

# COMUNE DI RIMINI - ACER RIMINI



Progettazione per l'attuazione del PIERS - programma integrato di edilizia residenziale sociale  
ex Questura a Rimini - PROGETTO DEFINITIVO

PROPRIETA':

Comune di Rimini

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

Arch. Filippo Govoni  
Arch. Federico Orsini

**QB Atelier**

via Renata di Francia 45, 44121 Ferrara  
info@qbatelier.it  
www.qbatelier.it

PROGETTAZIONE STRUTTURE

Ing. Enrico Pallara

PROGETTAZIONE IMPIANTI

Ing. Gustavo Bernagozzi

CONSEGNA

giugno 2023

CONTENUTI

GRUPPO

TAVOLA N.

Relazione Geotecnica

**RS**

**4**

|  |                         |                  |                 |
|--|-------------------------|------------------|-----------------|
| <b>RELAZIONE GEOTECNICA, RELAZIONE SISMICA,<br/>VERIFICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE</b> | data<br><b>APR 2023</b> | pag.<br><b>2</b> | di<br><b>37</b> |
|--|-------------------------|------------------|-----------------|

## Indice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Legislazione e normativa di riferimento.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2. Fonti bibliografiche e documentazione di riferimento .....</b>                              | <b>3</b>  |
| <b>3. Introduzione e indagini di riferimento .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>4. Definizione del profilo geotecnico di progetto .....</b>                                    | <b>6</b>  |
| <b>5. Caratterizzazione sismica del sito .....</b>  | <b>9</b>  |
| 5.1. Determinazione dei parametri di scuotimento del terreno .....                                | 9         |
| 5.2. Condizioni topografiche .....  | 10        |
| 5.2. Categoria di sottosuolo .....  | 10        |
| <b>6. Valutazioni effetti sismici di sito: verifica a liquefazione dei terreni .....</b>          | <b>12</b> |
| <b>7. Stima capacità portante fondazioni superficiali.....</b>                                    | <b>13</b> |
| 7.1. Calcolo della resistenza di progetto $R_d$ (SLU/SLV) .....                                   | 13        |
| 7.2. Geometria delle fondazioni e carichi – Blocco A.....   | 17        |
| 7.3. Geometria delle fondazioni e carichi – Blocco BC.....  | 22        |
| 7.4. Geometria delle fondazioni e carichi – Padiglione Polivalente .....                          | 27        |
| <b>8. Stima cedimenti fondazioni superficiali – Padiglione Polivalente .....</b>                  | <b>32</b> |
| 8.1. Calcolo dei cedimenti $E_d$ (SLE) .....  | 33        |
| <b>9. Progetto geotecnico allo SLE delle fondazioni profonde soggette a carichi assiali .....</b> | <b>34</b> |
| 9.1. Calcolo dei cedimenti (SLE) della palificata – Blocco A .....                                | 36        |
| 9.2. Calcolo dei cedimenti (SLE) della palificata – Blocco BC .....                               | 37        |

|  |                         |                  |                 |
|--|-------------------------|------------------|-----------------|
| <b>RELAZIONE GEOTECNICA, RELAZIONE SISMICA,<br/>VERIFICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE</b> | data<br><b>APR 2023</b> | pag.<br><b>3</b> | di<br><b>37</b> |
|--|-------------------------|------------------|-----------------|

## **1. Legislazione e normativa di riferimento**

Lo studio descritto nella presente relazione è stato condotto secondo i criteri consolidati della "meccanica delle terre", nel rispetto delle prescrizioni delle Leggi e delle Norme tecniche vigenti al momento della emissione del documento.

- D.M. 17 gennaio 2018 (pubb. Gazzetta Ufficiale del 20 febbraio 2018, n.42) Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- O.P.C.M. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche ed integrazioni
- UNI ENV 1997-1 (2006) Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI ENV 1997-2 (2007) Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- UNI ENV 1998-1 (2005) Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- UNI ENV 1998-5 (2005) Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- INGV Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il dipartimento della Protezione Civile. INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici
- L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio e sulla programmazione ed esecuzione delle indagini in sito, giugno 1990
- AGI: Linee Guida "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron, Bologna

## **2. Fonti bibliografiche e documentazione di riferimento**

- Lancellotta R., "Geotecnica" – Ed. Zanichelli, Bologna (1999);
- Atkinson J. "Geotecnica" – Ed. Mc Graw Hill, Milano (2000);
- Viggiani C., "Fondazioni" – Ed. Hevelius, Napoli (2000);
- Cestari F., "Prove Geotecniche in Sito" – Ed. Geo-Impianti, Segrate (2009);
- Froldi P., "Progettazione e relazione geotecnica secondo le NTC 2008 e gli Eurocodici" – Maggioli Editore, Rimini (2012);
- Associazione Laboratori Geotecnici Italiani, "Seminario di studi sulla caratterizzazione geotecnica dei terreni in relazione a problemi di ingegneria civile" – a cura di Piero Focardi, Firenze (2004);
- Robertson P.K. e Cabal K.L, "Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering" – Ed. Gregg Drilling & Testing, Signal Hill California (2010);
- P.K. Robertson & R.G. Campanella, "Interpretation of Cone Penetration Tests" – Canadian Geotechnical Journal Vol. 20, No. 4, Nov. 1983;
- R.G. Campanella & J.A. Howie, "Guidelines for the Use of Seismic Piezocone Test Data for Geotechnical Design" – University of British Columbia (2005).

### **3. Introduzione e indagini di riferimento**

Oggetto della presente relazione è la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dei terreni di fondazione sui quali si prevede di realizzare un nuovo fabbricato residenziale.

Nel presente documento sono descritte, in funzione delle prestazioni attese dell'opera da realizzare, i caratteri geologici del comparto territoriale in cui si trova l'area in esame, l'illustrazione del programma e dei risultati delle indagini geognostiche e geotecniche eseguite, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica e sismica del sottosuolo dell'area in esame, le verifiche geotecniche delle strutture di fondazione previste.

L'intervento di nuova costruzione sarà costituito da n.3 fabbricati distinti e strutturalmente indipendenti, descritti come segue:

- 1) un primo blocco residenziale (Blocco A), composto da n.5 piani fuori terra compreso piano seminterrato ospitante i garage, di dimensioni in pianta pari circa 18 x 28 m;
- 2) un secondo blocco residenziale (Blocco BC), composto da n.5 piani fuori terra compreso piano seminterrato ospitante i garage, di dimensioni in pianta pari circa 18 x 55 m;
- 3) un padiglione isolato composto da un solo piano fuori terra ospitante un ambiente polivalente comune ai due blocchi residenziali, di dimensioni in pianta pari circa 9 x 10 m.

Entrambi i blocchi residenziali presentano un piano terra di dimensioni maggiori rispetto ai piani superiori: per evitare l'irregolarità in pianta ed in altezza che si verrebbe a generare da tale configurazione architettonica, si prevede di realizzare una platea unica ma due strutture in elevazione separate, una a un solo piano e una a 5 piani di pianta rettangolare e costante dalla fondazione alla copertura.

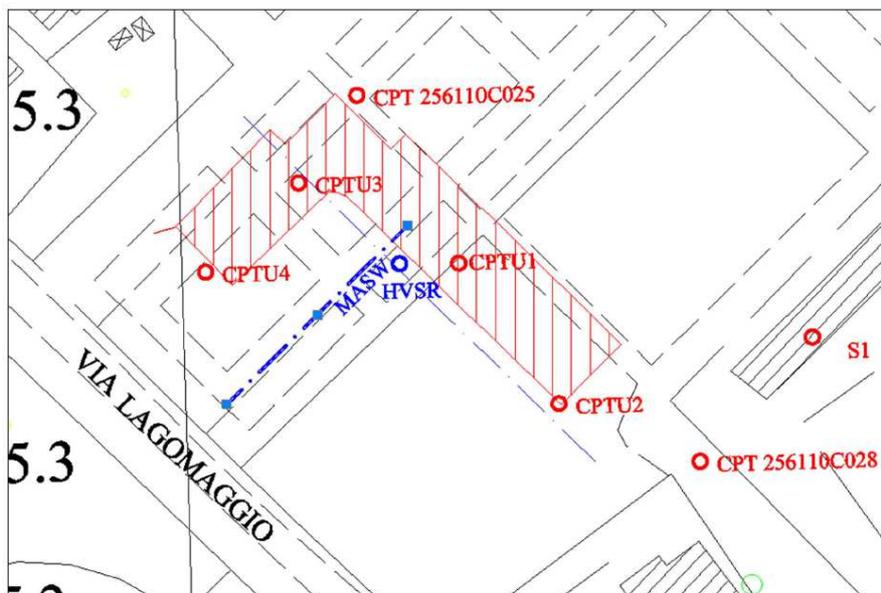
Le fondazioni dei fabbricati saranno superficiali a platea continua in c.a. di spessore pari a 70 cm per entrambi i blocchi residenziali (assottigliata a 35 cm per la sola parte sottostante la porzione ad un piano) e di spessore pari a 35 cm per il padiglione: per entrambi i blocchi residenziali si prevede l'utilizzo di pali trivellati L = 15 m e D = 60 cm con la sola finalità di riduzione del cedimento atteso.

Le strutture in elevazione dei due blocchi residenziali saranno interamente in c.a. realizzate con pilastri di sezione 40x60 cm e in parte con pareti continue di spessore pari a 30 cm in corrispondenza dei vani scale e ascensore. La porzione ad un piano fuori terra avrà invece pilastri di sezione 25x40 cm. Tutti i solai saranno realizzati con lastre prefabbricate tipo "predalles" con uno spessore finito pari a 28 cm (4+20+4 cm) e le travi in c.a. saranno tutte in spessore e per questo gettate assieme ai solai senza la necessità di utilizzare casseforme aggiuntive.

Le strutture in elevazione del padiglione polivalente saranno interamente in c.a. realizzate con pilastri di sezione 40x40 cm, il solaio di copertura sarà realizzato con lastre prefabbricate tipo "predalles" con uno spessore finito pari a 28 cm (4+20+4 cm) e le travi in c.a. saranno tutte in spessore e per questo gettate assieme al solaio senza la necessità di utilizzare casseforme aggiuntive.

