



comune di  
**PRATO**

Codice Fiscale: 84006890481

Progetto: **Nuova scuola materna di n°6 sezioni in via Cantagallo  
Loc. Pacciana**

Elab: **ST RE 6.0 - Relazione geotecnica corpi 2-7**

Fase: **PROGETTO ESECUTIVO ARCHITETTONICO**

Assessore ai Lavori Pubblici **Valerio Barberis**

Servizio PP **Edilizia Pubblica**

Dirigente del Servizio **Arch. Luca Piantini**

Responsabile Unico del Procedimento **Arch. Luca Piantini**

## Progettisti

Progettista Opere Architettoniche

**Arch. Andrea Stipa**

Progettista Opere Strutturali

**Arch. Andrea Stipa e Ing. Leonardo Arezzini**

Progettista Impianti

**Ing. Antonella Chiauzzi**

Coordinatore sicurezza in fase di progettazione

**Arch. Luca Piantini**

Ufficio del Responsabile del Procedimento

**Arch. Diletta Moscardi**

**Geom. Dario Eleni**

Elaborato: ST RE6.0

Scala:

Spazio riservato agli uffici:



# COMUNE DI PRATO

SETTORE EDILIZIA PUBBLICA

Piazza Mercatale, 31 - 59100 Prato

## Nuova scuola materna di n. 6 sezioni in Via Cantagallo località Pacciana

### PROGETTO ESECUTIVO

#### ST.RE.6.0 – RELAZIONE GEOTECNICA q=3,15 corpi 2 - 7

ASSESSORE AI LAVORI PUBBLICI	Valerio Barberis
SERVIZIO PP	Edilizia Pubblica
DIRIGENTE DEL SERVIZIO	Arch. Luca Piantini
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO	Arch. Luca Piantini
UFF. DEL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	Arch. Diletta Moscardi e Geom. Dario Eleni

#### PROGETTISTI:

PROGETTO OPERE ARCHITETTONICHE	Arch. Andrea Stipa Via Achille Papa, 7 – 00195 Roma
PROGETTO OPERE STRUTTURALI	Arch. Andrea Stipa e Ing. Leonardo Arezzini
PROGETTO DEGLI IMPIANTI	Ing. Antonella Chiauzzi
COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE	Arch. Luca Piantini

**DATA** **22 maggio 2017**

Il progettista incaricato: Arch. Andrea Stipa

Il responsabile del procedimento: Arch. Luca Piantini

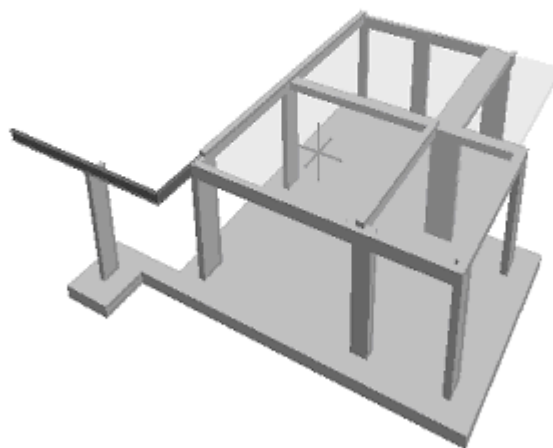


Comune : PRATO

PROVINCIA : PRATO

## RELAZIONE GEOTECNICA

Progetto di nuova struttura ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"



Archivio: 2 - Data: 28/09/2016

**Oggetto: STRUTTURA IN C.A. - CORPO 2**

Committente:	Progettista:	Progettista Strutturale:	
COMUNE DI PRATO	Arch. Andrea Stipa	Arch. Stipa - Ing. Arezzini	

## 1 RELAZIONE GEOTECNICA

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.

Nella presente relazione vengono riportati i risultati delle elaborazioni a carattere geotecnico eseguite per le opere di fondazione da realizzare nell'ambito dei lavori di:

STRUTTURA IN C.A. - CORPO 2

I risultati delle indagini effettuate, degli studi eseguiti e delle valutazioni geotecniche operate, parte integrante degli elaborati progettuali relativi ai lavori in oggetto, faranno riferimento per le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione ai dati riportati nella Relazione geologico-tecnica redatta dal dott. geol.

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE X:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE Y:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA FONDAZIONI:

Fondazioni superficiali, quindi del tipo dirette, costituite da platee di fondazione.

#### Descrizione delle tipologie di fondazione utilizzate.

Nell'ambito dei lavori in oggetto si sono utilizzate le seguenti tipologie di fondazione: , platee, le cui dimensioni e la loro ubicazione vengono di seguito meglio descritte.

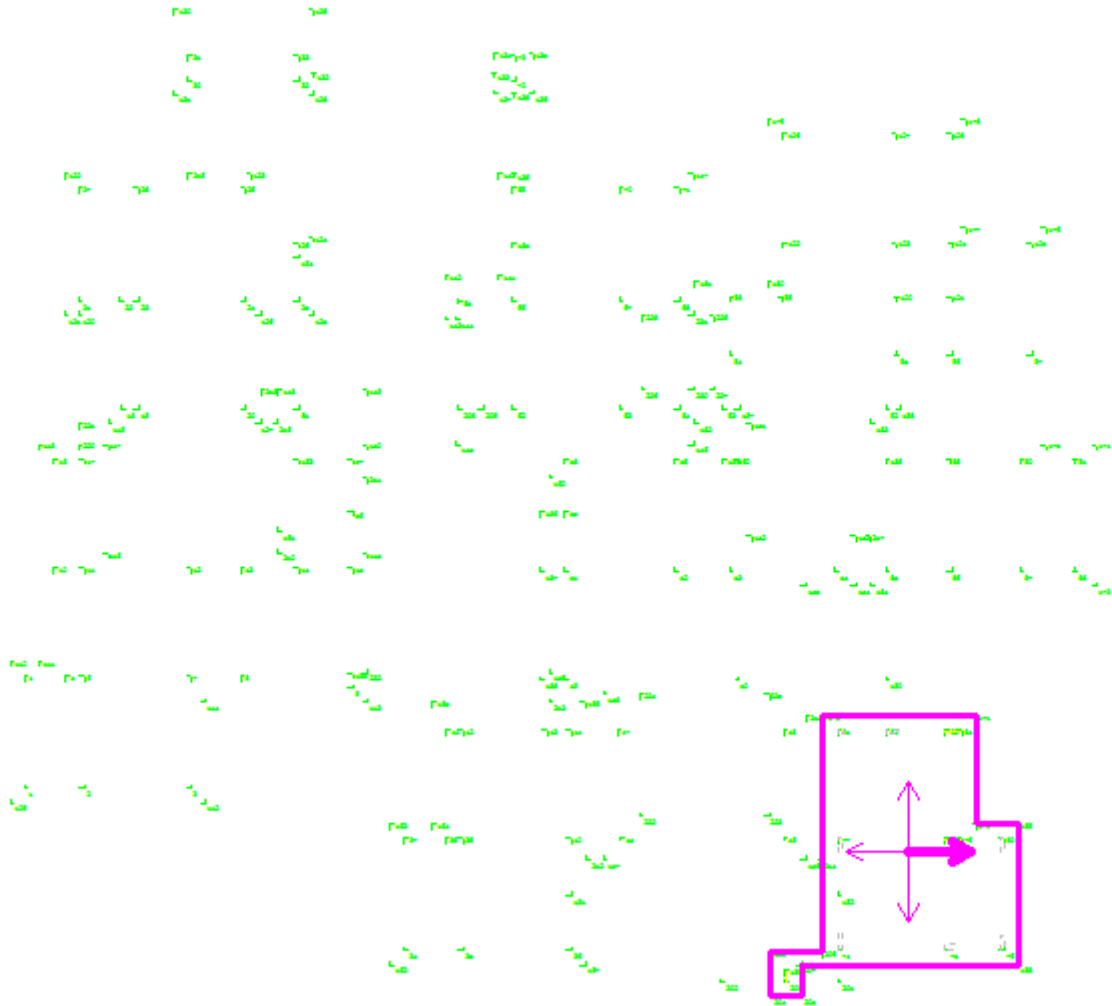
#### Descrizione delle platee di fondazione e loro ubicazione in pianta.

Platea : numero della platea;  
Impalcato : impalcato al quale appartiene la piastra;  
Fili : fili fissi ai quali appartiene la piastra;  
Spessore : spessore della Piastra;  
KwN : modulo di Winkler normale;  
KwT : modulo di Winkler tangenziale;

Platea	Impalcato	Fili	Spessore [cm]	KwN [daN/cm <sup>3</sup> ]	KwT [daN/cm <sup>3</sup> ]
1	Fond.	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	40	5.00	2.50

**Piante fondazioni.**

Fond.



## 1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)

### Problemi geotecnici e scelte tipologiche.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione compresi nel volume significativo, ovvero in quella parte di sottosuolo che viene influenzata direttamente o indirettamente dalle opere in oggetto, viene riportata in dettaglio nella relazione geologico-tecnica allegata.

Vengono di seguito indicati i parametri fondamentali per la valutazione della capacità portante del terreno di fondazione e le scelte tipologiche adottate per il dimensionamento delle opere di fondazione, non avendo riscontrato altre particolari problematiche di tipo geotecnico.

Al fine d'identificare la categoria di sottosuolo, tramite la conoscenza dello spessore e natura dei diversi strati che compongono il terreno sottostante il piano di posa delle fondazioni, per il dimensionamento strutturale e geotecnico delle stesse sono state effettuate delle indagini in sito ubicate nell'area oggetto dell'intervento.

L'area in esame è sostanzialmente pianeggiante, caratterizzata da un fattore di amplificazione topografico pari a T1, pertanto non si osservano variazioni di quota della superficie topografica degne di valutazioni particolari.

### Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche.

Per definire la stratigrafia di progetto, dei terreni di sedime dei lavori in oggetto e per acquisire i parametri fisico-meccanici dei terreni in esame è stata condotta sull'area interessata dall'intervento di progetto una campagna di indagini.

Il programma delle indagini e delle prove con l'ubicazione delle stesse è stato definito a seguito di un attento sopralluogo dell'area in oggetto e risulta più ampiamente descritto nella relazione geologica allegata.

### Caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

#### - Caratteristiche litostratigrafiche

L'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini per la caratterizzazione del suolo di fondazione sono meglio indicati nella relazione geologico-tecnica allegata. Per quanto riguarda l'aspetto geologico a seguito il rilevamento di un significativo intorno della zona in esame si è riscontrata la presenza delle seguenti successioni litostratigrafiche nelle relative sezioni geologiche (colonne stratigrafiche):

Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Strato : nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;  
 Descrizione : descrizione dello strato;

Filo	Colonna	Strato	Descrizione
168	Colonna 1	Strato1	Limi sabbiosi
		Strato2	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose

#### - Caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione

Nell'ambito del progetto si è fatto uso delle seguenti colonne stratigrafiche:

#### Caratteristiche delle colonne stratigrafiche:

Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Impalcato : Impalcato al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Falda : Presenza della falda;  
 Prof. Falda : Profondità della falda (se è presente);  
 Spicc. Fond. : Quota dell'estradosso della fondazione rispetto al piano campagna;  
 No. Strati : Numero degli strati della colonna stratigrafica.  
 RQD : (Rock Quality Designation) grado di fratturazione dell'ammasso roccioso in [0-1]

Filo	Colonna	Impalcato	Falda	Prof. Falda [cm]	Spicc. Fond. [cm]	No. Strati	RQD
168	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
169	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
170	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

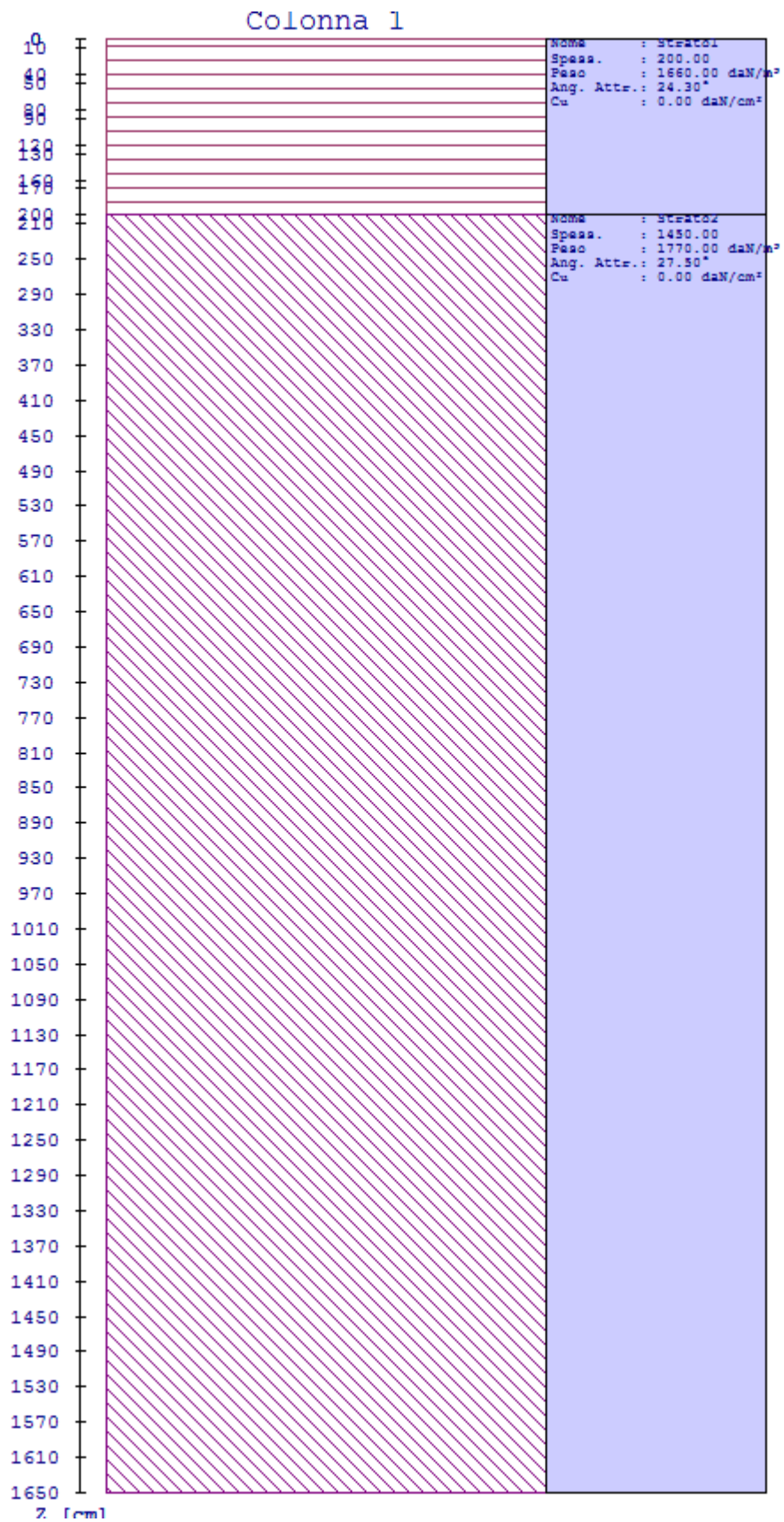
171	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
172	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
203	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
204	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
205	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
206	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
207	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

### Caratteristiche degli strati appartenenti alle colonne stratigrafiche:

Colonna	: nome della colonna stratigrafica;
Strato	: nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;
Spess.	: Spessore dello strato;
Peso	: Peso dell'unità di volume dello strato;
Peso eff.	: Peso dell'unità di volume efficace dello strato;
NSPT	: Numero di colpi medio misurato nello strato;
Qc	: Resistenza alla punta media misurata nello strato;
$\phi$	: Angolo di attrito del terreno;
C	: Coesione drenata del terreno;
Cu	: Coesione non drenata del terreno;
E	: Modulo elastico del terreno;
G	: Modulo di taglio del terreno;
$\nu_t$	: Coefficiente di Poisson;
$E_{ed}$	: Modulo Edometrico;
OCR	: Grado di sovraconsolidazione del terreno.

Colonna	Strato	Spess. [cm]	Peso [daN/m <sup>3</sup> ]	Peso eff. [daN/m <sup>3</sup> ]	NSP T	Qc [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi$ [°]	C [daN/cm <sup>2</sup> ]	Cu [daN/cm <sup>2</sup> ]	E [daN/cm <sup>2</sup> ]	G [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu_t$ [°]	$E_{ed}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	OC R
Colonna 1	Strato1	200.0	1660.0	800.0	-	-	24.3	0.00	0.00	60.00	30.00	0.35	91.00	1.00
	Strato2	1450.0	1770.0	900.0	-	-	27.5	0.00	0.00	40.00	20.00	0.35	60.00	1.00

- Sezioni Geologiche:





### - Caratterizzazione sismica del suolo di fondazione:

La categoria assunta per il suolo di fondazione per il sito in oggetto è: C

Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi.

L'interazione terreno struttura viene modellata applicando il modello di Winkler, il quale caratterizza il sottosuolo con una relazione lineare fra il cedimento in un punto della superficie limite e la pressione agente nello stesso punto, indipendentemente da altri carichi applicati in punti diversi. Si assume cioè che:

$$p = k_v w$$

dove  $K_v$  è detta costante di sottofondo o coefficiente di reazione del terreno e  $w$  è l'abbassamento della trave di fondazione tale da comprimere il terreno sottostante.

Il valore di tale coefficiente  $k$  adottato nel lavoro in oggetto ( $k_v = 5.00 \text{ daN/cm}^3$ ), con riferimento ai dati geologico-geotecnici fornitici, è stato desunto da valori tabellati riportati in letteratura.

Tale modello viene esteso anche alla componente orizzontale dello spostamento, utilizzando un valore della costante orizzontale pari a  $k_o = 2.50 \text{ daN/cm}^3$ .

Le platee di fondazione vengono modellate utilizzando un elemento finito che segue sempre la giacitura di un piano. L'elemento lastra-piastra, nel seguito denominato guscio, possiede nel sistema di riferimento locale come in quello globale 6 gradi di libertà per nodo. L'elemento è computato sovrapponendo il comportamento lastra o membrana, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (una coppia di spostamenti planari e un grado di libertà alla rotazione intorno ad un asse perpendicolare al piano medio), e il comportamento piastra, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (uno spostamento perpendicolare al piano medio e una coppia di rotazioni ortogonali aventi assi sostegno paralleli al piano medio).

La geometria dell'elemento finito SHELL può essere definita attraverso 3 o 4 nodi. La trattazione nei due casi è completamente diversa. L'elemento a 3 nodi viene usato per creare esclusivamente mesh di transizione nel caso di figure irregolari.

La formulazione dell'elemento è basata sulla teoria di Mindlin-Reissner in cui viene considerato anche il contributo della deformazione dovuta al taglio risolvendolo secondo la formulazione isoparametrica. Tutte le caratteristiche sono calcolate attraverso l'integrazione numerica ai punti di Gauss secondo la regola 2x2 ed estrapolate ai nodi.

Nel caso delle platee di fondazione, l'interazione viene modellata attraverso l'introduzione di molle distribuite sulla superficie dell'elemento che vengono automaticamente concentrate (rappresentative della propria area di influenza e calcolate attraverso l'integrazione di Gauss) e applicate ai nodi di estremità.

### **Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite (SLU).**

Le verifiche della sicurezza in fondazione sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio. Le verifiche nei riguardi dello stato limite ultimo (SLU) previste dalla Normativa ed eseguite sono:

STR - raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione;

GEO - raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

Verifiche STR: le verifiche di resistenza degli elementi strutturali di fondazione sono state eseguite contestualmente alla verifica degli elementi strutturali in elevazione. Le relative verifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata;

Verifiche GEO: le verifiche di resistenza del terreno interagente con la struttura sono condotte confrontando i valori di resistenza con quelli di progetto, secondo l'Approccio 2, come riportato nelle pagine seguenti.

### **Verifiche GEO: Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.**

### **TEORIA DI CALCOLO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.**

Il calcolo è stato effettuato seguendo la teoria di Brinch Hansen, la quale tiene conto:

- della forma della fondazione;

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

- della profondità del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del carico sulla fondazione;
- dell'eccentricità del carico;
- dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del piano di campagna;
- dell'effetto inerziale nella fondazione;
- dell'effetto cinematico del sottosuolo;

Si riportano di seguito le formule considerate nelle varie colonne stratigrafiche assegnate ai fili fissi:

Il carico limite si ottiene dalla seguente espressione:

$q_{lim} =$

$$0.5 \cdot B' \cdot \gamma_2 \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot g_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot z_{\gamma} \cdot e_{\gamma k} \cdot e_{\gamma i} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + [q + \gamma_1 \cdot (D - d_w) + \gamma_1' \cdot d_w] \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q$$

Dove:  $B' = B - 2 \cdot e_B$

$B$  è il lato minore della fondazione.

