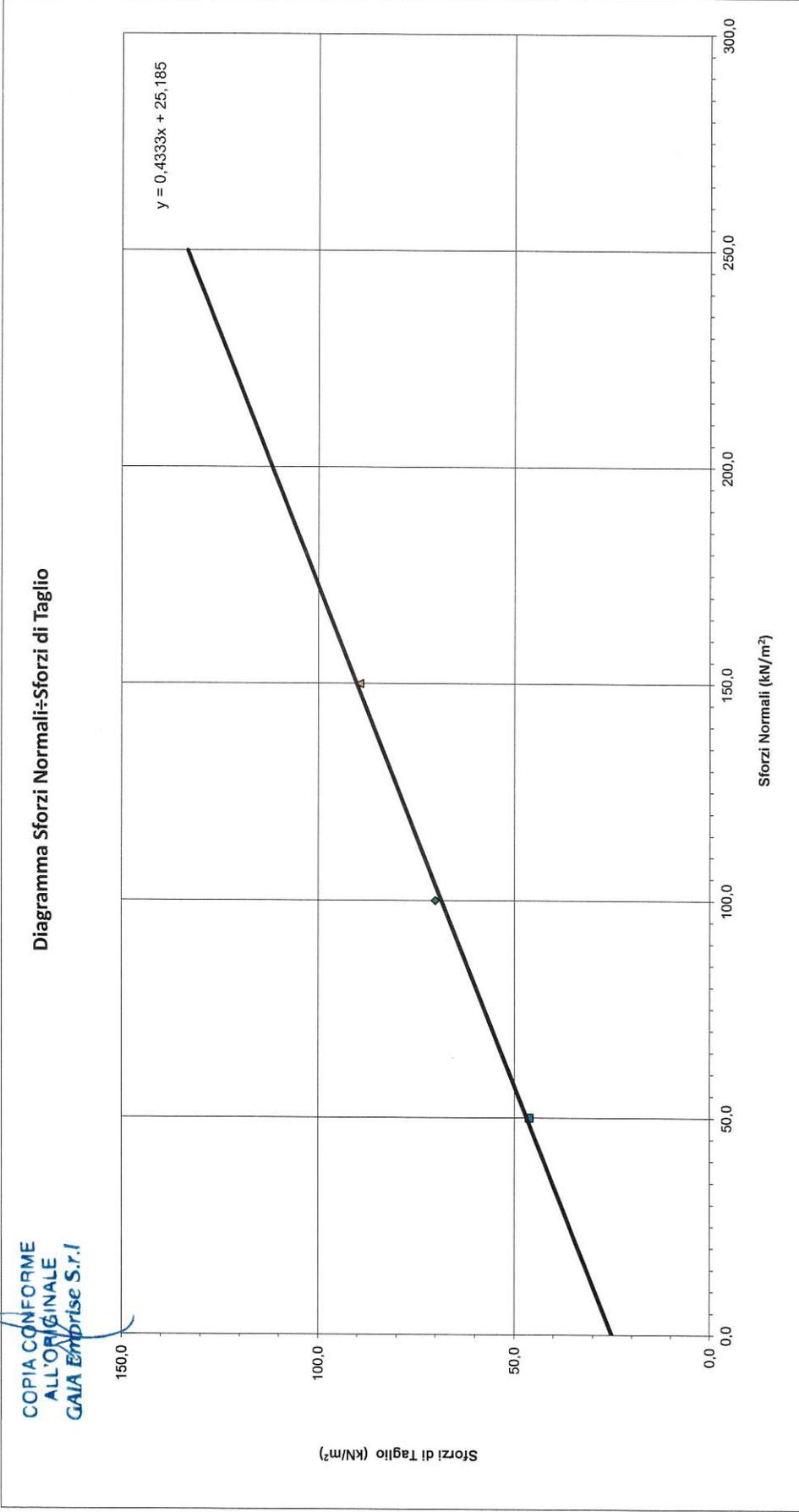
Rapporto di Prova N°: 56525/24 del 06/12/2024



Lo Sperimentatore
Geom. Rossella TRASSO
Fossette R.

IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati

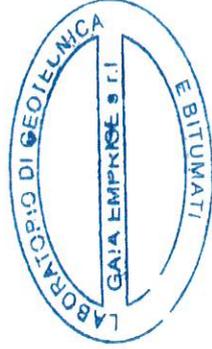
Dott. Geol. *Flem MAROTTA*



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

Lo Sperimentatore

Geom. Rossella TRACCI
Fossetto R.