Per le valutazioni geotecniche e sismiche discusse nel presente allegato si è fatto riferimento alle seguenti indagini effettuate in sito:

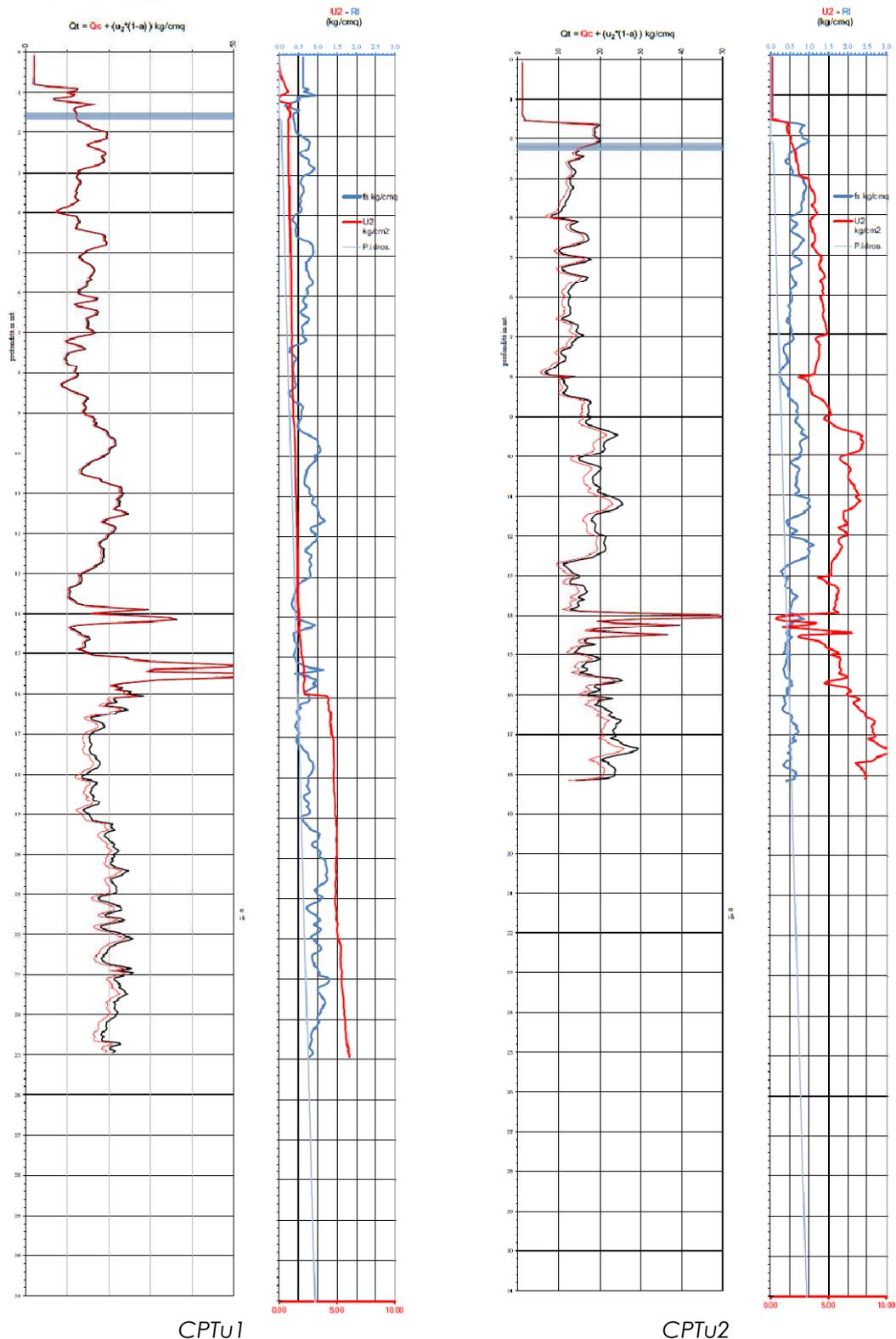
- n.4 prove prenetrometriche statiche CPTu spinte fino alla profondità di 30 m da p.c.;
- n° 1 misure tromografiche a stazione singola HVSR;
- n.1 indagine geofisica mediante prova in array con tecnica MASW.

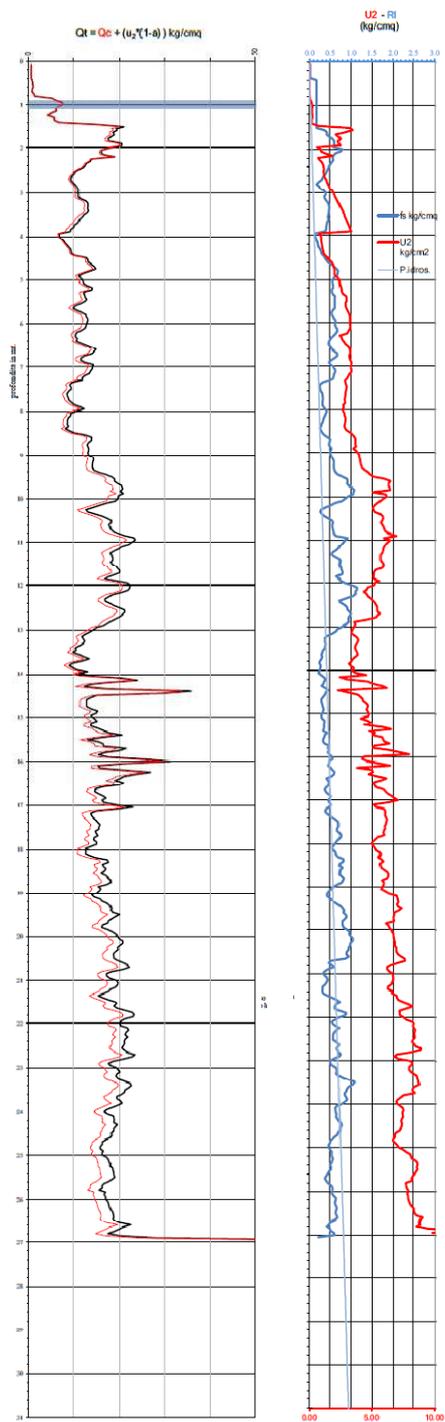


Per esaminare il dettaglio delle prove assunte come riferimento si veda la relazione geologica "RELAZIONE GEOLOGICA - INDAGINE GEOGNOSTICA" redatta dal Dott. Geol. Stefano Ronci.

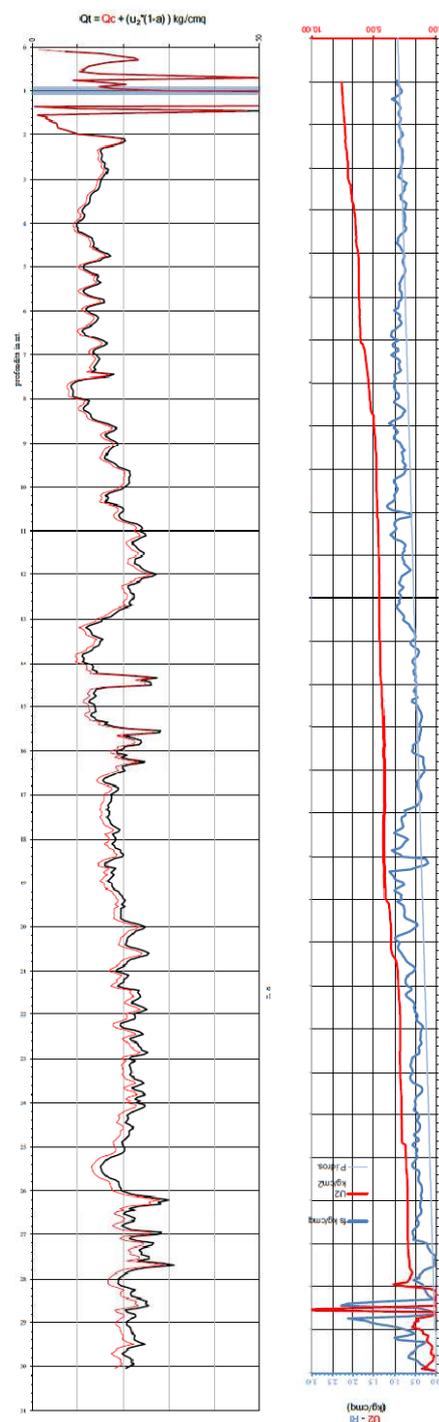
#### 4. Definizione del profilo geotecnico di progetto

Di seguito si riportano sono riportati i valori di resistenza alla punta  $q_c$ , di resistenza per attrito laterale  $R_L$  e di pressione neutra  $u$ , rilevati con la profondità rispettivamente misurati nella verticale analizzata.





CPTu3



CPTu4

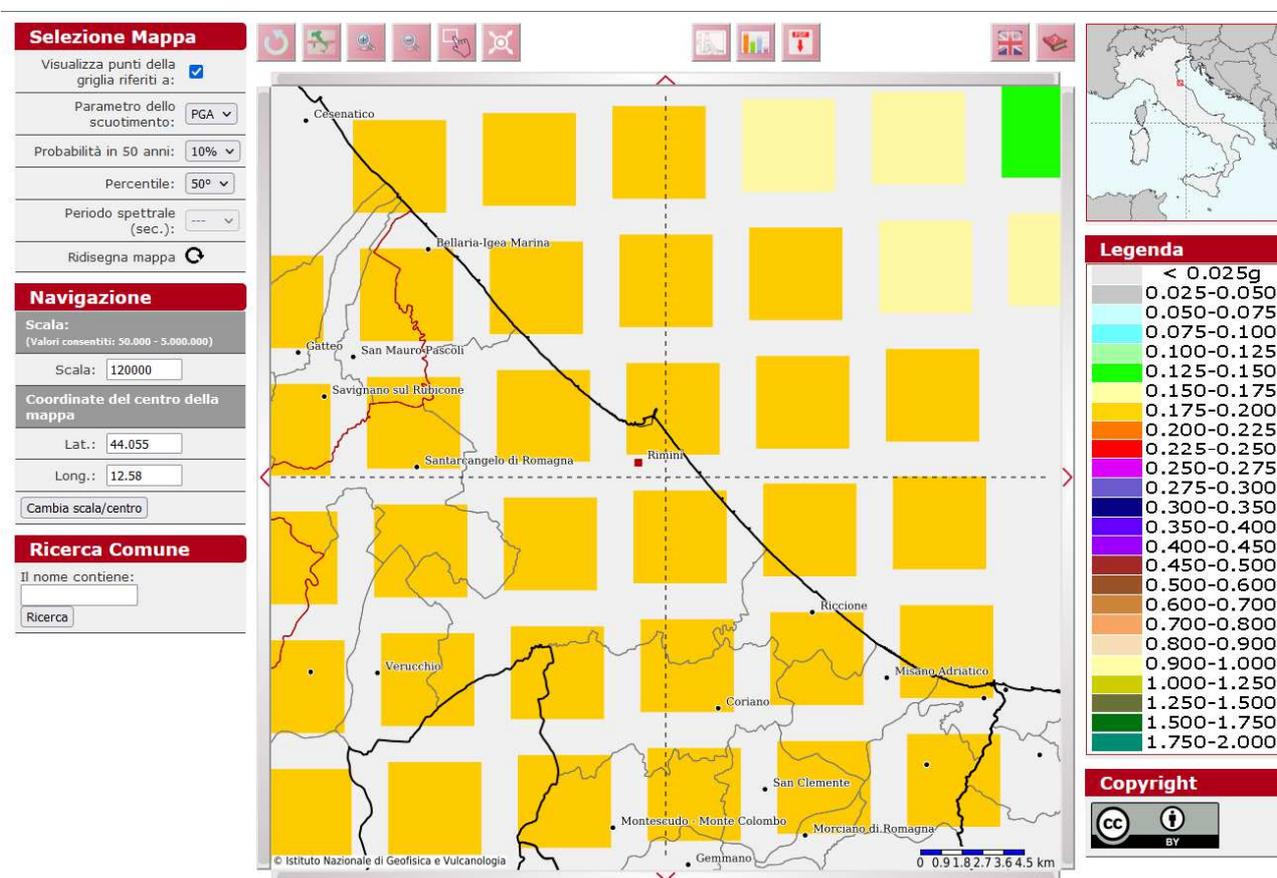
Nelle tabelle seguenti viene riportata la sequenza litologica di progetto desunta dalla stratigrafia.

| Unità | Litologia    | Prof. da p.c.<br>[m] | Spessore strato<br>[m] | Parametri geotecnici             |                       |                       |                  |                           |       |       |                |      |  |
|-------|--------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------|-------|-------|----------------|------|--|
|       |              |                      |                        | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | grana grossa          |                       |                  | grana fine                |       | M     | E <sub>u</sub> | G    |  |
|       |              |                      |                        | $\phi'_p$<br>[°]                 | $\phi'_{cv,k}$<br>[°] | D <sub>R</sub><br>[%] | $\phi'_k$<br>[°] | c <sub>u,k</sub><br>[kPa] | [MPa] | [MPa] | [MPa]          |      |  |
| 1     | RIMANEGGIATO | 0,0 - 1,5            | 1,5                    | 18                               | /                     | /                     | /                | /                         | /     | /     | /              | /    |  |
| 2     | AL/LA        | 1,5 - 8,5            | 7,0                    | 18                               | /                     | /                     | /                | 23                        | 58,6  | 4,6   | 32,0           | 10,7 |  |
| 3     | AL/LA        | 8,5 - 13,0           | 4,5                    | 18,5                             | /                     | /                     | /                | 24,5                      | 86,8  | 6,9   | 47,6           | 15,9 |  |
| 4     | AL           | 13,0 - 15,0          | 2,0                    | 18                               | /                     | /                     | /                | 20                        | 57,7  | 5,1   | 33,3           | 11,1 |  |
| 5     | AL           | 15,0 - 30,0          | 15,0                   | 18,5                             | /                     | /                     | /                | 20                        | 88,2  | 7,4   | 48,6           | 16,2 |  |

## 5. Caratterizzazione sismica del sito

### 5.1. Determinazione dei parametri di scuotimento del terreno

Il D.M. 17/01/2018 ha adottato la suddivisione in sottozone caratterizzate da valori intervallati ogni 0,025g. Tale suddivisione corrisponde alla mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV (2004). In accordo al D.M. 17/01/2018 l'accelerazione del sito d'interesse può essere ricavata per interpolazione dei valori del reticolo di riferimento utilizzando i valori di latitudine e longitudine corrispondenti. Si riporta, con finalità illustrative, la mappa di accelerazione dell'area in esame per livello di probabilità di rischio pari a 10% e tempo di ritorno di 50 anni dell'evento atteso. Il valore preciso è descritto poi nel proseguo del paragrafo dalle elaborazioni effettuate in funzione delle coordinate geografiche.



