




## PROGETTO ESECUTIVO

00	05/10/2019	EMISSIONE PER PROGETTO ESECUTIVO	SP	IV
<i>revisione</i>	<i>data</i>	<i>oggetto</i>	<i>dis.</i>	<i>contr.</i>

*progetto*

**INTERVENTI DI POTENZIAMENTO DELLA PRESTAZIONE  
STRUTTURALE DEL POLO DELL'INFANZIA DI BUSCOLDI**  
DETERMINA DI APPROVAZIONE DEL PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA O ESTREMI  
delibera n.126 del 24.08.2015

**CUP H61E16000300004**

<i>committente</i>	Comune di Curtatone	<i>il Tecnico</i> ing. Ugo Ziggiotto 
<i>località</i>	Via G. Maggiolini, 10 - 46010 - Buscoldo	
<i>elaborato</i>	RELAZIONE GEOTECNICA	
<i>n° tavola</i>	Sese_03	
<i>file</i>	RELAZIONE GEOTECNICA.doc	

**UGO ZIGGIOTTO** *ingegnere*

Via Modigliani, 5 - 46010 MONTANARA DI CURTATONE (MN)

## **INDICE**

<b>INDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE</b> .....	<b>4</b>
2.1. Fondazioni.....	4
2.2. Struttura di elevazione in c.a.....	4
2.3. Intervento di progetto.....	7
<b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>10</b>
<b>4. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO</b> .....	<b>11</b>
<b>5. PARAMETRI GEOTECNICI ADOTTATI</b> .....	<b>19</b>
<b>6. RISULTATI DEL CALCOLO</b> .....	<b>25</b>
6.1. Pressioni al suolo – fondazioni esistenti .....	25
6.2. Carico su pali .....	26
<b>7. PARAMETRI DI CALCOLO GEOTECNICO</b> .....	<b>28</b>
<b>8. CALCOLO CAPACITA' PORTANTE</b> .....	<b>30</b>
8.1. Travi di fondazione esistenti .....	30
8.2. Pali di fondazione .....	31
<b>9. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI E CARICO DI ESERCIZIO SLE</b> .....	<b>34</b>

## 1. PREMESSA

L'amministrazione comunale di Curtatone nell'ambito del bando per la programmazione nazionale in materia di edilizia scolastica per il triennio 2018-2020, intende manifestare l'interesse relativamente al plesso scolastico di Buscoldo, con riferimento particolare alla struttura adibita a "scuola per l'infanzia e micronido", ubicato in Via Maggiolini 10 in località Buscoldo.

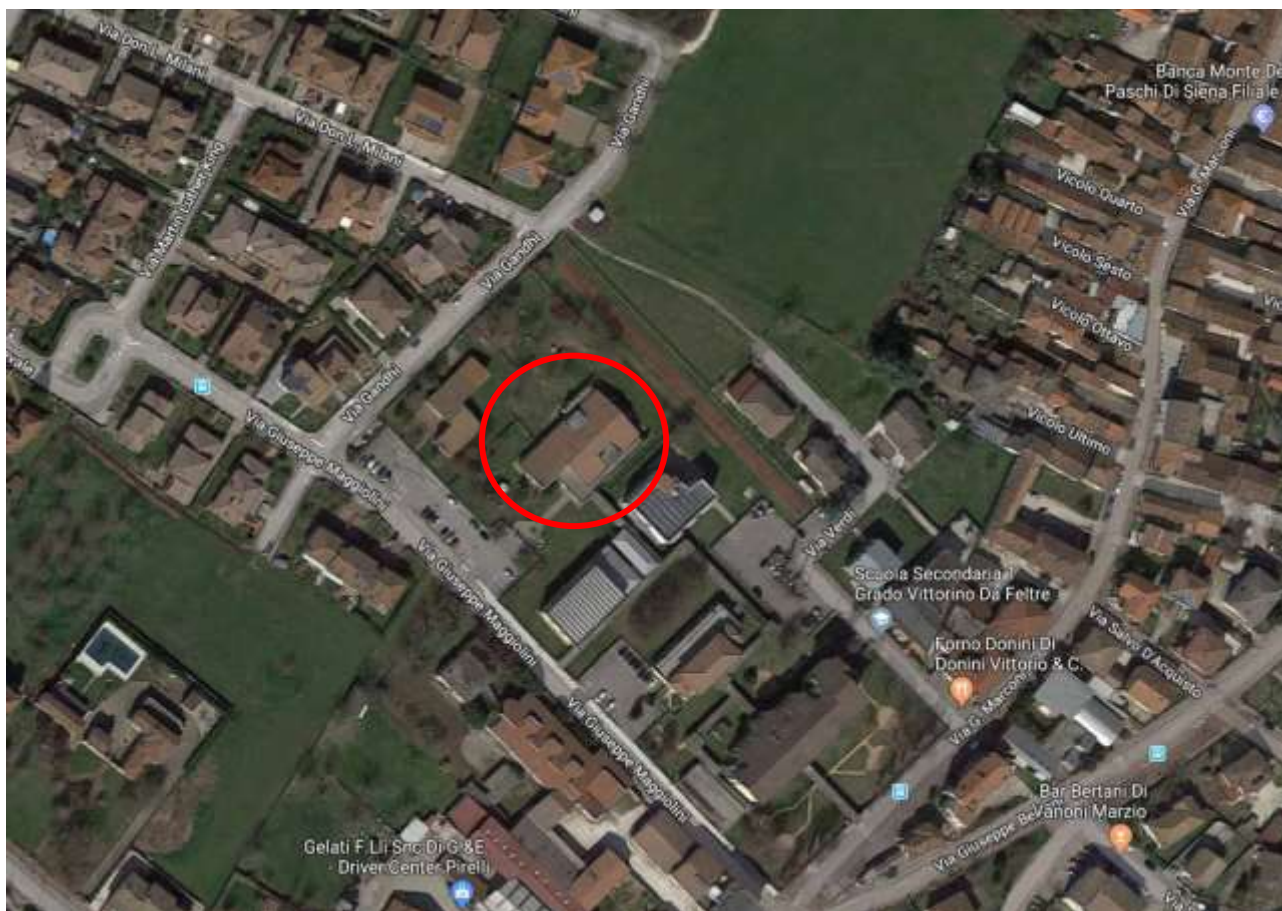


Figura 1: localizzazione edificio

L'edificio in oggetto è stato oggetto di verifica di vulnerabilità sismica nell'anno 2014 da parte dell'ing. Buttini Dario, Ordine Ingegneri di Mantova n. 1511.

L'edificio, realizzato negli anni 2000 – 2002, presenta una struttura a telaio in c.a., con tamponamenti esterni in muratura di laterizio, solai di interpiano in laterocemento e copertura in laterocemento, il tutto documentato negli elaborati di progetto esecutivo che sono stati forniti dalla committenza.

La struttura è essenzialmente un monopiano per la maggior parte dell'estensione in pianta, è presente una piccola porzione semi-interrata ad uso centrale termica e una zona a doppio volume sul retro. Il sottotetto non è accessibile e la pendenza è realizzata con muricci e tavelloni.



Pendenza in  
muricci e  
tavelloni

Figura 2: vista da Via Maggiolini

Nel documento “Relazione di calcolo” sono stati esposti i risultati del calcolo condotto allo scopo di pervenire all’adeguamento sismico del fabbricato.

Nel seguito si troverà esposta la modellazione geotecnica e l’esecuzione delle verifiche di capacità portante del terreno, sia per le fondazioni superficiali che per le fondazioni profonde.

Si sottolinea in particolare l’importanza dell’esecuzione dei saggi esplorativi iniziali, prima dell’inizio dei lavori.

In particolare è stata condotta una campagna di indagini, svolta dal laboratorio tecnologico mantovano, con sede in Levata di Curtatone, nel mese di gennaio 2019, il cui report è allegato al presente progetto esecutivo. In sede di indagine si sono eseguite prove sia di tipo distruttivo (prelievo di carote e barre di armatura) che non distruttivo, allo scopo di qualificare efficacemente i materiali presenti in sito. Al cap. 4 della presente relazione si darà conto di quanto ottenuto.

In sede di progettazione esecutiva è stata anche condotta una indagine geologica specifica per l’intervento, redatta dal dott. Geol. Carlo Caleffi, in data Luglio 2018, allo scopo di caratterizzare correttamente i terreni presenti in sito, oltre che confermare la categoria di suolo sismico ipotizzata in sede di progetto definitivo. Tale documento è allegato al progetto esecutivo.



## **2. DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE**

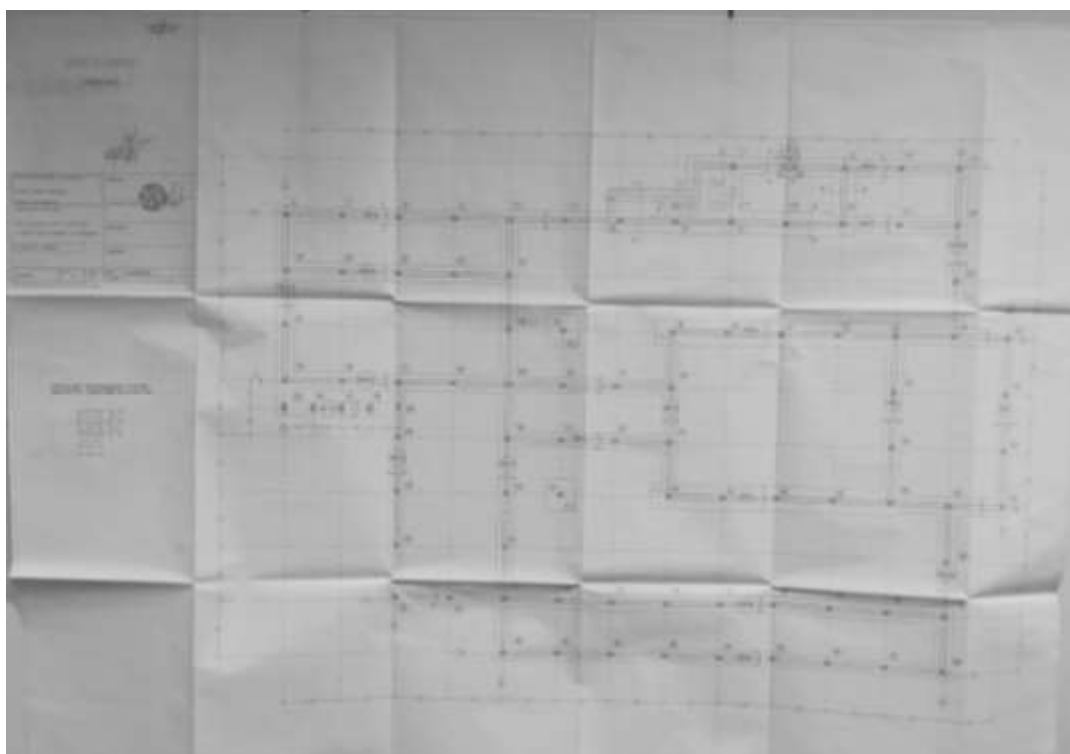
---

Si procede quindi alla descrizione della struttura esistente e delle varie opere oggetto di progettazione nell'ambito dell'intervento in oggetto.