$e_B$  è l'eccentricità del carico lungo  $B$ .

$D$  è la profondità del piano di posa della fondazione.

$\gamma_1$  è il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione.

$\gamma_1'$  è il peso del terreno immerso sopra il piano di posa.

$\gamma_2$  è il peso del terreno sotto il piano di posa della fondazione.

$C$  è la coesione del terreno.

$q$  è il carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.

$d_w$  è la profondità della falda acquifera.

### Fattori di portanza Platee.

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea;

A1 : verifica della combinazione di carico A1;

Lt : verifica a lungo termine.

Fattori di carico limite													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	24.55	13.69	9.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di forma													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	1.49	1.46	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di profondità													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	1.03	1.02	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano di posa													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Bc	Bq	B $\gamma$	Bc	Bq	B $\gamma$	Bc	Bq	B $\gamma$	Bc	Bq	B $\gamma$
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano campagna													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Gc	Gq	G $\gamma$	Gc	Gq	G $\gamma$	Gc	Gq	G $\gamma$	Gc	Gq	G $\gamma$
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione dei carichi													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Ic	Iq	I $\gamma$	Ic	Iq	I $\gamma$	Ic	Iq	I $\gamma$	Ic	Iq	I $\gamma$
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto inerziale (Paolucci Pecker)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Zc	Zq	Z $\gamma$	Zc	Zq	Z $\gamma$	Zc	Zq	Z $\gamma$	Zc	Zq	Z $\gamma$
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	0.96	0.92	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto cinematico (Maugeri-Cascone)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	e $\gamma$ k	e $\gamma$ i	e $\gamma$ k	e $\gamma$ i	e $\gamma$ k	e $\gamma$ i	e $\gamma$ k	e $\gamma$ i	-	-	-	-
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	0.88	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**VERIFICA CAPACITA' PORTANTE.**

La verifica del sistema di fondazione relativo alla struttura in oggetto, è stata effettuata sulla base dei dati geologici e dei parametri geotecnici forniti, seguendo l'approccio di progetto relativo alla normativa di riferimento:

- (punti 6.4.2.1 del DM 14/01/2008 e 6.4.3 per fondazioni su pali del DM 14/01/2008)

A1 + M1 + R3

dove:

- Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE	Comb. A1
PERMANENTI	$\gamma_{G1ns}$	1.3
PERMANENTI NON STRUTTURALI	$\gamma_{G2ns}$	1.5
VARIABILI	$\gamma_{Qi}$	1.5

- Coefficienti per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPL. IL COEFF. PARZIALE	Comb. M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi$	1.0
Coesione drenata del terreno	C	1.0
Coesione non drenata del terreno	$C_u$	1.0
Peso dell'unita di volume	$\gamma$	1.0

- Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 2.3$

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle.

**Platee.**

- Platea : numero della platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 A1 - Lt : verifica della combinazione di carico A1 a lungo termine;  
 D : profondità del piano di posa;  
 qlimd : carico limite di calcolo;  
 $\sigma$  : tensione di calcolo;  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Combinazione A1 - Lt				
		D [cm]	qlimd [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	S	Esito
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	90.00	2.38	0.52	4.58	V

**1.0.2.2 VERIFICA A SCORRIMENTO.**

*TEORIA DI CALCOLO*

La verifica allo scorrimento sul piano di posa delle fondazione della struttura in oggetto consiste nell'imporre l'equilibrio alla traslazione orizzontale tra tutte le forze instabilizzanti e resistenti che intervengono nel problema.

La verifica risulta soddisfatta se le azioni stabilizzanti garantiscono un margine di sicurezza maggiore o uguale al coefficiente parziale  $\gamma_R$  pari ad 1.1.

La verifica a scorrimento è stata effettuata sulla base delle azioni di calcolo agenti sulla struttura considerando il sisma agente rispettivamente lungo due direzioni ortogonali. Considerando inoltre i dati geometrici delle strutture di fondazione, i dati geologici ed i parametri geotecnici, seguendo le indicazioni della normativa di riferimento (punti 6.4.2.1 e 7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008) si valutano le azioni resistenti allo scorrimento.

Si definisce  $V_d$  la risultante delle forze agenti e  $R_d$  la risultante delle forze resistenti, entrambi agenti in direzione parallela al piano di posa. Il valore di calcolo di  $R_d$  è ottenuto dalla relazione:

$$R_d = N \cdot \tan(\delta) + \text{Aderenza} \cdot \text{Area di base} + \%Sp \cdot Sp$$

dove:

- N = risultante delle azioni normali al piano di posa;
- $\delta$  = angolo di attrito tra l'intradosso delle fondazioni ed il piano di posa delle stesse;
- Aderenza = adesione tra fondazione-terreno su tutta l'area di base;
- Area di base = area di base di tutte le fondazioni superficiali;
- %Sp = percentuale di spinta passiva considerata pari a 50%;
- sp = spinta passiva discorde al sisma considerato;

Dati:

- Parametri

PARAMETRO	VALORE ASSUNTO PER IL PARAMETRO
Angolo di attrito $\delta$ [°]	24.00
Adesione drenata $A_d$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.50
Adesione non drenata $A_{nd}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.00

- Coefficienti parziali  $\gamma_i$  dei carichi verticali

$\gamma_i$	VALORE ASSUNTO $\gamma_i$
$\gamma_{G1}$	1.00

$\gamma_{G2}$	0.00
$\gamma_o$	0.00

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle

- VERIFICA A SCORRIMENTO

Direzione	Vd [KN]	Area Totale [m <sup>2</sup> ]	N [KN]	Sp [KN]	Aderenza [daN/cm <sup>2</sup> ]	Attrito [°]	Rd [KN]	S	Esito
Sisma X+	365.44	141.65	2041.06	0.00	0.50	24.00	7991.04	21.87	V
Sisma X-	365.44	141.65	2041.06	0.00	0.50	24.00	7991.04	21.87	V
Sisma Y+	365.33	141.65	2041.06	0.00	0.50	24.00	7991.04	21.87	V
Sisma Y-	365.33	141.65	2041.06	0.00	0.50	24.00	7991.04	21.87	V

**Verifiche allo Stato Limite di Danno per le fondazioni superficiali (7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008).**

Per l'analisi della sicurezza del complesso fondazione-terreno verranno condotte le verifiche nei confronti dello stato limite di danno.

In particolare, saranno valutati gli spostamenti permanenti indotti dal sisma, verificando che essi siano accettabili per la fondazione e siano compatibili con la funzionalità SLD dell'intera opera in oggetto.

Per determinare gli spostamenti permanenti post-sisma nel terreno si effettua un'analisi del sistema fondazione-terreno modellando il terreno con un sistema di molle con legame costitutivo Pressione-Spostamento di tipo iperbolico mediante la seguente relazione:

$$P(u) = \frac{u}{\frac{1}{E_s} + \frac{u}{P_u}}$$

dove:

P(u) = pressione di contatto;

u = cedimento del terreno;

E<sub>s</sub> = rigidità tangente all'origine del terreno di fondazione valutato come u<sub>e</sub>/p ovvero rapporto tra il cedimento elastico istantaneo e la pressione di contatto che lo provoca;

P<sub>u</sub> = pressione ultima valutata per i valori caratteristici del terreno di fondazione;

Lo spostamento permanente U<sub>residuo</sub> sarà quindi valutato dallo spostamento complessivo U<sub>sld</sub> depurato della parte reversibile elastica:

$$U_{residuo} = U_{sld} - \frac{P_{sld}}{E_s}$$

**Platee.**

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;

P<sub>sld</sub> : pressione di contatto SLD;

P<sub>lim</sub> : pressione ultima del terreno di fondazione;

U<sub>sld</sub> : cedimento sld del terreno;

U<sub>sld\_res</sub>: cedimento residuo sld del terreno;

U<sub>Lim</sub> : cedimento residuo limite;

S : Coefficiente di sicurezza;

Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	P <sub>sld</sub> [daN/cm <sup>2</sup> ]	P <sub>lim</sub> [daN/cm <sup>2</sup> ]	U <sub>sld</sub> [mm]	U <sub>sld_res</sub> [mm]	U <sub>Lim</sub> . [mm]	S	Esito
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	0.63	5.47	1.427	0.165	50.000	303.69	V

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

Dall'analisi delle tabelle relative alle verifiche dei cedimenti SLD per le fondazioni superficiali si evince che i cedimenti permanenti massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto e sensibilmente inferiori ai valori assunti come ammissibili per la letteratura tecnica.

### Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).

Gli stati limite di esercizio (punto 6.4.2.2 del DM 14/01/2008) investigati, si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti differenziali che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito per la combinazione di esercizio, quasi permanente

### Platee.

Platea : numero sella platea;  
Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
Comb. : tipo inviluppo;  
Dist. : distanza tra i punti di massimo cedimento differenziale;  
Istant. : cedimento istantaneo;  
Consol. : cedimento di consolidamento;  
Tot. : cedimento totale;  
Diff. : cedimento differenziale;  
Lim. : cedimento limite (4‰ x Dist.);  
S : Coefficiente di sicurezza;  
Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Comb.	Dist. [cm]	Max			Min			Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
				Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]	Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]				
1	204, 203, 206, 172, 171, 170, 169, 168, 207, 205	Q. Perm.	860.7	-0.0644	-0.5806	-0.6450	-0.0305	-0.4723	-0.5028	0.1422	3.4428	24.20	V

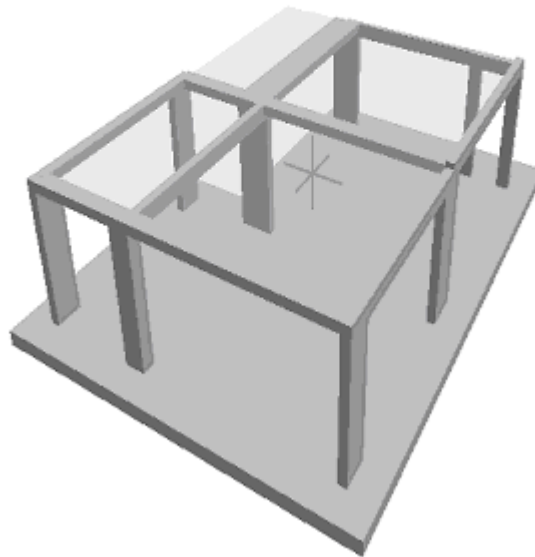
Dalle tabelle relative al cedimento differenziale limite delle fondazioni, si evince che i cedimenti differenziali massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto.

Comune : PRATO

PROVINCIA : PRATO

## RELAZIONE GEOTECNICA

Progetto di nuova struttura ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"



Archivio: 3 - Data: 28/09/2016

**Oggetto: STRUTTURA IN C.A.- CORPO 3**

<b>Committente:</b>	<b>Progettista:</b>	<b>Progettista Strutturale:</b>	
COMUNE DI PRATO	Arch. Andrea Stipa	Arch. Stipa - Ing. Arezzini	



## 1 RELAZIONE GEOTECNICA

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.

Nella presente relazione vengono riportati i risultati delle elaborazioni a carattere geotecnico eseguite per le opere di fondazione da realizzare nell'ambito dei lavori di:

STRUTTURA IN C.A.- CORPO 3

I risultati delle indagini effettuate, degli studi eseguiti e delle valutazioni geotecniche operate, parte integrante degli elaborati progettuali relativi ai lavori in oggetto, faranno riferimento per le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione ai dati riportati nella Relazione geologico-tecnica redatta dal dott. geol.

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE X:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE Y:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA FONDAZIONI:

Fondazioni superficiali, quindi del tipo dirette, costituite da platee di fondazione.

#### Descrizione delle tipologie di fondazione utilizzate.

Nell'ambito dei lavori in oggetto si sono utilizzate le seguenti tipologie di fondazione: , platee, le cui dimensioni e la loro ubicazione vengono di seguito meglio descritte.

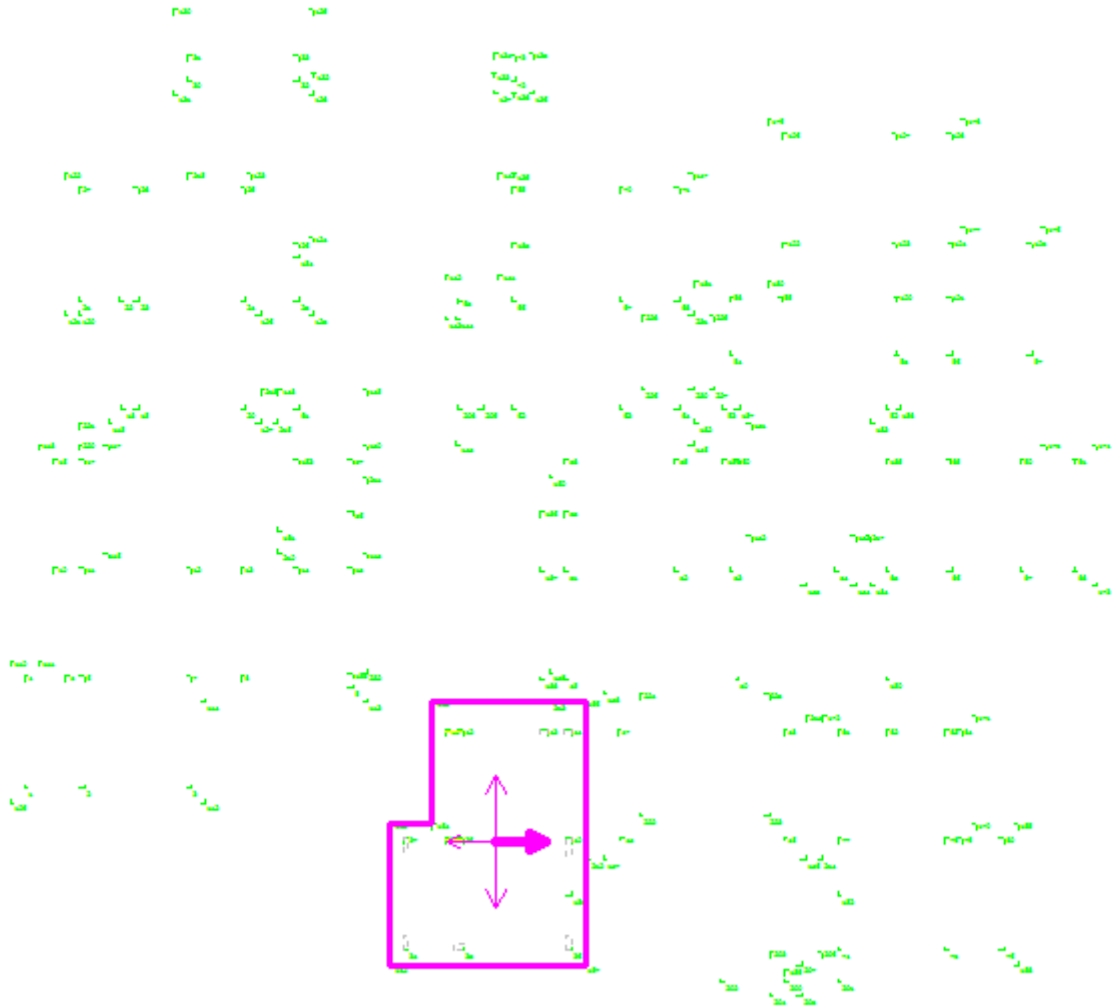
#### Descrizione delle platee di fondazione e loro ubicazione in pianta.

Platea : numero della platea;  
 Impalcato : impalcato al quale appartiene la piastra;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la piastra;  
 Spessore : spessore della Piastra;  
 KwN : modulo di Winkler normale;  
 KwT : modulo di Winkler tangenziale;

Platea	Impalcato	Fili	Spessore [cm]	KwN [daN/cm <sup>3</sup> ]	KwT [daN/cm <sup>3</sup> ]
1	Fond.	162, 163, 164, 165, 166, 167	40	5.00	2.50

**Piante fondazioni.**

Fond.



## 1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)

### Problemi geotecnici e scelte tipologiche.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione compresi nel volume significativo, ovvero in quella parte di sottosuolo che viene influenzata direttamente o indirettamente dalle opere in oggetto, viene riportata in dettaglio nella relazione geologico-tecnica allegata.

Vengono di seguito indicati i parametri fondamentali per la valutazione della capacità portante del terreno di fondazione e le scelte tipologiche adottate per il dimensionamento delle opere di fondazione, non avendo riscontrato altre particolari problematiche di tipo geotecnico.

Al fine d'identificare la categoria di sottosuolo, tramite la conoscenza dello spessore e natura dei diversi strati che compongono il terreno sottostante il piano di posa delle fondazioni, per il dimensionamento strutturale e geotecnico delle stesse sono state effettuate delle indagini in sito ubicate nell'area oggetto dell'intervento.

L'area in esame è sostanzialmente pianeggiante, caratterizzata da un fattore di amplificazione topografico pari a T1, pertanto non si osservano variazioni di quota della superficie topografica degne di valutazioni particolari.

### Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche.

Per definire la stratigrafia di progetto, dei terreni di sedime dei lavori in oggetto e per acquisire i parametri fisico-meccanici dei terreni in esame è stata condotta sull'area interessata dall'intervento di progetto una campagna di indagini.

Il programma delle indagini e delle prove con l'ubicazione delle stesse è stato definito a seguito di un attento sopralluogo dell'area in oggetto e risulta più ampiamente descritto nella relazione geologica allegata.

### Caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

#### - Caratteristiche litostratigrafiche

L'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini per la caratterizzazione del suolo di fondazione sono meglio indicati nella relazione geologico-tecnica allegata. Per quanto riguarda l'aspetto geologico a seguito il rilevamento di un significativo intorno della zona in esame si è riscontrata la presenza delle seguenti successioni litostratigrafiche nelle relative sezioni geologiche (colonne stratigrafiche):

Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Strato : nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;  
 Descrizione : descrizione dello strato;

Filo	Colonna	Strato	Descrizione
162	Colonna 1	Strato1	Limi sabbiosi
		Strato2	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose

#### - Caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione

Nell'ambito del progetto si è fatto uso delle seguenti colonne stratigrafiche:

#### Caratteristiche delle colonne stratigrafiche:

Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Impalcato : Impalcato al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Falda : Presenza della falda;  
 Prof. Falda : Profondità della falda (se è presente);  
 Spicc. Fond. : Quota dell'estradosso della fondazione rispetto al piano campagna;  
 No. Strati : Numero degli strati della colonna stratigrafica.  
 RQD : (Rock Quality Designation) grado di fratturazione dell'ammasso roccioso in [0-1]

Filo	Colonna	Impalcato	Falda	Prof. Falda [cm]	Spicc. Fond. [cm]	No. Strati	RQD
162	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
163	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
164	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

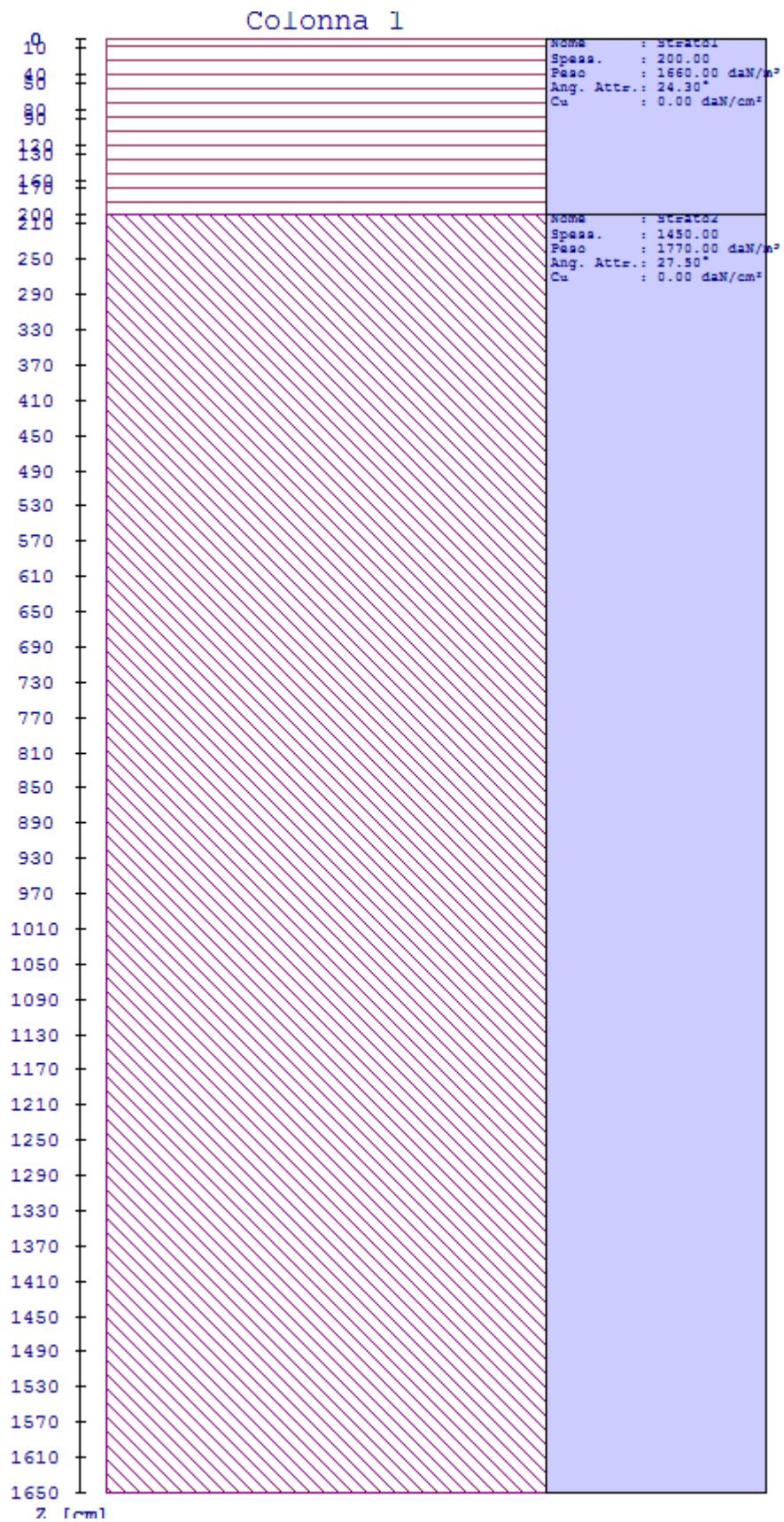
<b>165</b>	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
<b>166</b>	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
<b>167</b>	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

**Caratteristiche degli strati appartenenti alle colonne stratigrafiche:**

- Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Strato : nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;  
 Spess. : Spessore dello strato;  
 Peso : Peso dell'unità di volume dello strato;  
 Peso eff. : Peso dell'unità di volume efficace dello strato;  
 NSPT : Numero di colpi medio misurato nello strato;  
 Qc : Resistenza alla punta media misurata nello strato;  
 $\phi$  : Angolo di attrito del terreno;  
 C : Coesione drenata del terreno;  
 Cu : Coesione non drenata del terreno;  
 E : Modulo elastico del terreno;  
 G : Modulo di taglio del terreno;  
 $\nu_t$  : Coefficiente di Poisson;  
 $E_{cd}$  : Modulo Edometrico;  
 OCR : Grado di sovraconsolidazione del terreno.