*Definizione della accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi per il sito oggetto dell'intervento (INGV)*

Di seguito vengono riportati i parametri sismici corrispondenti al sito indagato in base alle corrispondenti coordinate geografiche.

Sito in esame.

latitudine: 44,055074

longitudine: 12,579655

Classe: 2

Vita nominale: 50

*Siti di riferimento*

Sito 1 ID: 18967 Lat: 44,0309 Lon: 12,5167 Distanza: 5707,350  
 Sito 2 ID: 18968 Lat: 44,0314 Lon: 12,5862 Distanza: 2680,322  
 Sito 3 ID: 18746 Lat: 44,0814 Lon: 12,5854 Distanza: 2966,751  
 Sito 4 ID: 18745 Lat: 44,0809 Lon: 12,5159 Distanza: 5842,491

*Parametri sismici*

Periodo di riferimento: 50anni  
 Coefficiente cu: 1

*Operatività (SLO):*

Probabilità di superamento: 81 %  
 Tr: 30 [anni]  
 ag: 0,050 g  
 Fo: 2,437  
 Tc\*: 0,272 [s]

*Danno (SLD):*

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 50 [anni]  
 ag: 0,065 g  
 Fo: 2,521  
 Tc\*: 0,277 [s]

*Salvaguardia della vita (SLV):*

Probabilità di superamento: 10 %  
 Tr: 475 [anni]  
 ag: 0,183 g  
 Fo: 2,488  
 Tc\*: 0,296 [s]

*Prevenzione dal collasso (SLC):*

Probabilità di superamento: 5 %  
 Tr: 975 [anni]  
 ag: 0,238 g  
 Fo: 2,523  
 Tc\*: 0,310 [s]

**5.2. Condizioni topografiche**

Per quanto riguarda la classificazione dell'area in riferimento alle condizioni topografiche, come appare evidente dalle immagini riportate nella presente relazione, l'area è in "**CATEGORIA T1**".

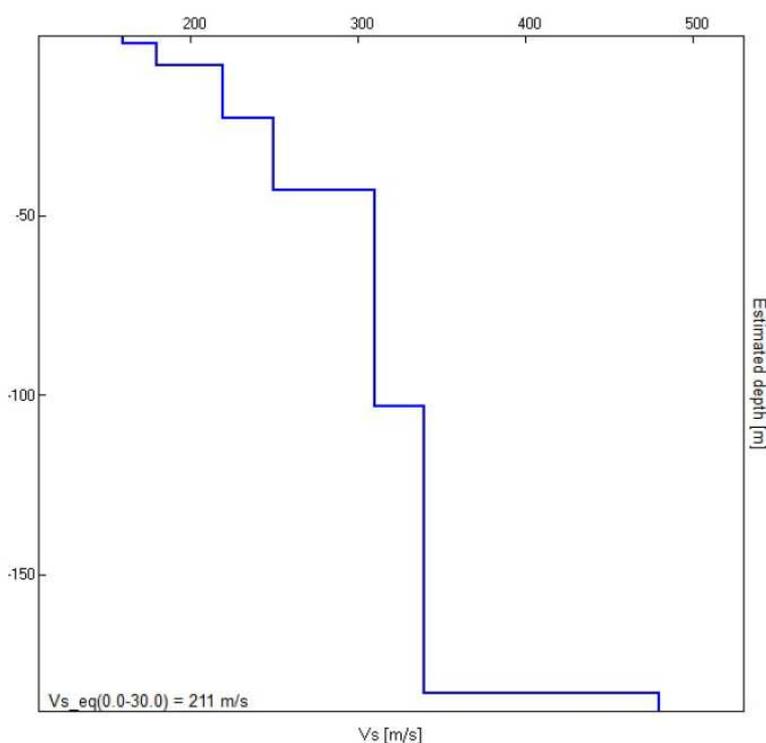
**5.2. Categoria di sottosuolo**

Ai fini del progetto dell'opera in condizioni sismiche è indispensabile definire l'effetto della risposta sismica locale mediante un'analisi specifica. In assenza di tali analisi per la

definizione della azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, proposto dalla vigente normativa tecnica, che si basa sulla individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (tab. 3.2.II, 3.2.III). La normativa, facendo salva la necessità di caratterizzare il "volume significativo" per le caratteristiche del progetto che si sta effettuando, ai fini della identificazione della categoria del sottosuolo impone che essa si effettui in base ai valori della "velocità equivalente  $V_{s,30}$ " di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità, considerando tale profondità a partire dalla quota di imposta delle fondazioni dirette o dalla testa dei pali di fondazione.

Allo scopo di creare un modello sismico del sito, è stata eseguita l'inversione delle curve H/V mirando a far corrispondere le frequenze dei picchi principali e la forma generale della curva (tecnica del "best fit").

In base ai risultati ottenuti, il valore medio di  $V_{s,30}$  è risultato pari a:  $V_{s,30} = 211 \text{ m/s}$



Essendo il valore di  $180 < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$ , il sito è da classificare come "**CATEGORIA C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di 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 e 360 m/s."

I coefficienti sismici per la progettazione risultano pertanto i seguenti:

SLO:

Ss: 1,500  
Cc: 1,610  
St: 1,000

|  |                         |                   |                 |
|--|-------------------------|-------------------|-----------------|
| <b>RELAZIONE GEOTECNICA, RELAZIONE SISMICA,<br/>VERIFICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE</b> | data<br><b>APR 2023</b> | pag.<br><b>12</b> | di<br><b>37</b> |
|--|-------------------------|-------------------|-----------------|

Kh: 0,015  
 Kv: 0,007  
 Amax: 0,729  
 Beta: 0,200  
 SLD:  
 Ss: 1,500  
 Cc: 1,600  
 St: 1,000  
 Kh: 0,019  
 Kv: 0,010  
 Amax: 0,949  
 Beta: 0,200  
 SLV:  
 Ss: 1,430  
 Cc: 1,570  
 St: 1,000  
 Kh: 0,063  
 Kv: 0,031  
 Amax: 2,573  
 Beta: 0,240  
 SLC:  
 Ss: 1,340  
 Cc: 1,540  
 St: 1,000  
 Kh: 0,089  
 Kv: 0,045  
 Amax: 3,129  
 Beta: 0,280

## **6. Valutazioni effetti sismici di sito: verifica a liquefazione dei terreni**

Il sottosuolo dell'area in oggetto è caratterizzato , per la profondità indagata, dalla sostanziale assenza di terreni granulari, per cui non si riscontra la possibilità che si inneschino fenomeni di liquefazione dei terreni durante un evento sismico.

A tale proposito si vedano le considerazioni contenute al §5.4 della Relazione Geologica.

## 7. Stima capacità portante fondazioni superficiali

I fabbricati in oggetto hanno una conformazione geometrica in pianta assimilabile ad un rettangolo, sono concepiti strutturalmente come strutture a telaio in c.a., hanno uno sviluppo altimetrico in parte a un piano e in parte a cinque piani fuori terra e non sono dotati di piani interrati ma solo di un piano parzialmente seminterrato.

I carichi gravitazionali statici in gioco sono limitati e le azioni orizzontali sono dovute principalmente al sisma.

Le fondazioni dei fabbricati saranno superficiali a platea continua in c.a. di spessore pari a 70 cm per entrabi i blocchi residenziali (assottigliata a 35 cm per la sola parte sottostante la porzione ad un piano) e di spessore pari a 35 cm per il padiglione: per entrambi i blocchi residenziali si prevede l'utilizzo di pali trivellati L = 15 m e D = 60 cm con la sola finalità di riduzione del cedimento atteso.

### **7.1. Calcolo della resistenza di progetto $R_d$ (SLU/SLV)**

Il calcolo della capacità portante ( $R_d$  allo SLU) della fondazione, è condotto facendo riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

La verifica delle condizioni di sicurezza nei confronti dello Stato Limite Ultimo consiste nell'analisi del rispetto della condizione  $E_d \leq R_d$ , secondo l'Approccio 2 previsto dalla Norma.

Come è noto la resistenza è espressa in funzione dei parametri geotecnici di progetto e della geometria di progetto. Nella formulazione della resistenza  $R_d$  compare altresì un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema. La verifica della condizione  $E_d \leq R_d$  sarà effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1), per i parametri geotecnici (M1) e per le resistenze (R3).

Nel caso delle fondazioni superficiali, le NTC 2018 richiedono di verificare la capacità portante del sistema terreno-fondazione utilizzando unicamente l'Approccio 2: l'Approccio 2 prevede una sola combinazione di carico (A1+M1+R3), in cui sono amplificate le azioni e imposto un coefficiente di sicurezza globale  $\gamma_R$  maggiore rispetto all'approccio 1.

Si calcolano, in questo modo, l'azione di progetto  $E_d$  e la resistenza di progetto  $R_d$ , che sono già affette dai coefficienti di sicurezza parziali, per cui la verifica impone semplicemente che sia soddisfatta la disuguaglianza  $E_d \leq R_d$ .

Il calcolo è stato effettuato applicando una media pesata dei parametri di resistenza meccanici dei terreni coinvolti nella potenziale superficie di rottura.

La verifica della fondazione nei confronti del raggiungimento di stati limite ultimo nelle situazioni GEO previste dall'Eurocodice 7 (2004) è stata condotta sia in condizioni non drenate (verifica a breve termine) che sismiche.

Per il calcolo del carico limite  $q_{lim}$ , si applica la formula di Brinch-Hansen (1970) con i relativi fattori correttivi:

$$q_{lim} = c N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q + \frac{1}{2} \gamma B^i N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

dove:

$N_c, N_q, N_\gamma$  = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito  $\phi'$ ;

$s_c, s_q, s_\gamma$  = fattori di forma della fondazione;

$d_c, d_q, d_\gamma$  = fattori di profondità del piano di posa;

$i_c, i_q, i_\gamma$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;  
 $b_c, b_q, b_\gamma$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;  
 $g_c, g_q, g_\gamma$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;

In particolare l'espressione analitica, compresa dei vari fattori correttivi, per il calcolo della capacità portante utilizzata è la seguente:

#### Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove  $V_d$  è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre  $R_d$  è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto  $R_d$  si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$  area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

$c_u$  Coesione non drenata.

$q$  pressione litostatica totale sul piano di posa.

$s_c$  Fattore di forma

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L') \quad \text{per fondazioni rettangolari}$$

$$s_c = 1,2 \quad \text{Per fondazioni quadrate o circolari.}$$

$i_c$  Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico  $H$ .

$$i_c = 0,5 \left( 1 + \sqrt{1 - H/A' c_u} \right)$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 (45 + \phi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi'$$

#### Fattori di forma

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \sin \phi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0,7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$  per forma rettangolare, quadrata o circolare.

**Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a L'**

$$i_q = i_g = 1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

**Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'**

$$i_q = [1 - 0,7H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^3$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^3$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

**Fattore di profondità:**

$$d'_c = 0,4k$$

$$d_c = 1 + 0,4k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi) k$$

$$d_\gamma = 1 \text{ per qualsiasi } \varphi$$

$$k = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \tan^{-1} \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} > 1$$

**Fattori di inclinazione del terreno (fondazione su pendio):**

$$g'_c = \frac{\beta}{147}$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0,5 \tan \beta)^5$$

**Fattori di inclinazione del piano di fondazione (base inclinata)**

$$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = \exp(-2\eta \tan \varphi)$$

$$b_\gamma = \exp(-2,7\eta \tan \varphi)$$

**FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER**

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del  $q_{lim}$  vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{tg\phi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_\gamma = z_q$$

Dove  $k_h$  è il coefficiente sismico orizzontale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2018** calcolano i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta \times (a_{\max}/g)$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

$\beta$  = coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0,90 \leq S_S \leq 1,80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica) per fondazioni in prossimità di pendii.

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1 (S_T = 1,0) \quad T2 (S_T = 1,20) \quad T3 (S_T = 1,20) \quad T4 (S_T = 1,40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $PVR$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$k_h = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

$S$ : soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

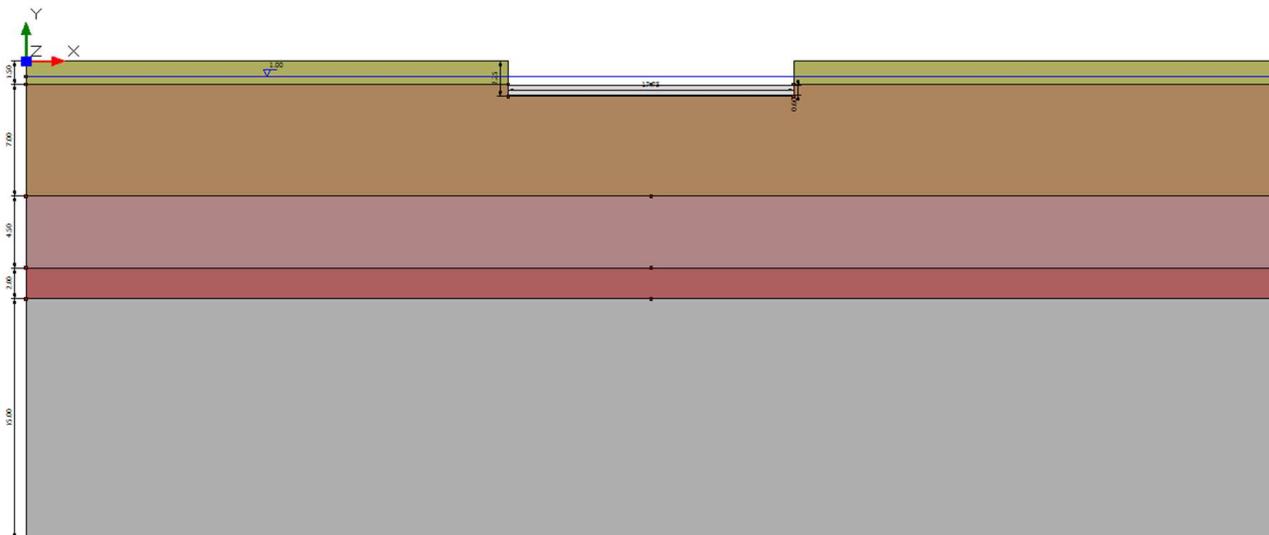
è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $k_v$  è definito in funzione di  $k_h$ , e vale:

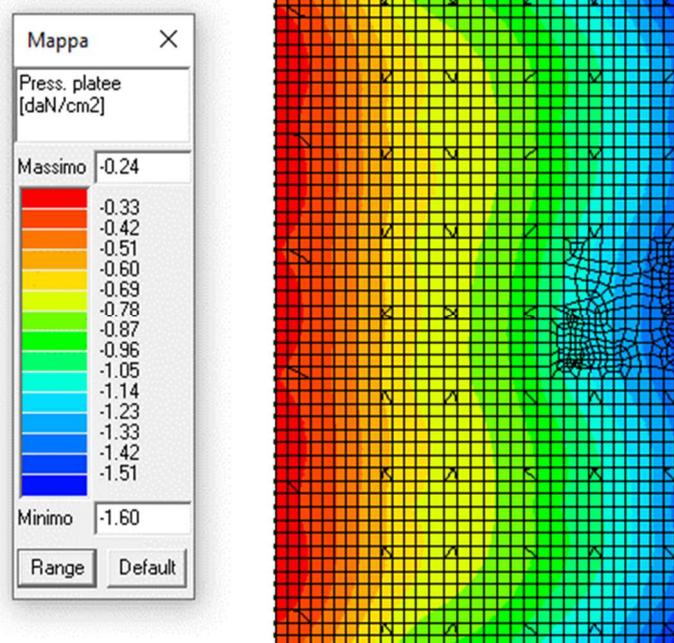
$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

## 7.2. Geometria delle fondazioni e carichi – Blocco A

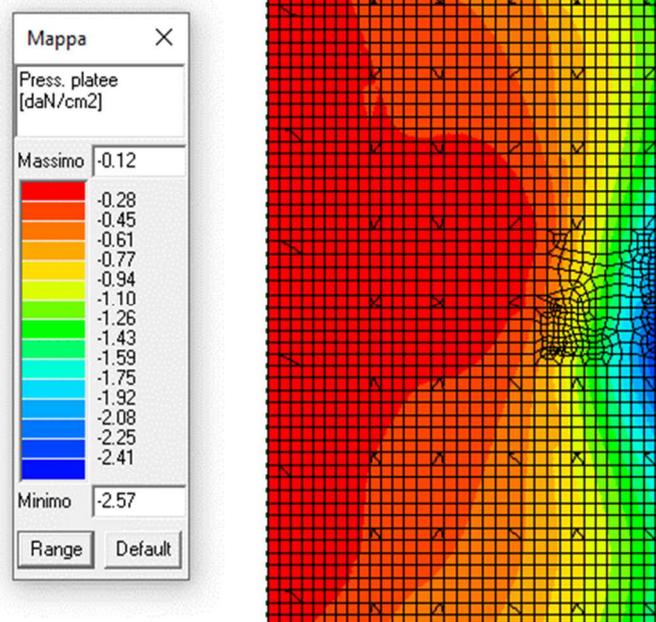
L'immagine seguente mostra la geometria delle fondazioni oggetto di verifica e la stratigrafia implementata nel programma di calcolo.



L'immagine seguente mostra la distribuzione delle tensioni sul terreno al di sotto delle fondazioni ottenuta dal software di calcolo in condizione di Stato Limite Ultimo SLU (statica) e in condizione di Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV (sismica).



combinazione statica (SLU)



combinazione sismica (SLV)

Le verifiche sono state condotte utilizzando il programma *Loadcap* di *Geostru Software* per il quale è disponibile la documentazione di validazione ai sensi del DM 17/01/2018.

Stante la esclusiva presenza di terreno a matrice coesiva le verifiche saranno svolte in condizioni non drenate.

Le verifiche di resistenza saranno svolte su una platea di fondazione con larghezza 17,75 m e lunghezza 28 m.

#### DATI GENERALI

|                          |          |   |
|--------------------------|----------|---|
| Normativa                | NTC_2018 |   |
| Larghezza fondazione     | 17.75    | m |
| Lunghezza fondazione     | 28.0     | m |
| Profondità piano di posa | 2.25     | m |
| Altezza di incastro      | 2.25     | m |
| Profondità falda         | 1.0      |   |

#### SISMA

|                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| Accelerazione massima (amax/g)   | 0.261                   |
| Effetto sismico secondo          | Paolucci, Pecker (1997) |
| Coefficiente sismico orizzontale | 0.0627                  |

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

|                      |                     |        |
|----------------------|---------------------|--------|
| Tipo opera:          | 2 - Opere ordinarie |        |
| Classe d'uso:        | Classe II           |        |
| Vita nominale:       | 50.0                | [anni] |
| Vita di riferimento: | 50.0                | [anni] |

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
Categoria topografica: T1

| S.L.<br>Stato limite | TR<br>Tempo ritorno<br>[anni] | ag<br>[m/s <sup>2</sup> ] | F0<br>[-] | TC*<br>[sec] |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------|--------------|
| S.L.O.               | 30.0                          | 0.49                      | 2.437     | 0.272        |
| S.L.D.               | 50.0                          | 0.637                     | 2.521     | 0.277        |
| S.L.V.               | 475.0                         | 1.795                     | 2.488     | 0.296        |
| S.L.C.               | 975.0                         | 2.334                     | 2.523     | 0.31         |

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

| S.L.<br>Stato limite | amax<br>[m/s <sup>2</sup> ] | beta<br>[-] | kh<br>[-] | kv<br>[sec] |
|----------------------|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|
| S.L.O.               | 0.735                       | 0.2         | 0.015     | 0.0075      |
| S.L.D.               | 0.9555                      | 0.2         | 0.0195    | 0.0097      |
| S.L.V.               | 2.561                       | 0.24        | 0.0627    | 0.0313      |
| S.L.C.               | 3.1268                      | 0.28        | 0.0893    | 0.0446      |

**STRATIGRAFIA TERRENO**

| Spessore strato [m] | Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ] | Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ] | Angolo di attrito [°] | Coesione [kN/m <sup>2</sup> ] | Coesione non drenata [kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo Edometrico [kN/m <sup>2</sup> ] | Poisson | Coeff. consolid. az. primaria [cmq/s] | Coeff. consolid. azione secondaria | Descrizione |
|---------------------|---|--|-----------------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|--|---------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| 1.5                 | 18.0                                      | 20.0   | 23.0                  | 0.0                           | 58.6                                      | 0.0                                  | 4600.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 7.0                 | 18.0                                      | 23.0   | 23.0                  | 0.0                           | 58.6                                      | 0.0                                  | 4600.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 4.5                 | 18.5                                      | 24.5   | 25.0                  | 0.0                           | 86.8                                      | 0.0                                  | 6900.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 2.0                 | 18.0                                      | 20.0   | 25.0                  | 0.0                           | 57.7                                      | 0.0                                  | 5100.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 15.0                | 18.5                                      | 20.0   | 20.0                  | 0.0                           | 88.2                                      | 0.0                                  | 7400.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |

**Carichi di progetto agenti sulla fondazione**

| Nr. | Nome combinazioni | Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ] | N [kN] | Mx [kN·m] | My [kN·m] | Hx [kN] | Hy [kN] | Tipo     |
|-----|-------------------|--|--------|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| 1   | A1+M1+R3          | 120.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Progetto |
| 2   | S.L.E.            | 85.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Servizio |
| 3   | SISMA             | 150.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Progetto |

**Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze**

| Nr | Correzione Sismica | Tangente angolo di resistenza al taglio | Coesione efficace | Coesione non drenata | Peso Unità volume in fondazione | Peso unità volume copertura | Coef. Rid. Capacità portante verticale | Coef. Rid. Capacità portante orizzontale |
|----|--------------------|---|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|--|--|
| 1  | No                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 2.3                                    | 1.1                                      |
| 2  | No                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 2.3                                    | 1.1                                      |
| 3  | Si                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 1.8                                    | 1.1                                      |

**CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...SISMA**

Autore: Brinch - Hansen 1970

|                                 |        |                   |
|---------------------------------|--------|-------------------|
| Carico limite [Qult]            | 384.64 | kN/m <sup>2</sup> |
| Resistenza di progetto[Rd]      | 213.69 | kN/m <sup>2</sup> |
| Tensione [Ed]                   | 150.0  | kN/m <sup>2</sup> |
| Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]  | 2.56   |                   |
| Condizione di verifica [Ed<=Rd] |        | Verificata        |

**COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)**

|                     |          |                   |
|---------------------|----------|-------------------|
| Costante di Winkler | 15385.69 | kN/m <sup>3</sup> |
|---------------------|----------|-------------------|

**A1+M1+R3**

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

**PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO**

|                             |      |                   |
|-----------------------------|------|-------------------|
| Peso unità di volume        | 18.0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Peso unità di volume saturo | 23.0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo di attrito           | 0.0  | °                 |
| Coesione                    | 58.6 | kN/m <sup>2</sup> |

|   |      |  |
|---|------|--|
| Fattore [Nq]                              | 1.0  |  |
| Fattore [Nc]                              | 5.14 |  |
| Fattore forma [Sc]                        | 1.13 |  |
| Fattore profondità [Dc]                   | 1.0  |  |
| Fattore inclinazione carichi [Ic]         | 1.0  |  |
| Fattore inclinazione pendio [Gc]          | 1.0  |  |
| Fattore inclinazione base [Bc]            | 1.0  |  |
| Fattore correzione sismico inerziale [zq] | 1.0  |  |
| Fattore correzione sismico inerziale [zg] | 1.0  |  |
| Fattore correzione sismico inerziale [zc] | 1.0  |  |

|                        |        |                   |
|------------------------|--------|-------------------|
| Carico limite          | 384.64 | kN/m <sup>2</sup> |
| Resistenza di progetto | 167.24 | kN/m <sup>2</sup> |

Condizione di verifica [Ed<=Rd]      **Verificata**

**SISMA**

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

**PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO**

|                             |      |                   |
|-----------------------------|------|-------------------|
| Peso unità di volume        | 18.0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Peso unità di volume saturo | 23.0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo di attrito           | 0.0  | °                 |
| Coesione                    | 58.6 | kN/m <sup>2</sup> |

|                                   |      |  |
|-----------------------------------|------|--|
| Fattore [Nq]                      | 1.0  |  |
| Fattore [Nc]                      | 5.14 |  |
| Fattore forma [Sc]                | 1.13 |  |
| Fattore profondità [Dc]           | 1.0  |  |
| Fattore inclinazione carichi [Ic] | 1.0  |  |
| Fattore inclinazione pendio [Gc]  | 1.0  |  |
| Fattore inclinazione base [Bc]    | 1.0  |  |

Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0

Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0

Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0

=====

Carico limite 384.64 kN/m<sup>2</sup>

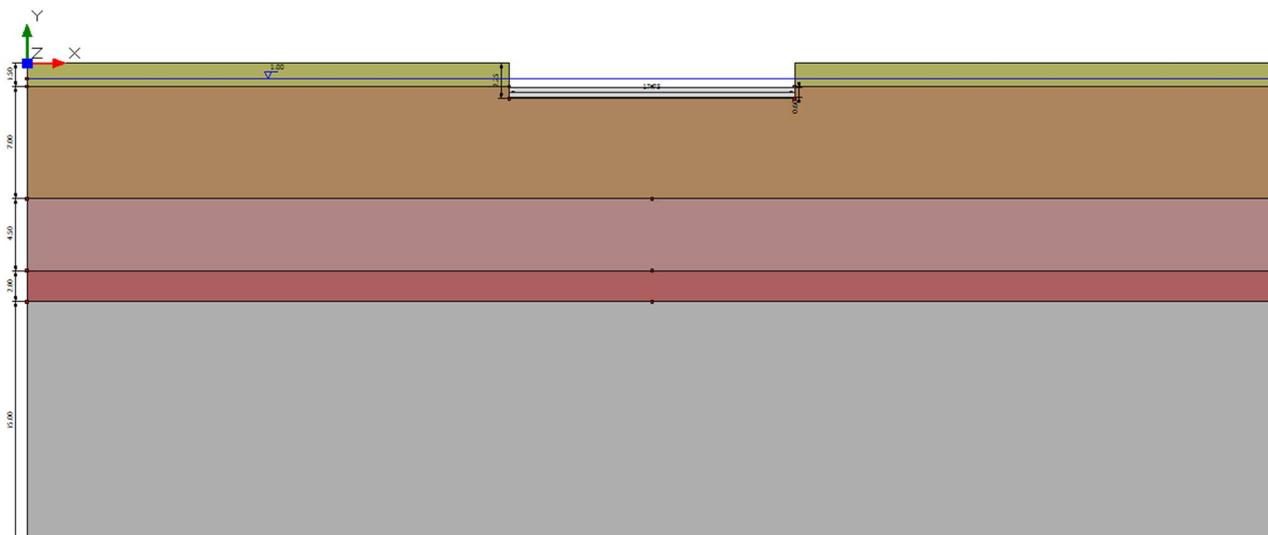
Resistenza di progetto 213.69 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] **Verificata**

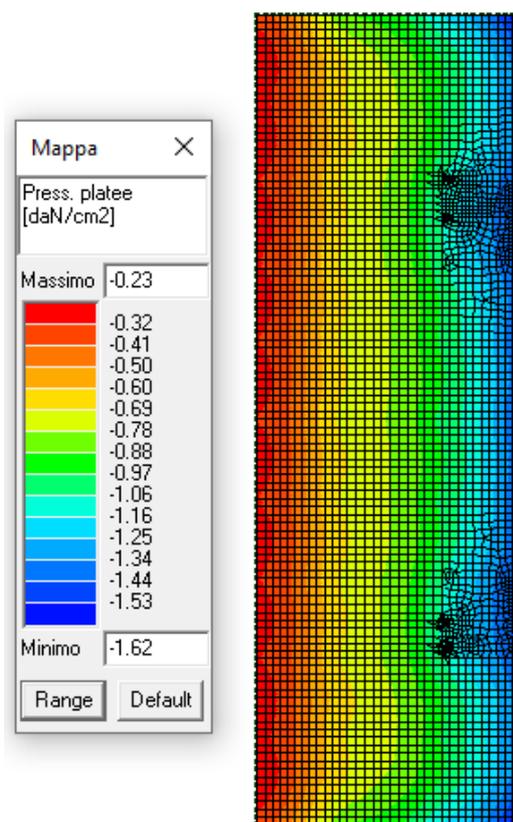
=====

### 7.3. Geometria delle fondazioni e carichi – Blocco BC

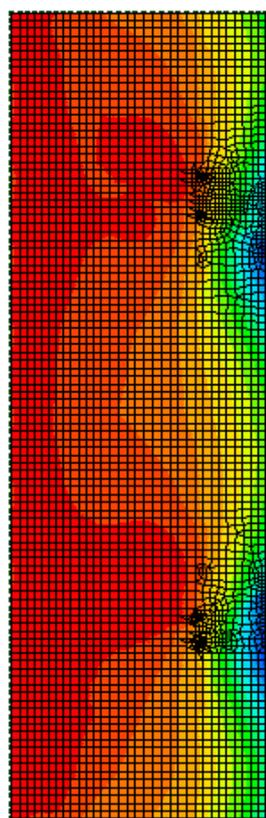
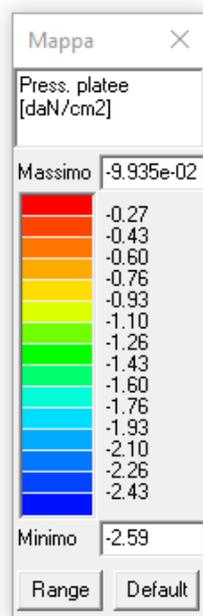
L'immagine seguente mostra la geometria delle fondazioni oggetto di verifica e la stratigrafia implementata nel programma di calcolo.



L'immagine seguente mostra la distribuzione delle tensioni sul terreno al di sotto delle fondazioni ottenuta dal software di calcolo in condizione di Stato Limite Ultimo SLU (statica) e in condizione di Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV (sismica).



combinazione statica (SLU)



combinazione sismica (SLV)

Le verifiche sono state condotte utilizzando il programma *Loadcap* di *Geostru Software* per il quale è disponibile la documentazione di validazione ai sensi del DM 17/01/2018.

Stante la esclusiva presenza di terreno a matrice coesiva le verifiche saranno svolte in condizioni non drenate.

Le verifiche di resistenza saranno svolte su una platea di fondazione con larghezza 17,75 m e lunghezza 55 m.

#### DATI GENERALI

=====  
Normativa NTC\_2018

|                          |       |   |
|--------------------------|-------|---|
| Larghezza fondazione     | 17.75 | m |
| Lunghezza fondazione     | 55.0  | m |
| Profondità piano di posa | 2.35  | m |
| Altezza di incastro      | 2.35  | m |
| Profondità falda         | 1.0   |   |

=====

#### SISMA

=====  
Accelerazione massima (amax/g) 0.261  
Effetto sismico secondo Paolucci, Pecker (1997)  
Coefficiente sismico orizzontale 0.0627  
=====

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

**Dati generali**

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe II  
 Vita nominale: 50.0 [anni]  
 Vita di riferimento: 50.0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

| S.L.<br>Stato limite | TR<br>Tempo ritorno<br>[anni] | ag<br>[m/s <sup>2</sup> ] | F0<br>[-] | TC*<br>[sec] |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------|--------------|
| S.L.O.               | 30.0                          | 0.49                      | 2.437     | 0.272        |
| S.L.D.               | 50.0                          | 0.637                     | 2.521     | 0.277        |
| S.L.V.               | 475.0                         | 1.795                     | 2.488     | 0.296        |
| S.L.C.               | 975.0                         | 2.334                     | 2.523     | 0.31         |

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

| S.L.<br>Stato limite | amax<br>[m/s <sup>2</sup> ] | beta<br>[-] | kh<br>[-] | kv<br>[sec] |
|----------------------|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|
| S.L.O.               | 0.735                       | 0.2         | 0.015     | 0.0075      |
| S.L.D.               | 0.9555                      | 0.2         | 0.0195    | 0.0097      |
| S.L.V.               | 2.561                       | 0.24        | 0.0627    | 0.0313      |
| S.L.C.               | 3.1268                      | 0.28        | 0.0893    | 0.0446      |

**STRATIGRAFIA TERRENO**

| Spessore strato [m] | Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ] | Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ] | Angolo di attrito [°] | Coesione [kN/m <sup>2</sup> ] | Coesione non drenata [kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo Edometrico [kN/m <sup>2</sup> ] | Poisson | Coeff. consolid. az. primaria [cmq/s] | Coeff. consolid. azione secondaria | Descrizione |
|---------------------|---|--|-----------------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|--|---------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| 1.5                 | 18.0                                      | 20.0   | 23.0                  | 0.0                           | 58.6                                      | 0.0                                  | 4600.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 7.0                 | 18.0                                      | 23.0   | 23.0                  | 0.0                           | 58.6                                      | 0.0                                  | 4600.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 4.5                 | 18.5                                      | 24.5   | 25.0                  | 0.0                           | 86.8                                      | 0.0                                  | 6900.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 2.0                 | 18.0                                      | 20.0   | 25.0                  | 0.0                           | 57.7                                      | 0.0                                  | 5100.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 15.0                | 18.5                                      | 20.0   | 20.0                  | 0.0                           | 88.2                                      | 0.0                                  | 7400.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |

**Carichi di progetto agenti sulla fondazione**

| Nr. | Nome combinazioni | Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ] | N [kN] | Mx [kN·m] | My [kN·m] | Hx [kN] | Hy [kN] | Tipo     |
|-----|-------------------|--|--------|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| 1   | A1+M1+R3          | 120.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Progetto |
| 2   | S.L.E.            | 85.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Servizio |
| 3   | SISMA             | 150.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Progetto |

**Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze**

| Nr | Correzione Sismica | Tangente angolo di resistenza al taglio | Coesione efficace | Coesione non drenata | Peso Unità volume in fondazione | Peso unità volume copertura | Coeff. Rid. Capacità portante verticale | Coeff. Rid. Capacità portante orizzontale |
|----|--------------------|---|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|---|
| 1  | No                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 2.3                                     | 1.1                                       |

|  |                         |                   |                 |
|--|-------------------------|-------------------|-----------------|
| <b>RELAZIONE GEOTECNICA, RELAZIONE SISMICA,<br/>VERIFICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE</b> | data<br><b>APR 2023</b> | pag.<br><b>25</b> | di<br><b>37</b> |
|--|-------------------------|-------------------|-----------------|

|   |    |   |   |   |   |   |     |     |
|---|----|---|---|---|---|---|-----|-----|
| 2 | No | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2.3 | 1.1 |
| 3 | Si | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.8 | 1.1 |

#### CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...SISMA

Autore: Brinch - Hansen 1970

|                                 |        |                   |
|---------------------------------|--------|-------------------|
| Carico limite [Qult]            | 368.2  | kN/m <sup>2</sup> |
| Resistenza di progetto[Rd]      | 204.55 | kN/m <sup>2</sup> |
| Tensione [Ed]                   | 150.0  | kN/m <sup>2</sup> |
| Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]  |        | 2.45              |
| Condizione di verifica [Ed<=Rd] |        | Verificata        |

#### COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 14727.81 kN/m<sup>3</sup>

#### A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

|                             |      |                   |
|-----------------------------|------|-------------------|
| Peso unità di volume        | 18.0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Peso unità di volume saturo | 23.0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo di attrito           | 0.0  | °                 |
| Coesione                    | 58.6 | kN/m <sup>2</sup> |

|   |      |
|---|------|
| Fattore [Nq]                              | 1.0  |
| Fattore [Nc]                              | 5.14 |
| Fattore forma [Sc]                        | 1.06 |
| Fattore profondità [Dc]                   | 1.0  |
| Fattore inclinazione carichi [Ic]         | 1.0  |
| Fattore inclinazione pendio [Gc]          | 1.0  |
| Fattore inclinazione base [Bc]            | 1.0  |
| Fattore correzione sismico inerziale [zq] | 1.0  |
| Fattore correzione sismico inerziale [zg] | 1.0  |
| Fattore correzione sismico inerziale [zc] | 1.0  |

|                        |        |                   |
|------------------------|--------|-------------------|
| Carico limite          | 368.2  | kN/m <sup>2</sup> |
| Resistenza di progetto | 160.08 | kN/m <sup>2</sup> |

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

#### SISMA

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

#### PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

|                             |      |                   |
|-----------------------------|------|-------------------|
| Peso unità di volume        | 18.0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Peso unità di volume saturo | 23.0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo di attrito           | 0.0  | °                 |
| Coesione                    | 58.6 | kN/m <sup>2</sup> |

|              |      |
|--------------|------|
| Fattore [Nq] | 1.0  |
| Fattore [Nc] | 5.14 |

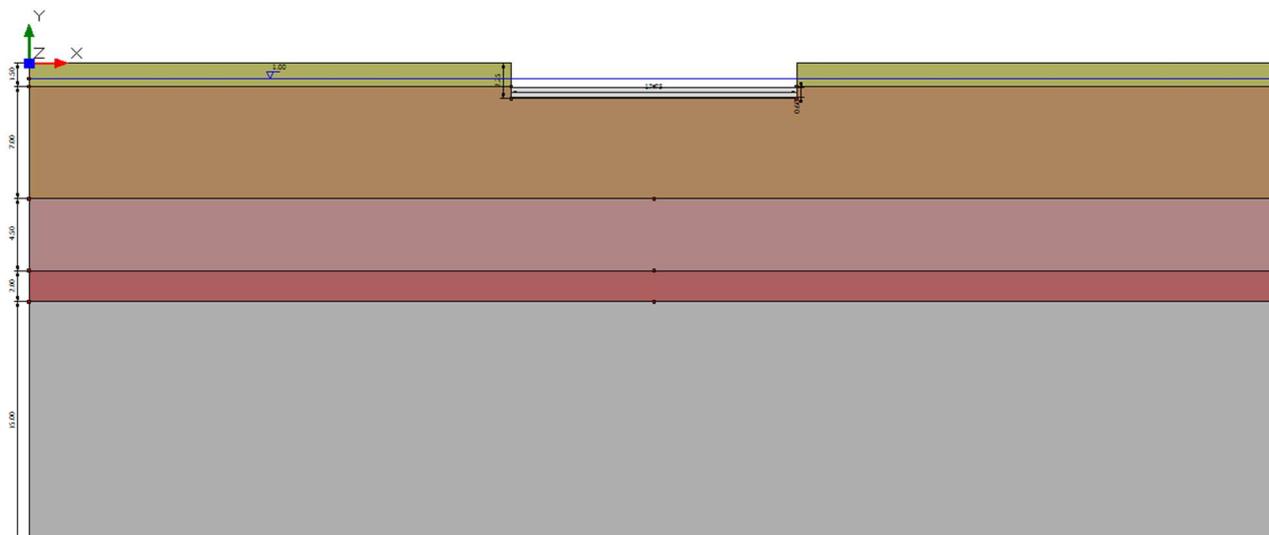
Fattore forma [Sc] 1.06  
Fattore profondità [Dc] 1.0  
Fattore inclinazione carichi [Ic] 1.0  
Fattore inclinazione pendio [Gc] 1.0  
Fattore inclinazione base [Bc] 1.0  
Fattore correzione sismico inerziale [zq] 1.0  
Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1.0  
Fattore correzione sismico inerziale [zc] 1.0

=====  
Carico limite 368.2 kN/m<sup>2</sup>  
Resistenza di progetto 204.55 kN/m<sup>2</sup>

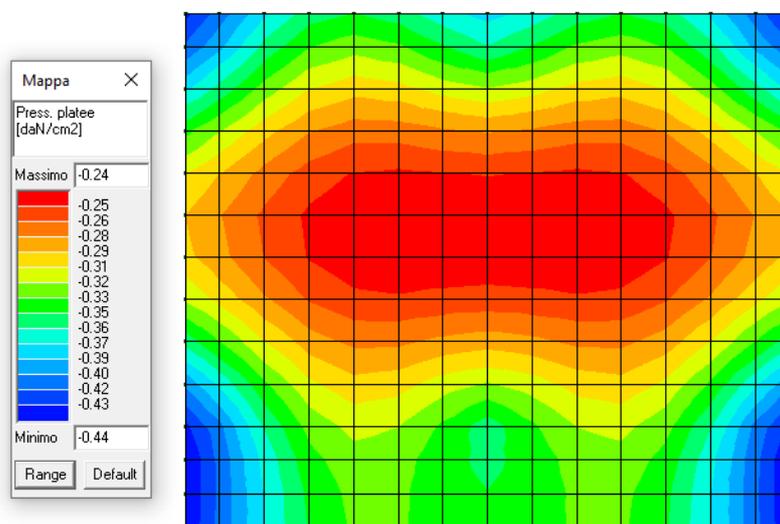
Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata  
=====

#### 7.4. Geometria delle fondazioni e carichi – Padiglione Polivalente

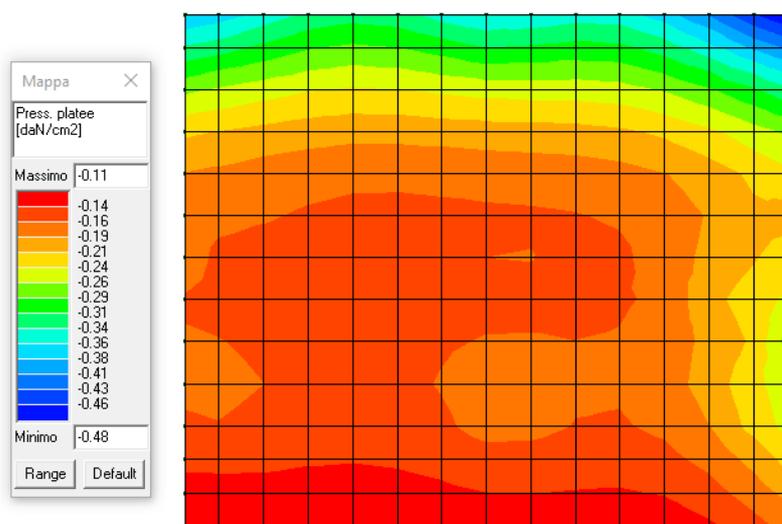
L'immagine seguente mostra la geometria delle fondazioni oggetto di verifica e la stratigrafia implementata nel programma di calcolo.



L'immagine seguente mostra la distribuzione delle tensioni sul terreno al di sotto delle fondazioni ottenuta dal software di calcolo in condizione di Stato Limite Ultimo SLU (statica) e in condizione di Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV (sismica).



combinazione statica (SLU)



combinazione sismica (SLV)

Le verifiche sono state condotte utilizzando il programma *Loadcap* di *Geostru Software* per il quale è disponibile la documentazione di validazione ai sensi del DM 17/01/2018.

Stante la esclusiva presenza di terreno a matrice coesiva le verifiche saranno svolte in condizioni non drenate.

Le verifiche di resistenza saranno svolte su una platea di fondazione con larghezza 9,1 m e lunghezza 10,6 m.

#### DATI GENERALI

|                          |          |   |
|--------------------------|----------|---|
| Normativa                | NTC_2018 |   |
| Larghezza fondazione     | 9.13     | m |
| Lunghezza fondazione     | 10.57    | m |
| Profondità piano di posa | 1.5      | m |
| Altezza di incastro      | 1.5      | m |
| Profondità falda         | 1.0      |   |

#### SISMA

|                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| Accelerazione massima (amax/g)   | 0.261                   |
| Effetto sismico secondo          | Paolucci, Pecker (1997) |
| Coefficiente sismico orizzontale | 0.0627                  |

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

|                      |                     |        |
|----------------------|---------------------|--------|
| Tipo opera:          | 2 - Opere ordinarie |        |
| Classe d'uso:        | Classe II           |        |
| Vita nominale:       | 50.0                | [anni] |
| Vita di riferimento: | 50.0                | [anni] |

##### Parametri sismici su sito di riferimento

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Categoria sottosuolo: | C |
|-----------------------|---|

|  |                         |                         |
|--|-------------------------|-------------------------|
| <b>RELAZIONE GEOTECNICA, RELAZIONE SISMICA,<br/>VERIFICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE</b> | data<br><b>APR 2023</b> | pag. di<br><b>29 37</b> |
|--|-------------------------|-------------------------|

Categoria topografica: T1

| S.L.<br>Stato limite | TR<br>Tempo ritorno<br>[anni] | ag<br>[m/s <sup>2</sup> ] | F0<br>[-] | TC*<br>[sec] |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------|--------------|
| S.L.O.               | 30.0                          | 0.49                      | 2.437     | 0.272        |
| S.L.D.               | 50.0                          | 0.637                     | 2.521     | 0.277        |
| S.L.V.               | 475.0                         | 1.795                     | 2.488     | 0.296        |
| S.L.C.               | 975.0                         | 2.334                     | 2.523     | 0.31         |

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

| S.L.<br>Stato limite | amax<br>[m/s <sup>2</sup> ] | beta<br>[-] | kh<br>[-] | kv<br>[sec] |
|----------------------|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|
| S.L.O.               | 0.735                       | 0.2         | 0.015     | 0.0075      |
| S.L.D.               | 0.9555                      | 0.2         | 0.0195    | 0.0097      |
| S.L.V.               | 2.561                       | 0.24        | 0.0627    | 0.0313      |
| S.L.C.               | 3.1268                      | 0.28        | 0.0893    | 0.0446      |