### **2.1. Fondazioni**

L'edificio in oggetto è costituito da un fabbricato con struttura a telaio in c.a. gettato in opera, con fondazioni dirette a trave continua.

Le fondazioni sono di sezione a "T" rovescio, di altezza totale 75 cm, con base variabile in relazione al dimensionamento geotecnico condotto all'epoca della realizzazione. Sono presenti due plinti isolati di dimensioni 175x175 cm a sostegno di due pilastri intermedi.



**Figura 3: estratto pianta fondazioni**

Si rimanda agli elaborati grafici di progetto esecutivo originale per la definizione completa delle strutture di fondazione.

### **2.2. Struttura di elevazione in c.a.**

La struttura in elevazione è realizzata con un telaio in c.a. gettato in opera e solai di piano in laterocemento.

La figura seguente mostra la pianta del primo solaio.



NOME COGLIOME (NOME IN ABBRIGIATO) E DATA NASCITA <b>CLAUDIO LONARDI INGEGNERE</b> COGLIOME E DATA NASCITA	PROGETTISTA IN CARICHI nelle opere in progettazione consentite al cui atto dimensiono presentate in data 30 aprile 2001 con n° 8221
--	--

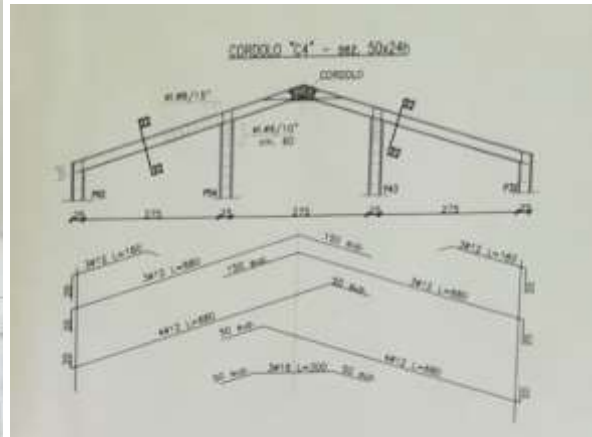
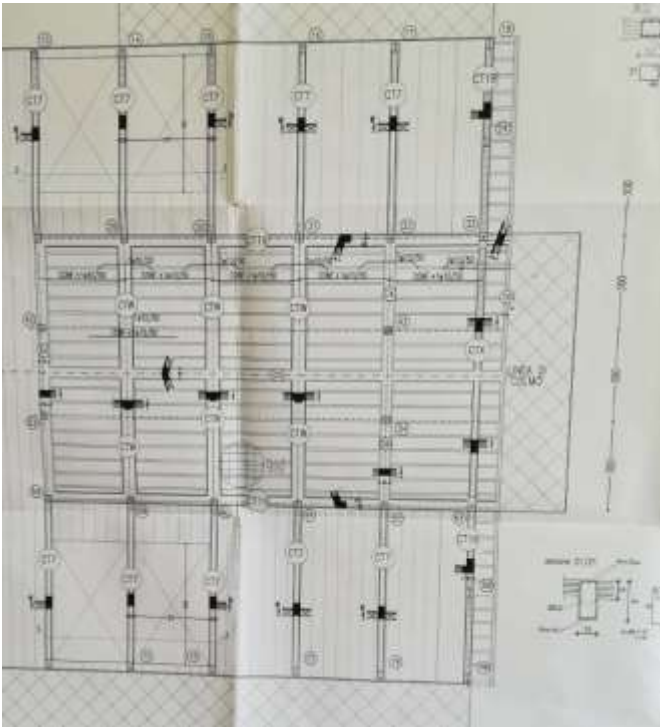
REVISIONE PROGETTUALE STATICA OPERATA DAL  
DIRETTORE DEI LAVORI A SEGUITO DI ERRORI  
STRUTTURALI ED ESECUZIONE NON A NORMA

NOME COGLIOME (NOME IN ABBRIGIATO) E DATA NASCITA <b>EDILDA BUSCOLDESE S.N.C.</b> di Corrali R. e Salvago G. & C. COGLIOME E DATA NASCITA	COSTRUTTORE
--	-------------

 <b>EPTA studio</b> INGEGNERIA ARCHITETTURA AMBIENTE SICUREZZA	INDIRIZZO VIALE DELL'INDUSTRIA 46100 CURTATONE (MN)	E. Direttore Lavori <b>Opere 2012-14</b> 
<b>COMUNE DI CURTATONE</b> PROVINCIA DI MANTOVA		
<b>PROGETTO</b>		
PER LA REALIZZAZIONE DELLA NUOVA SCUOLA MATERNA CON ANNESSO MICROMONDO DA ESEGUIRSI NEL POLO SCOLASTICO OMBRIFORME DI BUSCOLD PER CONTO DELLA		
		AMMINISTRAZIONE COMUNALE
<b>PERIZIA DI VARIANTE n° 1</b>		
OGGETTO <b>TAVOLA STRUTTURALE</b> <b>PIANTA E PARTICOLARI</b> <b>SOLAIO COPERTURA</b>	TAV. N° <b>CA1</b>	SCALA 1:50 1:20
I DIRITTI DI PROPRIETA' E SUPERVIZIONE SONO RISERVATI IN CONFORMITA' ALLA LEGGE ITALIANA		DATA <b>18 SET. 2012</b>

**Figura 4: Estratto pianta primo solaio**

La copertura dell'edificio, nella zona a doppio volume, è anch'essa in laterocemento, in pendenza.



REVISIONE PROGETTUALE STATICA OPERATA DAL DIRETTORE DEI LAVORI A SEGUITO DI ERRORI STRUTTURALI ED ESECUZIONE NON A NORMA

<p>AREA BUSCOLDO (M2) IN ANNICIATI 4 TEL. SUPPLEMENTI</p> <p><b>EDILIZIA BUSCOLDESE S.N.C.</b> di Garosi R. e Salvagno G. &amp; C.</p> <p>CONTRATTO PER STRUTTURE</p>	<p>CONSTRUTTORE</p>
---	---------------------



 <p><b>EPTAstudio</b> PROFESSIONISTI ASSOCIATI INGEGNERIA - ARCHITETTURA AMBIENTE - SICUREZZA</p>	<p>INGEGNERIA ARCHITETTURA AMBIENTE SICUREZZA</p>	<p>Il Direttore Lavori Gianfranco...</p> 
<p>COMUNE DI CURTATONE PROVINCIA DI MANTOVA</p> <p><b>PROGETTO</b></p> <p>PER LA REALIZZAZIONE DELLA NUOVA SCUOLA MATERNA CON ANNESSO MICRORIDO DA ESEGUIRSI NEL POLO SCOLASTICO OMNICOMPRESIVO DI BUSCOLDO PER CONTO DELLA</p> <p style="text-align: right;">AMMINISTRAZIONE COMUNALE</p>		
<p>PERIZIA DI VARIANTE n° 1</p>		
<p>OGGETTO</p> <p><b>TAVOLA STRUTTURALE</b> <b>PIANTA E PARTICOLARI</b> <b>SOLAIO COPERTURA</b></p>	<p>TAV. n°</p> <p><b>CA3</b></p>	<p>SCALA</p> <p>1:50 1:20</p> <p>IBBRICNO</p>
<p>« DIRITTO DI PROPRIETA' E INDIRIZIONE LEGGE MODIFICATA IN CONFORMITA' ALLE LEGGI VIGENTI »</p>		<p>DATA</p> <p><b>18 SET. 2002</b></p>

Figura 5: Pianta copertura.

I sopralluoghi condotti preliminarmente hanno confermato che le strutture effettivamente realizzate sono coerenti con gli elaborati grafici a disposizione.

### **2.3. Intervento di progetto**

L'intervento di progetto prevede la realizzazione di un sistema di controventamento esterno all'edificio esistente, a questo collegato mediante dispositivi in acciaio, allo scopo di:

- Trasferire il carico sismico dai pilastri esistenti alla struttura di controventamento esterna, realizzata con setti in c.a. di dimensioni adeguate, nettamente migliori ai fini dell'assorbimento dell'azione orizzontale;
- Limitare lo spostamento di interpiano della struttura esistente, in modo da ridurre drasticamente l'azione flettente generata sui pilastri esistenti, sino al raggiungimento della verifica strutturale sotto azione sismica di progetto.