IL Direttore del Laboratorio di Geotecnica e Bitumati

Dot. Geol. Remo MAROTTA

Remo Marotta

CERTIFICATI PROVE IN SITO



| Available versions | | |
|--------------------------|----------|---|
| DP Only | CPT Only | DP + CPT |
| ■ DPSH = DPH = DPM | ■ 200kN | ■ DPSH + 200 kN = DPH + 200 kN = DPM + 200 kN |
| Rotary head | | |

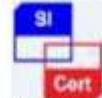
| Legend | |
|--------|----------|
| ■ | Standard |
| = | Optional |



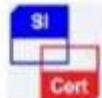
ATT. N. 11882/63/01



NUMERO PC: 0151-GEO-Q



NUMERO PC: 0151-GEO-E



NUMERO PC: 0151-GEO-H



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 SITO: 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

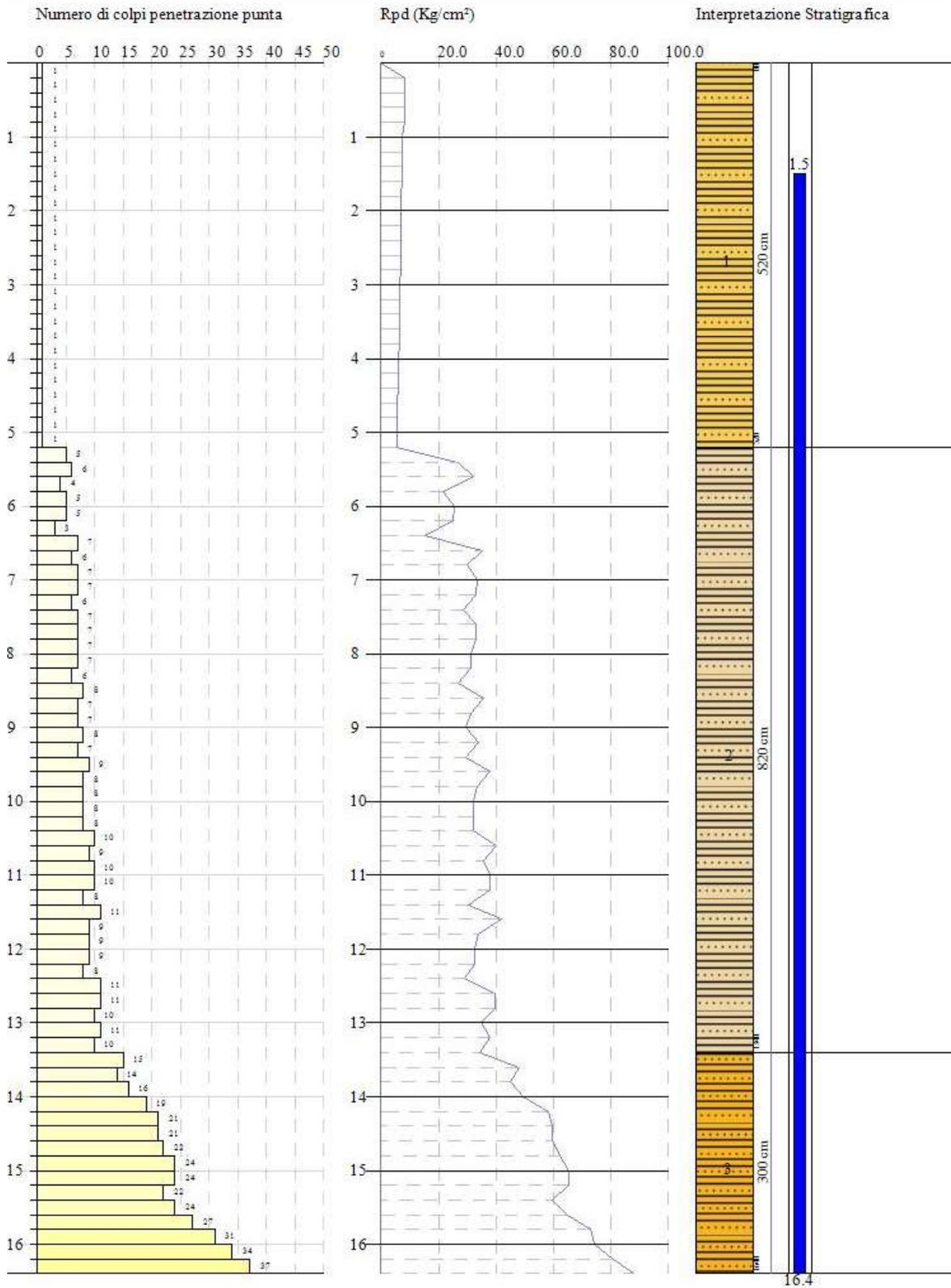
| Profondita' (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²) | Res. dinamica (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) |
|-----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 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 |