### STRATIGRAFIA TERRENO

| Spessore strato [m] | Peso unità di volume [kN/m <sup>3</sup> ] | Peso unità di volume saturo [kN/m <sup>3</sup> ] | Angolo di attrito [°] | Coesione [kN/m <sup>2</sup> ] | Coesione non drenata [kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ] | Modulo Edometrico [kN/m <sup>2</sup> ] | Poisson | Coeff. consolid. az. primaria [cmq/s] | Coeff. consolid. azione secondaria | Descrizione |
|---------------------|---|--|-----------------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|--|---------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| 1.5                 | 18.0                                      | 20.0   | 23.0                  | 0.0                           | 58.6                                      | 0.0                                  | 4600.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 7.0                 | 18.0                                      | 23.0   | 23.0                  | 0.0                           | 58.6                                      | 0.0                                  | 4600.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 4.5                 | 18.5                                      | 24.5   | 25.0                  | 0.0                           | 86.8                                      | 0.0                                  | 6900.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 2.0                 | 18.0                                      | 20.0   | 25.0                  | 0.0                           | 57.7                                      | 0.0                                  | 5100.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |
| 15.0                | 18.5                                      | 20.0   | 20.0                  | 0.0                           | 88.2                                      | 0.0                                  | 7400.0                                 | 0.0     | 0.0                                   | 0.0                                |             |

### Carichi di progetto agenti sulla fondazione

| Nr. | Nome combinazioni | Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ] | N [kN] | Mx [kN·m] | My [kN·m] | Hx [kN] | Hy [kN] | Tipo     |
|-----|-------------------|--|--------|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| 1   | A1+M1+R3          | 38.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Progetto |
| 2   | S.L.E.            | 28.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Servizio |
| 3   | SISMA             | 40.00  | 0.00   | 0.00      | 0.00      | 0.00    | 0.00    | Progetto |

### Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

| Nr | Correzione Sismica | Tangente angolo di resistenza al taglio | Coesione efficace | Coesione non drenata | Peso Unità volume in fondazione | Peso unità volume copertura | Coef. Rid. Capacità portante verticale | Coef. Rid. Capacità portante orizzontale |
|----|--------------------|---|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|--|--|
| 1  | No                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 2.3                                    | 1.1                                      |
| 2  | No                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 2.3                                    | 1.1                                      |
| 3  | Si                 | 1                                       | 1                 | 1                    | 1                               | 1                           | 1.8                                    | 1.1                                      |

### CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970

|                             |        |                   |
|-----------------------------|--------|-------------------|
| Carico limite [Qult]        | 381.24 | kN/m <sup>2</sup> |
| Resistenza di progetto [Rd] | 165.76 | kN/m <sup>2</sup> |
| Tensione [Ed]               | 38.0   | kN/m <sup>2</sup> |

Fattore sicurezza [ $F_s=Q_{ult}/E_d$ ] 10.03  
 Condizione di verifica [ $E_d \leq R_d$ ] Verificata

**COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)**

Costante di Winkler 15249.52 kN/m<sup>3</sup>

**A1+M1+R3**

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

**PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO**

Peso unità di volume 18.0 kN/m<sup>3</sup>  
 Peso unità di volume saturo 23.0 kN/m<sup>3</sup>  
 Angolo di attrito 0.0 °  
 Coesione 58.6 kN/m<sup>2</sup>

Fattore [ $N_q$ ] 1.0  
 Fattore [ $N_c$ ] 5.14  
 Fattore forma [ $Sc$ ] 1.17  
 Fattore profondità [ $D_c$ ] 1.0  
 Fattore inclinazione carichi [ $I_c$ ] 1.0  
 Fattore inclinazione pendio [ $G_c$ ] 1.0  
 Fattore inclinazione base [ $B_c$ ] 1.0  
 Fattore correzione sismico inerziale [ $z_q$ ] 1.0  
 Fattore correzione sismico inerziale [ $z_g$ ] 1.0  
 Fattore correzione sismico inerziale [ $z_c$ ] 1.0

Carico limite 381.24 kN/m<sup>2</sup>  
 Resistenza di progetto 165.76 kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [ $E_d \leq R_d$ ] **Verificata**

**SISMA**

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

**PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO**

Peso unità di volume 18.0 kN/m<sup>3</sup>  
 Peso unità di volume saturo 23.0 kN/m<sup>3</sup>  
 Angolo di attrito 0.0 °  
 Coesione 58.6 kN/m<sup>2</sup>

Fattore [ $N_q$ ] 1.0  
 Fattore [ $N_c$ ] 5.14  
 Fattore forma [ $Sc$ ] 1.17  
 Fattore profondità [ $D_c$ ] 1.0  
 Fattore inclinazione carichi [ $I_c$ ] 1.0  
 Fattore inclinazione pendio [ $G_c$ ] 1.0  
 Fattore inclinazione base [ $B_c$ ] 1.0  
 Fattore correzione sismico inerziale [ $z_q$ ] 1.0  
 Fattore correzione sismico inerziale [ $z_g$ ] 1.0  
 Fattore correzione sismico inerziale [ $z_c$ ] 1.0

|  |                         |                   |                 |
|--|-------------------------|-------------------|-----------------|
| <b>RELAZIONE GEOTECNICA, RELAZIONE SISMICA,<br/>VERIFICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE</b> | data<br><b>APR 2023</b> | pag.<br><b>31</b> | di<br><b>37</b> |
|--|-------------------------|-------------------|-----------------|

Carico limite 381.24      kN/m<sup>2</sup>  
 Resistenza di progetto      211.8      kN/m<sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd]      **Verificata**

=====

## **8. Stima cedimenti fondazioni superficiali – Padiglione Polivalente**

Il calcolo dei cedimenti con l'approccio edometrico consente di valutare un cedimento di consolidazione di tipo monodimensionale, prodotto dalle tensioni indotte da un carico applicato in condizioni di espansione laterale impedita. Pertanto la stima effettuata con questo metodo va considerata come empirica, piuttosto che teorica.

Tuttavia la semplicità d'uso e la facilità di controllare l'influenza dei vari parametri che intervengono nel calcolo, ne fanno un metodo molto diffuso.

L'approccio edometrico nel calcolo dei cedimenti passa essenzialmente attraverso due fasi:

1. il calcolo delle tensioni verticali indotte alle varie profondità con l'applicazione della teoria dell'elasticità;
2. la valutazione dei parametri di compressibilità attraverso la prova edometrica.

In riferimento ai risultati della prova edometrica, il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot RR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

se si tratta di un terreno sovraconsolidato ( $OCR > 1$ ), ossia se l'incremento di tensione dovuto all'applicazione del carico non fa superare la pressione di preconsolidazione  $\sigma'_p$  ( $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v < \sigma'_p$ ).

Se invece il terreno è normalconsolidato ( $\sigma'_{v0} = \sigma'_p$ ) le deformazioni avvengono nel tratto di compressione e il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 \cdot CR \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

dove:

- $RR$  = rapporto di ri-compressione;
- $CR$  = rapporto di compressione;
- $H_0$  = spessore iniziale dello strato;
- $\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace prima dell'applicazione del carico.
- $\Delta\sigma'_v$  = incremento di tensione verticale dovuto all'applicazione del carico.

In alternativa ai parametri  $RR$  e  $CR$  si fa riferimento al modulo edometrico  $M$ ; in tal caso però occorre scegliere opportunamente il valore del modulo da utilizzare, tenendo conto dell'intervallo tensionale ( $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v$ ) significativo per il problema in esame.

L'applicazione corretta di questo tipo di approccio richiede:

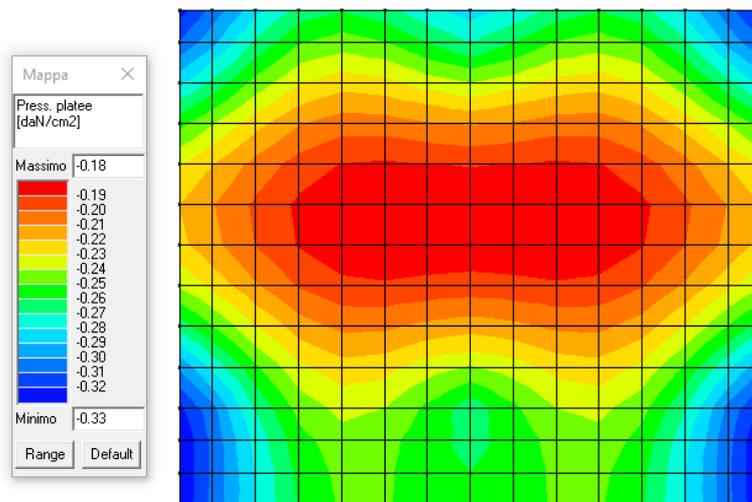
- la stima del modulo edometrico nell'ambito di ciascuno strato;
- il calcolo del cedimento come somma dei contributi valutati per ogni piccolo strato in cui è stato suddiviso il banco compressibile.

### 8.1. Calcolo dei cedimenti $E_d$ (SLE)

Lo stato tensionale indotto nel terreno dalla fondazione è stato ricavato dai risultati del modello agli elementi finiti utilizzato per la progettazione strutturale.

Si assumono i seguenti valori per il calcolo dei cedimenti:

- platea con dimensioni 9,1 m x 10,6 m;
- quota d'imposta fondazione:  $z = - 1,50$  m;
- pressione massima sul suolo ricavata dal programma ad elementi finiti:  $q = 28$  kPa.



Pressioni in combinazione rara (SLE)

#### CEDIMENTI PER OGNI STRATO

**Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

|                               |              |                   |
|-------------------------------|--------------|-------------------|
| Pressione normale di progetto | 28.0         | kN/m <sup>2</sup> |
| Cedimento dopo T anni         | 15.0         |                   |
| Distanza                      | 0.00         | m                 |
| Angolo                        | 0.00         | °                 |
| <b>Cedimento totale</b>       | <b>0.883</b> | <b>cm</b>         |

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

| Strato | Z (m) | Tensione (kN/m <sup>2</sup> ) | Dp (kN/m <sup>2</sup> ) | Metodo     | Wc (cm) | Ws (cm) | Wt (cm) |
|--------|-------|-------------------------------|-------------------------|------------|---------|---------|---------|
| 2      | 5     | 69.272                        | 4.117                   | Edometrico | 0.6264  | --      | 0.6264  |
| 3      | 10.75 | 148.507                       | 1.785                   | Edometrico | 0.1164  | --      | 0.1164  |
| 4      | 14    | 191.759                       | 1.147                   | Edometrico | 0.045   | --      | 0.045   |
| 5      | 22.5  | 278.4                         | 0.469                   | Edometrico | 0.0951  | --      | 0.0951  |

Il cedimento stimato risulta accettabile per la struttura in esame.

## 9. Progetto geotecnico allo SLE delle fondazioni profonde soggette a carichi assiali

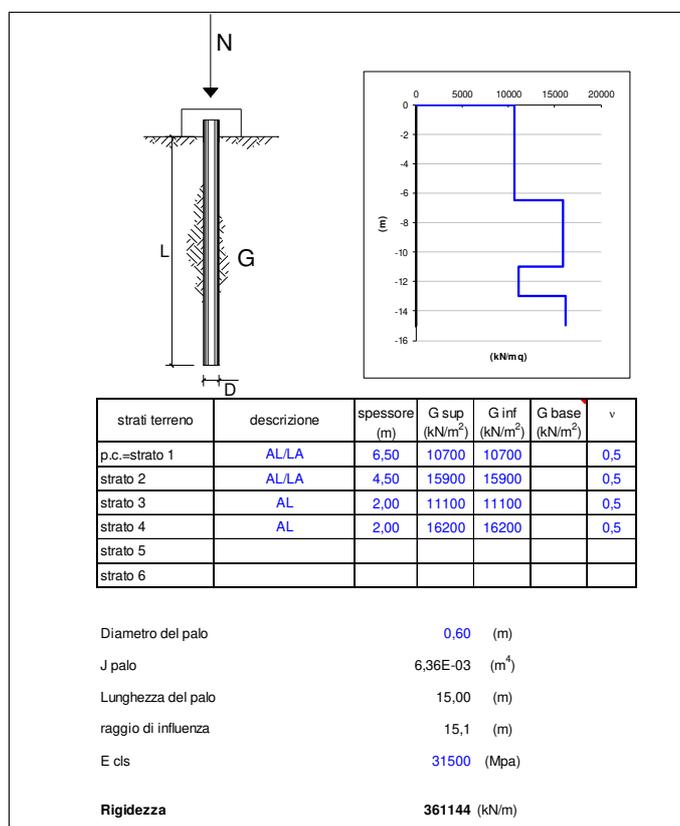
Le fondazioni dei due blocchi residenziali saranno realizzate con platea su pali per evitare problemi di cedimenti a causa della presenza di terreni fini estremamente cedevoli.