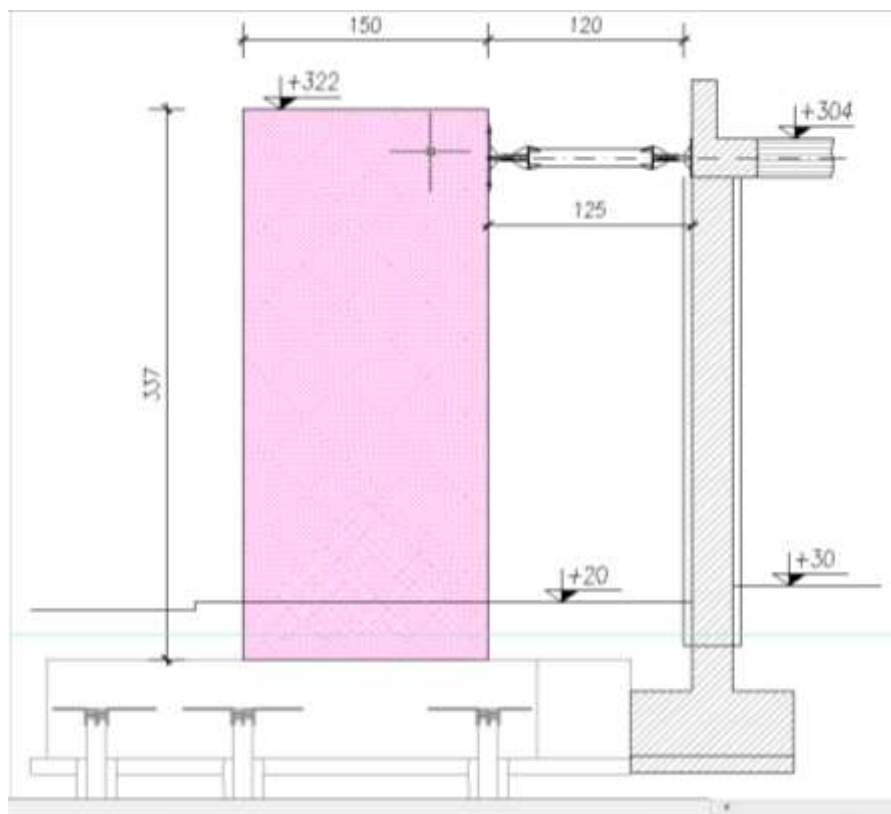
Il sistema di controventamento prevede la realizzazione di 16 pareti di controventamento in c.a., di spessore 30 cm e lunghezza variabile da 150 cm a 210cm.

Le strutture di fondazione sono realizzate mediante plinti su pali. La tipologia di fondazione prevista (profonda) è legata alla necessità di avere elementi di fondazione non cedevoli per effetto dell'azione orizzontale, altrimenti si vanificherebbe l'effetto di controventamento progettato.

Sono previsti n° 6 micropali per plinto, di lunghezza variabile tra 10 e 12 metri a seconda dell'allineamento controventato e della posizione del plinto.

Il micropalo prevede una perforazione da 25 cm, con l'inserimento di un tubolare in acciaio S355, diametro esterno 114.3mm spessore 5mm.

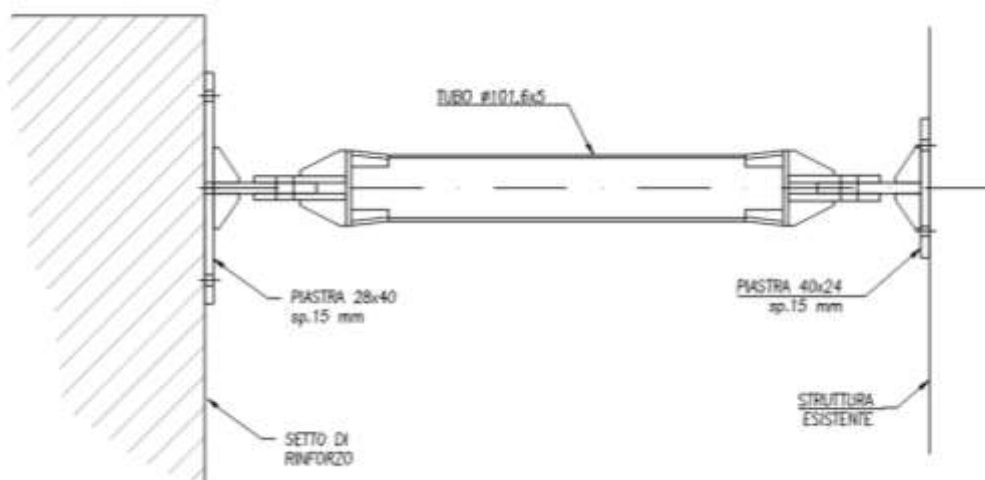




**Figura 6: Tipico parete di controventamento**

L'attacco alla struttura esistente avviene mediante collegamento metallico realizzato con un tubolare circolare diametro esterno 101.6 sp. 5mm, fissato a formare una biella non resistente a flessione. La scelta è legata al fatto che si vuole consentire alla struttura di avere spostamenti nella direzione ortogonale all'asse del tubolare, senza danneggiare l'attacco stesso.

Il fissaggio lato muri di progetto avverrà mediante tirafondi annegati nel getto e piastra di fissaggio tubulare. Lato esistente si prevede invece l'esecuzione di fissaggi chimici profondi collegati con una piastra nervata in acciaio adeguatamente dimensionata.



**Figura 7: Tipico elemento di collegamento**

Considerando la presenza di un solaio in laterocemento H20+4 cm, in grado di assolvere convenientemente alla condizione di piano rigido, si prevede che con l'intervento di progetto le azioni sismiche di calcolo vengano trasferite in massima parte ai muri di controventamento, "sgravando" i pilastri esistenti, decisamente poco armati, dall'onere di sopportare l'azione sismica stessa.

### **3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

---

La normativa di riferimento per il calcolo, dimensionamento e verifica delle strutture è la seguente:

[1] D.M. 17/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

[2] Circolare 21/01/2019, n. 7: Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

## 4. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

Per la realizzazione dell'opera si fa riferimento ad uno studio geologico a cura del dott. Geol. Carlo Caleffi, svolto nell'anno 2019, propedeutico alla progettazione specifica dell'intervento in oggetto, di proprietà dell'amministrazione comunale, in cui è stata svolta una specifica campagna di prove volte a determinare la stratigrafia dei terreni presenti in sito e la caratterizzazione geotecnica e sismica degli stessi.



Figura 8: Frontespizio relazione geologica

Il sito indagato è evidenziato nell'immagine seguente:



Figura 9: localizzazione intervento ed area indagata

Le prove condotte sono costituite da 3 prove penetrometriche statiche, spinte sino a 20 metri di profondità, oltre ad una prova con tomografo digitale per la caratterizzazione della categoria di suolo.

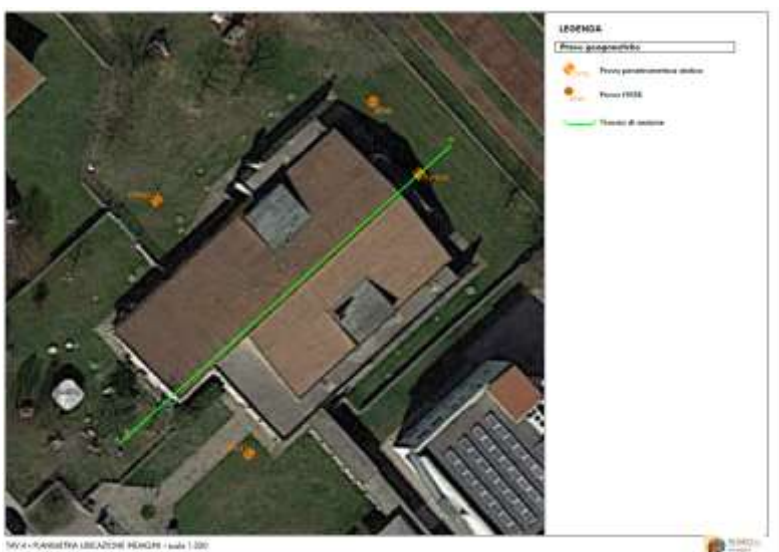


Figura 10: individuazione delle prove eseguite

Il modello geologico che ne deriva è riportato nel seguito, estratto dalla relazione geologica:



**ORIZZONTE 1**

- Litologia: depositi prevalentemente argilloso-limosi a comportamento coesivo;
- Profondità da -0.60 m a -0.94+-1.32 m da p.c. e da -1.78+-1.92 m a -3.28+-3.52 m da p.c.;
- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 17.50 \text{ kN/m}^3$
  - coesione non drenata:
    - valore medio  $Cu_m = 148.17 \pm 46.19 \text{ kPa}$
    - valore caratteristico  $Cu_k = 142.27 \text{ kPa}$
  - coesione efficace:
    - valore medio  $c' = 10.84 \pm 0.26 \text{ kPa}$
    - valore caratteristico  $c' = 10.81 \text{ kPa}$
  - angolo di attrito interno:
    - valore medio  $\phi'_m = 25.57^\circ \pm 2.34^\circ$
    - valore caratteristico  $\phi'_k = 25.4^\circ$
  - modulo edometrico:
    - valore medio:  $Eed_m = 6.98 \pm 2.04 \text{ MPa}$
    - valore caratteristico:  $Eed_k = 6.73 \text{ MPa}$

**ORIZZONTE 2**

- Litologia: depositi prevalentemente sabbiosi a comportamento granulare;
- Profondità da -0.94+-1.32 m a -1.78+-1.92 m da p.c.;
- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
  - angolo di attrito interno:
    - valore medio  $\phi'_m = 32.64^\circ \pm 2.25^\circ$
    - valore caratteristico  $\phi'_k = 32.30^\circ$
  - modulo elastico:
    - valore medio:  $Ey_m = 20.74 \pm 8.26 \text{ MPa}$
    - valore caratteristico:  $Ey_k = 19.09 \text{ MPa}$

**ORIZZONTE 3**

- Litologia: depositi prevalentemente limoso-sabbiosi a comportamento granulare;
- Profondità da -3.28+-3.52 m a -4.46+-6.40 m da p.c.;

- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$
  - angolo di attrito interno:
    - valore medio  $\phi_m' = 29.74^\circ \pm 0.83^\circ$
    - valore caratteristico  $\phi_k' = 29.70^\circ$
  - modulo elastico:
    - valore medio:  $E_{y_m} = 10.61 \pm 2.92 \text{ MPa}$
    - valore caratteristico:  $E_{y_k} = 10.29 \text{ MPa}$

#### **ORIZZONTE 4**

- Litologia: depositi prevalentemente sabbiosi a comportamento granulare;
- Profondità da -4.46+-6.40 m a -10.80+-10.98 m da p.c., da -12.14+-12.20 m a -16.12+-16.34 m da p.c. e da -19.40+-19.62 a -20.00 m da p.c. (massima profondità investigata);
- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
  - angolo di attrito interno:
    - valore medio  $\phi_m' = 34.12^\circ \pm 2.27^\circ$
    - valore caratteristico  $\phi_k' = 34.0^\circ$
  - modulo elastico:
    - valore medio:  $E_{y_m} = 27.40 \pm 7.87 \text{ MPa}$
    - valore caratteristico:  $E_{y_k} = 27.06 \text{ MPa}$