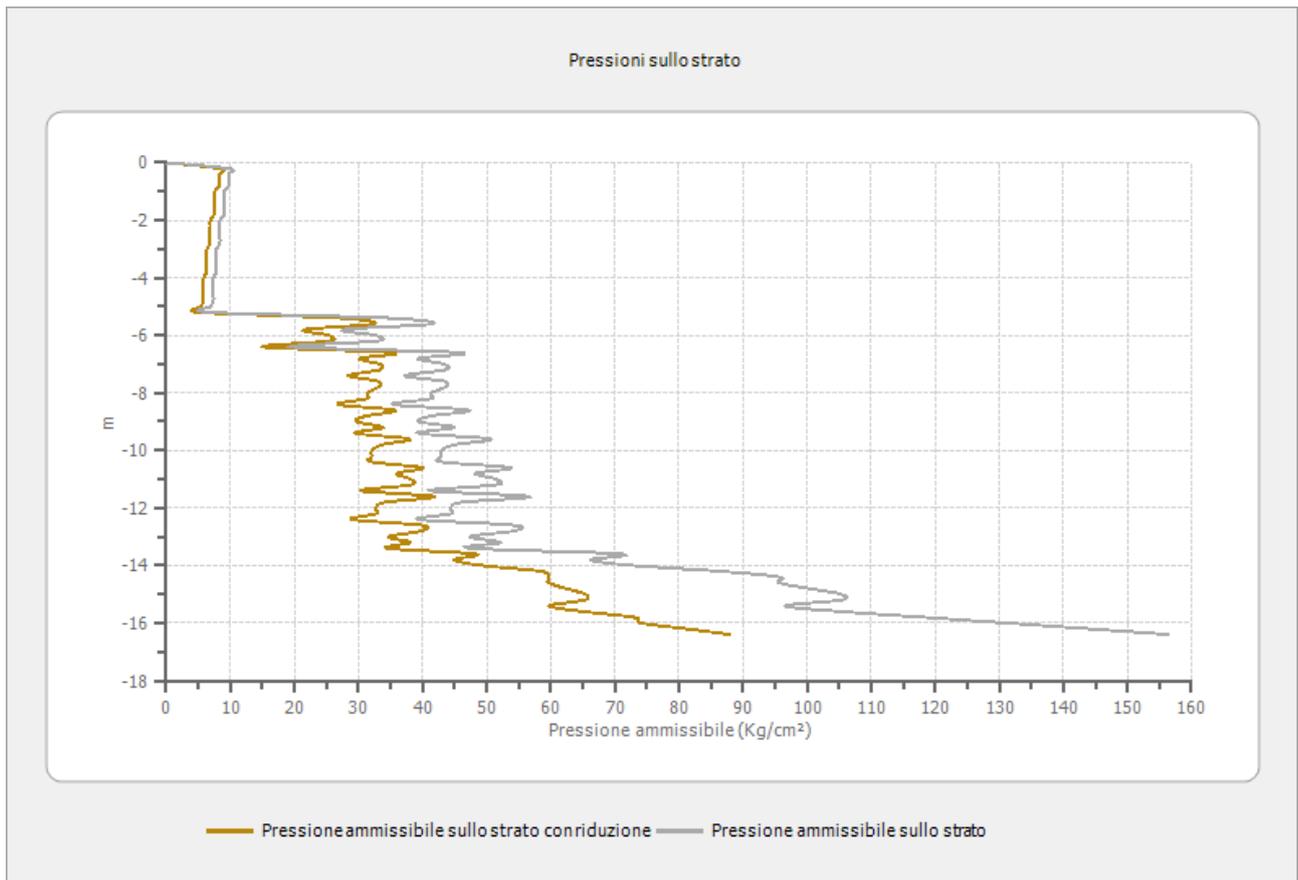
| | | | | | | |
|-------|----|-------|-------|--------|-------|--------|
| 7.20 | 7 | 0.766 | 33.24 | 43.42 | 33.24 | 43.42 |
| 7.40 | 6 | 0.764 | 28.44 | 37.21 | 28.44 | 37.21 |
| 7.60 | 7 | 0.763 | 33.11 | 43.42 | 33.11 | 43.42 |
| 7.80 | 7 | 0.761 | 33.05 | 43.42 | 33.05 | 43.42 |
| 8.00 | 7 | 0.760 | 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 ²) | Peso unità di volume (t/m ³) | Peso unità di volume saturo (t/m ³) | Angolo ϕ | Coefficiente spinta a Riposo K0 | Modulo di Poisson | Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²) | Mod. Edometrico E _{ed} (kg/cm ²) | Mod. Elastico di Young E _{el} (kg/cm ²) | Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²) |
|-------------------|---------|---|---|---|---------------|---------------------------------------|-------------------------|--|--|--|---|
| 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 ²) | Peso unità di volume (t/m ³) | Peso unità di volume saturo (t/m ³) | Angolo ϕ | Coefficiente spinta a Riposo K0 | Modulo di Poisson | Deformazione a taglio dinamico (Kg/cm ²) | Mod. Edometrico E _{ed} (kg/cm ²) | Mod. Elastico di Young E _{el} (kg/cm ²) | Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²) |
|-------------------|---------|---|---|---|---------------|---------------------------------------|-------------------------|--|--|--|---|
| 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

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNE di

VOGHIERA

(Provincia di FERRARA)



VOGHIERA-PV-001

Committenza: ICUBE DEVELOPMENT 16 SRL

ALLEGATO SISMICO



GEOSECURE
GEOLOGICAL & GEOPHYSICAL SERVICES

IL DIRETTORE TECNICO

GEOSECURE SRL

Il Direttore Tecnico
Geom. Giuseppe La Guardia

DATA: OTTOBRE 2024

Rev. 02

INDICE

| | | |
|---|---|---------|
| 1 | INTRODUZIONE GENERALE | PAG. 02 |
| 2 | INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE | PAG. 03 |
| | 2.1 TOMOGRAFIA SISMICA | PAG. 03 |
| | 2.2 MASW | PAG. 06 |
| 3 | RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO | PAG. 09 |
| | 3.1 TOMOGRAFIA SISMICA SS1 | PAG. 09 |
| | 3.2 MASW M1 | PAG. 13 |
| 4 | CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE | 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> |
|---|---|
| Delle intercette (o convenzionale) | 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° |
| Tomografico | 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 ν**), la **densità di massa ρ** 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.

