



NUOVA PALESTRA-SCUOLA G. RODARI COMUNE DI OLGINATE

PROGETTISTI

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA
COORDINAMENTO GENERALE
COORDINAMENTO SICUREZZA

ARCHICOMO ENGINEERING SRL
VIA GIUSEPPE GRILLONI 9 - 22100 COMO (CO)

ARCH. GIANMARCO MARTORANA
VIA STOPPA 32 - 22042 SAN FERMO DELLA BATTAGLIA (CO)

ING. DONATELLA NOVI
VIA DELLA COOPERATIVA 12 - 22016 TREMEZZINA (CO)

PROGETTAZIONE IMPIANTI
MECCANICI

P.I. LORENZO COLOMBO
VIA ANTONIO NOLFI 1 - 22100 COMO (CO)

PROGETTAZIONE STRUTTURALE
ASPETTI GEOTECNICI

ING. MONICA VANZAN
VIA I MAGGIO 38 - 22036 ERBA (CO)

ING. GEOL. MATTEO BENZI
VIA TURATI 27 - 2068 PESCHIERA B. (MI)

DOTT. GEOLOGO ALBERTO RECH
VIA COLOMBARO 18 - 28021 BORGMANERO (NO)

PROGETTAZIONE IMPIANTI
ELETTRICI E SPECIALI

ING. DAMIANO LURATI
VIA VARESINA 3 - 22079 VILLA GUARDIA (CO)

PROGETTAZIONE ACUSTICA

ING. DAVIDE LODI RIZZINI
VIA CANTURINA, 321 - 22100 COMO (CO)

COMMITTENTE

COMUNE DI OLGINATE
P.ZZA VOLONTARI DEL SANGUE 1
23854 OLGINATE (LC)



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Comune di
Olginate
(Lecco)

INTERVENTO

INTERVENTO DI REALIZZAZIONE NUOVA PALESTRA SCUOLA PRIMARIA "G.RODARI"
VIA CAMPAGNOLA - 23854 OLGINATE (LC) - CUP: E91B22001200006 - INTERVENTO 4 PNRR (ART.4 DM 2 /12/ 21)

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO (DPR 207/2010)

TITOLO:

Relazione Strutturale - Fondazioni Indirette (Palificata)

NOME DEL FILE:

AC_OLG-P_ESE_STR-P_R1_00_COP.DWG

SCALA:

-

DATA:

GIUGNO 2023

R1

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p>RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GR8BDV674A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p>ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p>giugno '23</p>	<p>Pag. 1</p>

**COMUNE di OLGINATE
Provincia di LECCO**

COMMITTENTE: AMMINISTRAZIONE COMUNALE

**INTERVENTO DI REALIZZAZIONE NUOVA PALESTRA SCUOLA
PRIMARIA "G.RODARI"**
Via Campagnola – 23854 Olginate (LC)
CUP: E91B22001200006
Intervento 4 PNRR (Art. 3 DM 2/12/21)

**PROGETTO DI PALI COSTIPATI FDP
PER FONDAZIONI SU TRAVI CONTINUE OGGETTO DI REALIZZAZIONE**

-

Relazione Descrittiva e di Calcolo

Brescia, giugno '23

Dott. Geol. Mattia Benzi



Dott. Geol. Mattia Benzi

**Progettisti:
Ing. Davide Grablovitz**



 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="center">Pag. 2</p>

Sommario

1. DESCRIZIONE INTERVENTO	3
2. NORMATIVA	4
3. RELAZIONE DI CALCOLO	5
3.1. TERRENO IN SITO	5
3.2. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI FONDAZIONE INDIRETTE	7
3.2.1. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	7
3.2.2. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	10
3.3. OPERE DI FONDAZIONE LOCALE AD USO MENSA – PALI COSTIPATI FDP	11
3.3.1. AZIONI AGENTI SULLE OPERE DI PROGETTO	12
3.3.4. CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO	15
3.3.4. ANALISI GEOTECNICA E STRUTTURALE	16
3.3.4.1. MATERIALI IMPIEGATI	16
3.3.4.2. VERIFICA GEOTECNICA A CARICHI VERTICALI (GEO)	16
3.3.4.3. VERIFICA STRUTTURALE DELLA PALIFICATA (STR)	19
4. CONCLUSIONI	20

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL <u>INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO</u> DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="center">Pag. 3</p>

1. DESCRIZIONE INTERVENTO

La presente relazione viene redatta, su incarico dell'Amministrazione Comunale di Olginate (LC) per la realizzazione di fondazioni indirette (pali di tipo costipato FDP), atta al sostegno dei carichi delle nuove strutture di futura realizzazione in corrispondenza dell'edificio scolastico primario "G. Rodari", in comune di Olginate (LC) – Via Campagnola – PALESTRA.

Le travi continue oggetto di realizzazione, visti i carichi strutturali, verranno realizzate poggianti su pali con d. 400 mm e lunghezza netta pari a 8.0, 11.0 m, in funzione dei diversi carichi.

Il programma generale di esecuzione delle opere prevede:

1. Preparazione piano di lavoro
2. Realizzazione di pali costipati per la fondazione su travi continue dell'edificio;
3. Costruzione delle travi continue di collegamento.