#### **ORIZZONTE 5**

- Litologia: depositi prevalentemente limoso-sabbiosi a comportamento granulare;
- Profondità da -10.80+-10.98 m a -12.14+-12.20 m da p.c.;
- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$
  - angolo di attrito interno:
    - valore medio  $\phi_m' = 29.76^\circ \pm 1.17^\circ$
    - valore caratteristico  $\phi_k' = 29.60^\circ$
  - modulo elastico:
    - valore medio:  $E_{y_m} = 10.74 \pm 4.03 \text{ MPa}$
    - valore caratteristico:  $E_{y_k} = 10.15 \text{ MPa}$

**ORIZZONTE 6**

- Litologia: depositi prevalentemente argilloso-limosi a comportamento coesivo;
- Profondità da -16.12+-16.34 m a -17.44+-17.64 m da p.c.;
- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 17.50 \text{ kN/m}^3$
  - coesione non drenata:
    - valore medio  $C_{u_m} = 88.60 \pm 15.63 \text{ kPa}$
    - valore caratteristico  $C_{u_k} = 86.35 \text{ kPa}$
  - coesione efficace:
    - valore medio  $c' = 11.21 \pm 0.11 \text{ kPa}$
    - valore caratteristico  $c' = 11.19 \text{ kPa}$
  - angolo di attrito interno:
    - valore medio  $\phi_m' = 22.48^\circ \pm 0.73^\circ$
    - valore caratteristico  $\phi_k' = 22.40^\circ$
  - modulo edometrico:
    - valore medio:  $E_{ed_m} = 5.45 \pm 0.77 \text{ MPa}$
    - valore caratteristico:  $E_{ed_k} = 5.34 \text{ MPa}$

**ORIZZONTE 7**

- Litologia: depositi prevalentemente limoso-sabbiosi a comportamento granulare;
- Profondità da -17.44+-17.64 m a -19.40+-19.62 m da p.c.;
- Parametri geotecnici:
  - peso specifico  $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$
  - angolo di attrito interno:
    - valore medio  $\phi_m' = 32.02^\circ \pm 1.19^\circ$
    - valore caratteristico  $\phi_k' = 31.90^\circ$
  - modulo elastico:
    - valore medio:  $E_{y_m} = 18.45 \pm 4.36 \text{ MPa}$
    - valore caratteristico:  $E_{y_k} = 18.01 \text{ MPa}$

Figura 11: estratto relazione geologica

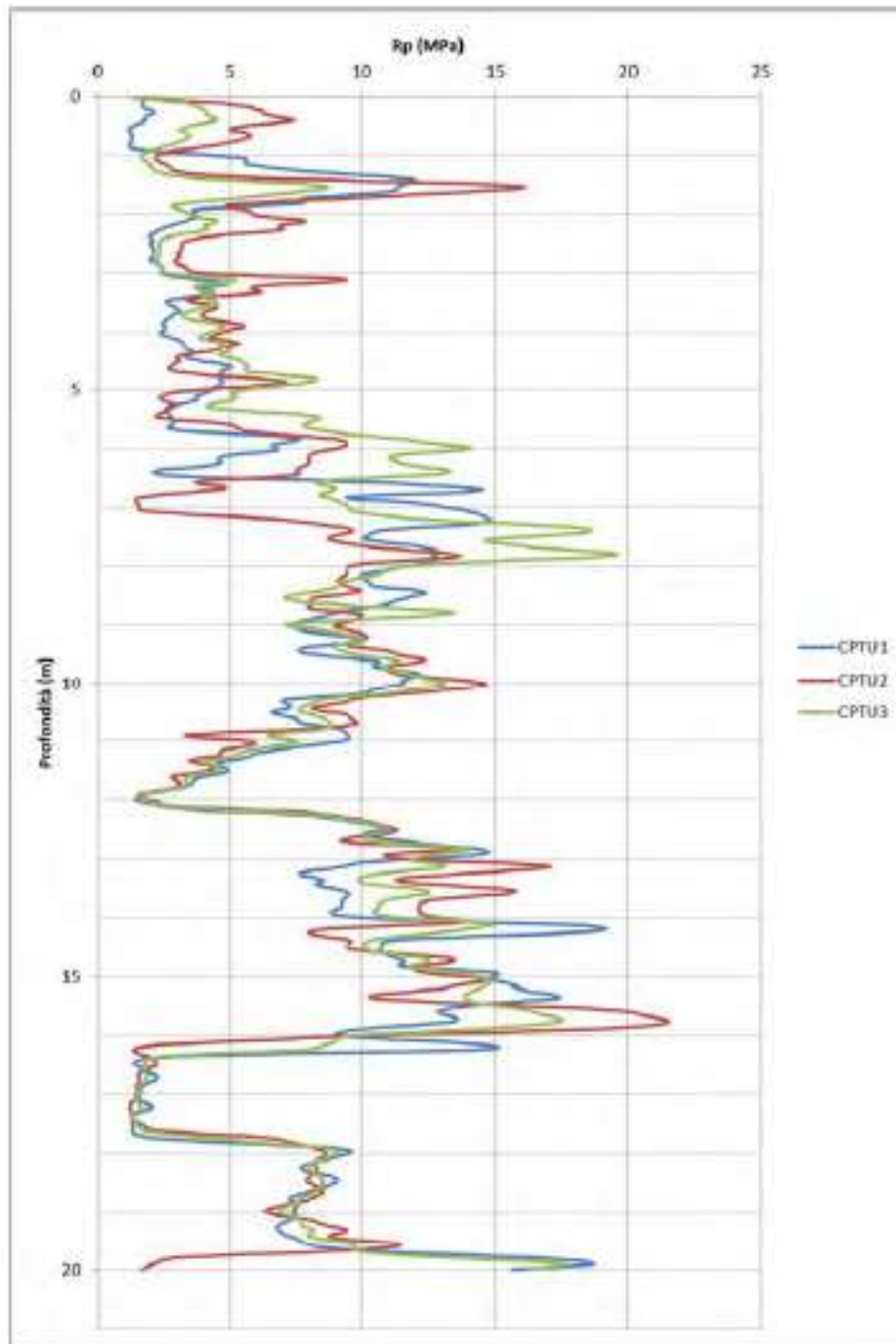


Fig. 6 – Grafico della resistenza alla punta per le tre prove penetrometriche

Il livello di falda di calcolo è considerato comunque, cautelativamente, corrispondente a -2.0 mt da p.c.  
Dal punto di vista sismico si è operato come segue:



### 3.2 Rilievo sismico mediante tromografo

Al fini della caratterizzazione sismica dei suoli di fondazione interessati dalla nuova costruzione e in ottemperanza alle indicazioni contenute nel testo unitario "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17-01-2018) è stata condotta un'indagine geofisica diretta in sito tramite tromografo digitale.

I risultati del rilievo sismico mediante tromografo sono riportati in All. 2.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

La prova è stata condotta attraverso l'utilizzo di un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (20 minuti). Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z). Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza - Fig. 7) e spettri delle singole componenti (velocità in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni - Fig. 8).

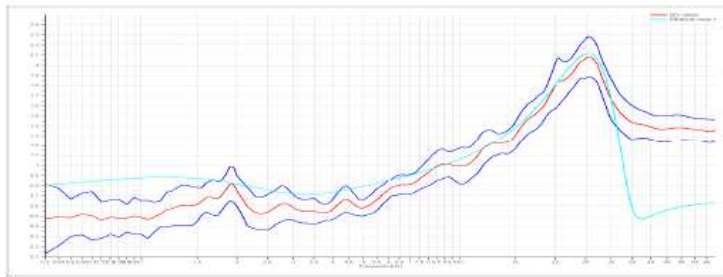


Fig. 7 – Rapporto H/V in funzione della frequenza

#### PROGETTO

Adeguamento sismico del Polo per l'Infanzia Buscoldo, Curtatone (MN)

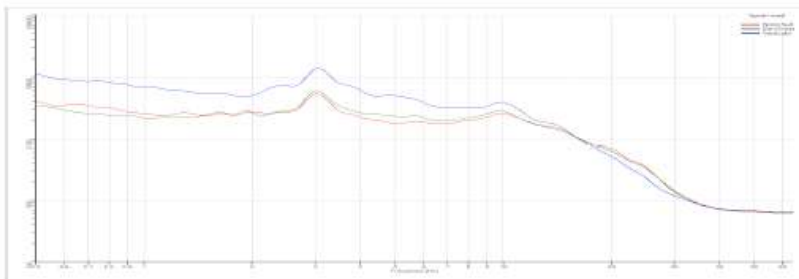


Fig. 8 – Elaborazione delle misure registrate per le componenti N-S, E-W e V

I risultati ottenuti, riportati nell'Allegato 2, sono:

1. La curva H/V sperimentale vs. la curva H/V sintetica
2. La velocità media delle onde di taglio  $V_s$

Per determinare la velocità delle onde di taglio  $V_s$  è stata utilizzata l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavato attraverso il rilievo tromografico. La relazione seguente lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S ( $V_s$ ) e alla profondità della base dello strato (H):

$$f(\text{Hz}) = \frac{V_s}{4H}$$

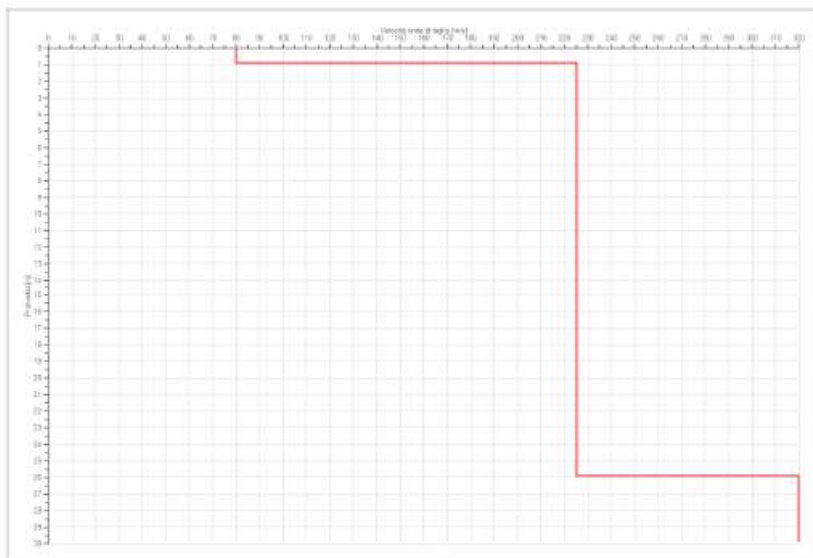
Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, ottenuta attraverso l'elaborazione dei dati ricavati da prova penetrometrica, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata, per poi ricavare la  $V_s$  media per ogni singolo strato.