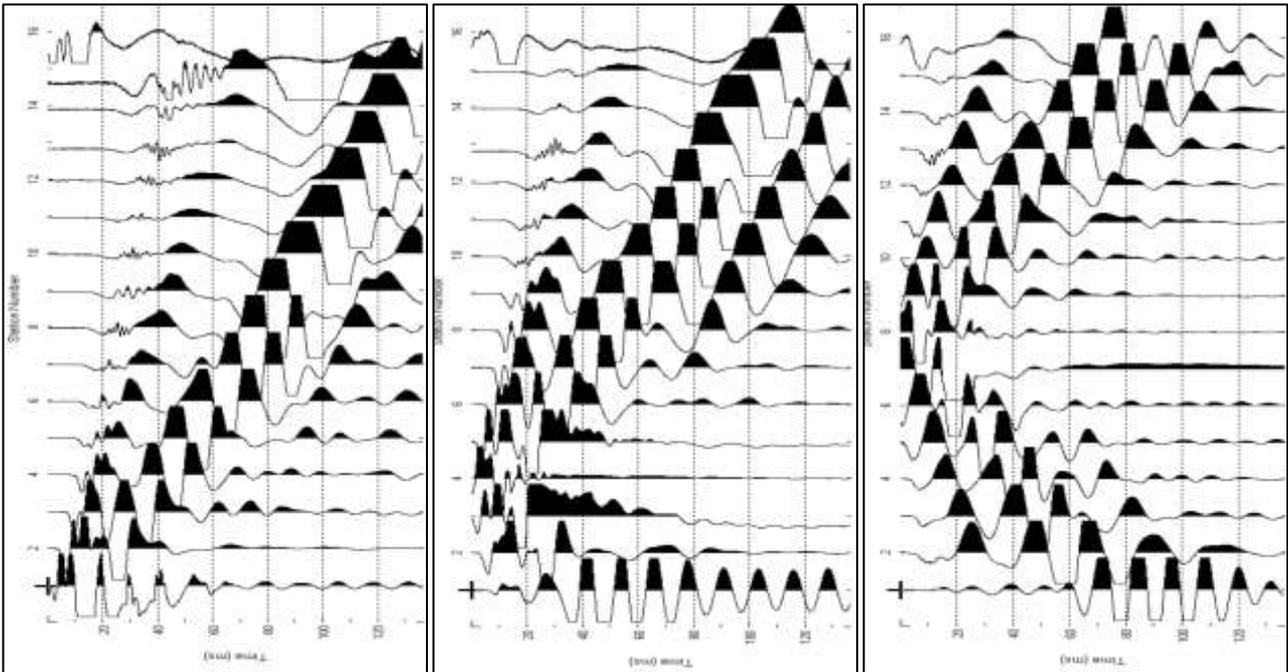


Fig. 5: sismogrammi dello Scoppio 1, 2 e 3 – SS1

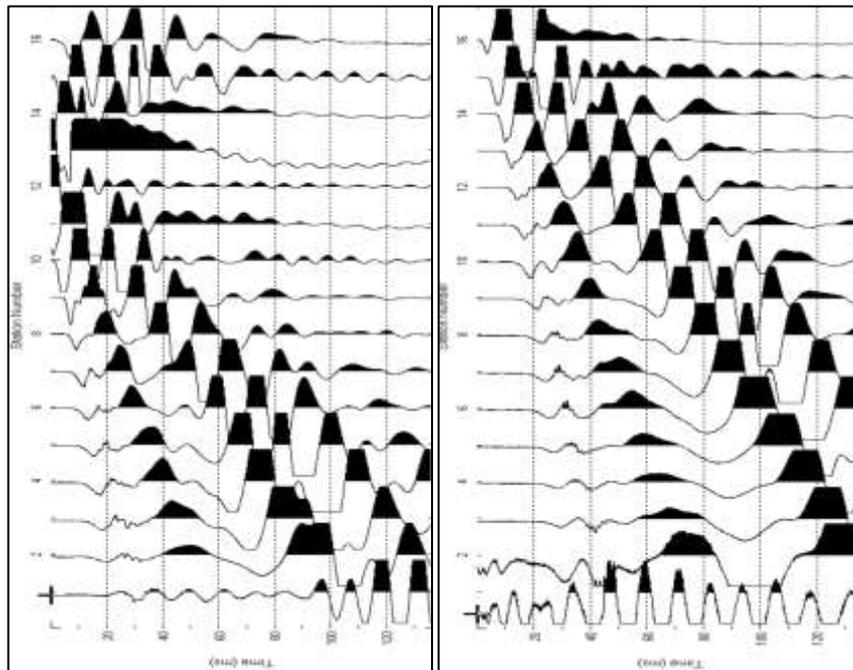


Fig. 6: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS1

| 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**.