Colonna	Strato	Spess. [cm]	Peso [daN/m <sup>3</sup> ]	Peso eff. [daN/m <sup>3</sup> ]	NSPT	Qc [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi$ [°]	C [daN/cm <sup>2</sup> ]	Cu [daN/cm <sup>2</sup> ]	E [daN/cm <sup>2</sup> ]	G [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu_t$ [°]	$E_{cd}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	OC R
<b>Colonna 1</b>	Strato1	200.0	1660.0	800.0	-	-	24.3	0.00	0.00	60.00	30.00	0.35	91.00	1.00
	Strato2	1450.0	1770.0	900.0	-	-	27.5	0.00	0.00	40.00	20.00	0.35	60.00	1.00

- Sezioni Geologiche:



### - Caratterizzazione sismica del suolo di fondazione:

La categoria assunta per il suolo di fondazione per il sito in oggetto è: C

Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi.

L'interazione terreno struttura viene modellata applicando il modello di Winkler, il quale caratterizza il sottosuolo con una relazione lineare fra il cedimento in un punto della superficie limite e la pressione agente nello stesso punto, indipendentemente da altri carichi applicati in punti diversi. Si assume cioè che:

$$p = k_v w$$

dove  $K_v$  è detta costante di sottofondo o coefficiente di reazione del terreno e  $w$  è l'abbassamento della trave di fondazione tale da comprimere il terreno sottostante.

Il valore di tale coefficiente  $k$  adottato nel lavoro in oggetto ( $k_v = 5.00 \text{ daN/cm}^3$ ), con riferimento ai dati geologico-geotecnici fornitici, è stato desunto da valori tabellati riportati in letteratura.

Tale modello viene esteso anche alla componente orizzontale dello spostamento, utilizzando un valore della costante orizzontale pari a  $k_o = 2.50 \text{ daN/cm}^3$ .

Le platee di fondazione vengono modellate utilizzando un elemento finito che segue sempre la giacitura di un piano. L'elemento lastra-piastra, nel seguito denominato guscio, possiede nel sistema di riferimento locale come in quello globale 6 gradi di libertà per nodo. L'elemento è computato sovrapponendo il comportamento lastra o membrana, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (una coppia di spostamenti planari e un grado di libertà alla rotazione intorno ad un asse perpendicolare al piano medio), e il comportamento piastra, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (uno spostamento perpendicolare al piano medio e una coppia di rotazioni ortogonali aventi assi sostegno paralleli al piano medio).

La geometria dell'elemento finito SHELL può essere definita attraverso 3 o 4 nodi. La trattazione nei due casi è completamente diversa. L'elemento a 3 nodi viene usato per creare esclusivamente mesh di transizione nel caso di figure irregolari.

La formulazione dell'elemento è basata sulla teoria di Mindlin-Reissner in cui viene considerato anche il contributo della deformazione dovuta al taglio risolvendolo secondo la formulazione isoparametrica. Tutte le caratteristiche sono calcolate attraverso l'integrazione numerica ai punti di Gauss secondo la regola 2x2 ed estrapolate ai nodi.

Nel caso delle platee di fondazione, l'interazione viene modellata attraverso l'introduzione di molle distribuite sulla superficie dell'elemento che vengono automaticamente concentrate (rappresentative della propria area di influenza e calcolate attraverso l'integrazione di Gauss) e applicate ai nodi di estremità.

### **Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite (SLU).**

Le verifiche della sicurezza in fondazione sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio. Le verifiche nei riguardi dello stato limite ultimo (SLU) previste dalla Normativa ed eseguite sono:

STR - raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione;

GEO - raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

Verifiche STR: le verifiche di resistenza degli elementi strutturali di fondazione sono state eseguite contestualmente alla verifica degli elementi strutturali in elevazione. Le relative verifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata;

Verifiche GEO: le verifiche di resistenza del terreno interagente con la struttura sono condotte confrontando i valori di resistenza con quelli di progetto, secondo l'Approccio 2, come riportato nelle pagine seguenti.

### **Verifiche GEO: Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.**

### **TEORIA DI CALCOLO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.**

Il calcolo è stato effettuato seguendo la teoria di Brinch Hansen, la quale tiene conto:

- della forma della fondazione;

# RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

- della profondità del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del carico sulla fondazione;
- dell'eccentricità del carico;
- dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del piano di campagna;
- dell'effetto inerziale nella fondazione;
- dell'effetto cinematico del sottosuolo;

Si riportano di seguito le formule considerate nelle varie colonne stratigrafiche assegnate ai fili fissi:

Il carico limite si ottiene dalla seguente espressione:

$q_{lim} =$

$$0.5 \cdot B' \cdot \gamma_2 \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot g_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot z_{\gamma} \cdot e_{\gamma k} \cdot e_{\gamma i} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + [q + \gamma_1 \cdot (D - d_w) + \gamma_1' \cdot d_w] \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q$$

Dove:  $B' = B - 2 \cdot e_B$

$B$  è il lato minore della fondazione.

$e_B$  è l'eccentricità del carico lungo  $B$ .

$D$  è la profondità del piano di posa della fondazione.

$\gamma_1$  è il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione.

$\gamma_1'$  è il peso del terreno immerso sopra il piano di posa.

$\gamma_2$  è il peso del terreno sotto il piano di posa della fondazione.

$C$  è la coesione del terreno.

$q$  è il carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.

$d_w$  è la profondità della falda acquifera.

## Fattori di portanza Platee.

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea;

A1 : verifica della combinazione di carico A1;

Lt : verifica a lungo termine.

Fattori di carico limite													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	24.55	13.69	9.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di forma													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	1.42	1.39	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di profondità													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	1.03	1.03	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano di posa													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Bc	Bq	B $\gamma$	Bc	Bq	B $\gamma$	Bc	Bq	B $\gamma$	Bc	Bq	B $\gamma$
1	162, 163,	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	164, 165, 166, 167												
--	-----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fattori di inclinazione del piano campagna													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione dei carichi													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto inerziale (Paolucci Pecker)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	0.96	0.92	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto cinematico (Maugeri-Cascone)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	-	-	-	-
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	0.88	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**VERIFICA CAPACITA' PORTANTE.**

La verifica del sistema di fondazione relativo alla struttura in oggetto, è stata effettuata sulla base dei dati geologici e dei parametri geotecnici forniti, seguendo l'approccio di progetto relativo alla normativa di riferimento:

- (punti 6.4.2.1 del DM 14/01/2008 e 6.4.3 per fondazioni su pali del DM 14/01/2008)

$A1 + M1 + R3$

dove:

- Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE	Comb. A1
PERMANENTI	$\gamma_{G1ns}$	1.3
PERMANENTI NON STRUTTURALI	$\gamma_{G2ns}$	1.5
VARIABILI	$\gamma_{Qi}$	1.5

- Coefficienti per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPL. IL COEFF. PARZIALE	Comb. M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi$	1.0
Coesione drenata del terreno	C	1.0
Coesione non drenata del terreno	Cu	1.0
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	1.0



- Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 2.3$

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle.

**Platee.**

- Platea : numero della platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 A1 - Lt : verifica della combinazione di carico A1 a lungo termine;  
 D : profondità del piano di posa;  
 qlimd : carico limite di calcolo;  
 $\sigma$  : tensione di calcolo;  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Combinazione A1 - Lt				
		D [cm]	qlimd [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	S	Esito
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	90.00	2.18	0.51	4.27	V

**1.0.2.2 VERIFICA A SCORRIMENTO.**

*TEORIA DI CALCOLO*

La verifica allo scorrimento sul piano di posa delle fondazione della struttura in oggetto consiste nell'imporre l'equilibrio alla traslazione orizzontale tra tutte le forze instabilizzanti e resistenti che intervengono nel problema.

La verifica risulta soddisfatta se le azioni stabilizzanti garantiscono un margine di sicurezza maggiore o uguale al coefficiente parziale  $\gamma_R$  pari ad 1.1.

La verifica a scorrimento è stata effettuata sulla base delle azioni di calcolo agenti sulla struttura considerando il sisma agente rispettivamente lungo due direzioni ortogonali. Considerando inoltre i dati geometrici delle strutture di fondazione, i dati geologici ed i parametri geotecnici, seguendo le indicazioni della normativa di riferimento (punti 6.4.2.1 e 7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008) si valutano le azioni resistenti allo scorrimento.

Si definisce Vd la risultante delle forze agenti e Rd la risultante delle forze resistenti, entrambi agenti in direzione parallela al piano di posa. Il valore di calcolo di Rd è ottenuto dalla relazione:

$$Rd = N \cdot \tan(\delta) + \text{Aderenza} \cdot \text{Area di base} + \%Sp \cdot Sp$$

dove:

- N = risultante delle azioni normali al piano di posa;  
 $\delta$  = angolo di attrito tra l'intradosso delle fondazioni ed il piano di posa delle stesse;  
 Aderenza = adesione tra fondazione-terreno su tutta l'area di base;  
 Area di base = area di base di tutte le fondazioni superficiali;  
 %Sp = percentuale di spinta passiva considerata pari a 50%;  
 sp = spinta passiva discorde al sisma considerato;

Dati:

- Parametri

PARAMETRO	VALORE ASSUNTO PER IL PARAMETRO
Angolo di attrito $\delta$ [°]	24.00
Adesione drenata Ad [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.50
Adesione non drenata And [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.00

- Coefficienti parziali  $\gamma_i$  dei carichi verticali

$\gamma_i$	VALORE ASSUNTO $\gamma_i$
$\gamma_{G1}$	1.00
$\gamma_{G2}$	0.00
$\gamma_Q$	0.00

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle

- VERIFICA A SCORRIMENTO

Direzione	Vd [KN]	Area Totale [m <sup>2</sup> ]	N [KN]	Sp [KN]	Aderenza [daN/cm <sup>2</sup> ]	Attrito [°]	Rd [KN]	S	Esito
Sisma X+	360.14	142.40	2022.02	0.00	0.50	24.00	8020.36	22.27	V
Sisma X-	360.14	142.40	2022.02	0.00	0.50	24.00	8020.36	22.27	V
Sisma Y+	360.26	142.40	2022.02	0.00	0.50	24.00	8020.36	22.26	V
Sisma Y-	360.26	142.40	2022.02	0.00	0.50	24.00	8020.36	22.26	V

**Verifiche allo Stato Limite di Danno per le fondazioni superficiali (7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008).**

Per l'analisi della sicurezza del complesso fondazione-terreno verranno condotte le verifiche nei confronti dello stato limite di danno.

In particolare, saranno valutati gli spostamenti permanenti indotti dal sisma, verificando che essi siano accettabili per la fondazione e siano compatibili con la funzionalità SLD dell'intera opera in oggetto.

Per determinare gli spostamenti permanenti post-sisma nel terreno si effettua un'analisi del sistema fondazione-terreno modellando il terreno con un sistema di molle con legame costitutivo Pressione-Spostamento di tipo iperbolico mediante la seguente relazione:

$$P(u) = \frac{u}{\frac{1}{E_s} + \frac{u}{P_u}}$$

dove:

P(u) = pressione di contatto;

u = cedimento del terreno;

E<sub>s</sub> = rigidità tangente all'origine del terreno di fondazione valutato come u/p ovvero rapporto tra il cedimento elastico istantaneo e la pressione di contatto che lo provoca;

P<sub>u</sub> = pressione ultima valutata per i valori caratteristici del terreno di fondazione;

Lo spostamento permanente U<sub>residuo</sub> sarà quindi valutato dallo spostamento complessivo U<sub>sld</sub> depurato della parte reversibile elastica:

$$U_{residuo} = U_{sld} - \frac{P_{sld}}{E_s}$$

**Platee.**

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;

P<sub>sld</sub> : pressione di contatto SLD;

P<sub>lim</sub> : pressione ultima del terreno di fondazione;

U<sub>sld</sub> : cedimento sld del terreno;

U<sub>sld\_res</sub>: cedimento residuo sld del terreno;

U<sub>Lim</sub> : cedimento residuo limite;

S : Coefficiente di sicurezza;

Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	P <sub>sld</sub> [daN/cm <sup>2</sup> ]	P <sub>lim</sub> [daN/cm <sup>2</sup> ]	U <sub>sld</sub> [mm]	U <sub>sld_res</sub> [mm]	U <sub>Lim</sub> [mm]	S	Esito
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	0.49	5.01	1.080	0.105	50.000	476.19	V

Dall'analisi delle tabelle relative alle verifiche dei cedimenti SLD per le fondazioni superficiali si evince che i cedimenti permanenti massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto e sensibilmente inferiori ai valori assunti come ammissibili per la letteratura tecnica.

**Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).**

Gli stati limite di esercizio (punto 6.4.2.2 del DM 14/01/2008) investigati, si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti differenziali che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito per la combinazione di esercizio , quasi permanente

**Platee.**

- Platea : numero sella platea;
- Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;
- Comb. : tipo inviluppo;
- Dist. : distanza tra i punti di massimo cedimento differenziale;
- Istant. : cedimento istantaneo;
- Consol. : cedimento di consolidamento;
- Tot. : cedimento totale;
- Diff. : cedimento differenziale;
- Lim. : cedimento limite (4% x Dist.);
- S : Coefficiente di sicurezza;
- Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Comb.	Dist. [cm]	Max			Min			Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
				Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]	Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]				
1	162, 163, 164, 165, 166, 167	Q. Perm.	532.0	-0.0694	-0.5965	-0.6659	-0.0298	-0.4701	-0.4999	0.1660	2.1279	12.82	V

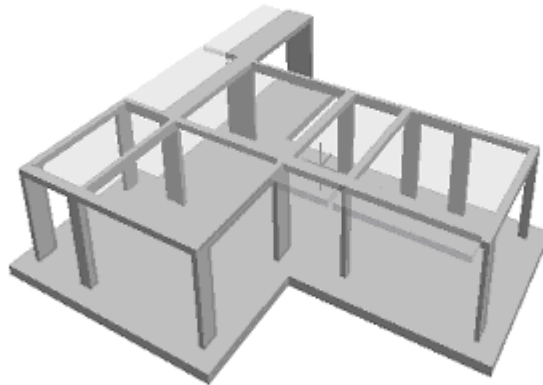
Dalle tabelle relative al cedimento differenziale limite delle fondazioni, si evince che i cedimenti differenziali massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto.

Comune : PRATO

PROVINCIA : PRATO

## RELAZIONE GEOTECNICA

Progetto di nuova struttura ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"



Archivio: 4 - Data: 28/09/2016

**Oggetto: STRUTTURA IN C.A. - CORPO 4**

Committente:	Progettista:	Progettista Strutturale:	
COMUNE DI PRATO	Arch. Andrea Stipa	Arch. Stipa - Ing. Arezzini	

## 1 RELAZIONE GEOTECNICA

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.

Nella presente relazione vengono riportati i risultati delle elaborazioni a carattere geotecnico eseguite per le opere di fondazione da realizzare nell'ambito dei lavori di:

STRUTTURA IN C.A. - CORPO 4

I risultati delle indagini effettuate, degli studi eseguiti e delle valutazioni geotecniche operate, parte integrante degli elaborati progettuali relativi ai lavori in oggetto, faranno riferimento per le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione ai dati riportati nella Relazione geologico-tecnica redatta dal dott. geol.

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE X:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE Y:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA FONDAZIONI:

Fondazioni superficiali, quindi del tipo dirette, costituite da platee di fondazione.

#### Descrizione delle tipologie di fondazione utilizzate.

Nell'ambito dei lavori in oggetto si sono utilizzate le seguenti tipologie di fondazione: , platee, le cui dimensioni e la loro ubicazione vengono di seguito meglio descritte.

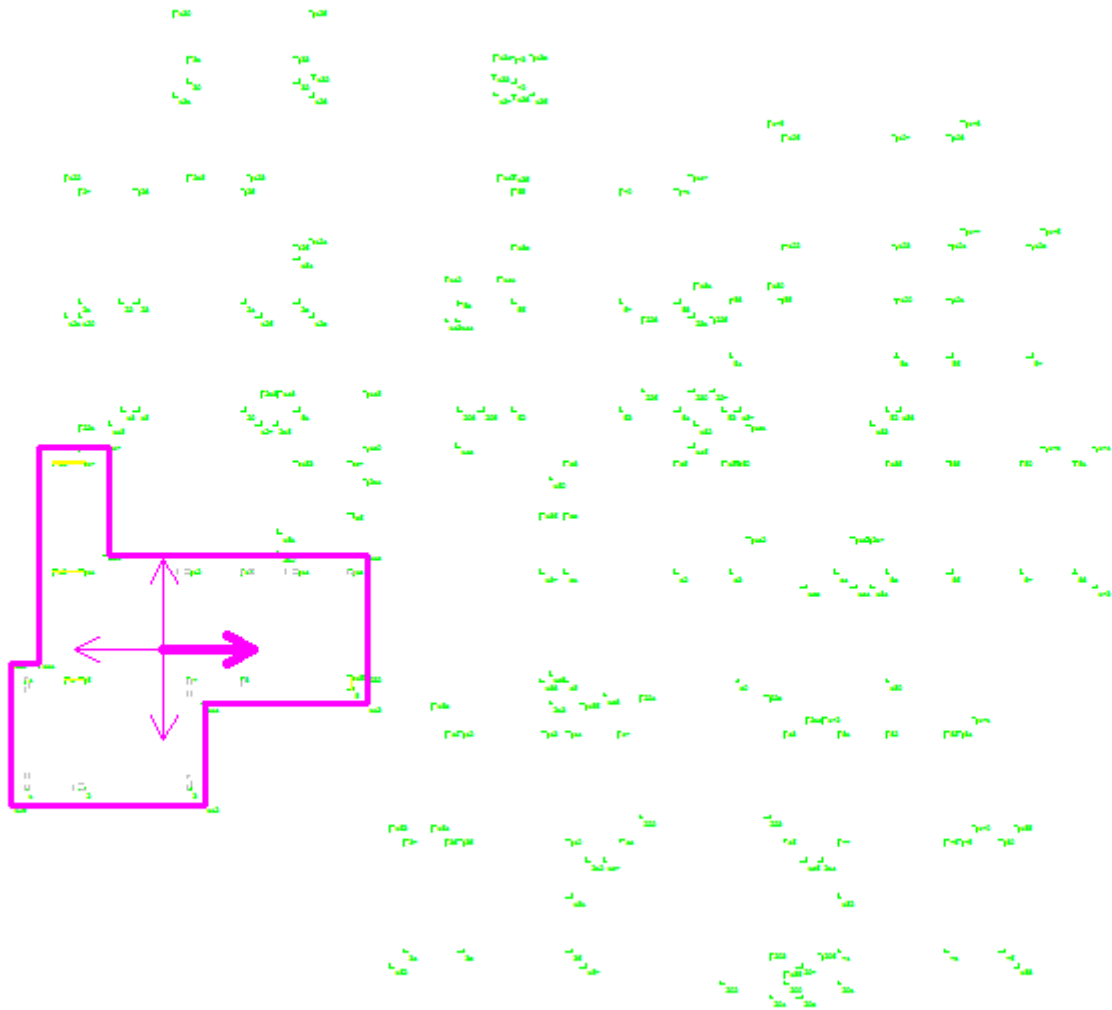
#### Descrizione delle platee di fondazione e loro ubicazione in pianta.