Sulla base di tali elaborazioni è stata ottenuta la curva della  $V_s$  con la profondità (Fig. 9)



**PROGETTO**

Adeguamento sismico del Polo per l'infanzia Buscoldo, Curtatone (MN)



**Fig. 9 – Grafico della Vs30 in funzione della profondità**

La velocità equivalente delle onde sismiche di taglio, sotto il piano di posa della fondazione e fino al substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s. ( $V_{s,eq}$ ), è definita come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  sono lo spessore e la velocità delle onde dello strato  $i$ -esimo fondazione,  $N$  il numero degli strati e  $H$  la profondità del substrato.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, come in questo caso, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso in esame, considerando cautelativamente i 30 m partendo da piano campagna, si è determinata una  $V_{s30}$  pari a **222 m/s**, a cui consegue che il terreno è classificabile in

Categoria C: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti".

La categoria di suolo sismico è quindi "C", la categoria topografica è assunta pari a "T1".

In merito infine al potenziale di liquefazione dei terreni:

**5.7.1 Analisi dei risultati**

I terreni in esame non risultano a rischio di liquefazione, con valori dell'indice di liquefazione pari a 0. I cedimenti attesi, inoltre, sono sempre modesti, compresi tra 2 e 3 cm, del tutto trascurabili allo stato limite SLV acui sono state svolte le verifiche a liquefazione.

Il report completo delle verifiche eseguite è riportato in All. 3.

Il rischio di liquefazione è quindi escluso.

## 5. PARAMETRI GEOTECNICI ADOTTATI

La caratterizzazione geotecnica dei terreni in sito è stata condotta mediante un software agli elementi finiti. Il piano di posa è stato definito alla profondità dell'attuale impianto fondale.

The screenshot displays the 'Stratigrafia terreno' software interface. The main window shows a soil profile with layers defined by codes and descriptions. The 'ARCHIVIO TERRENI' and 'DATABASE TERRENI' panels list various soil types and their corresponding codes. The right-hand panel, 'CODICE TERRENO', contains geotechnical parameters for the selected soil type.

Strato n.	Spessore (cm)	Descrizione
008		Terreno vegetale
001		Orizzonte 1 - Argillo-limo - coesivo
002		Orizzonte 2 - Sabbiosi - granulare
001		Orizzonte 1 - Argillo-limo - coesivo
004		Orizzonte 3 - Limosabbiosi - Granulare
005		Orizzonte 4 - Sabbiosi - granulare
007		Orizzonte 5 - limo-sabbioso - granulare
005		Orizzonte 4 - Sabbiosi - granulare
003		Orizzonte 6 - argillo-limoso - coesivo
006		Orizzonte 7 - limo-sabbiosi - granulare
005		Orizzonte 4 - Sabbiosi - granulare

**ARCHIVIO TERRENI**

- 001 Orizzonte 1 - Argillo-limo - coesivo (prototip
- 002 Orizzonte 2 - Sabbiosi - granulare (prototip
- 003 Orizzonte 6 - argillo-limoso - coesivo (protol
- 004 Orizzonte 3 - Limosabbiosi - Granulare (pro
- 005 Orizzonte 4 - Sabbiosi - granulare (prototipi
- 006 Orizzonte 7 - limo-sabbiosi - granulare (prot
- 007 Orizzonte 5 - limo-sabbioso - granulare (pro
- 008 Terreno vegetale (prototipo.trn)

**DATABASE TERRENI**

- 001 Orizzonte 1 - Argillo-limo - coesivo (prototip
- 002 Orizzonte 2 - Sabbiosi - granulare (prototip
- 003 Orizzonte 6 - argillo-limoso - coesivo (protol
- 004 Orizzonte 3 - Limosabbiosi - Granulare (pro
- 005 Orizzonte 4 - Sabbiosi - granulare (prototipi
- 006 Orizzonte 7 - limo-sabbiosi - granulare (prot
- 007 Orizzonte 5 - limo-sabbioso - granulare (pro
- 008 Terreno vegetale (prototipo.trn)

**CODICE TERRENO**

Comportamento del terreno

Cond. drenate  Roccia

Cond. non drenate

Effetto attrito negativo nei pali

Peso specifico (daN/cm<sup>3</sup>)

Peso specifico saturo (daN/cm<sup>3</sup>)

Angolo di resistenza al taglio (°)

Coesione (daN/cm<sup>2</sup>)

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

Modulo edometrico (daN/cm<sup>2</sup>)

Coefficiente di Poisson

Modulo elastico (daN/cm<sup>2</sup>)

RQD (%)

Densità relativa D<sub>r</sub> (%)

Coeff. Adesione Pali

Applica le modifiche al terreno

Definiti i parametri geometrici delle fondazioni e le caratteristiche del terreno sono state definite, sia per la fondazione a platea, che per i pali, le costanti elastiche di progetto.

Impostazioni fondazioni superficiali - Approccio prog. tipo 2

Portanza **Cedimenti e Costanti di Winkler**

Parametri per costante elastica di Winkler

Fattore di sicurezza del Carico Limite per la determinazione del Carico Applicato

Percentuale Carico Limite per il calcolo Carico Netto in fondazione compensata (%)

Percentuale stato tensionale (%)   Moltiplicatore base fondazione

Valore max. K. di Winkler per situazioni infinitamente rigide

Cmb di calcolo

Parametri di calcolo delle tensioni verticali per la determinazione dei cedimenti verticali

Metodo di calcolo tensioni verticali

Boussinesq  Westergaard  Mindlin

Spessore deformabile da considerare ai fini del calcolo delle tensioni e dei cedimenti

Spessore strato deformabile come da quota imposta (cm)

Spessore strato deformabile come da percentuale dello stato tensionale (%)

Metodo di calcolo dei cedimenti

Calcolo dei cedimenti con il metodo dell'elasticità

Calcolo dei cedimenti con il metodo edometrico

Impostazioni Utente   Impostazione Default   OK   Salva   Annulla

Impostazioni calcolo fondazioni su pali

Portanza Portanza laterale, cedimenti e costanti di Winkler

Portanza laterale, calcolo del coefficiente di spinta orizzontale

per pali trivellati  $K_s = K_o$ , per pali infissi  $K_s$  compreso tra  $K_p$  in sommità e  $K_o$  alla punta

$K_s = a K_o$  con  $a =$   per pali trivellati (valori compresi tra 2/3 e 1)

per pali infissi (valori compresi tra 3/4, per compattazione del terreno trascurabile, fino a 2 per compattazioni significative)

Parametri per costante elastica di Winkler Verticale "Kv"

Fatt. secur. Carico Limite Verticale alla Punta per la determinazione della Portata Max

Fatt. secur. Carico Limite Verticale per Attrito per la determinazione della Portata Max

Percentuale stato tensionale (%)   Quota imposta dello strato (cm)

Parametri per costante elastica di Winkler Orizzontale "Ko"

Metodo di calcolo di Chiarugi-Maia  Metodo di calcolo di Vesic

Modalità di interferenza dei bulbi tensionali nel calcolo delle tensioni verticali

Considera sempre la sovrapposizione tra tutti i pali  Interferenza solo tra i bulbi della palificata di appartenenza