Le fondazioni principali dell'edificio ad uso Palestra oggetto di trattazione, risultano costituite da travi continue poggianti su pali.

Le elaborazioni sono state redatte considerando i seguenti dati in Nostro possesso:

- Relazione Geologico-Geotecnica redatta da Dott. Geol. Alberto Rech nel Novembre 2022.
- Disegni architettonici dimensionali e dimensionamenti strutturali delle strutture ricevuti dallo studio ARCHICOMO.

In base ai dati recepiti si procederà nelle prossime pagine alla descrizione delle modalità di calcolo, all'individuazione del modello stratigrafico e alle verifiche di stabilità delle fondazioni profonde.

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="center">Pag. 4</p>

2. NORMATIVA

Il quadro normativo di riferimento è quindi il seguente:

- **Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003** - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- **D.M. 17 gennaio 2018** – Aggiornamento alle “Norme tecniche per le Costruzioni”.
- **Eurocodice 7** - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- **Eurocodice 8** - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

Si fa inoltre riferimento, anche se non espressamente citate, alle circolari esplicative dei decreti ministeriali attuativi di cui sopra.

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 5</p>

3. RELAZIONE DI CALCOLO

Al fine di facilitare la lettura della relazione le verifiche essenziali sono riportate con riferimento al metodo degli Stati Limite Ultimi e considerando quindi tutte le azioni caratteristiche amplificate per le singole combinazioni di carico dovute al sovraccarico indotto dalla struttura prefabbricata di futura realizzazione.

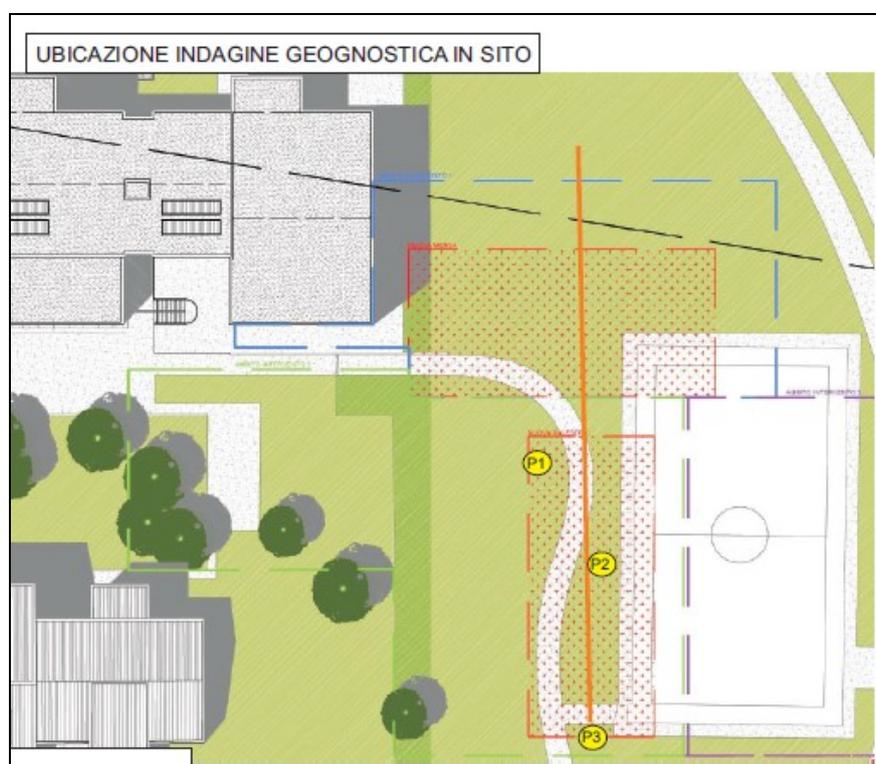
I metodi utilizzati per la determinazione delle portate geotecniche dei pali e dei relativi cedimenti sono quelle classiche (metodo di Berezantev e simili) con pali ad elica continua.

Il calcolo del palo è stato realizzato con il software MP della AZTEC CARL 16 vers. 2021.

3.1. TERRENO IN SITO

I parametri geotecnici utilizzati per il calcolo delle opere di fondazione sono stati desunti dalla relazione geologica redatta a supporto della progettazione esecutiva.

Di seguito si riporta la planimetria delle indagini penetrometriche e MASW realizzate.