Platea : numero della platea;  
 Impalcato : impalcato al quale appartiene la piastra;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la piastra;  
 Spessore : spessore della Piastra;  
 KwN : modulo di Winkler normale;  
 KwT : modulo di Winkler tangenziale;

Platea	Impalcato	Fili	Spessore [cm]	KwN [daN/cm <sup>3</sup> ]	KwT [daN/cm <sup>3</sup> ]
1	Fond.	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	40	5.00	2.50

**Piante fondazioni.**

Fond.



## 1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)

### Problemi geotecnici e scelte tipologiche.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione compresi nel volume significativo, ovvero in quella parte di sottosuolo che viene influenzata direttamente o indirettamente dalle opere in oggetto, viene riportata in dettaglio nella relazione geologico-tecnica allegata.

Vengono di seguito indicati i parametri fondamentali per la valutazione della capacità portante del terreno di fondazione e le scelte tipologiche adottate per il dimensionamento delle opere di fondazione, non avendo riscontrato altre particolari problematiche di tipo geotecnico.

Al fine d'identificare la categoria di sottosuolo, tramite la conoscenza dello spessore e natura dei diversi strati che compongono il terreno sottostante il piano di posa delle fondazioni, per il dimensionamento strutturale e geotecnico delle stesse sono state effettuate delle indagini in sito ubicate nell'area oggetto dell'intervento.

L'area in esame è sostanzialmente pianeggiante, caratterizzata da un fattore di amplificazione topografico pari a T1, pertanto non si osservano variazioni di quota della superficie topografica degne di valutazioni particolari.

### Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche.

Per definire la stratigrafia di progetto, dei terreni di sedime dei lavori in oggetto e per acquisire i parametri fisico-meccanici dei terreni in esame è stata condotta sull'area interessata dall'intervento di progetto una campagna di indagini.

Il programma delle indagini e delle prove con l'ubicazione delle stesse è stato definito a seguito di un attento sopralluogo dell'area in oggetto e risulta più ampiamente descritto nella relazione geologica allegata.

### Caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

#### - Caratteristiche litostratigrafiche

L'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini per la caratterizzazione del suolo di fondazione sono meglio indicati nella relazione geologico-tecnica allegata. Per quanto riguarda l'aspetto geologico a seguito il rilevamento di un significativo intorno della zona in esame si è riscontrata la presenza delle seguenti successioni litostratigrafiche nelle relative sezioni geologiche (colonne stratigrafiche):

Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Strato : nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;  
 Descrizione : descrizione dello strato;

Filo	Colonna	Strato	Descrizione
109	Colonna 1	Strato1	Limi sabbiosi
		Strato2	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose

#### - Caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione

Nell'ambito del progetto si è fatto uso delle seguenti colonne stratigrafiche:

#### Caratteristiche delle colonne stratigrafiche:

Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Impalcato : Impalcato al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Falda : Presenza della falda;  
 Prof. Falda : Profondità della falda (se è presente);  
 Spicc. Fond. : Quota dell'estradosso della fondazione rispetto al piano campagna;  
 No. Strati : Numero degli strati della colonna stratigrafica.  
 RQD : (Rock Quality Designation) grado di fratturazione dell'ammasso roccioso in [0-1]

Filo	Colonna	Impalcato	Falda	Prof. Falda [cm]	Spicc. Fond. [cm]	No. Strati	RQD
109	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
110	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
111	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-



RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

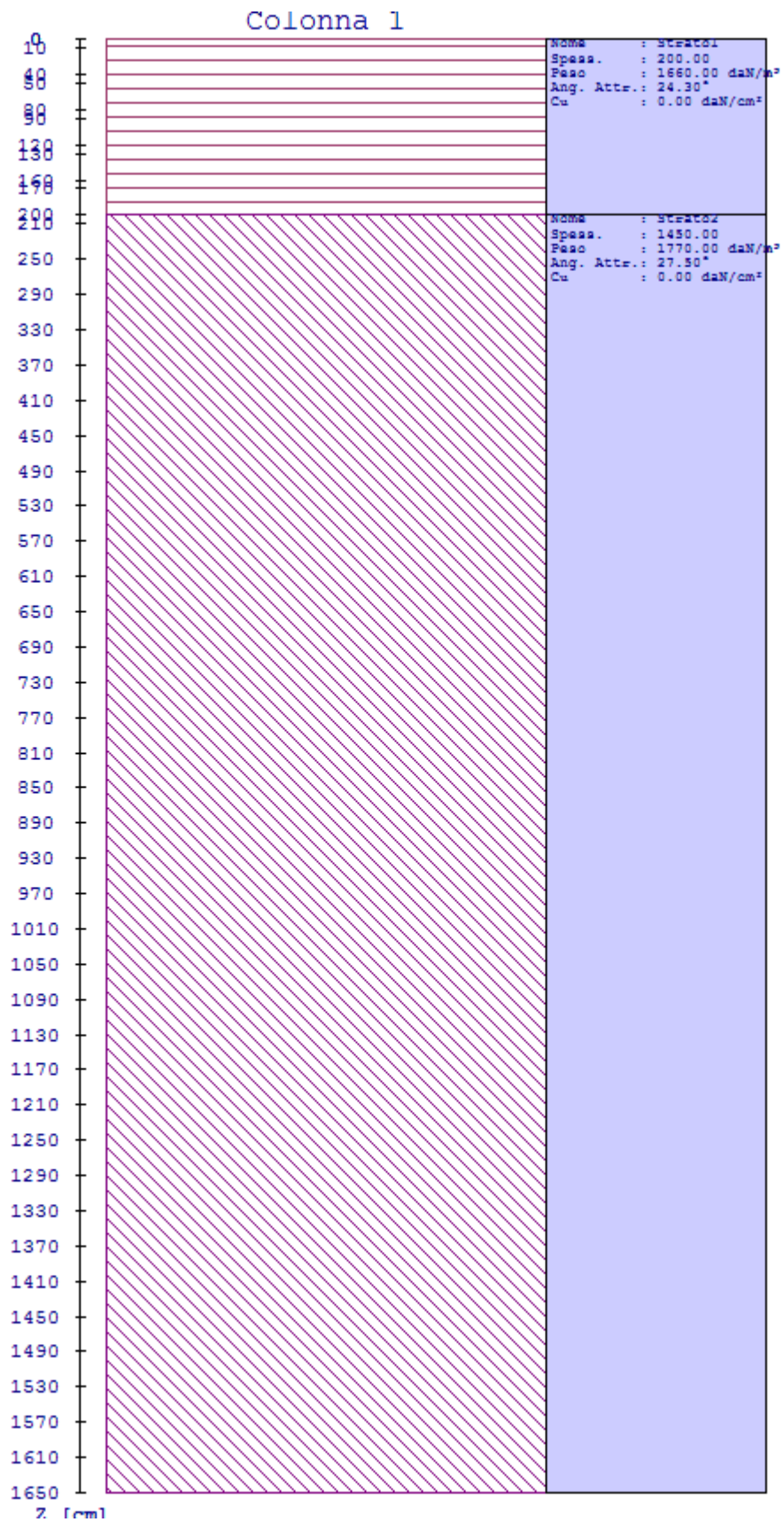
112	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
113	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
114	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
115	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
116	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
117	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
118	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

**Caratteristiche degli strati appartenenti alle colonne stratigrafiche:**

- Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Strato : nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;  
 Spess. : Spessore dello strato;  
 Peso : Peso dell'unità di volume dello strato;  
 Peso eff. : Peso dell'unità di volume efficace dello strato;  
 NSPT : Numero di colpi medio misurato nello strato;  
 Qc : Resistenza alla punta media misurata nello strato;  
 $\phi$  : Angolo di attrito del terreno;  
 C : Coesione drenata del terreno;  
 Cu : Coesione non drenata del terreno;  
 E : Modulo elastico del terreno;  
 G : Modulo di taglio del terreno;  
 $\nu_t$  : Coefficiente di Poisson;  
 $E_{ed}$  : Modulo Edometrico;  
 OCR : Grado di sovraconsolidazione del terreno.

Colonna	Strato	Spess. [cm]	Peso [daN/m <sup>3</sup> ]	Peso eff. [daN/m <sup>3</sup> ]	NSPT	Qc [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi$ [°]	C [daN/cm <sup>2</sup> ]	Cu [daN/cm <sup>2</sup> ]	E [daN/cm <sup>2</sup> ]	G [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu_t$ [°]	$E_{ed}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	OCR
Colonna 1	Strato1	200.0	1660.0	800.0	-	-	24.3	0.00	0.00	60.00	30.00	0.35	91.00	1.00
	Strato2	1450.0	1770.0	900.0	-	-	27.5	0.00	0.00	40.00	20.00	0.35	60.00	1.00

- Sezioni Geologiche:



### - Caratterizzazione sismica del suolo di fondazione:

La categoria assunta per il suolo di fondazione per il sito in oggetto è: C

Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi.

L'interazione terreno struttura viene modellata applicando il modello di Winkler, il quale caratterizza il sottosuolo con una relazione lineare fra il cedimento in un punto della superficie limite e la pressione agente nello stesso punto, indipendentemente da altri carichi applicati in punti diversi. Si assume cioè che:

$$p = k_v w$$

dove  $K_v$  è detta costante di sottofondo o coefficiente di reazione del terreno e  $w$  è l'abbassamento della trave di fondazione tale da comprimere il terreno sottostante.

Il valore di tale coefficiente  $k$  adottato nel lavoro in oggetto ( $k_v = 5.00 \text{ daN/cm}^3$ ), con riferimento ai dati geologico-geotecnici fornitici, è stato desunto da valori tabellati riportati in letteratura.

Tale modello viene esteso anche alla componente orizzontale dello spostamento, utilizzando un valore della costante orizzontale pari a  $k_o = 2.50 \text{ daN/cm}^3$ .

Le platee di fondazione vengono modellate utilizzando un elemento finito che segue sempre la giacitura di un piano. L'elemento lastra-piastra, nel seguito denominato guscio, possiede nel sistema di riferimento locale come in quello globale 6 gradi di libertà per nodo. L'elemento è computato sovrapponendo il comportamento lastra o membrana, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (una coppia di spostamenti planari e un grado di libertà alla rotazione intorno ad un asse perpendicolare al piano medio), e il comportamento piastra, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (uno spostamento perpendicolare al piano medio e una coppia di rotazioni ortogonali aventi assi sostegno paralleli al piano medio).

La geometria dell'elemento finito SHELL può essere definita attraverso 3 o 4 nodi. La trattazione nei due casi è completamente diversa. L'elemento a 3 nodi viene usato per creare esclusivamente mesh di transizione nel caso di figure irregolari.

La formulazione dell'elemento è basata sulla teoria di Mindlin-Reissner in cui viene considerato anche il contributo della deformazione dovuta al taglio risolvendolo secondo la formulazione isoparametrica. Tutte le caratteristiche sono calcolate attraverso l'integrazione numerica ai punti di Gauss secondo la regola 2x2 ed estrapolate ai nodi.

Nel caso delle platee di fondazione, l'interazione viene modellata attraverso l'introduzione di molle distribuite sulla superficie dell'elemento che vengono automaticamente concentrate (rappresentative della propria area di influenza e calcolate attraverso l'integrazione di Gauss) e applicate ai nodi di estremità.

### **Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite (SLU).**

Le verifiche della sicurezza in fondazione sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio. Le verifiche nei riguardi dello stato limite ultimo (SLU) previste dalla Normativa ed eseguite sono:

STR - raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione;

GEO - raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

Verifiche STR: le verifiche di resistenza degli elementi strutturali di fondazione sono state eseguite contestualmente alla verifica degli elementi strutturali in elevazione. Le relative verifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata;

Verifiche GEO: le verifiche di resistenza del terreno interagente con la struttura sono condotte confrontando i valori di resistenza con quelli di progetto, secondo l'Approccio 2, come riportato nelle pagine seguenti.

### **Verifiche GEO: Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.**

### **TEORIA DI CALCOLO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.**

Il calcolo è stato effettuato seguendo la teoria di Brinch Hansen, la quale tiene conto:

- della forma della fondazione;

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

- della profondità del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del carico sulla fondazione;
- dell'eccentricità del carico;
- dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del piano di campagna;
- dell'effetto inerziale nella fondazione;
- dell'effetto cinematico del sottosuolo;

Si riportano di seguito le formule considerate nelle varie colonne stratigrafiche assegnate ai fili fissi:

Il carico limite si ottiene dalla seguente espressione:

$q_{lim} =$

$$0.5 \cdot B' \cdot \gamma_2 \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot g_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot z_{\gamma} \cdot e_{\gamma k} \cdot e_{\gamma i} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + [q + \gamma_1 \cdot (D - d_w) + \gamma_1' \cdot d_w] \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q$$

Dove:  $B' = B - 2 \cdot e_B$

$B$  è il lato minore della fondazione.

$e_B$  è l'eccentricità del carico lungo  $B$ .

$D$  è la profondità del piano di posa della fondazione.

$\gamma_1$  è il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione.

$\gamma_1'$  è il peso del terreno immerso sopra il piano di posa.

$\gamma_2$  è il peso del terreno sotto il piano di posa della fondazione.

$C$  è la coesione del terreno.

$q$  è il carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.

$d_w$  è la profondità della falda acquifera.

### Fattori di portanza Platee.

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea;

A1 : verifica della combinazione di carico A1;

Lt : verifica a lungo termine.

Fattori di carico limite													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	24.55	13.69	9.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di forma													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	1.56	1.52	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di profondità													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	1.02	1.01	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano di posa													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano campagna													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione dei carichi													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto inerziale (Paolucci Pecker)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	0.96	0.92	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto cinematico (Maugeri-Cascone)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	-	-	-	-
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	0.88	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**VERIFICA CAPACITA' PORTANTE.**

La verifica del sistema di fondazione relativo alla struttura in oggetto, è stata effettuata sulla base dei dati geologici e dei parametri geotecnici forniti, seguendo l'approccio di progetto relativo alla normativa di riferimento:

- (punti 6.4.2.1 del DM 14/01/2008 e 6.4.3 per fondazioni su pali del DM 14/01/2008)

A1 + M1 + R3

dove:

- Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE	Comb. A1
PERMANENTI	$\gamma_{G1ns}$	1.3
PERMANENTI NON STRUTTURALI	$\gamma_{G2ns}$	1.5
VARIABILI	$\gamma_{Qi}$	1.5

- Coefficienti per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPL. IL COEFF. PARZIALE	Comb. M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi$	1.0
Coesione drenata del terreno	C	1.0
Coesione non drenata del terreno	$C_u$	1.0
Peso dell'unita di volume	$\gamma$	1.0

- Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 2.3$

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle.

**Platee.**

- Platea : numero della platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 A1 - Lt : verifica della combinazione di carico A1 a lungo termine;  
 D : profondità del piano di posa;  
 qlimd : carico limite di calcolo;  
 $\sigma$  : tensione di calcolo;  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Combinazione A1 - Lt				Esito
		D [cm]	qlimd [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	S	
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	90.00	2.74	0.65	4.22	V

**1.0.2.2 VERIFICA A SCORRIMENTO.**

*TEORIA DI CALCOLO*

La verifica allo scorrimento sul piano di posa delle fondazione della struttura in oggetto consiste nell'imporre l'equilibrio alla traslazione orizzontale tra tutte le forze instabilizzanti e resistenti che intervengono nel problema.

La verifica risulta soddisfatta se le azioni stabilizzanti garantiscono un margine di sicurezza maggiore o uguale al coefficiente parziale  $\gamma_R$  pari ad 1.1.

La verifica a scorrimento è stata effettuata sulla base delle azioni di calcolo agenti sulla struttura considerando il sisma agente rispettivamente lungo due direzioni ortogonali. Considerando inoltre i dati geometrici delle strutture di fondazione, i dati geologici ed i parametri geotecnici, seguendo le indicazioni della normativa di riferimento (punti 6.4.2.1 e 7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008) si valutano le azioni resistenti allo scorrimento.

Si definisce  $V_d$  la risultante delle forze agenti e  $R_d$  la risultante delle forze resistenti, entrambi agenti in direzione parallela al piano di posa. Il valore di calcolo di  $R_d$  è ottenuto dalla relazione:

$$R_d = N \cdot \tan(\delta) + \text{Aderenza} \cdot \text{Area di base} + \%Sp \cdot Sp$$

dove:

- N = risultante delle azioni normali al piano di posa;
- $\delta$  = angolo di attrito tra l'intradosso delle fondazioni ed il piano di posa delle stesse;
- Aderenza = adesione tra fondazione-terreno su tutta l'area di base;
- Area di base = area di base di tutte le fondazioni superficiali;
- %Sp = percentuale di spinta passiva considerata pari a 50%;
- sp = spinta passiva discorde al sisma considerato;

Dati:

- Parametri

PARAMETRO	VALORE ASSUNTO PER IL PARAMETRO
Angolo di attrito $\delta$ [°]	24.00
Adesione drenata $A_d$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.50
Adesione non drenata $A_{nd}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.00

- Coefficienti parziali  $\gamma_i$  dei carichi verticali

$\gamma_i$	VALORE ASSUNTO $\gamma_i$
$\gamma_{G1}$	1.00

$\gamma_{G2}$	0.00
$\gamma_o$	0.00

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle

- VERIFICA A SCORRIMENTO

Direzione	Vd [KN]	Area Totale [m <sup>2</sup> ]	N [KN]	Sp [KN]	Aderenza [daN/cm <sup>2</sup> ]	Attrito [°]	Rd [KN]	S	Esito
Sisma X+	609.31	238.51	3473.93	0.00	0.50	24.00	13472.41	22.11	V
Sisma X-	609.31	238.51	3473.93	0.00	0.50	24.00	13472.41	22.11	V
Sisma Y+	609.15	238.51	3473.93	0.00	0.50	24.00	13472.41	22.12	V
Sisma Y-	609.15	238.51	3473.93	0.00	0.50	24.00	13472.41	22.12	V

**Verifiche allo Stato Limite di Danno per le fondazioni superficiali (7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008).**

Per l'analisi della sicurezza del complesso fondazione-terreno verranno condotte le verifiche nei confronti dello stato limite di danno.

In particolare, saranno valutati gli spostamenti permanenti indotti dal sisma, verificando che essi siano accettabili per la fondazione e siano compatibili con la funzionalità SLD dell'intera opera in oggetto.