Impostazioni Utente    Impostazioni Default    OK    Salva    Annulla

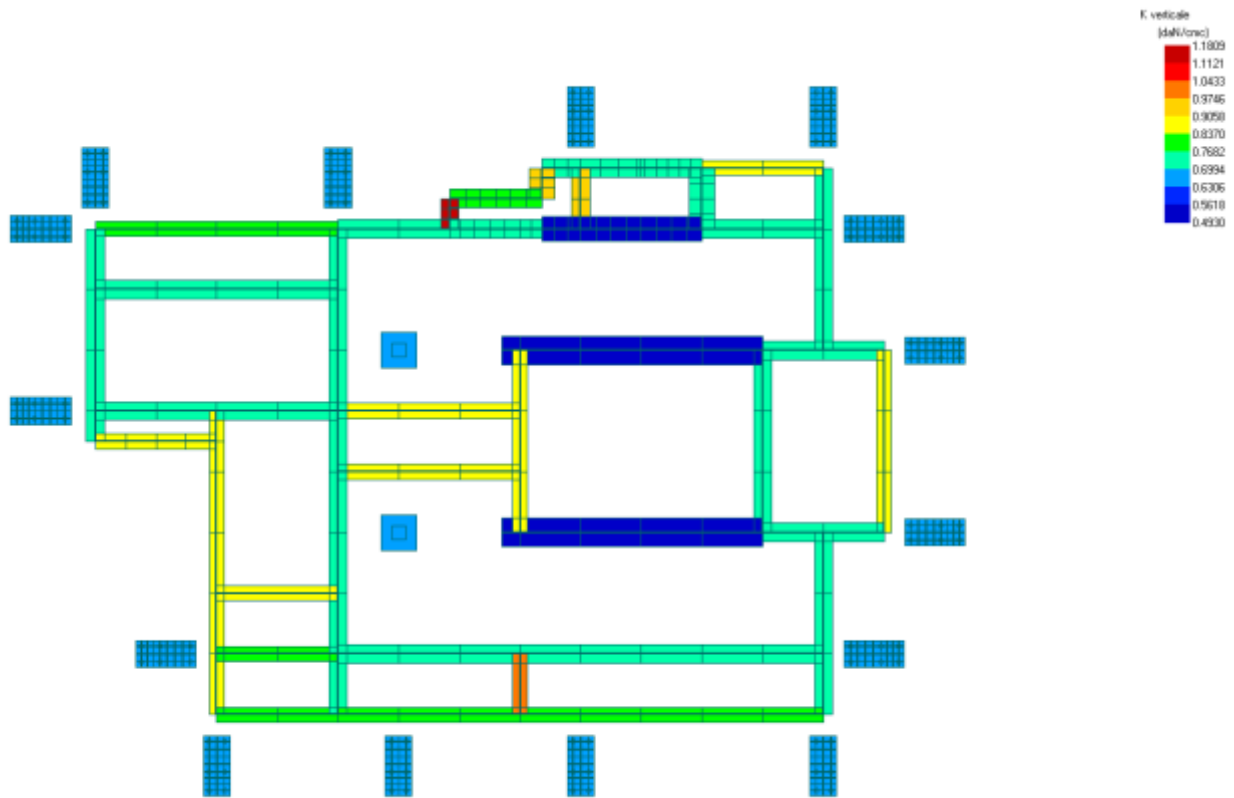


Figura 12: costante di Winkler fondazioni superficiali



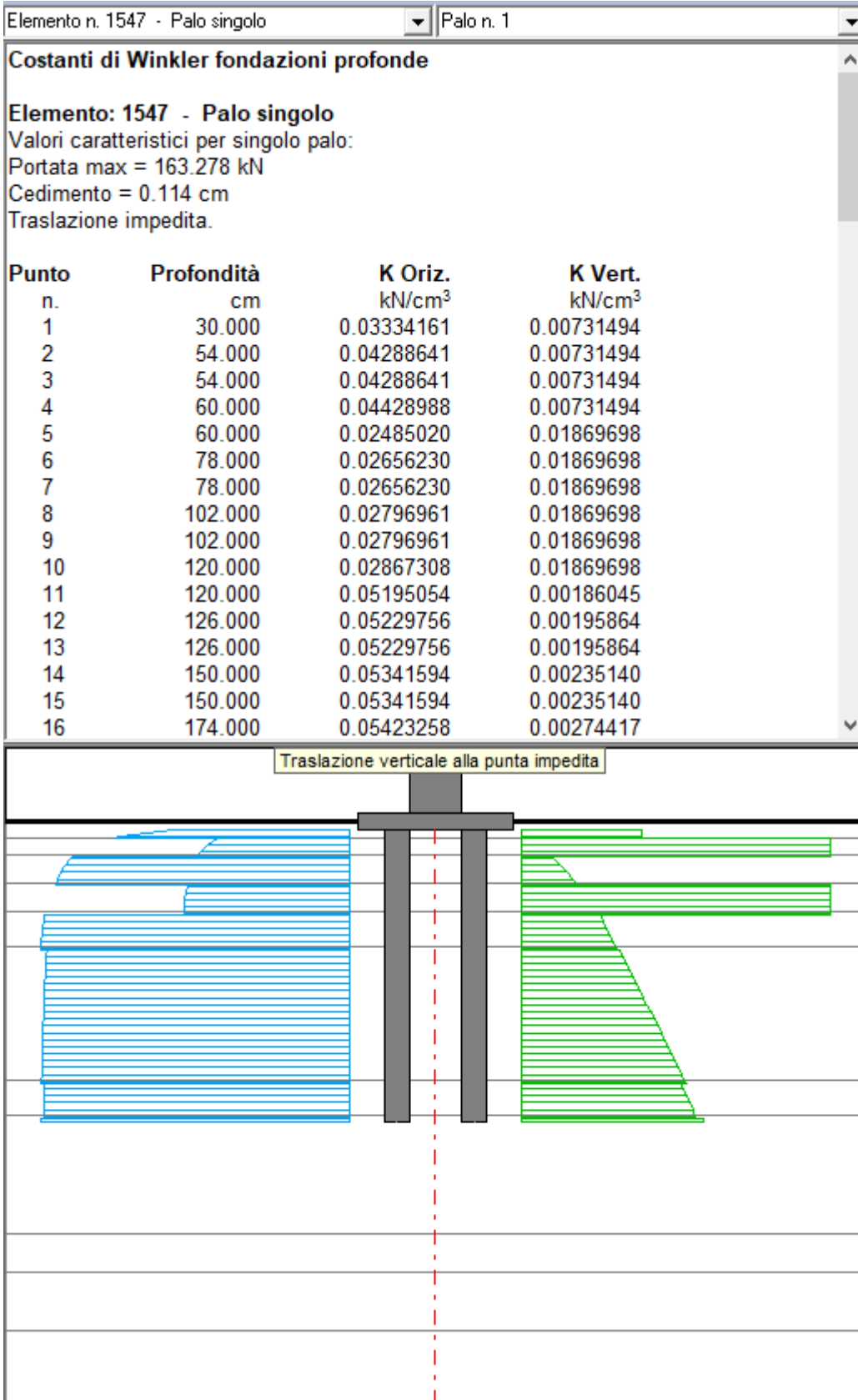


Figura 13: definizione costanti elastiche pali



## 6. RISULTATI DEL CALCOLO

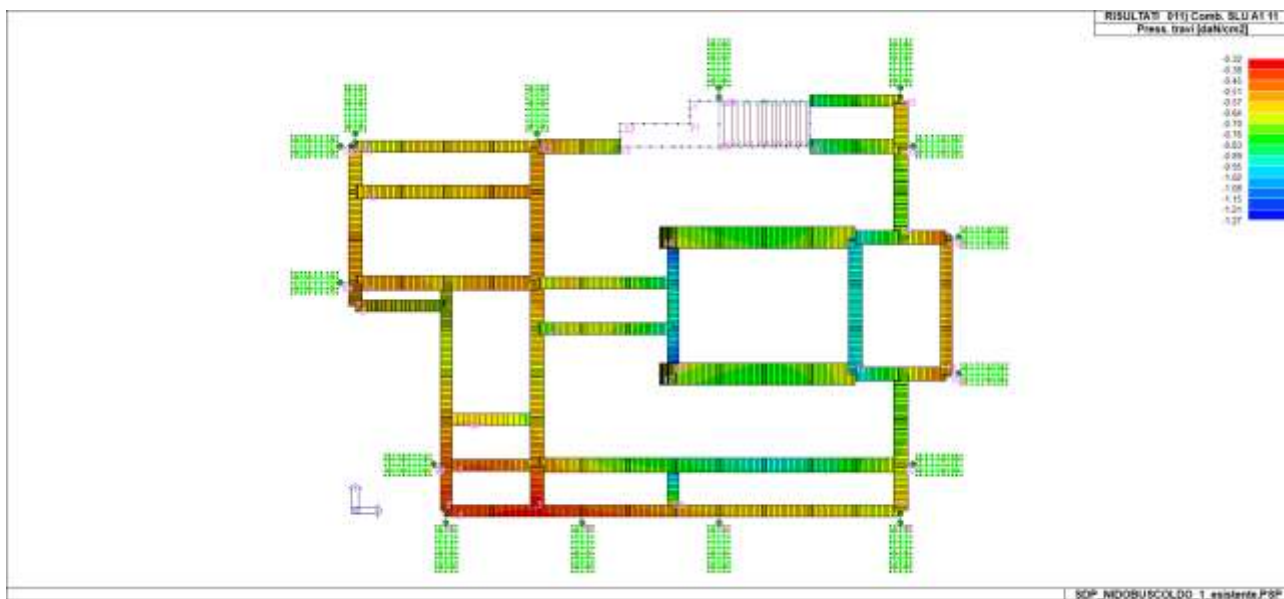
In questo capitolo sono riportati i diagrammi di pressione massima al suolo, derivanti dall'analisi riportata nella relazione di calcolo a cui si rimanda per le specifiche tecniche del calcolo. Sono proposte una serie di immagini riassuntive e successivamente una tabella riepilogativa dei principali risultati.

Le immagini seguenti mostrano le massime pressioni al suolo per le travi di fondazione.

### 6.1. Pressioni al suolo – fondazioni esistenti

Le pressioni al suolo trasmesse dalla struttura, sono utilizzate nella relazione geotecnica, per la verifica di capacità portante del terreno.

Le immagini seguenti mostrano le massime pressioni al suolo per le travi di fondazione dell'edificio esistente.