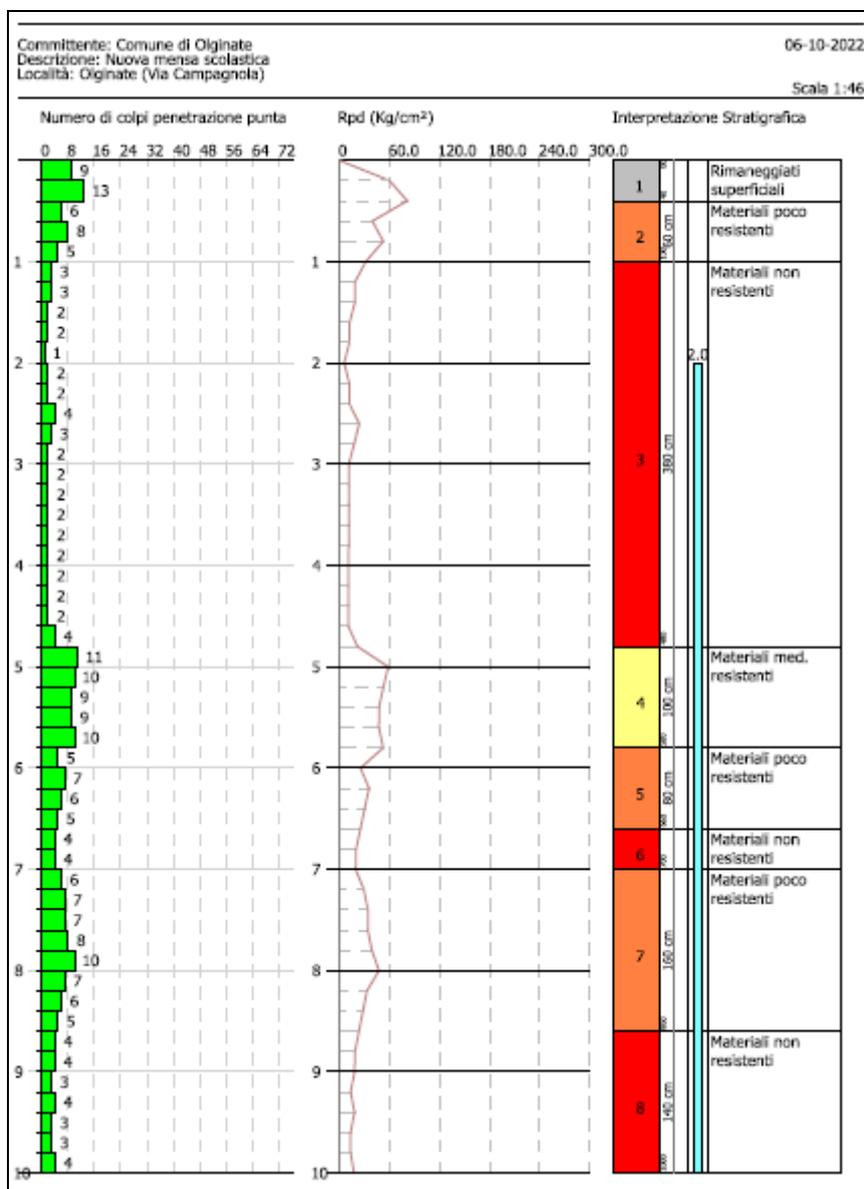


Grafico prova penetrometrica SCPT N. 1 maggiormente significativa

Il livello di falda viene assunto attualmente, per entrambi i modelli, pari a -2,4m da piano campagna, con possibile risalita media sino a circa -1,0 m da p.c.

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 7</p>

Unità geotecnica	N _{SPT}	DR	Φ'	γ _t	Profondità
A	13	47	29.07	1.52	0.00-0.40
C	8	33	25.68	1.45	0.40-1.00
B	3	10	21.46	1.38	1.00-4.80
D	12	33	28.28	1.50	4.80-5.80
C	7	21	25.17	1.44	5.80-6.60
B	5	14	23.49	1.41	6.60-7.00
C	8	23	26.22	1.46	7.00-8.60
B	4	10	23.01	1.40	8.60-10.00

Tabella 3.1.2: Modello geotecnico di riferimento

La zona sismica del comune di Olginate (LC) è la **3**.

La tipologia Stratigrafica è stata considerata **C**, quella Topografica **T1**.

La falda è stata rilevata alla profondità di -1.00 m da quota piano campagna.

Per i calcoli geotecnici e strutturali nelle varie combinazioni verrà utilizzata sempre alla medesima quota.

In base alle stratigrafie appena descritte, verranno determinate le caratteristiche di progetto delle singole opere.

3.2. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI FONDAZIONE INDIRETTE

3.2.1. Verifiche nei confronti degli stati limite Ultimi (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$R_d \geq E_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione:

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="center">Pag. 8</p>

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Gli effetti delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d . Nella formulazione della resistenza R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Palificata. Sulla base della parametrizzazione geotecnica si è proceduto ad eseguire il calcolo della capacità portante ai sensi delle Norme Tecniche di cui al NTC 2018. In tali norme, si richiede di verificare la capacità portante delle fondazioni profonde utilizzando almeno uno dei due approcci (1 e 2) proposti.

Nell'approccio 1 deve essere valutata la combinazione all'equilibrio con i coefficienti (A2+M2+R2) in cui si applicano i coefficienti di amplificazione corrispondenti alle azioni strutturali variabili e un coefficiente di sicurezza globale γ_R .

L'approccio 2 prevede invece una sola combinazione di carico (A1+M1+R3), in cui sono amplificate le azioni e imposto un coefficiente di sicurezza globale γ_R maggiore. Questa combinazione servirà per tutte e le verifiche geotecniche.

Per i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici è da ricordare come, nel calcolo delle azioni di progetto devono essere inclusi il peso proprio dei pali (fattorizzato con i coefficienti A) e l'effetto dell'attrito negativo (valutato con i coefficienti M) se presente.