Per determinare gli spostamenti permanenti post-sisma nel terreno si effettua un'analisi del sistema fondazione-terreno modellando il terreno con un sistema di molle con legame costitutivo Pressione-Spostamento di tipo iperbolico mediante la seguente relazione:

$$P(u) = \frac{u}{\frac{1}{E_s} + \frac{u}{P_u}}$$

dove:

P(u) = pressione di contatto;

u = cedimento del terreno;

Es = rigidezza tangente all'origine del terreno di fondazione valutato come  $u_e/p$  ovvero rapporto tra il cedimento elastico istantaneo e la pressione di contatto che lo provoca;

Pu = pressione ultima valutata per i valori caratteristici del terreno di fondazione;

Lo spostamento permanente Uresiduo sarà quindi valutato dallo spostamento complessivo Usld depurato della parte reversibile elastica:

$$U_{residuo} = Usld - \frac{P_{sld}}{E_s}$$

**Platee.**

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;

Psld : pressione di contatto SLD;

Plim : pressione ultima del terreno di fondazione;

Usld : cedimento sld del terreno;

Usld\_res: cedimento residuo sld del terreno;

ULim : cedimento residuo limite;

S : Coefficiente di sicurezza;

Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Psld [daN/cm <sup>2</sup> ]	Plim [daN/cm <sup>2</sup> ]	Usld [mm]	Usld_res [mm]	ULim. [mm]	S	Esito
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	0.80	6.30	1.831	0.232	50.000	215.32	V



## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

Dall'analisi delle tabelle relative alle verifiche dei cedimenti SLD per le fondazioni superficiali si evince che i cedimenti permanenti massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto e sensibilmente inferiori ai valori assunti come ammissibili per la letteratura tecnica.

### Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).

Gli stati limite di esercizio (punto 6.4.2.2 del DM 14/01/2008) investigati, si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti differenziali che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito per la combinazione di esercizio, quasi permanente

### Platee.

Platea : numero sella platea;  
Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
Comb. : tipo involuppo;  
Dist. : distanza tra i punti di massimo cedimento differenziale;  
Istant. : cedimento istantaneo;  
Consol. : cedimento di consolidamento;  
Tot. : cedimento totale;  
Diff. : cedimento differenziale;  
Lim. : cedimento limite (4‰ x Dist.);  
S : Coefficiente di sicurezza;  
Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Comb.	Dist. [cm]	Max			Min			Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
				Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]	Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]				
1	109, 110, 111, 118, 117, 116, 115, 113, 114, 112	Q. Perm.	484.8	-0.0681	-0.5923	-0.6604	-0.0291	-0.4679	-0.4970	0.1634	1.9393	11.87	V

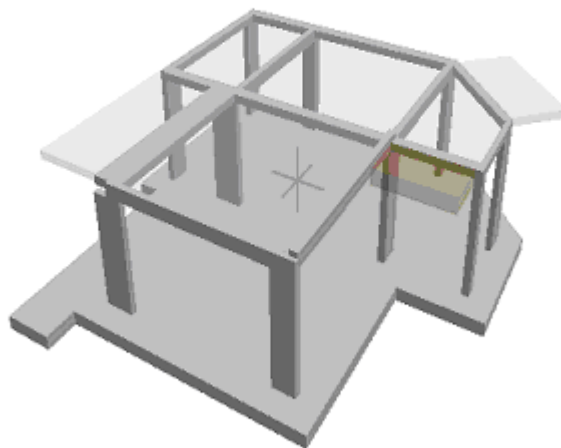
Dalle tabelle relative al cedimento differenziale limite delle fondazioni, si evince che i cedimenti differenziali massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto.

Comune : PRATO

PROVINCIA : PRATO

## RELAZIONE GEOTECNICA

Progetto di nuova struttura ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"



Archivio: 5 - Data: 28/09/2016

**Oggetto: STRUTTURA IN C.A.- CORPO 5**

<b>Committente:</b>	<b>Progettista:</b>	<b>Progettista Strutturale:</b>	
COMUNE DI PRATO	Arch. Andrea Stipa	Arch. Stipa - Ing. Arezzini	

## 1 RELAZIONE GEOTECNICA

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.

Nella presente relazione vengono riportati i risultati delle elaborazioni a carattere geotecnico eseguite per le opere di fondazione da realizzare nell'ambito dei lavori di:

STRUTTURA IN C.A.- CORPO 5

I risultati delle indagini effettuate, degli studi eseguiti e delle valutazioni geotecniche operate, parte integrante degli elaborati progettuali relativi ai lavori in oggetto, faranno riferimento per le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione ai dati riportati nella Relazione geologico-tecnica redatta dal dott. geol.

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE X:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE Y:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA FONDAZIONI:

Fondazioni superficiali, quindi del tipo dirette, costituite da platee di fondazione.

#### Descrizione delle tipologie di fondazione utilizzate.

Nell'ambito dei lavori in oggetto si sono utilizzate le seguenti tipologie di fondazione: , platee, le cui dimensioni e la loro ubicazione vengono di seguito meglio descritte.

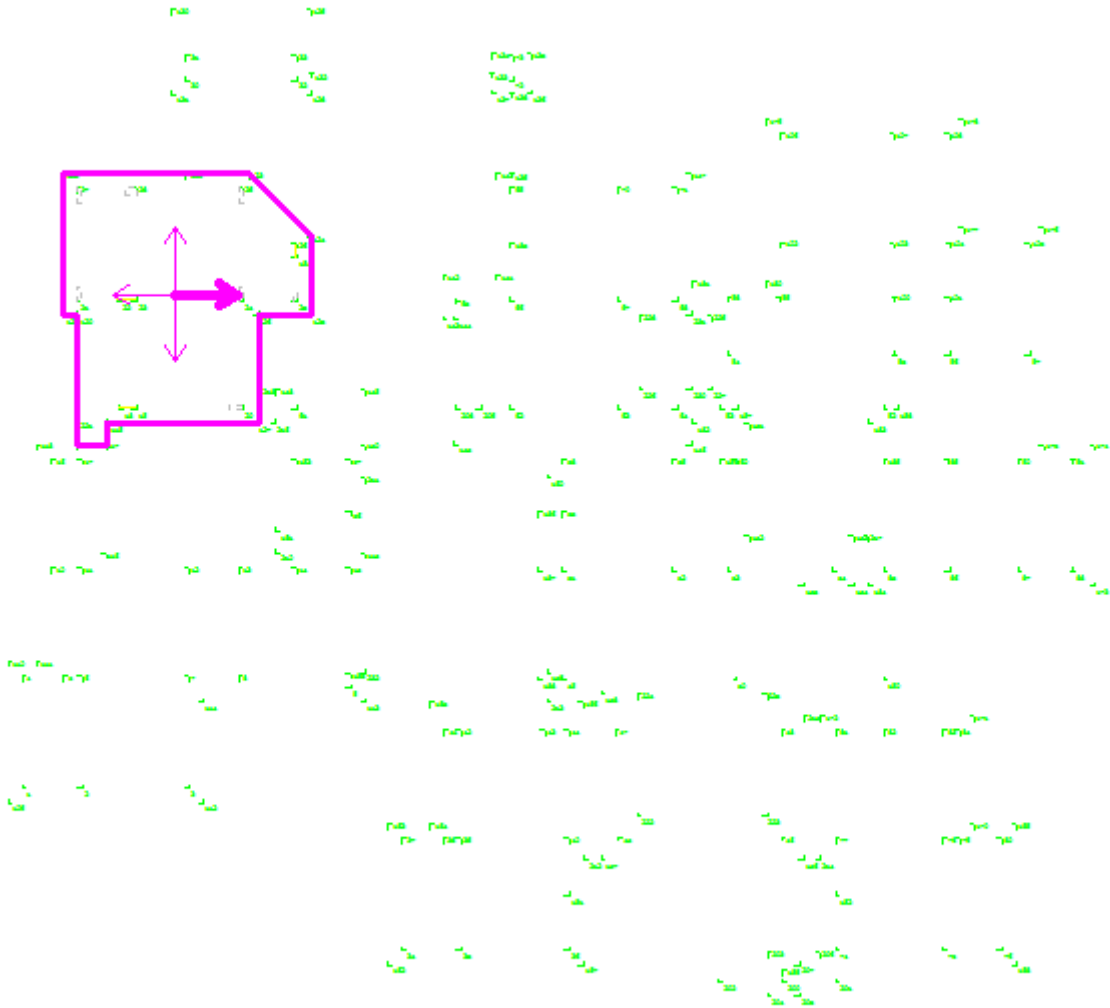
#### Descrizione delle platee di fondazione e loro ubicazione in pianta.

Platea : numero della platea;  
 Impalcato : impalcato al quale appartiene la piastra;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la piastra;  
 Spessore : spessore della Piastra;  
 KwN : modulo di Winkler normale;  
 KwT : modulo di Winkler tangenziale;

Platea	Impalcato	Fili	Spessore [cm]	KwN [daN/cm <sup>3</sup> ]	KwT [daN/cm <sup>3</sup> ]
1	Fond.	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	40	5.00	2.50

**Piante fondazioni.**

Fond.



## 1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)

### Problemi geotecnici e scelte tipologiche.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione compresi nel volume significativo, ovvero in quella parte di sottosuolo che viene influenzata direttamente o indirettamente dalle opere in oggetto, viene riportata in dettaglio nella relazione geologico-tecnica allegata.

Vengono di seguito indicati i parametri fondamentali per la valutazione della capacità portante del terreno di fondazione e le scelte tipologiche adottate per il dimensionamento delle opere di fondazione, non avendo riscontrato altre particolari problematiche di tipo geotecnico.

Al fine d'identificare la categoria di sottosuolo, tramite la conoscenza dello spessore e natura dei diversi strati che compongono il terreno sottostante il piano di posa delle fondazioni, per il dimensionamento strutturale e geotecnico delle stesse sono state effettuate delle indagini in sito ubicate nell'area oggetto dell'intervento.

L'area in esame è sostanzialmente pianeggiante, caratterizzata da un fattore di amplificazione topografico pari a T1, pertanto non si osservano variazioni di quota della superficie topografica degne di valutazioni particolari.

### Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche.

Per definire la stratigrafia di progetto, dei terreni di sedime dei lavori in oggetto e per acquisire i parametri fisico-meccanici dei terreni in esame è stata condotta sull'area interessata dall'intervento di progetto una campagna di indagini.

Il programma delle indagini e delle prove con l'ubicazione delle stesse è stato definito a seguito di un attento sopralluogo dell'area in oggetto e risulta più ampiamente descritto nella relazione geologica allegata.

### Caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

#### - Caratteristiche litostratigrafiche

L'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini per la caratterizzazione del suolo di fondazione sono meglio indicati nella relazione geologico-tecnica allegata. Per quanto riguarda l'aspetto geologico a seguito il rilevamento di un significativo intorno della zona in esame si è riscontrata la presenza delle seguenti successioni litostratigrafiche nelle relative sezioni geologiche (colonne stratigrafiche):

Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Strato : nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;  
 Descrizione : descrizione dello strato;

Filo	Colonna	Strato	Descrizione
117	Colonna 1	Strato1	Limi sabbiosi
		Strato2	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose

#### - Caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione

Nell'ambito del progetto si è fatto uso delle seguenti colonne stratigrafiche:

#### Caratteristiche delle colonne stratigrafiche:

Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Impalcato : Impalcato al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Falda : Presenza della falda;  
 Prof. Falda : Profondità della falda (se è presente);  
 Spicc. Fond. : Quota dell'estradosso della fondazione rispetto al piano campagna;  
 No. Strati : Numero degli strati della colonna stratigrafica.  
 RQD : (Rock Quality Designation) grado di fratturazione dell'ammasso roccioso in [0-1]

Filo	Colonna	Impalcato	Falda	Prof. Falda [cm]	Spicc. Fond. [cm]	No. Strati	RQD
117	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
119	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
120	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

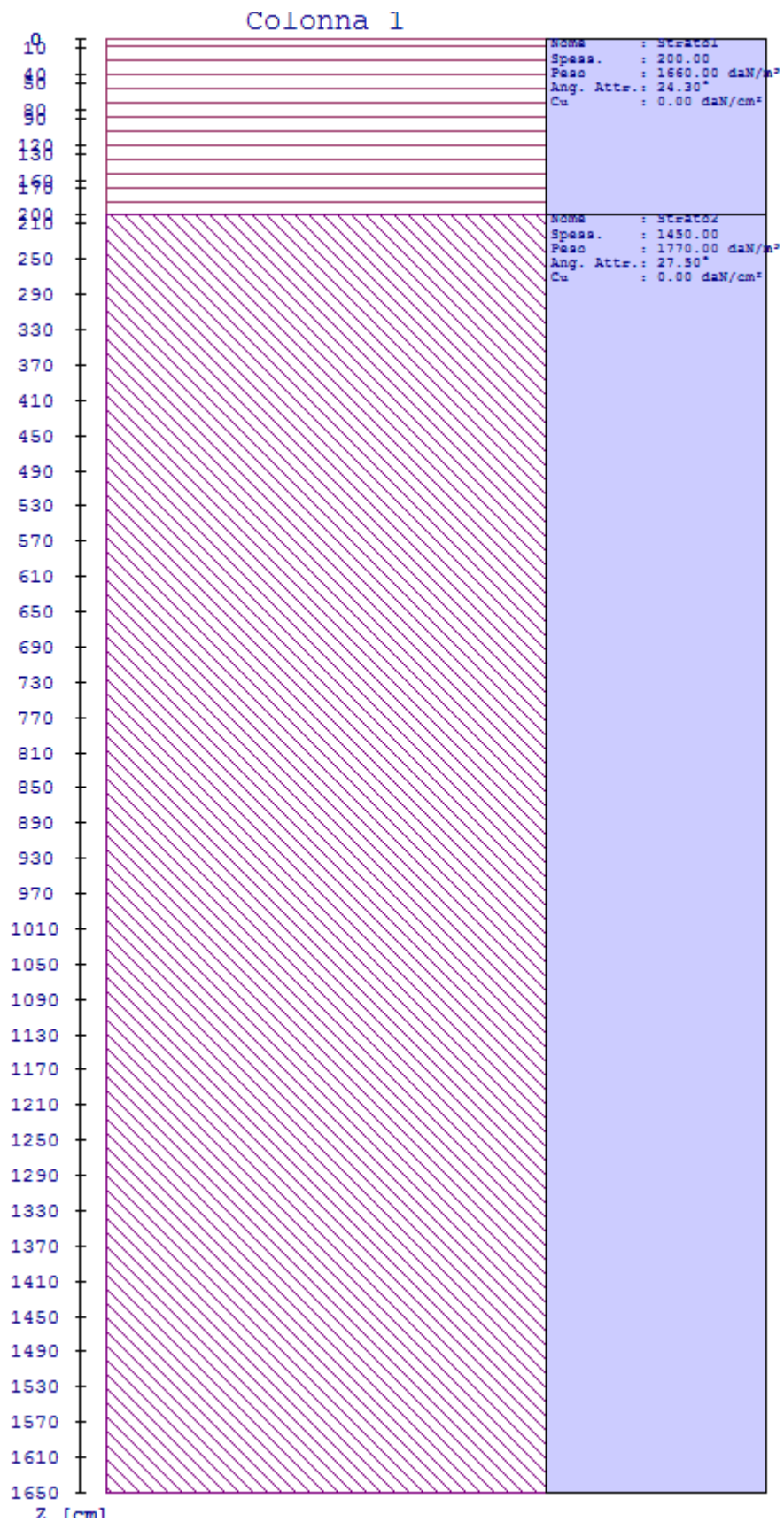
121	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
122	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
123	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
124	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
125	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
126	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
127	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
218	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
219	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
220	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
221	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

### Caratteristiche degli strati appartenenti alle colonne stratigrafiche:

Colonna	: nome della colonna stratigrafica;
Strato	: nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;
Spess.	: Spessore dello strato;
Peso	: Peso dell'unità di volume dello strato;
Peso eff.	: Peso dell'unità di volume efficace dello strato;
NSPT	: Numero di colpi medio misurato nello strato;
Qc	: Resistenza alla punta media misurata nello strato;
$\phi$	: Angolo di attrito del terreno;
C	: Coesione drenata del terreno;
Cu	: Coesione non drenata del terreno;
E	: Modulo elastico del terreno;
G	: Modulo di taglio del terreno;
$\nu_t$	: Coefficiente di Poisson;
$E_{ed}$	: Modulo Edometrico;
OCR	: Grado di sovraconsolidazione del terreno.

Colonna	Strato	Spess. [cm]	Peso [daN/m <sup>3</sup> ]	Peso eff. [daN/m <sup>3</sup> ]	NSPT	Qc [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi$ [°]	C [daN/cm <sup>2</sup> ]	Cu [daN/cm <sup>2</sup> ]	E [daN/cm <sup>2</sup> ]	G [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu_t$ [°]	$E_{ed}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	OC R
Colonna 1	Strato1	200.0	1660.0	800.0	-	-	24.3	0.00	0.00	60.00	30.00	0.35	91.00	1.00
	Strato2	1450.0	1770.0	900.0	-	-	27.5	0.00	0.00	40.00	20.00	0.35	60.00	1.00

- Sezioni Geologiche:



### - Caratterizzazione sismica del suolo di fondazione:

La categoria assunta per il suolo di fondazione per il sito in oggetto è: C

Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi.

L'interazione terreno struttura viene modellata applicando il modello di Winkler, il quale caratterizza il sottosuolo con una relazione lineare fra il cedimento in un punto della superficie limite e la pressione agente nello stesso punto, indipendentemente da altri carichi applicati in punti diversi. Si assume cioè che:

$$p = k_v w$$

dove  $K_v$  è detta costante di sottofondo o coefficiente di reazione del terreno e  $w$  è l'abbassamento della trave di fondazione tale da comprimere il terreno sottostante.

Il valore di tale coefficiente  $k$  adottato nel lavoro in oggetto ( $k_v = 5.00 \text{ daN/cm}^3$ ), con riferimento ai dati geologico-geotecnici fornitici, è stato desunto da valori tabellati riportati in letteratura.

Tale modello viene esteso anche alla componente orizzontale dello spostamento, utilizzando un valore della costante orizzontale pari a  $k_o = 2.50 \text{ daN/cm}^3$ .

Le platee di fondazione vengono modellate utilizzando un elemento finito che segue sempre la giacitura di un piano. L'elemento lastra-piastra, nel seguito denominato guscio, possiede nel sistema di riferimento locale come in quello globale 6 gradi di libertà per nodo. L'elemento è computato sovrapponendo il comportamento lastra o membrana, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (una coppia di spostamenti planari e un grado di libertà alla rotazione intorno ad un asse perpendicolare al piano medio), e il comportamento piastra, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (uno spostamento perpendicolare al piano medio e una coppia di rotazioni ortogonali aventi assi sostegno paralleli al piano medio).

La geometria dell'elemento finito SHELL può essere definita attraverso 3 o 4 nodi. La trattazione nei due casi è completamente diversa. L'elemento a 3 nodi viene usato per creare esclusivamente mesh di transizione nel caso di figure irregolari.

La formulazione dell'elemento è basata sulla teoria di Mindlin-Reissner in cui viene considerato anche il contributo della deformazione dovuta al taglio risolvendolo secondo la formulazione isoparametrica. Tutte le caratteristiche sono calcolate attraverso l'integrazione numerica ai punti di Gauss secondo la regola 2x2 ed estrapolate ai nodi.

Nel caso delle platee di fondazione, l'interazione viene modellata attraverso l'introduzione di molle distribuite sulla superficie dell'elemento che vengono automaticamente concentrate (rappresentative della propria area di influenza e calcolate attraverso l'integrazione di Gauss) e applicate ai nodi di estremità.

### **Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite (SLU).**

Le verifiche della sicurezza in fondazione sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio. Le verifiche nei riguardi dello stato limite ultimo (SLU) previste dalla Normativa ed eseguite sono:

STR - raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione;

GEO - raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

Verifiche STR: le verifiche di resistenza degli elementi strutturali di fondazione sono state eseguite contestualmente alla verifica degli elementi strutturali in elevazione. Le relative verifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata;

Verifiche GEO: le verifiche di resistenza del terreno interagente con la struttura sono condotte confrontando i valori di resistenza con quelli di progetto, secondo l'Approccio 2, come riportato nelle pagine seguenti.

### **Verifiche GEO: Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.**

### **TEORIA DI CALCOLO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.**

Il calcolo è stato effettuato seguendo la teoria di Brinch Hansen, la quale tiene conto:

- della forma della fondazione;



- della profondità del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del carico sulla fondazione;
- dell'eccentricità del carico;
- dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del piano di campagna;
- dell'effetto inerziale nella fondazione;
- dell'effetto cinematico del sottosuolo;

Si riportano di seguito le formule considerate nelle varie colonne stratigrafiche assegnate ai fili fissi:

Il carico limite si ottiene dalla seguente espressione:

$q_{lim} =$

$$0.5 \cdot B' \cdot \gamma_2 \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot g_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot z_{\gamma} \cdot e_{\gamma k} \cdot e_{\gamma i} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + [q + \gamma_1 \cdot (D - d_w) + \gamma_1' \cdot d_w] \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q$$

Dove:  $B' = B - 2 \cdot e_B$

$B$  è il lato minore della fondazione.

$e_B$  è l'eccentricità del carico lungo  $B$ .