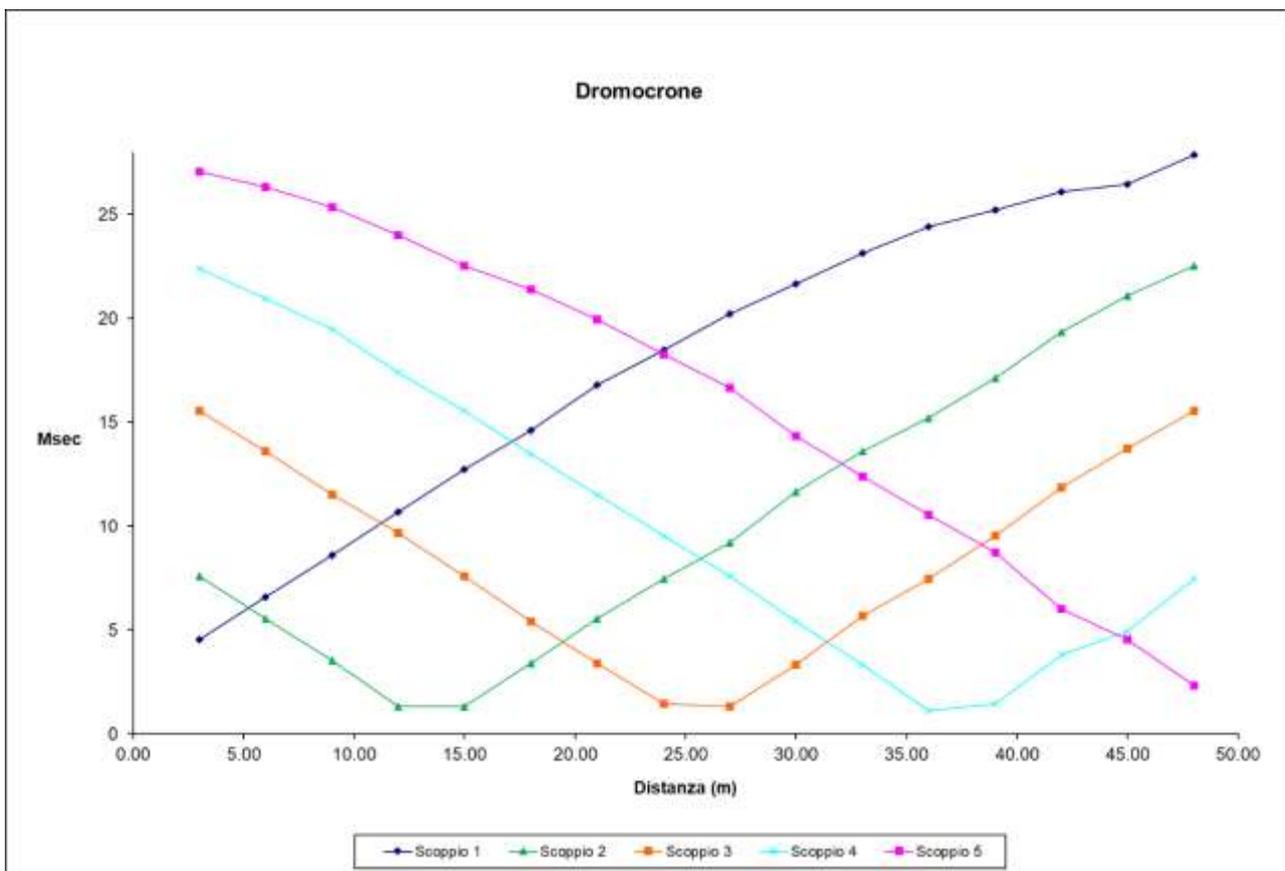


Fig. 8: dromocrone dei primi arrivi

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**.