Qualora venissero effettuate analisi specifiche che tengano conto dell'azione sismica sui pali si dovrà fare riferimento al Paragrafo 7 della norma vigente.

Nella verifica a carichi verticali per il calcolo della resistenza di progetto della palificata occorre calcolare i valori della resistenza di base ($R_{b,cal}=Q_b$) e laterale ($R_{s,cal}=Q_l$) di calcolo rispettivamente con i parametri "medi" o "minimi".

La resistenza caratteristica R_k del palo singolo può essere dedotta da:

- a. risultati di prove di carico statico di progetto su pali pilota;

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="center">Pag. 9</p>

- b. metodi di calcolo analitici, dove R_k è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, oppure con l'impiego di relazioni empiriche che utilizzino direttamente i risultati di prove in sito (prove penetrometriche, pressiometriche, ecc.);
- c. risultati di prove dinamiche di progetto, ad alto livello di deformazione, eseguite su pali pilota;

Caso b. Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ (o $R_{t,k}$) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ ($R_{t,cal}$) i fattori di correlazione ξ riportati nella Tabella, in funzione del numero n di verticali di indagine:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (9)$$

I coefficienti di riduzione ξ_3 e ξ_4 per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali dai risultati di prove in sito assumono i valori espressi in Tabella 6.1.I a seconda del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tabella 3.2.1.1: Fattori di riduzione portate caratteristiche limite in base al n. di prove.

Nell'ambito dello stesso sistema di fondazione, il numero di verticali d'indagine da considerare per la scelta dei coefficienti ξ deve corrispondere al numero di verticali lungo le quali la singola indagine (sondaggio con prelievo di campioni indisturbati, prove penetrometriche, ecc.) sia stata spinta ad una profondità superiore alla lunghezza dei pali.

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R della Tabella 5.1. Il seguente:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} \quad (10)$$

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 10</p>

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale γ	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

Tabella 3.3.2.2: Fattori di riduzione portate a seconda della tecnologia utilizzata.

Nell'ambito di ciascun approccio 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 $R_d \geq E_d$.

Nel caso della verifica a carichi orizzontali, il valore di progetto $R_{tr,d}$ della resistenza di pali soggetti a carichi orizzontali si ottiene a partire dal valore caratteristico $R_{tr,k}$ calcolato

$$R_{tr,d} = \frac{R_{tr,k}}{\gamma_T}$$

applicando i coefficienti parziali γ_T della Tabella 3.3.2.3 a seguire:

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

Tabella 3.3.2.2: Fattori di riduzione per calcolo pali soggetti a carichi orizzontali.

3.2.2. Verifiche nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE)

Le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) delle fondazioni miste si basano su analisi di interazione tra il terreno e la fondazione mista e devono garantire che i valori degli spostamenti e delle distorsioni siano compatibili con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§§ 2.2.2 e 2.6.2 della norma), nel rispetto della condizione ($E_d < C_d$).

Ai fini delle verifiche SLE si è considerata la combinazione quasi permanente dei carichi (eq. 2.5.4 delle NTC2018, impiegata per la valutazione degli effetti a lungo termine).

Sulla base di quanto prescrive la normativa si è quindi proceduto a calcolare il cedimento medio della palificata.

Il calcolo del cedimento del singolo palo (δ_p) viene eseguito con la soluzione suggerita da Poulos e Davis (1982) nell'ipotesi di "palo sospeso":

$$\delta_p = (Q_{max} * l_0 * R_k * R_v) / (E_s * \Phi)$$

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL <u>INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO</u> DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 11</p>

Il valore del cedimento limite di confronto dipende dalle condizioni imposte dal progettista in termini di deformazione fondazionale in esercizio.

3.3. OPERE DI FONDAZIONE LOCALE AD USO MENSA – PALI COSTIPATI FDP

Viste le caratteristiche dell'opera oggetto di intervento, le problematiche a cui è soggetta possono essere distinte in due fasi di progetto:

- 1- Valutazione delle portate dei pali di fondazione per i carichi indotti;
- 2- Presenza di terreni a basso grado di addensamento fino a profondità elevate;

Per quanto riguarda i pali di fondazione avremo:

- | | |
|----------------------------------|----------------|
| ▪ Quota testa palo (circa) | -1.00 m circa |
| ▪ Quota fondo palo | -9.0, - 12.0 m |
| ▪ Lunghezza pali | 8.0 e 11.0 m |
| ▪ Calcestruzzo Scc | C25/30-XC2 |
| ▪ Armatura con gabbia di tondini | Acciaio B450 C |

Per il dimensionamento dei pali di fondazione, di cui tratta la presente relazione, si utilizza quanto previsto dalla normativa vigente e quindi si determina il valore delle sollecitazioni ultime con i coefficienti relativi alle combinazioni di carico dove, per la determinazione delle sollecitazioni, si considerano le combinazioni A1+M1+R3 con l'applicazione dei coefficienti del sistema.