**Figura 15: Pressione minima - SLU statico – CC9**

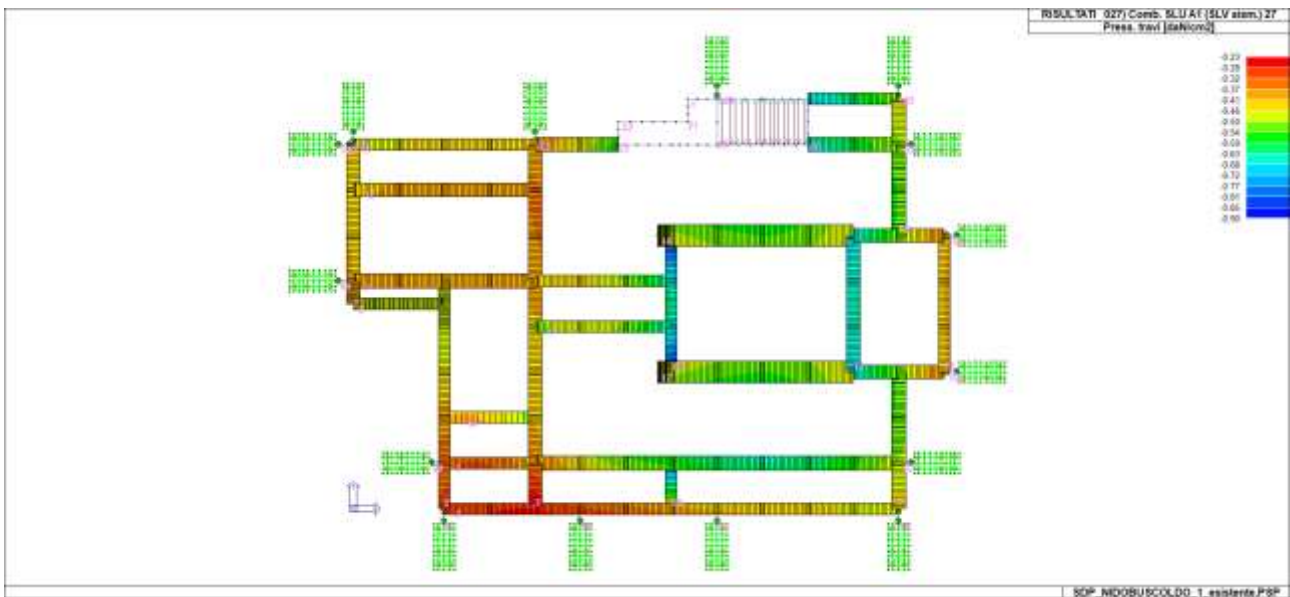


Figura 16: Pressione minima - SLV sismico – CC27

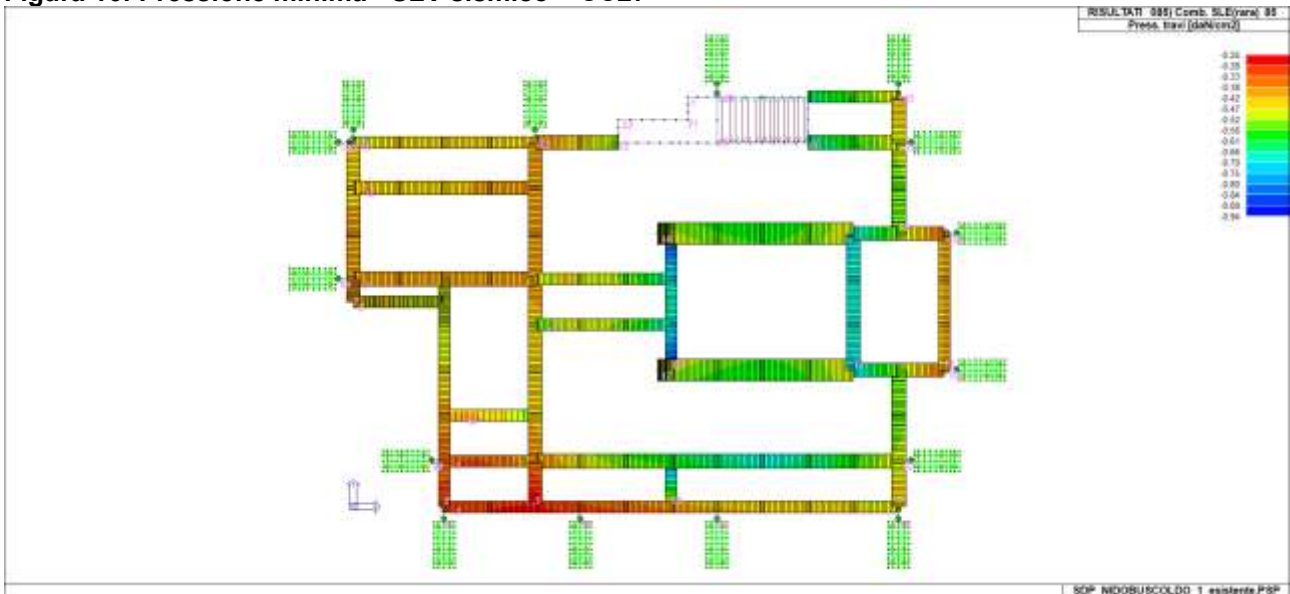


Figura 17: pressione minima - SLE rara – CC85

## 6.2. Carico su pali

I carichi massimi su pali riscontrati nel calcolo sono riportati nelle immagini seguenti:

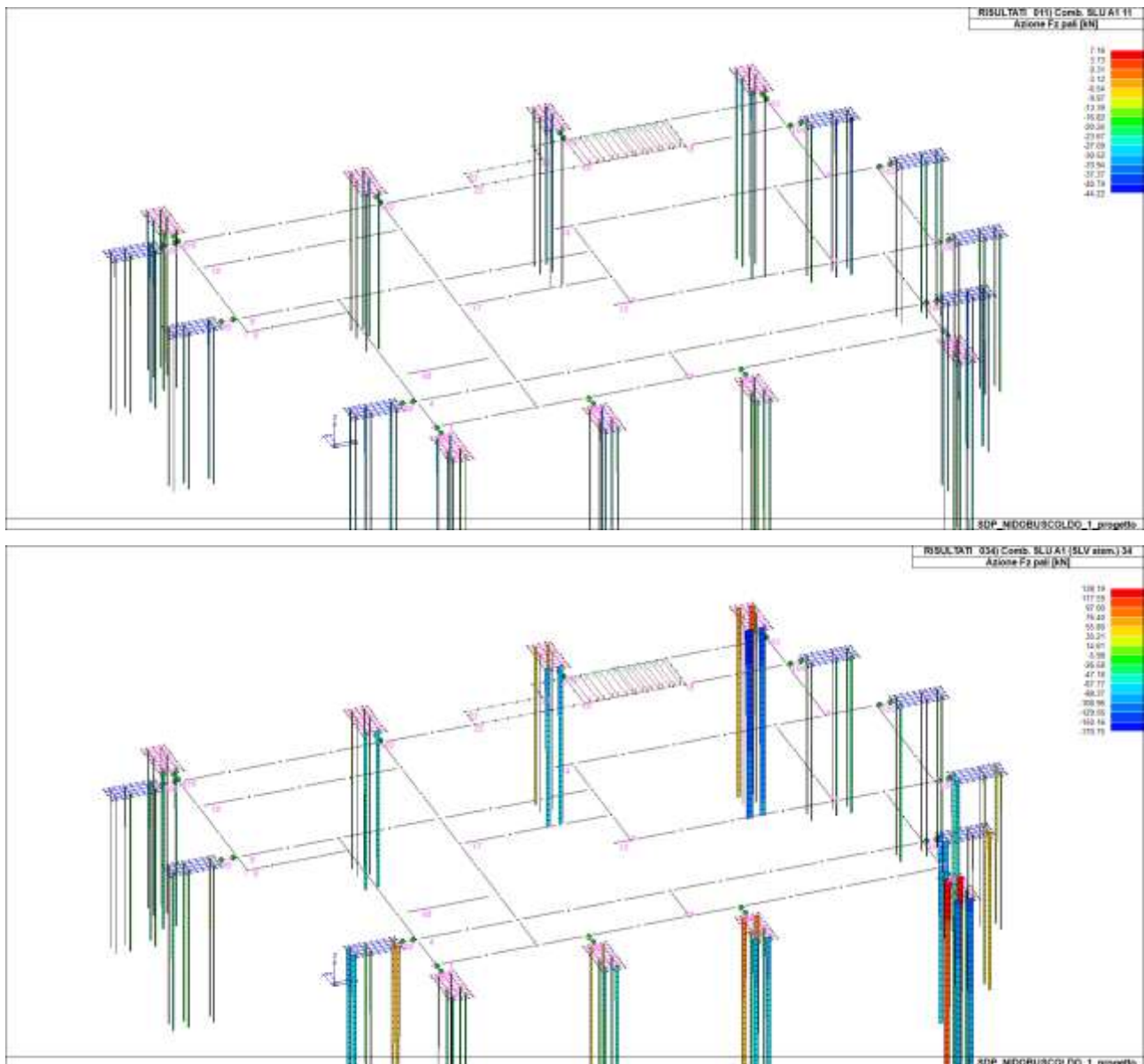


Figura 18: Sforzo normale in combinazione statica e sismica (valori negativi = compressione)



## 7. PARAMETRI DI CALCOLO GEOTECNICO

I carichi derivanti dal calcolo sono passati al modulo geotecnico per l'esecuzione delle verifiche e il calcolo dei cedimenti.

L'approccio di calcolo considerato è l'APPROCCIO 2, pertanto le verifiche sono condotte nei riguardi di una combinazione tipica A1+M1+R3 (per il significato dei simboli si rimanda alla normativa di riferimento).

**Impostazioni fondazioni superficiali - Approccio prog. tipo 2**

Portanza | Cedimenti e Costanti di Winkler

Metodo di calcolo portanza

Terreni sciolti

Hansen  Vesic

Brinch - Hansen  E.C. 7

Roccia

Terzaghi  Zienkiewicz

Scelta dei fattori per il calcolo portanza

Riduzione dimensioni per eccentricità

Fattori di forma della fondazione

Fattori di profondità del piano di posa

Fattori d'inclinazione del carico

Fattori di punzonamento

Fattore correttivo per fondazioni tipo platea

Coefficienti verifica scorrimento

Ca (  $6 < Ca < 10$  )

Delta (  $5 < Delta < 10$  )

Valori consigliati: Ca = 8; Delta = 7

Frazione di spinta passiva (%)

Coef. resist. sulle sup. laterali

Coefficienti inclinazione carico Hansen

Alfa1 (  $2 < Alfa1 < 5$  )

Alfa2 (  $2 < Alfa2 < 5$  )

Valori consigliati: Alfa1 = 3 Alfa2 = 4

Parametri di calcolo per portanza platee

Fattore di riduzione base (%)

Fattore di riduzione lunghezza (%)

Coefficienti parziali di sicurezza per Tensioni Ammissibili, SLE

Fatt. sic. "Fc" Stat.  Fatt. sic. "Fq" Stat.  Fatt. sic. "Fg" Stat.

Fatt. sic. "Fc" Sism.  Fatt. sic. "Fq" Sism.  Fatt. sic. "Fg" Sism.

Coefficienti parziali di sicurezza "M2" per SLU

Fatt. "Tan(Fi)" Stat.  Fatt. "C" Stat.  Fatt. "Cu" Stat.

Fatt. "Tan(Fi)" Sism.  Fatt. "C" Sism.  Fatt. "Cu" Sism.

Coef. parziali di sicurezza "R" per SLU

Portanza

Scorrimento

\* R3 in uso con fatt. corr. per effetti inerziali

Effetti inerziali - fattori correttivi

Fattori Z (teoria di Paolucci-Pecker)

La teoria di Paolucci Pecker è applicabile solo se:  
 $K_h = 0.03 = A_g S / g < \tan(F_i)$   
 dove  $F_i$  è l'angolo di resistenza al taglio del terreno alla base della fondazione.

Impostazioni Utente | Impostazione Default | OK | Salva | Annulla

**Figura 19: parametri di verifica platea**

**Impostazioni calcolo fondazioni su pali**

Portanza | Portanza laterale, cedimenti e costanti di Winkler |

Opzioni per il calcolo della portanza verticale nei pali

Portanza di punta e laterale  Solo portanza di punta  Solo portanza laterale

Opzioni per il calcolo della portanza verticale nei micropali

Portanza di punta e laterale  Solo portanza di punta  Solo portanza laterale

Metodi e parametri di calcolo della portanza verticale alla punta

Terreni sciolti

Meyerhof  Hansen  Zeevaert  
 Berezantzev  Vesic  Janbu

Roccia

Terzaghi  
 Zienkiewicz

Riduzione di Kiscida per pali battuti o trivellati  Riduzione della Sigm.Lit. metodo Vesic

Coefficienti di sicurezza per Tensioni Ammissibili, SLE

	Sic. punta	Sic. fusto	Sic. bulbo	Sic. Traz.	Sic. Trasv.	Sic. Car. Crit.
Cond. statiche	2.50	2.50	2.50	2.50	5.00	5.00
Cond. sismiche	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00

Resistenze di pali soggetti a carichi assiali (NTC 2018 - 6.4.3.1.1)

Fattore di correlazione in relazione al numero di indagini  $\xi_{3}$  (da 1.21 a 1.7)

Coef. resistenza SLU per pali infissi | Coef. resistenza SLU per pali trivellati |

	Base (punta)	Base (bulbo)	Laterale compr.	Laterale traz.	Carichi trasversali	Carichi critici
Cond. stat. R1	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	5.00
Cond. sism. R1	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	5.00
Cond. stat. R2	1.45	1.45	1.45	1.60	5.00	5.00
Cond. sism. R2	1.45	1.45	1.45	1.60	5.00	5.00
Cond. stat. R3	1.15	1.15	1.15	1.25	5.00	5.00
Cond. sism. R3	1.15	1.15	1.15	1.25	5.00	5.00

Impostazioni Utente | Impostazioni Default |  | Salva | Annulla

**Figura 20: parametri di calcolo - fondazioni su pali**

In riferimento alle fondazioni su pali, il numero di verticali indagate è pari a 3, pertanto, secondo la tabella 6.4.IV delle NTC2018, il coefficiente di correlazione assume il valore 1.48.

**Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate**

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

I coefficienti parziali adottati sono desunti dalla tabella 6.4.II:

**Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Sulla base delle ipotesi di calcolo precedenti, sono state condotte le verifiche di capacità portante, riportate nel capitolo seguente.

## 8. CALCOLO CAPACITA' PORTANTE

Il calcolo della capacità portante delle strutture di fondazione viene eseguito considerando i parametri precedentemente mostrati, con le caratteristiche geotecniche ed il comportamento del terreno precedentemente descritto.

Le verifiche condotte sono riportate nei paragrafi seguenti.

### 8.1. Travi di fondazione esistenti

La verifica di capacità portante verticale ha prodotto esito positivo.

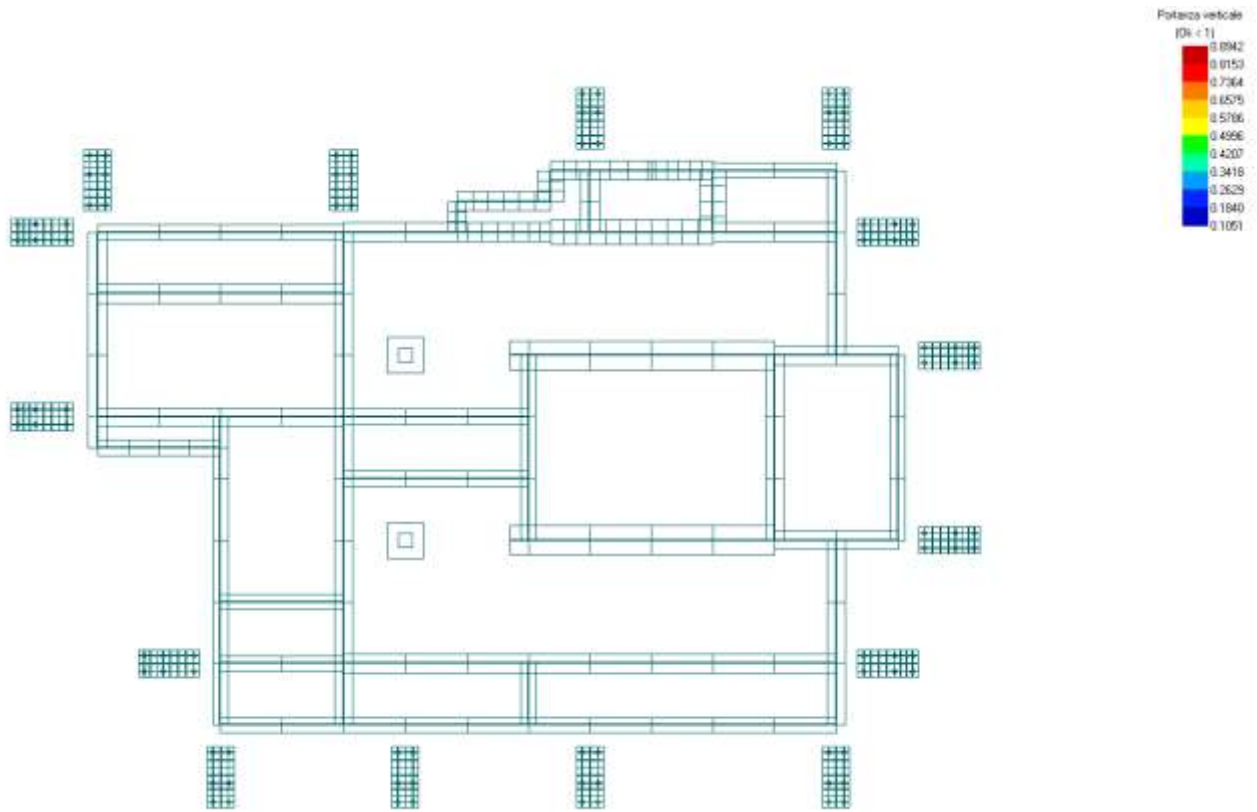


Figura 21: verifiche portanza verticale travi di fondazione esistenti

Le verifiche sono soddisfatte.

## 8.2. Pali di fondazione

La verifica di capacità portante verticale ha prodotto esito positivo.



**Figura 22: verifica di portanza verticale pali (<1 = Verificato)**



Elemento n. 1906 - Palo singolo

**Portanza verticale fondazioni profonde**

Elemento: 1906 - Palo singolo

$N_q = 51.064$ ,  $\sigma_{punta} = 1.371$ ,  $\phi = 31.0$ ,  $N_c = 83.321$ ,  $c_{punta} = 0.000$

Port. lat. = 296.198 kN, Port. punta = 316.713 kN, P.P.Palo = 13.572 kN

Cmb. n.	Tipo	Palo n.	N kN	N <sub>limite</sub> kN	Ver.N	Stato
001	SLU STR	1	-9.270	-318.973	0.029	Ok
002	SLU STR	1	-7.935	-318.973	0.025	Ok
003	SLU STR	1	-9.494	-318.973	0.030	Ok
004	SLU STR	1	-8.159	-318.973	0.026	Ok
005	SLU STR	1	-7.827	-318.973	0.025	Ok
006	SLU STR	1	-6.492	-318.973	0.020	Ok
007	SLU STR	1	-8.051	-318.973	0.025	Ok
008	SLU STR	1	-6.716	-318.973	0.021	Ok
009	SLU STR	1	-6.600	-318.973	0.021	Ok
010	SLU STR	1	-9.427	-318.973	0.030	Ok
011	SLU STR	1	-6.757	-318.973	0.021	Ok
012	SLU STR	1	-5.157	-318.973	0.016	Ok
013	SLU STR	1	-7.983	-318.973	0.025	Ok
014	SLU STR	1	-5.314	-318.973	0.017	Ok
015	SLV A1 sism.	1	-93.834	-318.973	0.294	Ok
016	SLV A1 sism.	1	-14.833	-318.973	0.047	Ok
017	SLV A1 sism.	1	-0.212	-318.973	0.001	Ok
018	SLV A1 sism.	1	78.788	173.679	0.454	Ok
019	SLV A1 sism.	1	-86.062	-318.973	0.270	Ok

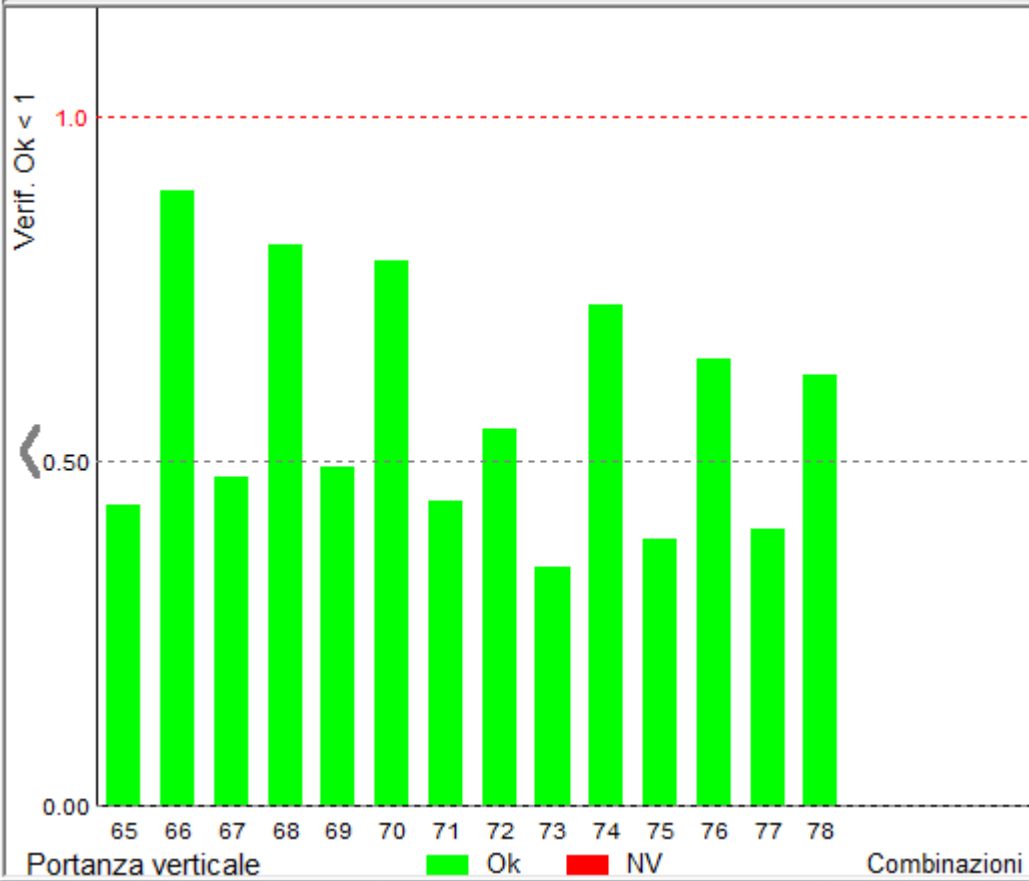


Figura 23: palo maggiormente caricato

Le verifiche sono soddisfatte.

## **9. CARICO DI ESERCIZIO SLE**

---

Il valore del carico massimo in combinazione SLE RARA, necessario per la definizione del valore di carico di prova in sito, è pari a

- $Ned\_SLE\ rara = 33.07\ kN$