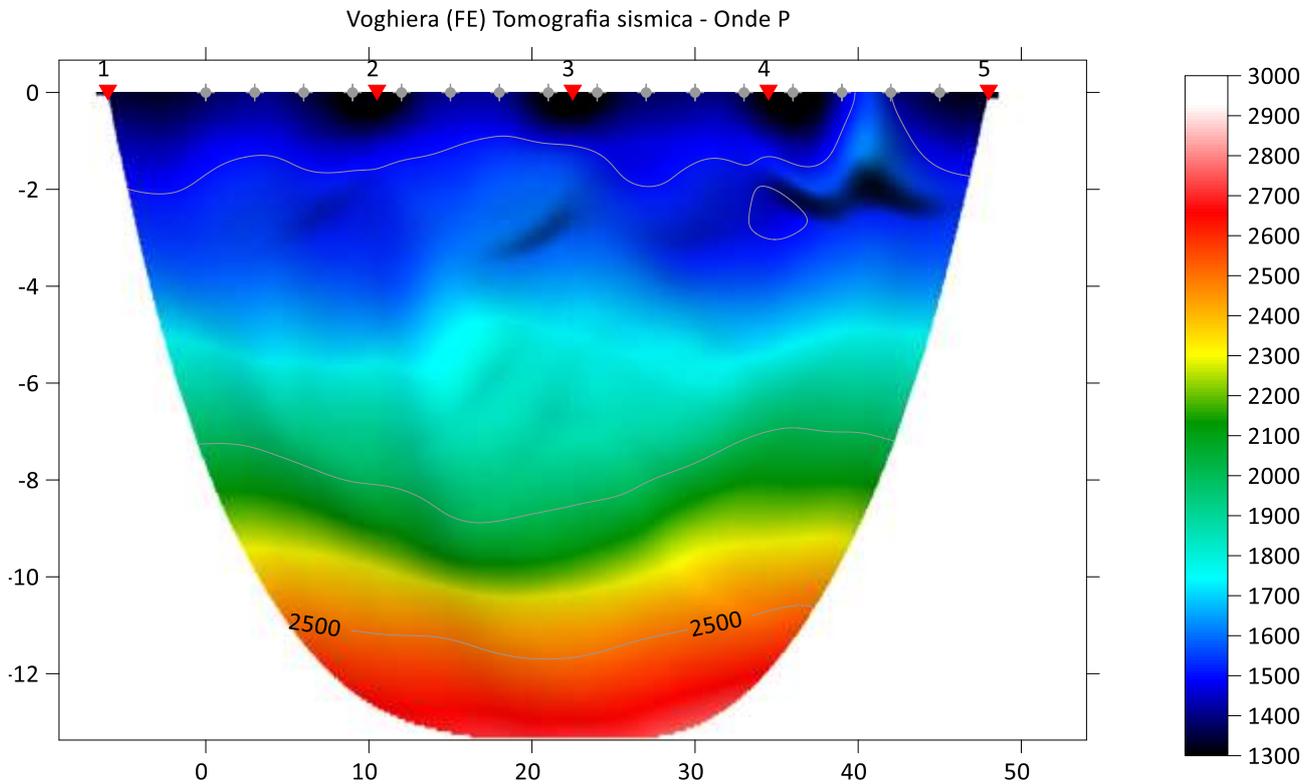


Fig. 9: tomografia sismica SS1



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.