$D$  è la profondità del piano di posa della fondazione.

$\gamma_1$  è il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione.

$\gamma_1'$  è il peso del terreno immerso sopra il piano di posa.

$\gamma_2$  è il peso del terreno sotto il piano di posa della fondazione.

$C$  è la coesione del terreno.

$q$  è il carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.

$d_w$  è la profondità della falda acquifera.

### Fattori di portanza Platee.

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea;

A1 : verifica della combinazione di carico A1;

Lt : verifica a lungo termine.

Fattori di carico limite													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	24.55	13.69	9.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di forma													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	1.51	1.48	0.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di profondità													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$
1	122, 219, 123, 124,	1.03	1.02	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

	125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121												
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fattori di inclinazione del piano di posa													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano campagna													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione dei carichi													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto inerziale (Paolucci Pecker)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	0.96	0.92	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto cinematico (Maugeri-Cascone)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	-	-	-	-
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	0.88	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**VERIFICA CAPACITA' PORTANTE.**

La verifica del sistema di fondazione relativo alla struttura in oggetto, è stata effettuata sulla base dei dati geologici e dei parametri geotecnici forniti, seguendo l'approccio di progetto relativo alla normativa di riferimento:

- (punti 6.4.2.1 del DM 14/01/2008 e 6.4.3 per fondazioni su pali del DM 14/01/2008)

A1 + M1 + R3

dove:

- Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE	Comb. A1
PERMANENTI	$\gamma_{G1ns}$	1.3
PERMANENTI NON STRUTTURALI	$\gamma_{G2ns}$	1.5
VARIABILI	$\gamma_{Qi}$	1.5

- Coefficienti per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPL. IL COEFF. PARZIALE	Comb. M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi$	1.0
Coesione drenata del terreno	C	1.0
Coesione non drenata del terreno	$C_u$	1.0
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	1.0

- Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 2.3$

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle.

**Platee.**

- Platea : numero della platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 A1 - Lt : verifica della combinazione di carico A1 a lungo termine;  
 D : profondità del piano di posa;  
 qlimd : carico limite di calcolo;  
 $\sigma$  : tensione di calcolo;  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Combinazione A1 - Lt				
		D [cm]	qlimd [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	S	Esito
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	90.00	2.38	0.48	4.96	V

**1.0.2.2 VERIFICA A SCORRIMENTO.**

*TEORIA DI CALCOLO*

La verifica allo scorrimento sul piano di posa delle fondazione della struttura in oggetto consiste nell'imporre l'equilibrio alla traslazione orizzontale tra tutte le forze instabilizzanti e resistenti che intervengono nel problema.

La verifica risulta soddisfatta se le azioni stabilizzanti garantiscono un margine di sicurezza maggiore o uguale al coefficiente parziale  $\gamma_R$  pari ad 1.1.

La verifica a scorrimento è stata effettuata sulla base delle azioni di calcolo agenti sulla struttura considerando il sisma agente rispettivamente lungo due direzioni ortogonali. Considerando inoltre i dati geometrici delle strutture di fondazione, i dati geologici ed i parametri geotecnici, seguendo le indicazioni della normativa di riferimento (punti 6.4.2.1 e 7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008) si valutano le azioni resistenti allo scorrimento.

Si definisce  $V_d$  la risultante delle forze agenti e  $R_d$  la risultante delle forze resistenti, entrambi agenti in direzione parallela al piano di posa. Il valore di calcolo di  $R_d$  è ottenuto dalla relazione:

$$R_d = N \cdot \tan(\delta) + \text{Aderenza} \cdot \text{Area di base} + \%Sp \cdot Sp$$

dove:

- N = risultante delle azioni normali al piano di posa;  
 $\delta$  = angolo di attrito tra l'intradosso delle fondazioni ed il piano di posa delle stesse;  
 Aderenza = adesione tra fondazione-terreno su tutta l'area di base;  
 Area di base = area di base di tutte le fondazioni superficiali;  
 %Sp = percentuale di spinta passiva considerata pari a 50%;  
 sp = spinta passiva discorde al sisma considerato;

Dati:

- Parametri

PARAMETRO	VALORE ASSUNTO PER IL PARAMETRO
Angolo di attrito $\delta$ [°]	24.00
Adesione drenata $A_d$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.50
Adesione non drenata $A_{nd}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.00

- Coefficienti parziali  $\gamma_i$  dei carichi verticali

$\gamma_i$	VALORE ASSUNTO $\gamma_i$
$\gamma_{G1}$	1.00
$\gamma_{G2}$	0.00
$\gamma_0$	0.00

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle

- VERIFICA A SCORRIMENTO

Direzione	Vd [KN]	Area Totale [m <sup>2</sup> ]	N [KN]	Sp [KN]	Aderenza [daN/cm <sup>2</sup> ]	Attrito [°]	Rd [KN]	S	Esito
Sisma X+	421.88	164.81	2354.51	0.00	0.50	24.00	9288.97	22.02	V
Sisma X-	421.88	164.81	2354.51	0.00	0.50	24.00	9288.97	22.02	V
Sisma Y+	421.81	164.81	2354.51	0.00	0.50	24.00	9288.97	22.02	V
Sisma Y-	421.81	164.81	2354.51	0.00	0.50	24.00	9288.97	22.02	V

**Verifiche allo Stato Limite di Danno per le fondazioni superficiali (7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008).**

Per l'analisi della sicurezza del complesso fondazione-terreno verranno condotte le verifiche nei confronti dello stato limite di danno.

In particolare, saranno valutati gli spostamenti permanenti indotti dal sisma, verificando che essi siano accettabili per la fondazione e siano compatibili con la funzionalità SLD dell'intera opera in oggetto.

Per determinare gli spostamenti permanenti post-sisma nel terreno si effettua un'analisi del sistema fondazione-terreno modellando il terreno con un sistema di molle con legame costitutivo Pressione-Spostamento di tipo iperbolico mediante la seguente relazione:

$$P(u) = \frac{u}{\frac{1}{E_s} + \frac{u}{P_u}}$$

dove:

P(u) = pressione di contatto;

u = cedimento del terreno;

Es = rigidità tangente all'origine del terreno di fondazione valutato come  $u_e/p$  ovvero rapporto tra il cedimento elastico istantaneo e la pressione di contatto che lo provoca;

Pu = pressione ultima valutata per i valori caratteristici del terreno di fondazione;

Lo spostamento permanente Uresiduo sarà quindi valutato dallo spostamento complessivo Usld depurato della parte reversibile elastica:

$$U_{residuo} = U_{sld} - \frac{P_{sld}}{E_s}$$

**Platee.**

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;

Pslld : pressione di contatto SLD;

Plim : pressione ultima del terreno di fondazione;

Usld : cedimento sld del terreno;

Usld\_res: cedimento residuo sld del terreno;

ULim : cedimento residuo limite;

S : Coefficiente di sicurezza;

Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Pslld [daN/cm <sup>2</sup> ]	Plim [daN/cm <sup>2</sup> ]	Usld [mm]	Usld_res [mm]	ULim. [mm]	S	Esito
1	122, 219, 123, 124, 125, 126,	0.52	5.47	1.141	0.108	50.000	464.60	V

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

	218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121							
--	---	--	--	--	--	--	--	--

Dall'analisi delle tabelle relative alle verifiche dei cedimenti SLD per le fondazioni superficiali si evince che i cedimenti permanenti massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto e sensibilmente inferiori ai valori assunti come ammissibili per la letteratura tecnica.

### Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).

Gli stati limite di esercizio (punto 6.4.2.2 del DM 14/01/2008) investigati, si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti differenziali che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito per la combinazione di esercizio, quasi permanente

### Platee.

- Platea : numero sella platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 Comb. : tipo inviluppo;  
 Dist. : distanza tra i punti di massimo cedimento differenziale;  
 Istant. : cedimento istantaneo;  
 Consol. : cedimento di consolidamento;  
 Tot. : cedimento totale;  
 Diff. : cedimento differenziale;  
 Lim. : cedimento limite (4‰ x Dist.);  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Comb.	Dist. [cm]	Max			Min			Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
				Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]	Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]				
1	122, 219, 123, 124, 125, 126, 218, 127, 119, 117, 220, 221, 120, 121	Q. Perm.	1025.7	-0.0655	-0.5841	-0.6496	-0.0276	-0.4630	-0.4905	0.1591	4.1028	25.79	V

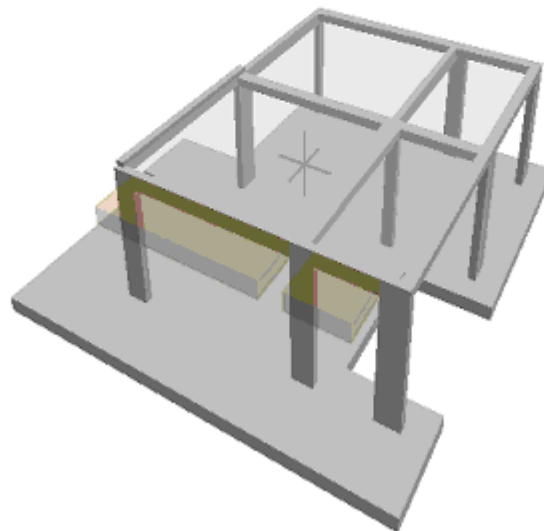
Dalle tabelle relative al cedimento differenziale limite delle fondazioni, si evince che i cedimenti differenziali massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto.

Comune : PRATO

PROVINCIA : PRATO

## RELAZIONE GEOTECNICA

Progetto di nuova struttura ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"



Archivio: 6 - Data: 28/09/2016

**Oggetto: STRUTTURA IN C.A.- CORPO 6**

Committente:	Progettista:	Progettista Strutturale:	
COMUNE DI PRATO	Arch. Andrea Stipa	Arch. Stipa - Ing. Arezzini	

## 1 RELAZIONE GEOTECNICA

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.

Nella presente relazione vengono riportati i risultati delle elaborazioni a carattere geotecnico eseguite per le opere di fondazione da realizzare nell'ambito dei lavori di:

STRUTTURA IN C.A.- CORPO 6

I risultati delle indagini effettuate, degli studi eseguiti e delle valutazioni geotecniche operate, parte integrante degli elaborati progettuali relativi ai lavori in oggetto, faranno riferimento per le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione ai dati riportati nella Relazione geologico-tecnica redatta dal dott. geol.

**TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE X:**

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

**TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE Y:**

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

**TIPOLOGIA FONDAZIONI:**

Fondazioni superficiali, quindi del tipo dirette, costituite da platee di fondazione.

#### **Descrizione delle tipologie di fondazione utilizzate.**

Nell'ambito dei lavori in oggetto si sono utilizzate le seguenti tipologie di fondazione: , platee, le cui dimensioni e la loro ubicazione vengono di seguito meglio descritte.

#### **Descrizione delle platee di fondazione e loro ubicazione in pianta.**

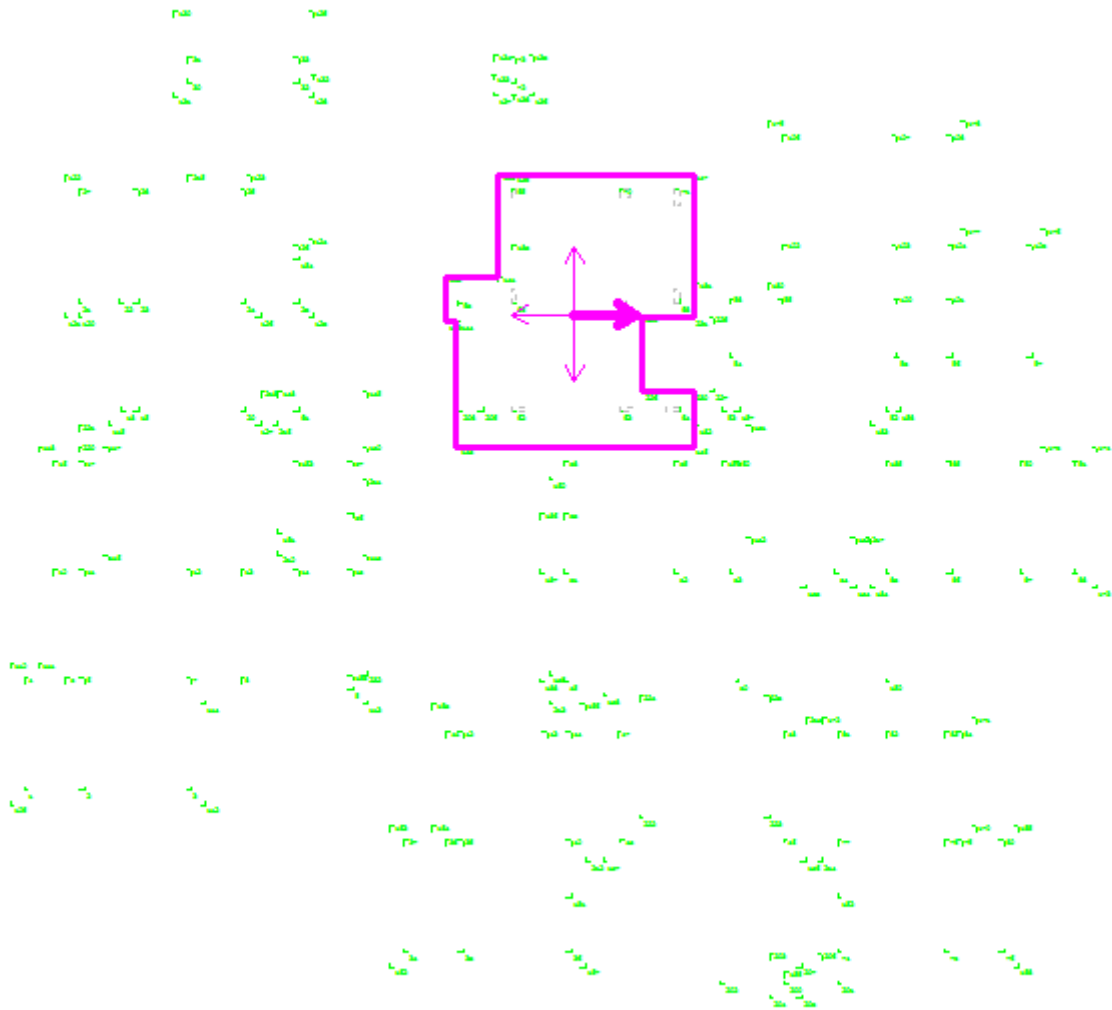
Platea : numero della platea;  
 Impalcato : impalcato al quale appartiene la piastra;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la piastra;  
 Spessore : spessore della Piastra;  
 KwN : modulo di Winkler normale;  
 KwT : modulo di Winkler tangenziale;

Platea	Impalcato	Fili	Spessore [cm]	KwN [daN/cm <sup>3</sup> ]	KwT [daN/cm <sup>3</sup> ]
1	Fond.	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	40	5.00	2.50



**Piante fondazioni.**

Fond.



## 1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)

### Problemi geotecnici e scelte tipologiche.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione compresi nel volume significativo, ovvero in quella parte di sottosuolo che viene influenzata direttamente o indirettamente dalle opere in oggetto, viene riportata in dettaglio nella relazione geologico-tecnica allegata.

Vengono di seguito indicati i parametri fondamentali per la valutazione della capacità portante del terreno di fondazione e le scelte tipologiche adottate per il dimensionamento delle opere di fondazione, non avendo riscontrato altre particolari problematiche di tipo geotecnico.

Al fine d'identificare la categoria di sottosuolo, tramite la conoscenza dello spessore e natura dei diversi strati che compongono il terreno sottostante il piano di posa delle fondazioni, per il dimensionamento strutturale e geotecnico delle stesse sono state effettuate delle indagini in sito ubicate nell'area oggetto dell'intervento.

L'area in esame è sostanzialmente pianeggiante, caratterizzata da un fattore di amplificazione topografico pari a T1, pertanto non si osservano variazioni di quota della superficie topografica degne di valutazioni particolari.

### Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche.

Per definire la stratigrafia di progetto, dei terreni di sedime dei lavori in oggetto e per acquisire i parametri fisico-meccanici dei terreni in esame è stata condotta sull'area interessata dall'intervento di progetto una campagna di indagini.

Il programma delle indagini e delle prove con l'ubicazione delle stesse è stato definito a seguito di un attento sopralluogo dell'area in oggetto e risulta più ampiamente descritto nella relazione geologica allegata.

### Caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

#### - Caratteristiche litostratigrafiche

L'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini per la caratterizzazione del suolo di fondazione sono meglio indicati nella relazione geologico-tecnica allegata. Per quanto riguarda l'aspetto geologico a seguito il rilevamento di un significativo intorno della zona in esame si è riscontrata la presenza delle seguenti successioni litostratigrafiche nelle relative sezioni geologiche (colonne stratigrafiche):

Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Strato : nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;  
 Descrizione : descrizione dello strato;

Filo	Colonna	Strato	Descrizione
139	Colonna 1	Strato1	Limi sabbiosi
		Strato2	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose

#### - Caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione

Nell'ambito del progetto si è fatto uso delle seguenti colonne stratigrafiche:

#### Caratteristiche delle colonne stratigrafiche:

Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Impalcato : Impalcato al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Falda : Presenza della falda;  
 Prof. Falda : Profondità della falda (se è presente);  
 Spicc. Fond. : Quota dell'estradosso della fondazione rispetto al piano campagna;  
 No. Strati : Numero degli strati della colonna stratigrafica.  
 RQD : (Rock Quality Designation) grado di fratturazione dell'ammasso roccioso in [0-1]

Filo	Colonna	Impalcato	Falda	Prof. Falda [cm]	Spicc. Fond. [cm]	No. Strati	RQD
139	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
140	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
141	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

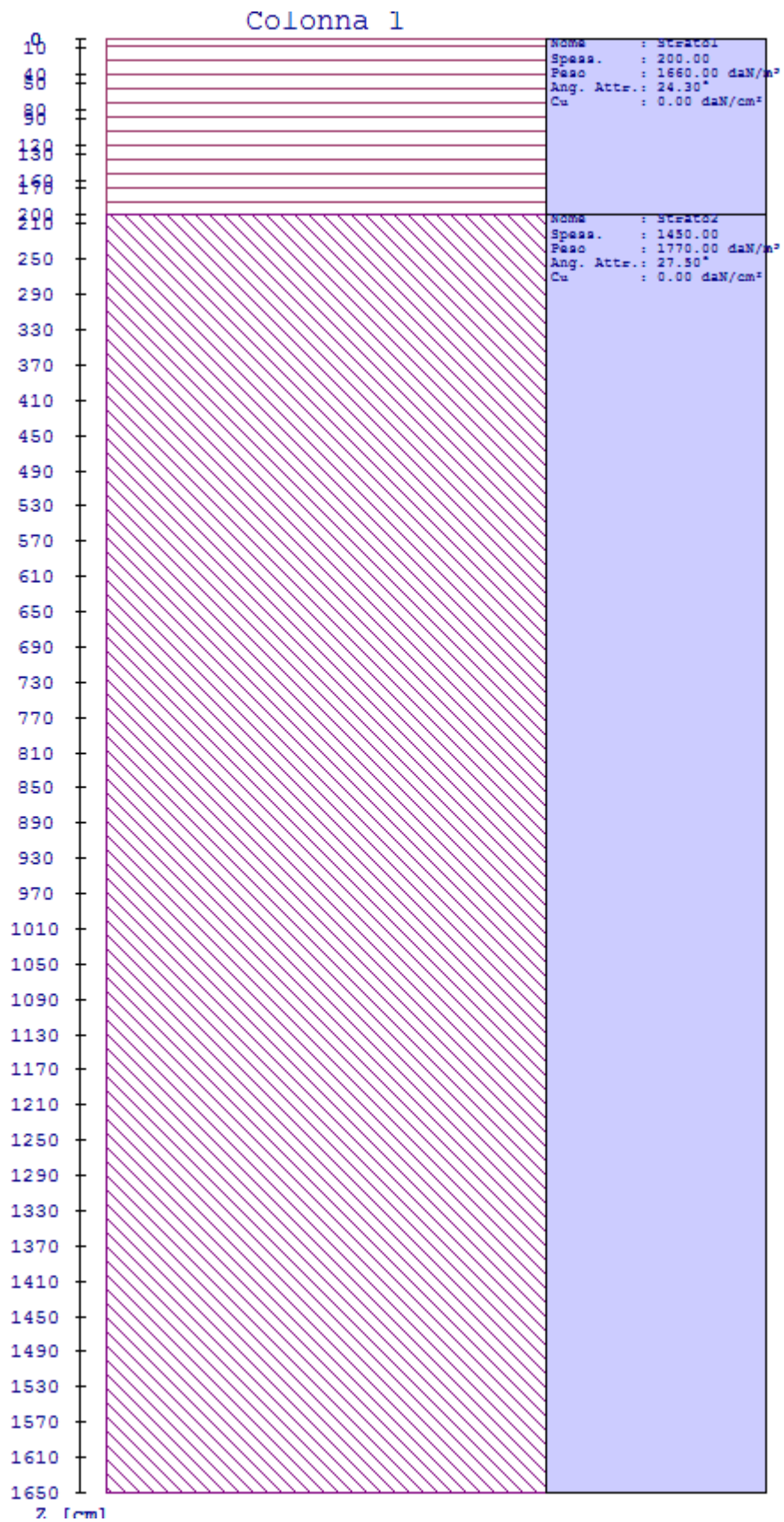
142	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
143	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
144	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
145	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
146	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
147	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
181	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
182	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
226	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
228	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
230	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
231	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

### Caratteristiche degli strati appartenenti alle colonne stratigrafiche:

Colonna	: nome della colonna stratigrafica;
Strato	: nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;
Spess.	: Spessore dello strato;
Peso	: Peso dell'unità di volume dello strato;
Peso eff.	: Peso dell'unità di volume efficace dello strato;
NSPT	: Numero di colpi medio misurato nello strato;
Qc	: Resistenza alla punta media misurata nello strato;
$\phi$	: Angolo di attrito del terreno;
C	: Coesione drenata del terreno;
Cu	: Coesione non drenata del terreno;
E	: Modulo elastico del terreno;
G	: Modulo di taglio del terreno;
$\nu_t$	: Coefficiente di Poisson;
$E_{ed}$	: Modulo Edometrico;
OCR	: Grado di sovraconsolidazione del terreno.