Nello specifico verranno esaminate le seguenti combinazioni:

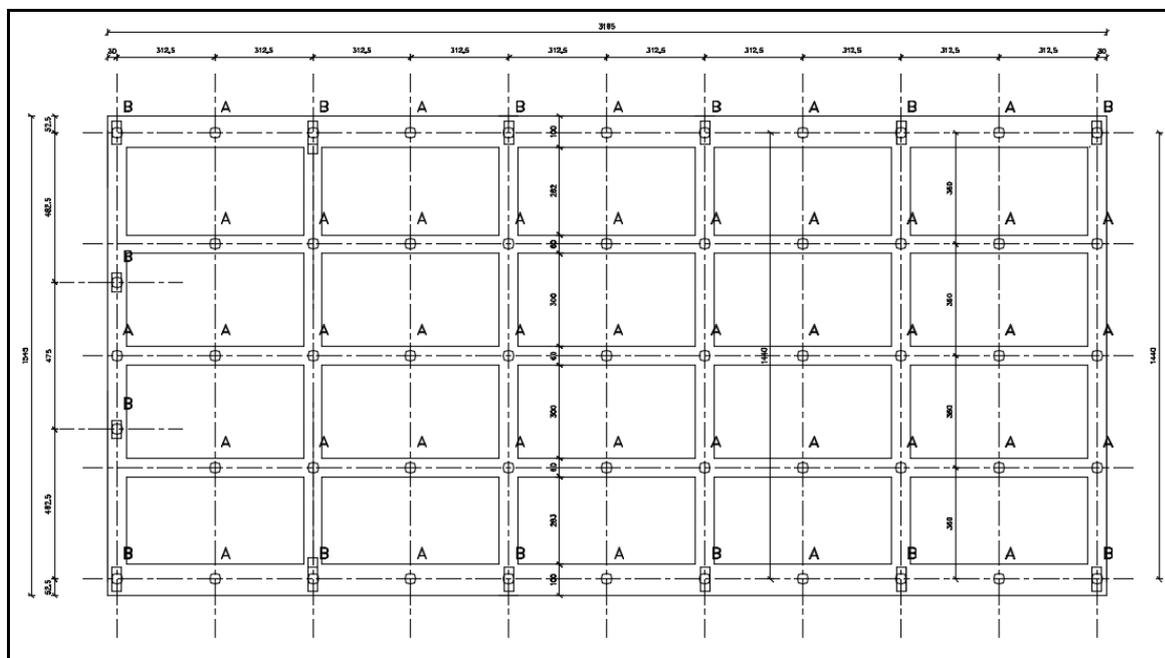
- Stato limite di esercizio (SLE) in combinazione rara;
- Stato limite ultimo (SLU – A1+M1+R3) per la verifica geotecnica e strutturale;
- Stato limite ultimo (SLU – A1+M1+R1) per la verifica geotecnica in combinazione sismica.

Le caratteristiche stratigrafiche che verranno utilizzate sono quelle già descritte in relazione.

I coefficienti amplificativi/riduttivi di calcolo che dovranno essere utilizzati vanno scelti accuratamente nelle tabelle di riferimento presenti nel Cap 6 delle NTC 2018.

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 12</p>

Tali valori verranno utilizzati per il dimensionamento dei pali di fondazione.



Nella **Figura 3.3.1** è inserita la pianta generale dell'intervento.

3.3.1. AZIONI AGENTI SULLE OPERE DI PROGETTO

Per la definizione dei carichi sui singoli pali di fondazione sono stati recepiti i carichi generali previsti dalle valutazioni dello Studio Ing. Colmegna nei singoli nodi di calcolo e sono state rielaborate considerando le seguenti ipotesi generali:

- 1) Plinto considerato infinitamente rigida e piastra non reagente con il terreno;
- 2) Distribuzione delle azioni sui singoli pali con la formulazione riassunta nella Figura 3.3.1.1 a seguire.
- 3) Fondazioni collegate e redistribuzione della sommatoria dei tagli presenti su tutti i pali realizzati evitando di considerare condizioni locali di taglio.

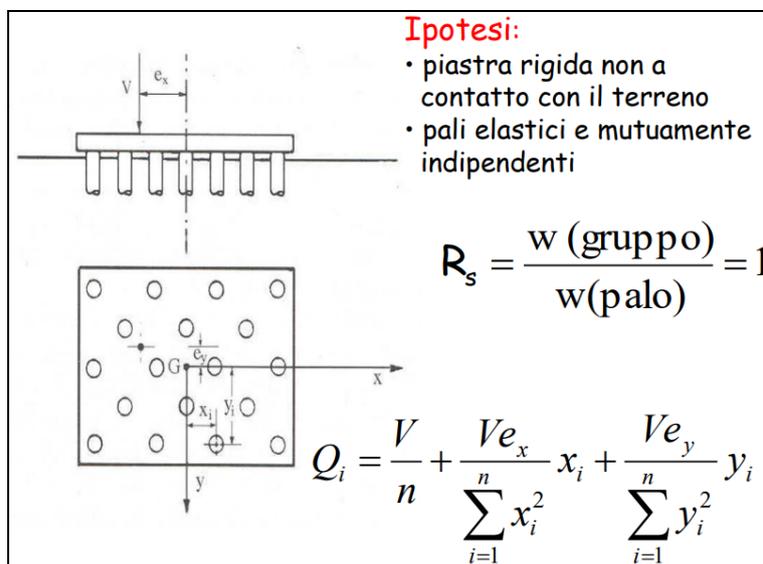


Figura 3.3.3.1: modalità di distribuzione carichi su palificata.