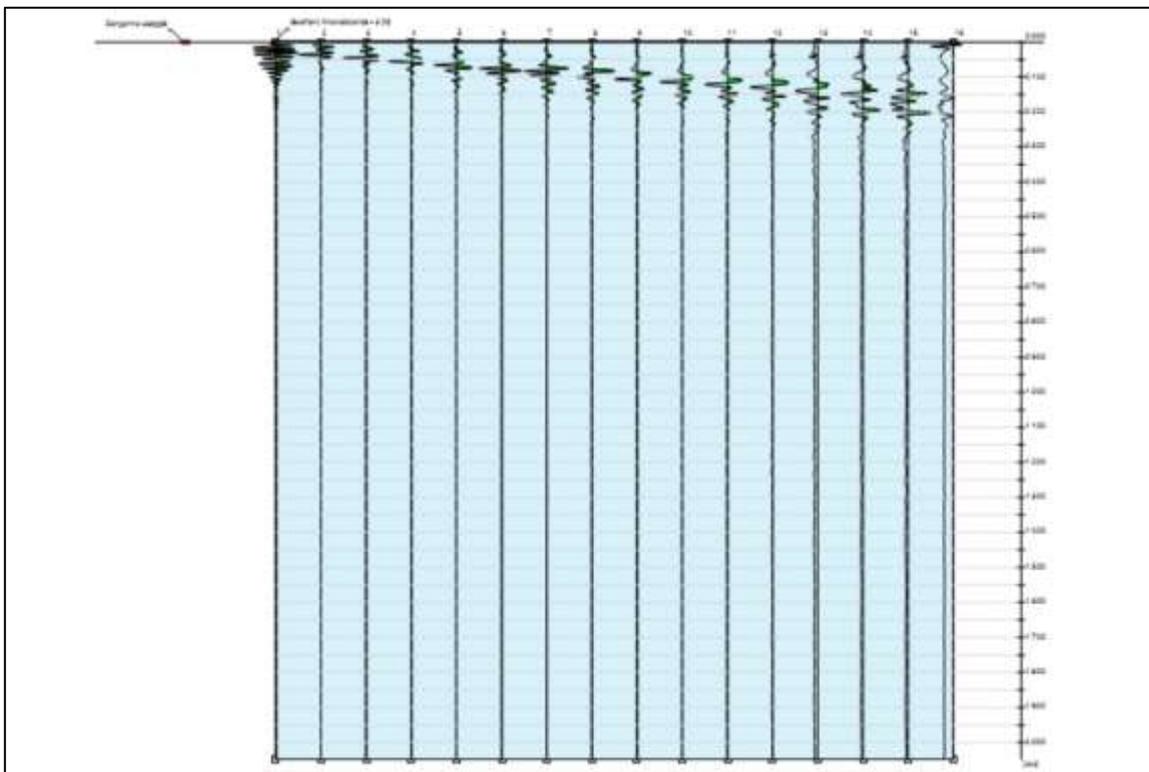


Fig.10: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M1

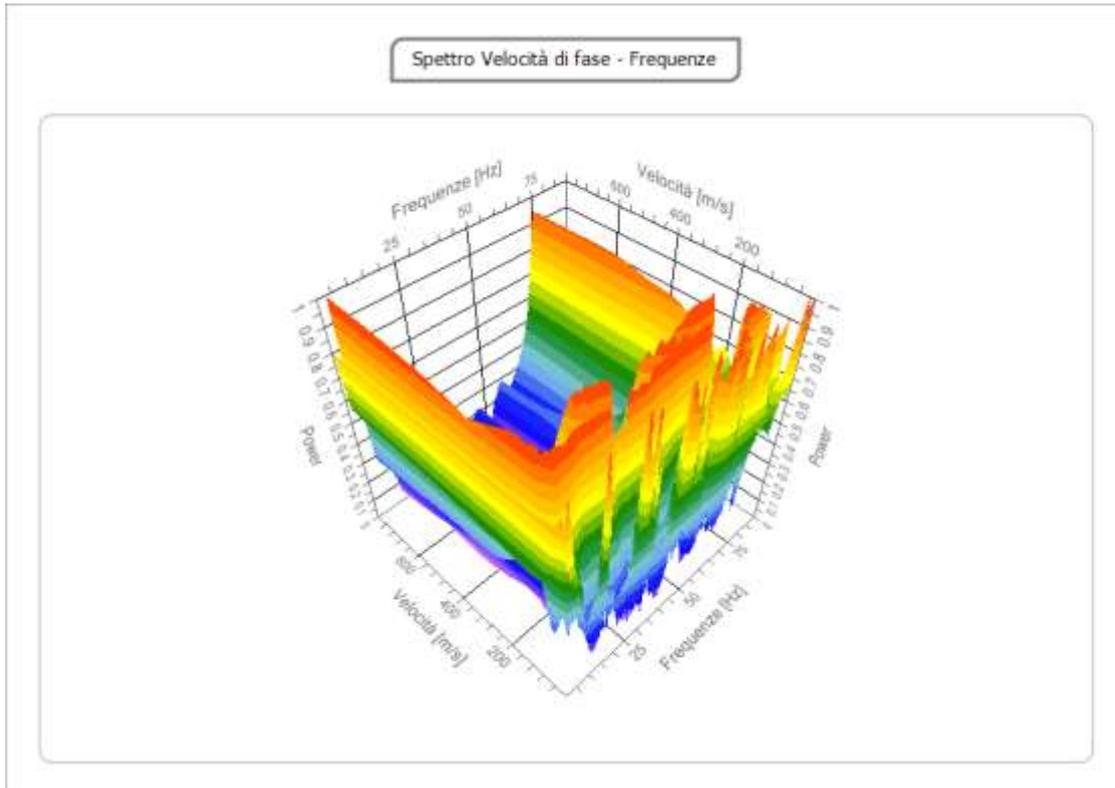


Fig. 11: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M1

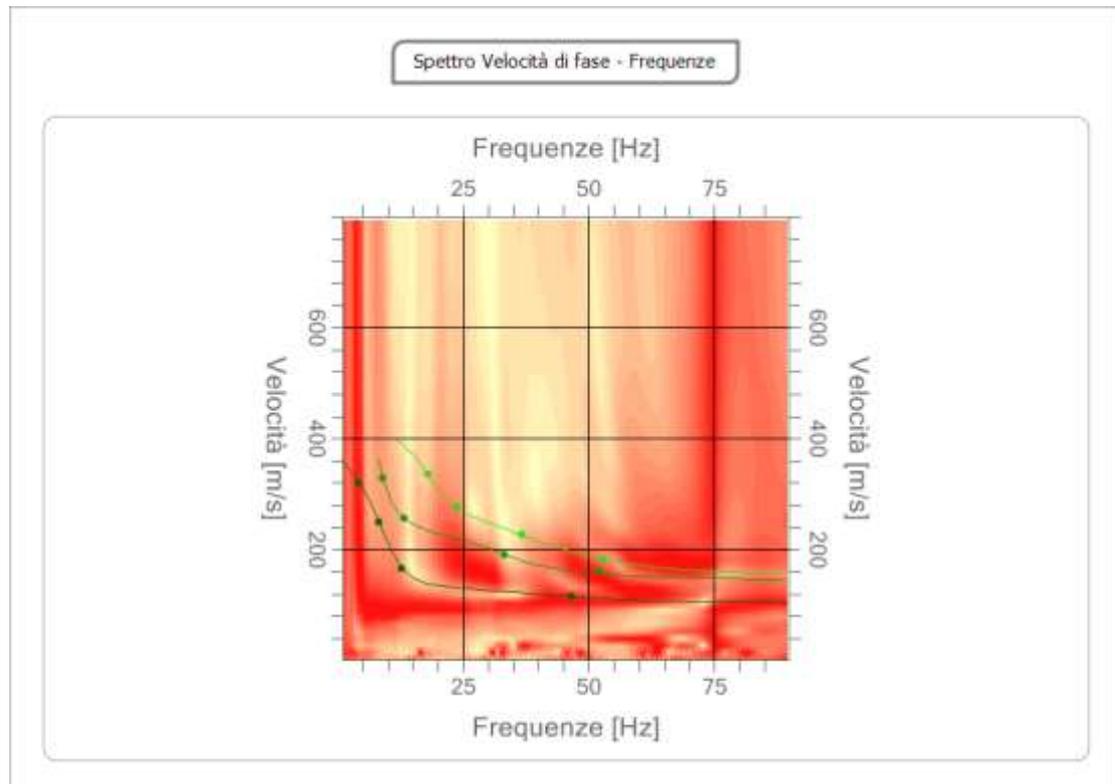


Fig. 12: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale M1

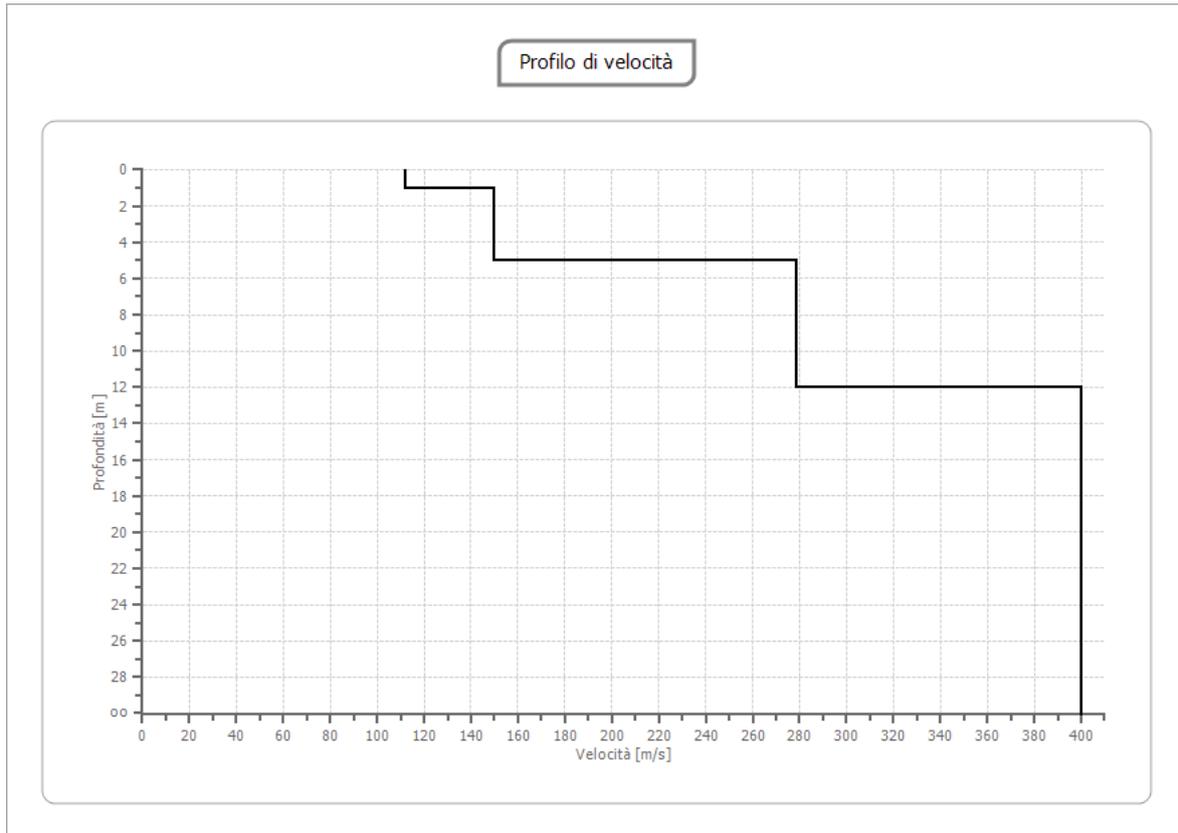


Fig. 13: profilo di velocità - profondità acquisito M1

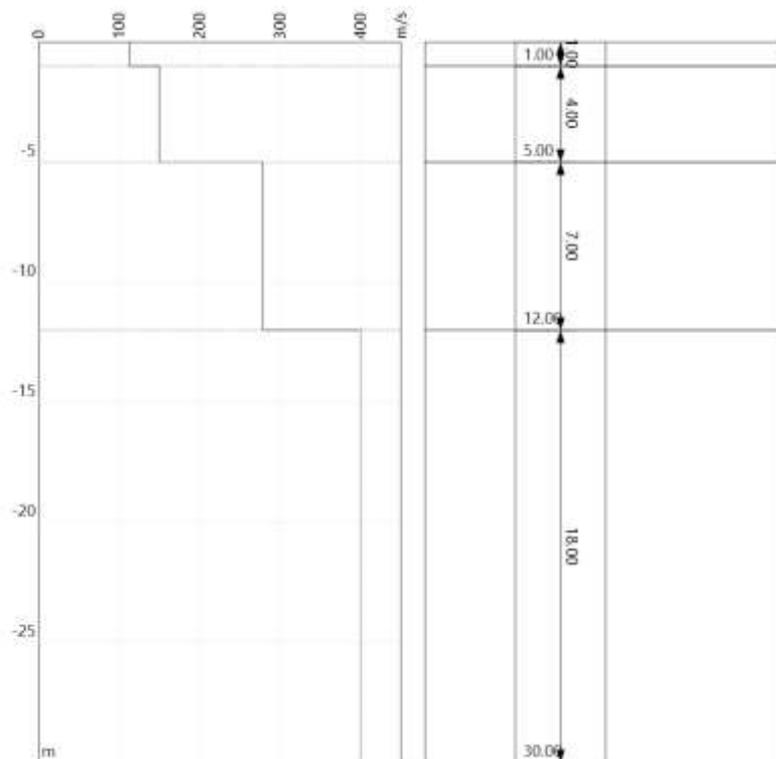


Fig. 14: andamento di Vs con la profondità - M1

| | |
|--|--------|
| 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_{seq}. 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_{seq}. 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 | <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> |
| 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 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_{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”.***

IL DIRETTORE TECNICO
Geom. Giuseppe La Guardia