I pali previsti sono del tipo in calcestruzzo gettato in opera, trivellati, aventi diametro  $D = 0,6$  m e  $L = 15$  m.

Per la verifica delle fondazioni profonde è stato sviluppato un modello di calcolo nel quale sono stati introdotti vincoli elastici con rigidità proporzionale alla rigidità del palo stesso e a quella dei terreni attraversati in modo da poter ripartire più realisticamente i carichi verticali tra i diversi elementi. Il calcolo viene eseguito discretizzando il terreno di fondazione in 4 strati. Per i moduli elastici del terreno si utilizzano i valori di  $E_u$  per i terreni fini ed  $E'_s$  per quelli granulari (si rimanda alla relazione geotecnica per i valori); i corrispondenti moduli di taglio del terreno sono ricavati a partire dai moduli elastici utilizzando la teoria dell'elasticità e i coefficienti di Poisson  $\nu = 0,3$  per i terreni granulari e  $\nu = 0,5$  per i terreni fini. La rigidità orizzontale dei terreni è stata valutata ricorrendo all'approccio di Chiarugi e Maia (1969). Il metodo calcola il modulo di reazione in funzione del modulo di reazione, del diametro del palo e del coefficiente di Poisson. La formula applicata per calcolare il modulo di reazione con questo metodo è la seguente:

$$k_s = \frac{E_{ed}}{D \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left( \frac{E_{ed} D^4}{EJ} \right)^{\frac{1}{12}}$$

Nella precedente formula  $E_{ed}$  è il modulo elastico di progetto del terreno,  $D$  è il diametro del palo,  $\nu$  è il coefficiente di Poisson ed  $EJ$  è la rigidità flessionale del palo (costituito da cls C25/30). Si riportano nel seguito i risultati.



Per il calcolo del cedimento della palificata si procede innanzitutto alla valutazione del cedimento del palo singolo. L'espressione del cedimento isolato è la seguente:

$$\delta = \beta \cdot F_{ck} / E \cdot L$$

in cui:

$\beta$  è un coefficiente di influenza dimensionale funzione di  $L/D$  e del modello di sottosuolo adottato;

$F_{ck}$  è il carico caratteristico agente;

$E$  è il modulo elastico del terreno;

$L$  è la lunghezza del palo.

Per definire  $\beta$  si può fare riferimento all'espressione proposta da Polulos & Davis (1981):

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_u/D)$$

Il cedimento medio di una palificata può essere espresso come il prodotto del cedimento  $\delta$  del palo isolato, a parità di carico medio, per coefficiente di amplificazione  $R_s$  legato alla geometria della fondazione. In modo equivalente si può fare riferimento al parametro  $R_g = R_s/n$  (coefficiente di riduzione del gruppo) in cui  $n$  è il numero di elementi della palificata:

$$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$$

E' stato mostrato (Randolph & Clancy 1993 e Mandolini 1994) che si può individuare una correlazione tra  $R_g$  e il parametro:

$$R = (n \cdot i / L)^{0,5}$$

in cui:

$i$  è l'interasse dei pali.

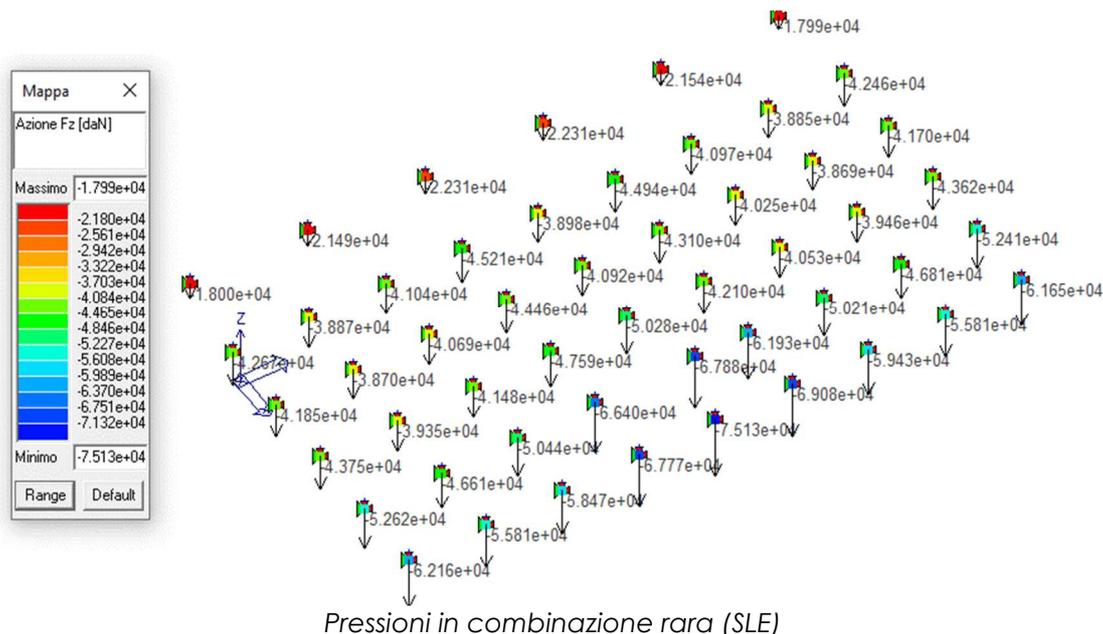
Analizzando opere in vera grandezza è stata proposta la seguente espressione (Mandolini et. al 1997):

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$$

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito assumendo, per ciascun blocco, che il palo singolo sia soggetto al carico massimo verticale derivante dai carichi permanenti. È stato valutato inoltre il cedimento dei pali in gruppo assumendo che tutti i pali siano caricati con il carico massimo (assunzione a favore di sicurezza).

### 9.1. Calcolo dei cedimenti (SLE) della palificata – Blocco A

Di seguito si riportano i volai massimi degli sforzi agenti sulla palificata in cmb SLE rara.

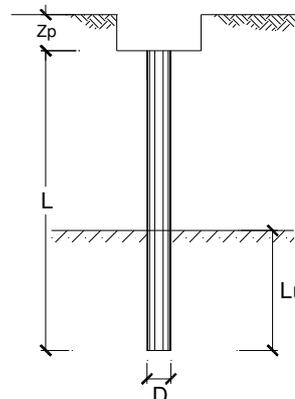


#### CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA

**OPERA:** PALI BLOCCO\_A

**DATI DI IMPUT:**

|                                      |       |       |
|--------------------------------------|-------|-------|
| Diametro del Palo (D):               | 0,60  | (m)   |
| Carico sul palo (P):                 | 751,0 | (kN)  |
| Lunghezza del Palo (L):              | 15,00 | (m)   |
| Lunghezza Utile del Palo (Lu):       | 15,00 | (m)   |
| Modulo di Deformazione (E):          | 33,00 | (MPa) |
| Numero di pali della Palificata (n): | 45    | (-)   |
| Spaziatura dei pali (s)              | 3,0   | (m)   |



**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D): \quad 1,90 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile} = \mathbf{2,88 \text{ (mm)}}$$

**CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:**

$$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$$

Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Vggiani, 1999})$$

$$R = (n \cdot s / L)^{0,5} \quad R = 3,000$$

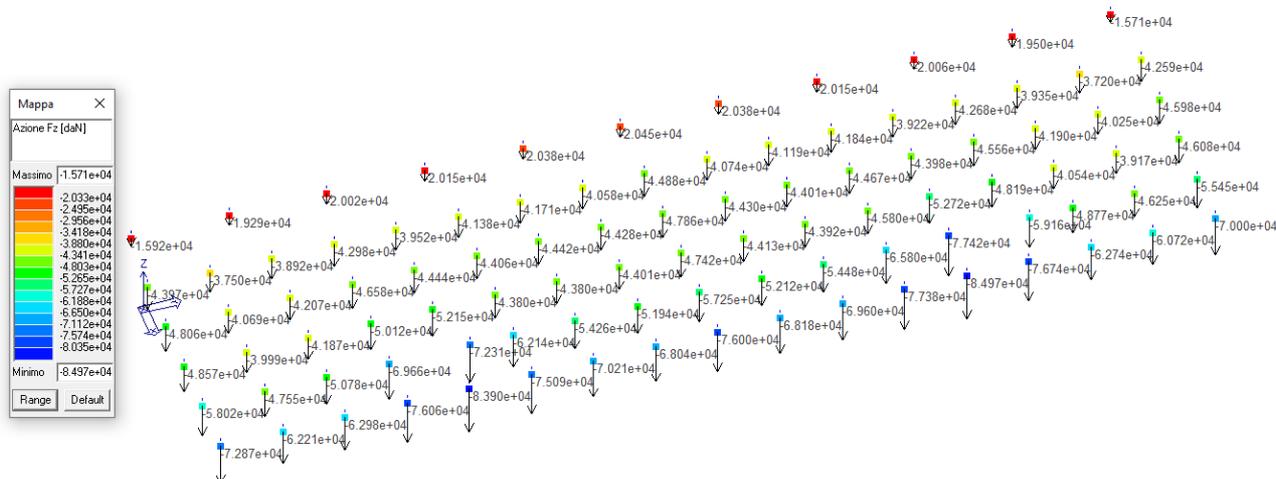
Cedimento della palificata

$$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta = 45 \cdot 0,18 \cdot 2,88 = \mathbf{23,47 \text{ (mm)}}$$

Il cedimento stimato risulta accettabile per la struttura in esame.

## 9.2. Calcolo dei cedimenti (SLE) della palificata – Blocco BC

Di seguito si riportano i volai massimi degli sforzi agenti sulla palificata in cmb SLE rara.



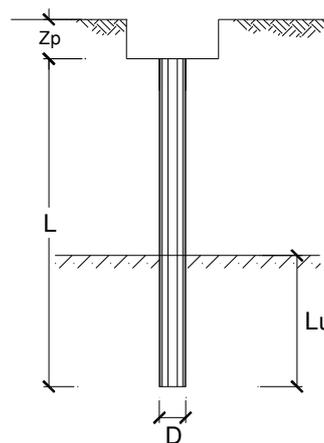
Pressioni in combinazione rara (SLE)

### CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA

**OPERA:** PALI BLOCCO\_BC

**DATI DI INPUT:**

|                                      |       |       |
|--------------------------------------|-------|-------|
| Diametro del Palo (D):               | 0,60  | (m)   |
| Carico sul palo (P):                 | 850,0 | (kN)  |
| Lunghezza del Palo (L):              | 15,00 | (m)   |
| Lunghezza Utile del Palo (Lu):       | 15,00 | (m)   |
| Modulo di Deformazione (E):          | 33,00 | (MPa) |
| Numero di pali della Palificata (n): | 85    | (-)   |
| Spaziatura dei pali (s)              | 3,0   | (m)   |



**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{\text{utile}}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D): \quad 1,90 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{\text{utile}} = \mathbf{3,26 \text{ (mm)}}$$

**CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:**

$$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$$

Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n \cdot s / L)^{0,5} \quad R = 4,123$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta = 85 \cdot 0,13 \cdot 3,26 = \mathbf{35,71 \text{ (mm)}}$$

Il cedimento stimato risulta accettabile per la struttura in esame.