Nella relazione è previsto il mero calcolo geotecnico delle portate del singolo palo di fondazione in funzione dei massimi carichi agenti nelle varie combinazioni assegnate:

In base ai dati forniti dal progettista, e considerate le eccentricità costruttive, oltre che la presenza di fondazioni superficiali su travi continue, di seguito riportiamo condizioni di carico più gravose in funzione delle diverse tipologie di palo previste:

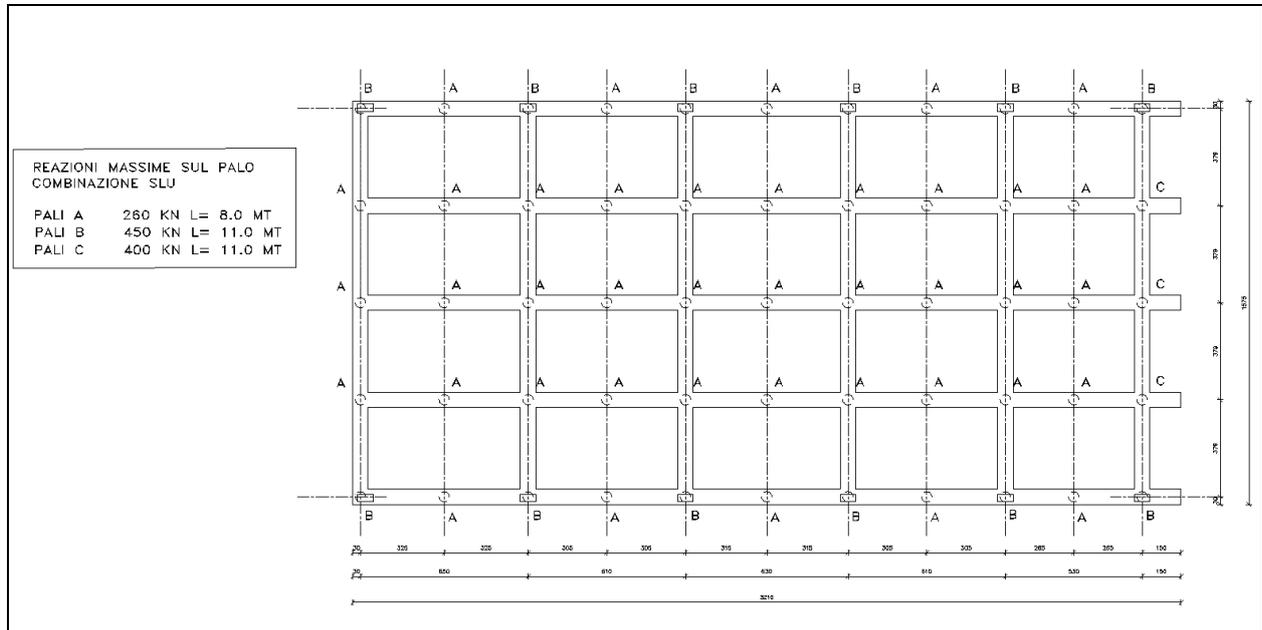
REAZIONI MASSIME SUL PALO COMBINAZIONE SLU		
PALI A	280 KN	L= 8.0 M
PALI B	550 KN	L= 11.0 M

PALO DIAM. 400 mm, L= 8.0 m

a. Carico massimo Verticale a compressione $N^{SLU+Ed} = 28000 \text{ daN} = 280 \text{ kN}$

PALO DIAM. 400 mm, L= 11.0 m

b. Carico massimo Verticale a compressione $N^{SLU+Ed} = 55000 \text{ daN} = 550 \text{ kN}$



Diversa disposizione dei pali in corrispondenza dei pilastri

Tutti i carichi sono già amplificati dei coefficienti normativi.

I pali di fondazione saranno considerati con lunghezza 8.0 e 11.0 con m con testa a - 1.00 m dal piano campagna.

L'analisi statica della palificata è stata condotta considerando le fondazioni come costituite da pali incastrati in fondazione.

La finalità della successiva valutazione di portata è quindi quella di definire con una affidabilità adeguata la portata massima del palo di fondazione.

In virtù di quanto appena descritto verrà valutata la sola condizione di carico definitiva utilizzando il massimo carico verticale disponibile.

La combinazione dimensionante per i pali di fondazione appare quella statica.

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO <u>DOTT. GEOL. MATTIA BENZI</u> Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 15</p>

3.3.4. CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO

La determinazione della capacità portante di un singolo palo o di una palificata costituita da pali trivellati può essere valutata mediante le "formule statiche" opportunamente adattate alle specifiche modalità esecutive.

Terreni sabbiosi. Nel caso in cui i pali si attestino su terreni a comportamento granulare, la resistenza alla punta Q_b di un palo di diametro D è pari a:

$$Q_b = \pi \frac{D^2}{4} \cdot q_p$$

dove q_p è la resistenza unitaria alla punta

In generale per un terreno dotato di coesione e attrito si pone:

$$q_p = N_q \sigma_{vL} + N_c c$$

dove N_q e N_c sono i fattori di capacità portante espressi in funzione dell'angolo d'attrito φ'

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

e σ_{vL} è la tensione verticale agente alla profondità della base del palo.