Colonna	Strato	Spess. [cm]	Peso [daN/m <sup>3</sup> ]	Peso eff. [daN/m <sup>3</sup> ]	NSPT	Qc [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi$ [°]	C [daN/cm <sup>2</sup> ]	Cu [daN/cm <sup>2</sup> ]	E [daN/cm <sup>2</sup> ]	G [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu_t$ [°]	$E_{ed}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	OCR
<b>Colonna 1</b>	Strato1	200.0	1660.0	800.0	-	-	24.3	0.00	0.00	60.00	30.00	0.35	91.00	1.00
	Strato2	1450.0	1770.0	900.0	-	-	27.5	0.00	0.00	40.00	20.00	0.35	60.00	1.00

- Sezioni Geologiche:



### - Caratterizzazione sismica del suolo di fondazione:

La categoria assunta per il suolo di fondazione per il sito in oggetto è: C

Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi.

L'interazione terreno struttura viene modellata applicando il modello di Winkler, il quale caratterizza il sottosuolo con una relazione lineare fra il cedimento in un punto della superficie limite e la pressione agente nello stesso punto, indipendentemente da altri carichi applicati in punti diversi. Si assume cioè che:

$$p = k_v w$$

dove  $K_v$  è detta costante di sottofondo o coefficiente di reazione del terreno e  $w$  è l'abbassamento della trave di fondazione tale da comprimere il terreno sottostante.

Il valore di tale coefficiente  $k$  adottato nel lavoro in oggetto ( $k_v = 5.00 \text{ daN/cm}^3$ ), con riferimento ai dati geologico-geotecnici fornitici, è stato desunto da valori tabellati riportati in letteratura.

Tale modello viene esteso anche alla componente orizzontale dello spostamento, utilizzando un valore della costante orizzontale pari a  $k_o = 2.50 \text{ daN/cm}^3$ .

Le platee di fondazione vengono modellate utilizzando un elemento finito che segue sempre la giacitura di un piano. L'elemento lastra-piastra, nel seguito denominato guscio, possiede nel sistema di riferimento locale come in quello globale 6 gradi di libertà per nodo. L'elemento è computato sovrapponendo il comportamento lastra o membrana, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (una coppia di spostamenti planari e un grado di libertà alla rotazione intorno ad un asse perpendicolare al piano medio), e il comportamento piastra, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (uno spostamento perpendicolare al piano medio e una coppia di rotazioni ortogonali aventi assi sostegno paralleli al piano medio).

La geometria dell'elemento finito SHELL può essere definita attraverso 3 o 4 nodi. La trattazione nei due casi è completamente diversa. L'elemento a 3 nodi viene usato per creare esclusivamente mesh di transizione nel caso di figure irregolari.

La formulazione dell'elemento è basata sulla teoria di Mindlin-Reissner in cui viene considerato anche il contributo della deformazione dovuta al taglio risolvendolo secondo la formulazione isoparametrica. Tutte le caratteristiche sono calcolate attraverso l'integrazione numerica ai punti di Gauss secondo la regola 2x2 ed estrapolate ai nodi.

Nel caso delle platee di fondazione, l'interazione viene modellata attraverso l'introduzione di molle distribuite sulla superficie dell'elemento che vengono automaticamente concentrate (rappresentative della propria area di influenza e calcolate attraverso l'integrazione di Gauss) e applicate ai nodi di estremità.

### **Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite (SLU).**

Le verifiche della sicurezza in fondazione sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio. Le verifiche nei riguardi dello stato limite ultimo (SLU) previste dalla Normativa ed eseguite sono:

STR - raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione;

GEO - raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

Verifiche STR: le verifiche di resistenza degli elementi strutturali di fondazione sono state eseguite contestualmente alla verifica degli elementi strutturali in elevazione. Le relative verifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata;

Verifiche GEO: le verifiche di resistenza del terreno interagente con la struttura sono condotte confrontando i valori di resistenza con quelli di progetto, secondo l'Approccio 2, come riportato nelle pagine seguenti.

### **Verifiche GEO: Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.**

### **TEORIA DI CALCOLO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.**

Il calcolo è stato effettuato seguendo la teoria di Brinch Hansen, la quale tiene conto:

- della forma della fondazione;

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

- della profondità del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del carico sulla fondazione;
- dell'eccentricità del carico;
- dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del piano di campagna;
- dell'effetto inerziale nella fondazione;
- dell'effetto cinematico del sottosuolo;

Si riportano di seguito le formule considerate nelle varie colonne stratigrafiche assegnate ai fili fissi:

Il carico limite si ottiene dalla seguente espressione:

$q_{lim} =$

$$0.5 \cdot B' \cdot \gamma_2 \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot g_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot z_{\gamma} \cdot e_{\gamma k} \cdot e_{\gamma i} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + [q + \gamma_1 \cdot (D - d_w) + \gamma_1' \cdot d_w] \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q$$

Dove:  $B' = B - 2 \cdot e_B$

$B$  è il lato minore della fondazione.

$e_B$  è l'eccentricità del carico lungo  $B$ .

$D$  è la profondità del piano di posa della fondazione.

$\gamma_1$  è il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione.

$\gamma_1'$  è il peso del terreno immerso sopra il piano di posa.

$\gamma_2$  è il peso del terreno sotto il piano di posa della fondazione.

$C$  è la coesione del terreno.

$q$  è il carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.

$d_w$  è la profondità della falda acquifera.

### Fattori di portanza Platee.

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea;

A1 : verifica della combinazione di carico A1;

Lt : verifica a lungo termine.

Fattori di carico limite													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$
1	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	24.55	13.69	9.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di forma													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$
1	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	1.51	1.47	0.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di profondità													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$	Dc	Dq	D $\gamma$

RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

<b>1</b>	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	1.03	1.02	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
----------	--	------	------	------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fattori di inclinazione del piano di posa													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ	Bc	Bq	Bγ
<b>1</b>	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano campagna													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ	Gc	Gq	Gγ
<b>1</b>	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione dei carichi													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ	Ic	Iq	Iγ
<b>1</b>	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto inerziale (Paolucci Pecker)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ	Zc	Zq	Zγ
<b>1</b>	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	0.96	0.92	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto cinematico (Maugeri-Cascone)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	-	-	-	-
<b>1</b>	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147,	0.88	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	181, 231, 228, 226, 230, 182, 146												
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**VERIFICA CAPACITA' PORTANTE.**

La verifica del sistema di fondazione relativo alla struttura in oggetto, è stata effettuata sulla base dei dati geologici e dei parametri geotecnici forniti, seguendo l'approccio di progetto relativo alla normativa di riferimento:

- (punti 6.4.2.1 del DM 14/01/2008 e 6.4.3 per fondazioni su pali del DM 14/01/2008)

A1 + M1 + R3

dove:

- Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE	Comb. A1
PERMANENTI	$\gamma_{G1ns}$	1.3
PERMANENTI NON STRUTTURALI	$\gamma_{G2ns}$	1.5
VARIABILI	$\gamma_{Qi}$	1.5

- Coefficienti per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPL. IL COEFF. PARZIALE	Comb. M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi$	1.0
Coesione drenata del terreno	C	1.0
Coesione non drenata del terreno	Cu	1.0
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	1.0

- Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 2.3$

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle.



**Platee.**

- Platea : numero della platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 A1 - Lt : verifica della combinazione di carico A1 a lungo termine;  
 D : profondità del piano di posa;  
 qlimd : carico limite di calcolo;  
 $\sigma$  : tensione di calcolo;  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Combinazione A1 - Lt				
		D [cm]	qlimd [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	S	Esito
1	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	90.00	2.37	0.44	5.39	V

**1.0.2.2 VERIFICA A SCORRIMENTO.**

*TEORIA DI CALCOLO*

La verifica allo scorrimento sul piano di posa delle fondazione della struttura in oggetto consiste nell'imporre l'equilibrio alla traslazione orizzontale tra tutte le forze instabilizzanti e resistenti che intervengono nel problema.

La verifica risulta soddisfatta se le azioni stabilizzanti garantiscono un margine di sicurezza maggiore o uguale al coefficiente parziale  $\gamma_R$  pari ad 1.1.

La verifica a scorrimento è stata effettuata sulla base delle azioni di calcolo agenti sulla struttura considerando il sisma agente rispettivamente lungo due direzioni ortogonali. Considerando inoltre i dati geometrici delle strutture di fondazione, i dati geologici ed i parametri geotecnici, seguendo le indicazioni della normativa di riferimento (punti 6.4.2.1 e 7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008) si valutano le azioni resistenti allo scorrimento.

Si definisce  $V_d$  la risultante delle forze agenti e  $R_d$  la risultante delle forze resistenti, entrambi agenti in direzione parallela al piano di posa. Il valore di calcolo di  $R_d$  è ottenuto dalla relazione:

$$R_d = N \cdot \tan(\delta) + \text{Aderenza} \cdot \text{Area di base} + \%Sp \cdot Sp$$

dove:

- N = risultante delle azioni normali al piano di posa;
- $\delta$  = angolo di attrito tra l'intradosso delle fondazioni ed il piano di posa delle stesse;
- Aderenza = adesione tra fondazione-terreno su tutta l'area di base;
- Area di base = area di base di tutte le fondazioni superficiali;
- %Sp = percentuale di spinta passiva considerata pari a 50%;
- sp = spinta passiva discorde al sisma considerato;

Dati:

- Parametri

PARAMETRO	VALORE ASSUNTO PER IL PARAMETRO
Angolo di attrito $\delta$ [°]	24.00
Adesione drenata $A_d$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.50
Adesione non drenata $A_{nd}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.00

- Coefficienti parziali  $\gamma_i$  dei carichi verticali

$\gamma_i$	VALORE ASSUNTO $\gamma_i$
$\gamma_{G1}$	1.00
$\gamma_{G2}$	0.00
$\gamma_o$	0.00

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle

- VERIFICA A SCORRIMENTO

Direzione	Vd [KN]	Area Totale [m <sup>2</sup> ]	N [KN]	Sp [KN]	Aderenza [daN/cm <sup>2</sup> ]	Attrito [°]	Rd [KN]	S	Esito
Sisma X+	416.50	174.26	2353.15	0.00	0.50	24.00	9760.47	23.43	V
Sisma X-	416.50	174.26	2353.15	0.00	0.50	24.00	9760.47	23.43	V
Sisma Y+	416.41	174.26	2353.15	0.00	0.50	24.00	9760.47	23.44	V
Sisma Y-	416.41	174.26	2353.15	0.00	0.50	24.00	9760.47	23.44	V

**Verifiche allo Stato Limite di Danno per le fondazioni superficiali (7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008).**

Per l'analisi della sicurezza del complesso fondazione-terreno verranno condotte le verifiche nei confronti dello stato limite di danno.

In particolare, saranno valutati gli spostamenti permanenti indotti dal sisma, verificando che essi siano accettabili per la fondazione e siano compatibili con la funzionalità SLD dell'intera opera in oggetto.

Per determinare gli spostamenti permanenti post-sisma nel terreno si effettua un'analisi del sistema fondazione-terreno modellando il terreno con un sistema di molle con legame costitutivo Pressione-Spostamento di tipo iperbolico mediante la seguente relazione:

$$P(u) = \frac{u}{\frac{1}{E_s} + \frac{u}{P_u}}$$

dove:

P(u) = pressione di contatto;

u = cedimento del terreno;

Es = rigidità tangente all'origine del terreno di fondazione valutato come  $u_e/p$  ovvero rapporto tra il cedimento elastico istantaneo e la pressione di contatto che lo provoca;

Pu = pressione ultima valutata per i valori caratteristici del terreno di fondazione;

Lo spostamento permanente Uresiduo sarà quindi valutato dallo spostamento complessivo Usld depurato della parte reversibile elastica:

$$U_{residuo} = U_{sld} - \frac{P_{sld}}{E_s}$$

**Platee.**

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;

Psld : pressione di contatto SLD;

Plim : pressione ultima del terreno di fondazione;

Usld : cedimento sld del terreno;

Usld\_res: cedimento residuo sld del terreno;

ULim : cedimento residuo limite;

S : Coefficiente di sicurezza;

Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Psld [daN/cm <sup>2</sup> ]	Plim [daN/cm <sup>2</sup> ]	Usld [mm]	Usld_res [mm]	ULim. [mm]	S	Esito
1	145, 144, 143, 142,	0.51	5.45	1.122	0.105	50.000	477.25	V

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

	141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146							
--	--	--	--	--	--	--	--	--

Dall'analisi delle tabelle relative alle verifiche dei cedimenti SLD per le fondazioni superficiali si evince che i cedimenti permanenti massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto e sensibilmente inferiori ai valori assunti come ammissibili per la letteratura tecnica.

### Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).

Gli stati limite di esercizio (punto 6.4.2.2 del DM 14/01/2008) investigati, si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti differenziali che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito per la combinazione di esercizio, quasi permanente

### Platee.

- Platea : numero sella platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 Comb. : tipo involuppo;  
 Dist. : distanza tra i punti di massimo cedimento differenziale;  
 Istant. : cedimento istantaneo;  
 Consol. : cedimento di consolidamento;  
 Tot. : cedimento totale;  
 Diff. : cedimento differenziale;  
 Lim. : cedimento limite (4‰ x Dist.);  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Comb.	Dist. [cm]	Max			Min			Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
				Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]	Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]				
1	145, 144, 143, 142, 141, 140, 139, 147, 181, 231, 228, 226, 230, 182, 146	Q. Perm.	861.0	-0.0603	-0.5674	-0.6277	-0.0249	-0.4544	-0.4792	0.1484	3.4441	23.20	V

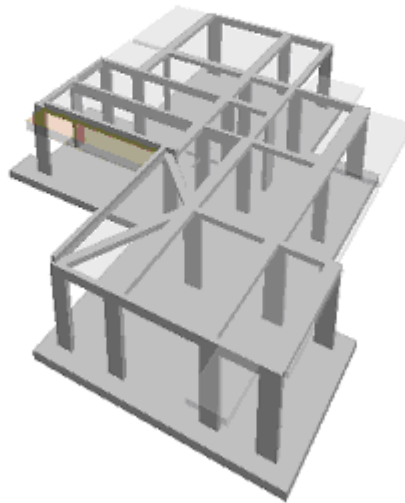
Dalle tabelle relative al cedimento differenziale limite delle fondazioni, si evince che i cedimenti differenziali massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto.

Comune : PRATO

PROVINCIA : PRATO

## RELAZIONE GEOTECNICA

Progetto di nuova struttura ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"



Archivio: 7 - Data: 28/09/2016

**Oggetto: STRUTTURA IN C.A.- CORPO 7**

Committente:	Progettista:	Progettista Strutturale:	
COMUNE DI PRATO	Arch. Andrea Stipa	Arch. Stipa - Ing. Arezzini	

## 1 RELAZIONE GEOTECNICA

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.

Nella presente relazione vengono riportati i risultati delle elaborazioni a carattere geotecnico eseguite per le opere di fondazione da realizzare nell'ambito dei lavori di:

STRUTTURA IN C.A.- CORPO 7

I risultati delle indagini effettuate, degli studi eseguiti e delle valutazioni geotecniche operate, parte integrante degli elaborati progettuali relativi ai lavori in oggetto, faranno riferimento per le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione ai dati riportati nella Relazione geologico-tecnica redatta dal dott. geol.

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE X:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA STRUTTURALE IN DIREZIONE Y:

Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste

TIPOLOGIA FONDAZIONI:

Fondazioni superficiali, quindi del tipo dirette, costituite da platee di fondazione.

#### Descrizione delle tipologie di fondazione utilizzate.

Nell'ambito dei lavori in oggetto si sono utilizzate le seguenti tipologie di fondazione: , platee, le cui dimensioni e la loro ubicazione vengono di seguito meglio descritte.

#### Descrizione delle platee di fondazione e loro ubicazione in pianta.

Platea : numero della platea;  
 Impalcato : impalcato al quale appartiene la piastra;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la piastra;  
 Spessore : spessore della Piastra;  
 KwN : modulo di Winkler normale;  
 KwT : modulo di Winkler tangenziale;

Platea	Impalcato	Fili	Spessore [cm]	KwN [daN/cm <sup>3</sup> ]	KwT [daN/cm <sup>3</sup> ]
1	Fond.	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	40	5.00	2.50



## 1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)

### Problemi geotecnici e scelte tipologiche.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione compresi nel volume significativo, ovvero in quella parte di sottosuolo che viene influenzata direttamente o indirettamente dalle opere in oggetto, viene riportata in dettaglio nella relazione geologico-tecnica allegata.

Vengono di seguito indicati i parametri fondamentali per la valutazione della capacità portante del terreno di fondazione e le scelte tipologiche adottate per il dimensionamento delle opere di fondazione, non avendo riscontrato altre particolari problematiche di tipo geotecnico.

Al fine d'identificare la categoria di sottosuolo, tramite la conoscenza dello spessore e natura dei diversi strati che compongono il terreno sottostante il piano di posa delle fondazioni, per il dimensionamento strutturale e geotecnico delle stesse sono state effettuate delle indagini in sito ubicate nell'area oggetto dell'intervento.

L'area in esame è sostanzialmente pianeggiante, caratterizzata da un fattore di amplificazione topografico pari a T1, pertanto non si osservano variazioni di quota della superficie topografica degne di valutazioni particolari.

### Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche.

Per definire la stratigrafia di progetto, dei terreni di sedime dei lavori in oggetto e per acquisire i parametri fisico-meccanici dei terreni in esame è stata condotta sull'area interessata dall'intervento di progetto una campagna di indagini.

Il programma delle indagini e delle prove con l'ubicazione delle stesse è stato definito a seguito di un attento sopralluogo dell'area in oggetto e risulta più ampiamente descritto nella relazione geologica allegata.

### Caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

#### - Caratteristiche litostratigrafiche

L'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini per la caratterizzazione del suolo di fondazione sono meglio indicati nella relazione geologico-tecnica allegata. Per quanto riguarda l'aspetto geologico a seguito il rilevamento di un significativo intorno della zona in esame si è riscontrata la presenza delle seguenti successioni litostratigrafiche nelle relative sezioni geologiche (colonne stratigrafiche):

Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Strato : nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;  
 Descrizione : descrizione dello strato;

Filo	Colonna	Strato	Descrizione
151	Colonna 1	Strato1	Limi sabbiosi
		Strato2	Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose

#### - Caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione

Nell'ambito del progetto si è fatto uso delle seguenti colonne stratigrafiche:

#### Caratteristiche delle colonne stratigrafiche:

Colonna : nome della colonna stratigrafica;  
 Filo : filo fisso al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Impalcato : Impalcato al quale appartiene la colonna stratigrafica;  
 Falda : Presenza della falda;  
 Prof. Falda : Profondità della falda (se è presente);  
 Spicc. Fond. : Quota dell'estradosso della fondazione rispetto al piano campagna;  
 No. Strati : Numero degli strati della colonna stratigrafica.  
 RQD : (Rock Quality Designation) grado di fratturazione dell'ammasso roccioso in [0-1]

Filo	Colonna	Impalcato	Falda	Prof. Falda [cm]	Spicc. Fond. [cm]	No. Strati	RQD
151	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
173	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
174	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

175	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
176	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
177	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
178	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
179	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
180	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
181	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
182	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
183	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
184	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
217	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
227	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
229	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
230	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-
231	Colonna 1	Fond.	Presente	-220.00	-50.00	2	-

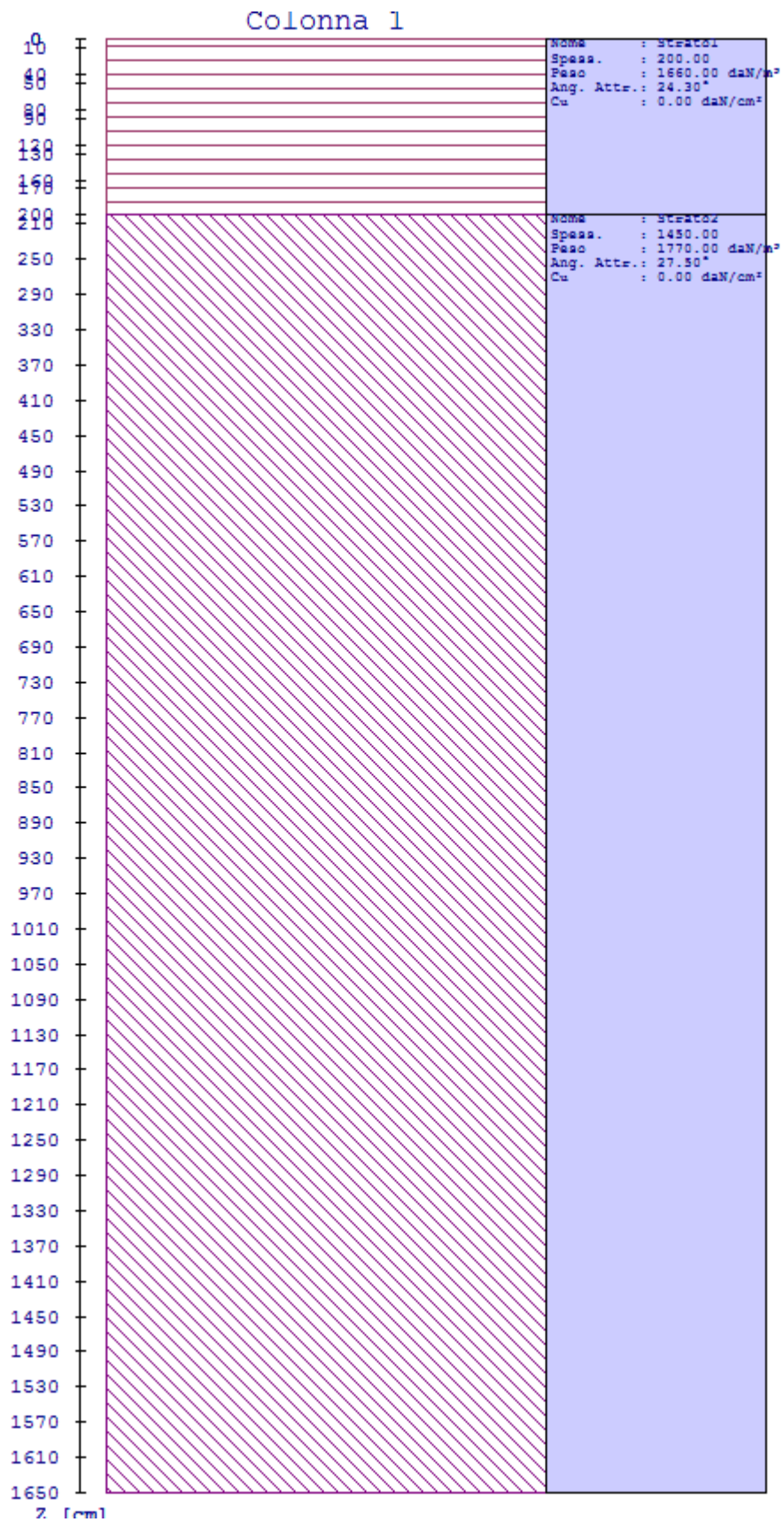
### Caratteristiche degli strati appartenenti alle colonne stratigrafiche:

Colonna	: nome della colonna stratigrafica;
Strato	: nome dello strato appartenente la colonna stratigrafica;
Spess.	: Spessore dello strato;
Peso	: Peso dell'unità di volume dello strato;
Peso eff.	: Peso dell'unità di volume efficace dello strato;
NSPT	: Numero di colpi medio misurato nello strato;
Qc	: Resistenza alla punta media misurata nello strato;
$\phi$	: Angolo di attrito del terreno;
C	: Coesione drenata del terreno;
Cu	: Coesione non drenata del terreno;
E	: Modulo elastico del terreno;
G	: Modulo di taglio del terreno;
$\nu_t$	: Coefficiente di Poisson;
$E_{ed}$	: Modulo Edometrico;
OCR	: Grado di sovraconsolidazione del terreno.

Colonna	Strato	Spess. [cm]	Peso [daN/m <sup>3</sup> ]	Peso eff. [daN/m <sup>3</sup> ]	NSPT	Qc [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\phi$ [°]	C [daN/cm <sup>2</sup> ]	Cu [daN/cm <sup>2</sup> ]	E [daN/cm <sup>2</sup> ]	G [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\nu_t$ [°]	$E_{ed}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	OC R
Colonna 1	Strato1	200.0	1660.0	800.0	-	-	24.3	0.00	0.00	60.00	30.00	0.35	91.00	1.00
	Strato2	1450.0	1770.0	900.0	-	-	27.5	0.00	0.00	40.00	20.00	0.35	60.00	1.00



- Sezioni Geologiche:



### - Caratterizzazione sismica del suolo di fondazione:

La categoria assunta per il suolo di fondazione per il sito in oggetto è: C

Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi.

L'interazione terreno struttura viene modellata applicando il modello di Winkler, il quale caratterizza il sottosuolo con una relazione lineare fra il cedimento in un punto della superficie limite e la pressione agente nello stesso punto, indipendentemente da altri carichi applicati in punti diversi. Si assume cioè che:

$$p = k_v w$$

dove  $K_v$  è detta costante di sottofondo o coefficiente di reazione del terreno e  $w$  è l'abbassamento della trave di fondazione tale da comprimere il terreno sottostante.

Il valore di tale coefficiente  $k$  adottato nel lavoro in oggetto ( $k_v = 5.00 \text{ daN/cm}^3$ ), con riferimento ai dati geologico-geotecnici fornitici, è stato desunto da valori tabellati riportati in letteratura.

Tale modello viene esteso anche alla componente orizzontale dello spostamento, utilizzando un valore della costante orizzontale pari a  $k_o = 2.50 \text{ daN/cm}^3$ .

Le platee di fondazione vengono modellate utilizzando un elemento finito che segue sempre la giacitura di un piano. L'elemento lastra-piastra, nel seguito denominato guscio, possiede nel sistema di riferimento locale come in quello globale 6 gradi di libertà per nodo. L'elemento è computato sovrapponendo il comportamento lastra o membrana, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (una coppia di spostamenti planari e un grado di libertà alla rotazione intorno ad un asse perpendicolare al piano medio), e il comportamento piastra, che possiede 3 gradi di libertà per nodo (uno spostamento perpendicolare al piano medio e una coppia di rotazioni ortogonali aventi assi sostegno paralleli al piano medio).

La geometria dell'elemento finito SHELL può essere definita attraverso 3 o 4 nodi. La trattazione nei due casi è completamente diversa. L'elemento a 3 nodi viene usato per creare esclusivamente mesh di transizione nel caso di figure irregolari.

La formulazione dell'elemento è basata sulla teoria di Mindlin-Reissner in cui viene considerato anche il contributo della deformazione dovuta al taglio risolvendolo secondo la formulazione isoparametrica. Tutte le caratteristiche sono calcolate attraverso l'integrazione numerica ai punti di Gauss secondo la regola 2x2 ed estrapolate ai nodi.

Nel caso delle platee di fondazione, l'interazione viene modellata attraverso l'introduzione di molle distribuite sulla superficie dell'elemento che vengono automaticamente concentrate (rappresentative della propria area di influenza e calcolate attraverso l'integrazione di Gauss) e applicate ai nodi di estremità.

### **Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite (SLU).**

Le verifiche della sicurezza in fondazione sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio. Le verifiche nei riguardi dello stato limite ultimo (SLU) previste dalla Normativa ed eseguite sono:

STR - raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione;

GEO - raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

Verifiche STR: le verifiche di resistenza degli elementi strutturali di fondazione sono state eseguite contestualmente alla verifica degli elementi strutturali in elevazione. Le relative verifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata;

Verifiche GEO: le verifiche di resistenza del terreno interagente con la struttura sono condotte confrontando i valori di resistenza con quelli di progetto, secondo l'Approccio 2, come riportato nelle pagine seguenti.

### **Verifiche GEO: Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.**

### **TEORIA DI CALCOLO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.**

Il calcolo è stato effettuato seguendo la teoria di Brinch Hansen, la quale tiene conto:

- della forma della fondazione;

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

- della profondità del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del carico sulla fondazione;
- dell'eccentricità del carico;
- dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;
- dell'inclinazione del piano di campagna;
- dell'effetto inerziale nella fondazione;
- dell'effetto cinematico del sottosuolo;

Si riportano di seguito le formule considerate nelle varie colonne stratigrafiche assegnate ai fili fissi:

Il carico limite si ottiene dalla seguente espressione:

$q_{lim} =$

$$0.5 \cdot B' \cdot \gamma_2 \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot g_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot z_{\gamma} \cdot e_{\gamma k} \cdot e_{\gamma i} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot z_c + [q + \gamma_1 \cdot (D - d_w) + \gamma_1' \cdot d_w] \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot z_q$$

Dove:  $B' = B - 2 \cdot e_B$

$B$  è il lato minore della fondazione.

$e_B$  è l'eccentricità del carico lungo  $B$ .

$D$  è la profondità del piano di posa della fondazione.

$\gamma_1$  è il peso del terreno sopra il piano di posa della fondazione.

$\gamma_1'$  è il peso del terreno immerso sopra il piano di posa.

$\gamma_2$  è il peso del terreno sotto il piano di posa della fondazione.

$C$  è la coesione del terreno.

$q$  è il carico uniformemente distribuito ai lati della fondazione.

$d_w$  è la profondità della falda acquifera.

### Fattori di portanza Platee.

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea;

A1 : verifica della combinazione di carico A1;

Lt : verifica a lungo termine.

Fattori di carico limite													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	24.55	13.69	9.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di forma													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$	Sc	Sq	S $\gamma$
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	1.48	1.45	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di profondità													
Platea	Fili	Lt			Bt			Lt			Bt		
		Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$	Nc	Nq	N $\gamma$

RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

Platea	Fili	Dc	Dq	Dy	Dc	Dq	Dy	Dc	Dq	Dy	Dc	Dq	Dy
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	1.02	1.01	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano di posa													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Bc	Bq	By	Bc	Bq	By	Bc	Bq	By	Bc	Bq	By
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione del piano campagna													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Gc	Gq	Gy	Gc	Gq	Gy	Gc	Gq	Gy	Gc	Gq	Gy
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di inclinazione dei carichi													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Ic	Iq	Iy	Ic	Iq	Iy	Ic	Iq	Iy	Ic	Iq	Iy
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto inerziale (Paolucci Pecker)													
		Lt			Bt			Lt			Bt		
Platea	Fili	Zc	Zq	Zy	Zc	Zq	Zy	Zc	Zq	Zy	Zc	Zq	Zy
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	0.96	0.92	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fattori di portanza dell'effetto cinematico (Maugeri-Cascone)													

RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

Platea	Fili	Lt								-			
		eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	eyk	eyi	-	-	-	-
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	0.88	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**VERIFICA CAPACITA' PORTANTE.**

La verifica del sistema di fondazione relativo alla struttura in oggetto, è stata effettuata sulla base dei dati geologici e dei parametri geotecnici forniti, seguendo l'approccio di progetto relativo alla normativa di riferimento:

- (punti 6.4.2.1 del DM 14/01/2008 e 6.4.3 per fondazioni su pali del DM 14/01/2008)

A1 + M1 + R3

dove:

- Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	COEFFICIENTE PARZIALE	Comb. A1
PERMANENTI	$\gamma_{G1ns}$	1.3
PERMANENTI NON STRUTTURALI	$\gamma_{G2ns}$	1.5
VARIABILI	$\gamma_{Qi}$	1.5

- Coefficienti per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPL. IL COEFF. PARZIALE	Comb. M1
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi$	1.0
Coesione drenata del terreno	C	1.0
Coesione non drenata del terreno	Cu	1.0
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	1.0

- Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 2.3$

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle.

**Platee.**

- Platea : numero della platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 A1 - Lt : verifica della combinazione di carico A1 a lungo termine;  
 D : profondità del piano di posa;  
 qlimd : carico limite di calcolo;  
 $\sigma$  : tensione di calcolo;  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Combinazione A1 - Lt				
		D [cm]	qlimd [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	S	Esito
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	90.00	2.94	0.64	4.59	V

**1.0.2.2 VERIFICA A SCORRIMENTO.**

*TEORIA DI CALCOLO*

La verifica allo scorrimento sul piano di posa delle fondazione della struttura in oggetto consiste nell'imporre l'equilibrio alla traslazione orizzontale tra tutte le forze instabilizzanti e resistenti che intervengono nel problema.

La verifica risulta soddisfatta se le azioni stabilizzanti garantiscono un margine di sicurezza maggiore o uguale al coefficiente parziale  $\gamma_R$  pari ad 1.1.

La verifica a scorrimento è stata effettuata sulla base delle azioni di calcolo agenti sulla struttura considerando il sisma agente rispettivamente lungo due direzioni ortogonali. Considerando inoltre i dati geometrici delle strutture di fondazione, i dati geologici ed i parametri geotecnici, seguendo le indicazioni della normativa di riferimento (punti 6.4.2.1 e 7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008) si valutano le azioni resistenti allo scorrimento.

Si definisce  $V_d$  la risultante delle forze agenti e  $R_d$  la risultante delle forze resistenti, entrambi agenti in direzione parallela al piano di posa. Il valore di calcolo di  $R_d$  è ottenuto dalla relazione:

$$R_d = N \cdot \tan(\delta) + \text{Aderenza} \cdot \text{Area di base} + \%Sp \cdot Sp$$

dove:

- N = risultante delle azioni normali al piano di posa;  
 $\delta$  = angolo di attrito tra l'intradosso delle fondazioni ed il piano di posa delle stesse;  
 Aderenza = adesione tra fondazione-terreno su tutta l'area di base;  
 Area di base = area di base di tutte le fondazioni superficiali;  
 %Sp = percentuale di spinta passiva considerata pari a 50%;  
 sp = spinta passiva discorde al sisma considerato;

Dati:

- Parametri

PARAMETRO	VALORE ASSUNTO PER IL PARAMETRO
Angolo di attrito $\delta$ [°]	24.00
Adesione drenata $A_d$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.50
Adesione non drenata $A_{nd}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.00

- Coefficienti parziali  $\gamma_i$  dei carichi verticali

$\gamma_i$	VALORE ASSUNTO $\gamma_i$
$\gamma_{G1}$	1.00
$\gamma_{G2}$	0.00
$\gamma_o$	0.00

Le verifiche vengono riassunte nelle successive tabelle

- VERIFICA A SCORRIMENTO

Direzione	Vd [KN]	Area Totale [m <sup>2</sup> ]	N [KN]	Sp [KN]	Aderenza [daN/cm <sup>2</sup> ]	Attrito [°]	Rd [KN]	S	Esito
Sisma X+	1857.33	370.60	5660.44	0.00	0.50	24.00	21049.94	11.33	V
Sisma X-	1857.33	370.60	5660.44	0.00	0.50	24.00	21049.94	11.33	V
Sisma Y+	982.43	370.60	5660.44	0.00	0.50	24.00	21049.94	21.43	V
Sisma Y-	982.43	370.60	5660.44	0.00	0.50	24.00	21049.94	21.43	V

**Verifiche allo Stato Limite di Danno per le fondazioni superficiali (7.11.5.3.1 del DM 14/01/2008).**

Per l'analisi della sicurezza del complesso fondazione-terreno verranno condotte le verifiche nei confronti dello stato limite di danno.

In particolare, saranno valutati gli spostamenti permanenti indotti dal sisma, verificando che essi siano accettabili per la fondazione e siano compatibili con la funzionalità SLD dell'intera opera in oggetto.

Per determinare gli spostamenti permanenti post-sisma nel terreno si effettua un'analisi del sistema fondazione-terreno modellando il terreno con un sistema di molle con legame costitutivo Pressione-Spostamento di tipo iperbolico mediante la seguente relazione:

$$P(u) = \frac{u}{\frac{1}{Es} + \frac{u}{Pu}}$$

dove:

P(u) = pressione di contatto;

u = cedimento del terreno;

Es = rigidità tangente all'origine del terreno di fondazione valutato come  $ue/p$  ovvero rapporto tra il cedimento elastico istantaneo e la pressione di contatto che lo provoca;

Pu = pressione ultima valutata per i valori caratteristici del terreno di fondazione;

Lo spostamento permanente Uresiduo sarà quindi valutato dallo spostamento complessivo Usld depurato della parte reversibile elastica:

$$Uresiduo = Usld - \frac{Pslld}{Es}$$

**Platee.**

Platea : numero della platea;

Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;

Pslld : pressione di contatto SLD;

Plim : pressione ultima del terreno di fondazione;

Usld : cedimento sld del terreno;

Usld\_res: cedimento residuo sld del terreno;

ULim : cedimento residuo limite;

S : Coefficiente di sicurezza;

Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Pslld [daN/cm <sup>2</sup> ]	Plim [daN/cm <sup>2</sup> ]	Usld [mm]	Usld_res [mm]	ULim. [mm]	S	Esito
1	181, 180, 179, 178,	0.78	6.76	1.771	0.205	50.000	243.88	V

## RELAZIONE DI CALCOLO - COMUNE DI PRATO

	177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231								
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Dall'analisi delle tabelle relative alle verifiche dei cedimenti SLD per le fondazioni superficiali si evince che i cedimenti permanenti massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto e sensibilmente inferiori ai valori assunti come ammissibili per la letteratura tecnica.

### Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).

Gli stati limite di esercizio (punto 6.4.2.2 del DM 14/01/2008) investigati, si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti differenziali che possono compromettere la funzionalità dell'opera. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito per la combinazione di esercizio, quasi permanente

### Platee.

- Platea : numero sella platea;  
 Fili : fili fissi ai quali appartiene la platea considerata;  
 Comb. : tipo inviluppo;  
 Dist. : distanza tra i punti di massimo cedimento differenziale;  
 Istant. : cedimento istantaneo;  
 Consol. : cedimento di consolidamento;  
 Tot. : cedimento totale;  
 Diff. : cedimento differenziale;  
 Lim. : cedimento limite (4% x Dist.);  
 S : Coefficiente di sicurezza;  
 Esito : V = Verificato; NV = Non Verificato

Platea	Fili	Comb.	Dist. [cm]	Max			Min			Diff. [cm]	Lim. [cm]	S	Esito
				Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]	Istant. [cm]	Consol. [cm]	Tot. [cm]				
1	181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 173, 184, 217, 183, 151, 182, 230, 227, 229, 231	Q. Perm.	465.5	-0.0751	-0.6145	-0.6896	-0.0243	-0.4525	-0.4767	0.2128	1.8618	8.75	V

Dalle tabelle relative al cedimento differenziale limite delle fondazioni, si evince che i cedimenti differenziali massimi stimati risultano compatibili con la funzionalità dei lavori in oggetto.



**SOMMARIO**

<b>1 RELAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)</b>	<b>3</b>
.....	3
<b>1 RELAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)</b>	<b>16</b>
.....	16
<b>1 RELAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>27</b>
<b>1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>27</b>
<b>1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)</b>	<b>29</b>
.....	29
<b>1 RELAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>40</b>
<b>1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>40</b>
<b>1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)</b>	<b>42</b>
.....	42
<b>1 RELAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>53</b>
<b>1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>53</b>
<b>1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)</b>	<b>55</b>
.....	55
<b>1 RELAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>66</b>
<b>1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>66</b>
<b>1.2 RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/2008 CAP. 6 e CIRCOLARE 617/2009 punto C6.2.2.5)</b>	<b>68</b>
.....	68