In condizioni drenate, $c' = 0$ e $\sigma_{vL} = \sigma'_{vL}$.

Il valore di N_q può essere dedotto dall'abaco di Berezantev (1961) in funzione di φ' e del rapporto L/d .

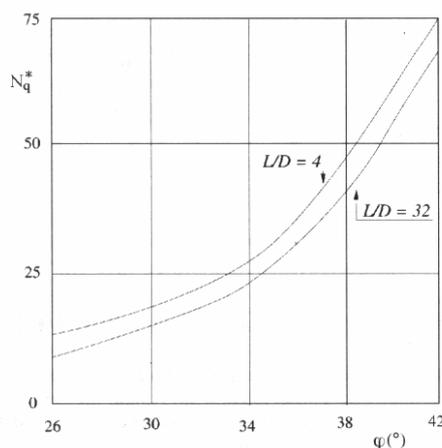


Figura 3.4.1: andamento di N_q in relazione all'angolo di resistenza al taglio

La resistenza laterale Q_l è ricavata attraverso l'espressione:

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 16</p>

$$Q_t = \pi D \int_0^L f_s dz$$

dove f_s è la resistenza tangenziale all'interfaccia palo terreno.

3.3.4. ANALISI GEOTECNICA E STRUTTURALE

3.3.4.1. Materiali Impiegati

Per la realizzazione delle opere di cui sopra si prescrive l'impiego dei seguenti materiali.

ACCIAIO DI ARMATURA:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| - Profilo tipo | B450C – preformate in stabilimento |
| - Tensione di snervamento f_{yk} : | 450 N/mm² |
| - Tensione a rottura f_u : | 540 N/mm² |

GETTO DI COMPLETAMENTO (CALCESTRUZZO):

- | | |
|-------------------------|---------------|
| - Classe di resistenza | C25/30 |
| - Classe di fluidità | SCC |
| - Classe di esposizione | XC2 |
| - Inerte massimo | 15 mm |

3.3.4.2. Verifica geotecnica a carichi verticali (GEO)

Per il dimensionamento della portata geotecnica dei pali di fondazione si utilizza quanto previsto dalla normativa vigente e quindi si determina il valore della portata limite ultima depurandola con i coefficienti relativi all'Approccio 2 (Cap 6.4.3), in cui si considera per la determinazione delle portate la sola combinazione A1+M1+R3.

Il calcolo della portata verrà eseguito con le tecniche classiche descritte nei paragrafi precedenti e utilizzando il modello geotecnico descritto nei paragrafi precedenti.

A seguire si riassumono i valori di verifica con riferimento ai nodi di **Tabella 3.3.4.2.1:**

A) TIPOLOGIA PALI:

- 1) D. 400 mm – l=8.00 e 11.00 m;

I pali di fondazione sono risultati compressi e tesi nelle varie combinazioni rilevate.

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 17</p>

I coefficienti utilizzati per la verifica sono quelli propri della combinazione A1+M1+R3, che per semplicità vengono richiamati negli elenchi a seguire.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_r	1,0	1,0

Figura 3.3.4.2.1: Coefficienti parziali (M1).

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

Figura 3.3.4.2.2: Coefficienti parziali sulle Resistenze per i pali FDP (R3).

Valutate le combinazioni massime di carico a seguire per cui verrà effettuata verifica:

PALO DIAM. 400 mm, L= 11.0 m

a. Carico massimo Verticale a compressione $N^{SLU+Ed} = 55000 \text{ daN} = 550 \text{ kN}$

Verrà effettivamente valutata la combinazione geotecnica 3) che risulta quella più sfavorevole (sia a compressione che a trazione) per le portate necessarie.

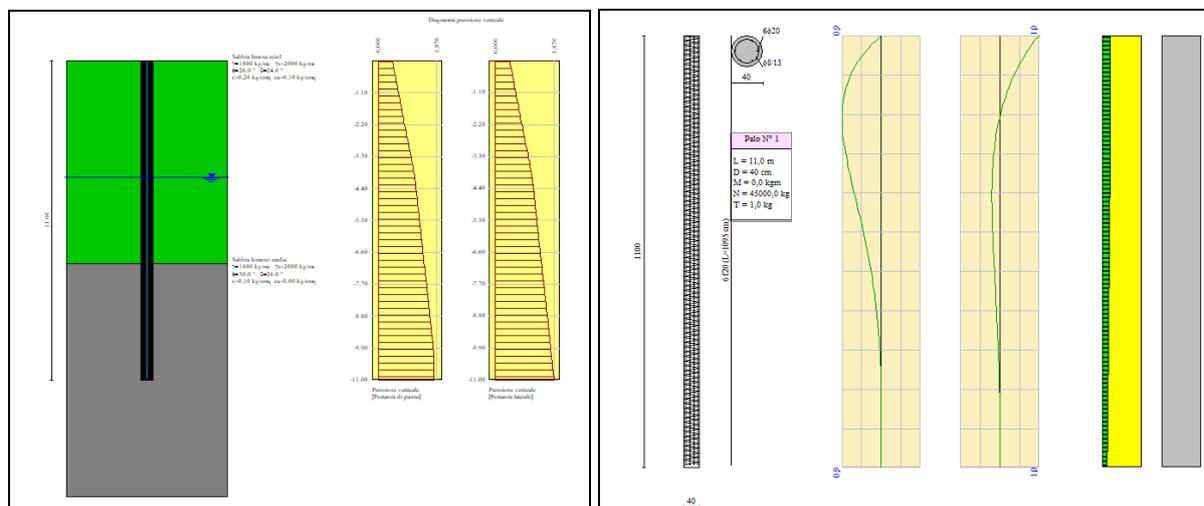
Sono stati utilizzati per la valutazione dei coefficienti di correlazione dovuti alle prove realizzate in numero di 3 verticali, i seguenti valori:

ξ_3	1,60
ξ_4	1,48

E i coefficienti di riduzione (R3) per il calcolo delle portate.

I valori di carico limite ultimo ottenuti per il palo in esame sono quelli forniti dal progettista, e riportati nello schema sottostante:

In **Tabella 3.3.4.2.4** sono inseriti i valori ottenuti con le dovute parziali di normativa per ottenere la resistenza ai carichi assiali in stato limite ultimo:



Geometria palo		
L =	Y = 0,00 m	
Portanza verticale		
Pp min =	$\sigma_{vpp} = 0,45 \text{ kg/cm}^2$	
Pp max =	$\sigma_{hpl} = 0,45 \text{ kg/cm}^2$	
Pl min =	85277 kg	Pl medio = 85277 kg
Wp =	3456 kg	
Pd =	103706 kg	N = 45000 kg $\eta = 2,30$
Coefficients di capacità portante		
Nc =	46,12	Nq = 33,30
N'c =	127,42	N'q = 43,11
Portanza trasversale		
Td =	3070 kg	T = 1 kg $\eta = 3070,03$
Mu =	0 kgm	
Armatura palo (primo tratto)		
Armatura:	6 ϕ 20	A = 18,85 cm ² MuSez = 7704 kgm
Armatura palo (secondo tratto) - y =		
Armatura:	ϕ	A = MuSez =
Cedimenti		
w =	0,243 cm	u = 0,000 cm

Tabella 3.3.4.2.4: resistenza ai carichi assiali allo Stato Limite Ultimo e verifica di sicurezza a flessione e compressione.

Per i valori assunti il carico assiale geotecnico è verificato.

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - ✉ info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - ✉ dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="right">Pag. 19</p>

3.3.4.3. Verifica strutturale della palificata (STR)

Nella presente sezione vengono riportati i dimensionamenti e le verifiche degli elementi strutturali di fondazione, con particolare riferimento ai pali in c.a. che costituiscono la palificata.

La verifica strutturale verrà eseguita considerando la combinazione di riferimento in SLV, verificando i risultati delle analisi medesime considerando l'applicazione delle azioni sismiche nel regime degli Stati Limite Ultimi e dei coefficienti riduttivi e amplificativi specifici per la combinazione.

Essendo i pali sottoposti non solo a carico assiale, ma soggetti a momenti interni dovuti alle azioni di taglio si dispone a seguire la verifica dei pali con le armature di progetto, e considerando i carichi già indicati nei paragrafi precedenti, la verifica viene eseguita per coesistenza di carichi assiali e momenti. A seguire verrà eseguita anche la verifica a taglio.

Le verifiche sono state condotte nei confronti delle sollecitazioni massime stimate nelle sezioni più gravose.

I pali con diametro 400 mm sono armati con armatura di tondini costituita da 6 \varnothing 20 e staffe \varnothing 10/15 elicoidali.

Nel caso specifico verranno utilizzate le formulazioni conformi con quanto rilevabile nella normativa vigente.

Per le verifiche strutturali del singolo palo in condizioni presso-inflesse viene utilizzato il software del AZTEC CARL 16 2021 inserendo i singoli valori in condizioni ultime.

Dai risultati ottenuti la sezione è strutturalmente verificata.

 <p>FONDAZIONI SPECIALI SRL INGEGNERIA DEL SOTTOSUOLO DOTT. GEOL. MATTIA BENZI Via Turati, 27 - 20068 Peschiera B. (MI) Cell. 3485607242 - info@fondazionispecialimilano.it</p>	<p align="center">RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO</p>	 <p>ING. DAVIDE GRABLOVITZ CF GRBDVD76A12D150J - PI 01350780191 Cell. 3456785119 - dgrablo@gmail.com Via Cadorna, 6 - 25121 Brescia Via del Mulinetto, 63 - 44122 Ferrara</p>
<p align="center">ST-2290-FS_RC02_20230605</p>	<p align="center">giugno '23</p>	<p align="center">Pag. 20</p>

4. CONCLUSIONI

In base alle attività progettuali eseguite e in funzione delle verifiche geotecniche e strutturali realizzate, si ritiene che la proposta realizzativa sia funzionale alle strutture da sostenere e adatta alle finalità del progetto.

Tutte le verifiche eseguite sono risultate formalmente accettabili.

Ing. Grablovitz Davide

Mazzano, giugno '23



.....
Dott. Geol. Mattia Benzi

