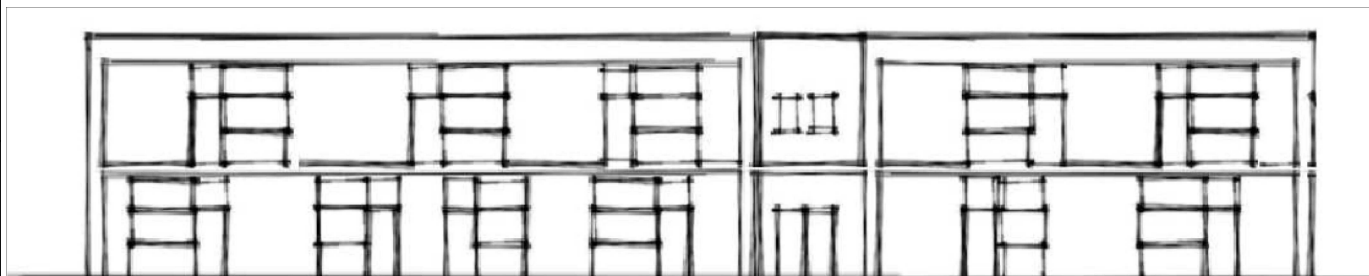




**COMUNE DI ANCONA**  
**ASSESSORATO LAVORI PUBBLICI**  
**DIREZIONE MANUTENZIONI - FRANA - PROTEZIONE CIVILE**  
**(Edilizia Scolastica)**



**NUOVA SCUOLA PRIMARIA MERCANTINI  
E DELL' INFANZIA SIRENETTA - 1° STRALCIO**  
**LOC. PALOMBINA NUOVA**

**PROGETTO ESECUTIVO**

<b>TAVOLA</b> <b>G02</b>	<b>RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE</b> <b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	Scala: --
		Data: OTTOBRE 2017

<b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE:</b> Ing. Riccardo BORGOGNONI, geom. Luciano STEFANELLI Ing. Maurizio LONGHI collaboratore per strutture ed architettonico Ing. Elisa PAPINI collaboratore per impianti tecnologici e acustica Collaboratori: geom. Fabio RECANATINI, geom. Paolo OSIMANI, geom. Mauro PETRINI Piano di Sicurezza e Coordinamento: geom. Massimo BASTIANELLI Indagine Geologica-Geotecnica: geol. Marco MANTOVANI	<b>IL DIRIGENTE</b> Ing. Ermanno FRONTALONI  <b>IL R.U.P.</b> Ing. Maurizio RONCONI
--	---

# RELAZIONE GEOTECNICA

## Sommario

1 Normativa di riferimento .....	2
2 Premessa .....	3
3 Descrizione delle opere e parametri adottati.....	3
Parametri sismici.....	3
Carichi .....	3
Elementi in c.a.....	3
Elementi in legno.....	3
Spettro di progetto allo SLV.....	4
Modello 3D della struttura.....	4
Carico sui pali – Involuppo SLU.....	5
Carico sui pali – Involuppo SLE.....	5
Armatura elementi in c.a. di fondazione.....	6
Risposta sismica locale.....	6
Parametri di analisi.....	6
4 Geologia.....	8
Situazione litostratigrafica locale.....	8
Lineamenti morfologici.....	8
Caratteri geostrutturali generali.....	9
Circolazione acque superficiali e sotterranee.....	9
Assetto litostratigrafico locale.....	9
Parametri geotecnici.....	10
Verifiche di stabilità.....	10
5 Elementi di fondazione.....	10
Modellazione strutturale.....	10
Caratterizzazione geotecnica dei terreni adottata.....	10
6 Modellazione della fondazione - Analisi e verifica .....	12
Modello di fondazione.....	12
Verifica di capacità portante.....	12
Verifica del palo .....	12
Caratteristiche geometriche del palo.....	13
Caratteristiche dei materiali.....	13
Verifica a pressoflessione.....	14
Verifica delle tensioni in combinazione rara.....	14
Verifica delle tensioni sul calcestruzzo in combinazioni quasi permanenti.....	14
Verifica delle fessure – Esercizio frequente.....	14
Verifica delle fessure – Esercizio quasi permanente.....	14
Verifica a taglio.....	14
Verifica di capacità portante verticale riferita al singolo palo SLU.....	14
Verifica di capacità portante verticale riferita al singolo palo SLV.....	15
Pressioni sul terreno in SLU.....	15
Pressioni sul terreno in SLE.....	15
9 Prescrizioni tecniche.....	15

# 1 Normativa di riferimento

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI NTC 2008

Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.  
Circolare 2 febbraio 2009.

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

NORMA TECNICA UNI EN 1997-1:2005 (EUROCODICE 7 - PROGETTAZIONE GEOTECNICA)

Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.

EUROCODICE 8

Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

D.M. 11/03/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione (norma possibile se si opera in Zona sismica 4, attuali Classi I e II).

## 2 Premessa

La presente relazione geotecnica si riferisce alla realizzazione di un plesso scolastico sede della scuola elementare Mercantini e dell'infanzia Sirenetta in loc. Palombina Nuova - via Mercantini - nel Comune di Ancona.

Il fabbricato sarà edificato con struttura portante in legno e sarà fondato su pali di fondazione in c.a. legati tra loro da cordoli anch'essi in c.a..

## 3 Descrizione delle opere e parametri adottati

La struttura portante e gli orizzontamenti saranno costituiti da elementi in legno; pali e cordoli di fondazione sono stati analizzati secondo la norma D.M. 14-01-08 (N.T.C.), considerandola come tipo di costruzione 2.

I parametri adottati sono i seguenti.

### Parametri sismici:

- CLASSE USO: IV
- VITA NOMINALE: 100 ANNI
- SPETTRO DA RISPOSTA SISMICA LOCALE
- FATTORE DI STRUTTURA: 2.5
- TIPO ANALISI: ELASTICA LINEARE DINAMICA

### Carichi:

- CARICHI SOLAIO DI FONDAZIONE:  $G = 600 \text{ daN/mq}$  ;  $Q = 300 \text{ daN/mq}$
- CARICHI SOLAIO DI INTERPIANO IN LEGNO:  $G = 330 \text{ daN/mq}$  ;  $Q = 300 \text{ daN/mq}$
- CARICHI COPERTURA LEGNO:  $G = 100 \text{ daN/mq}$  ;  $Q = 120 \text{ daN/mq}$
- CARICHI SCALE IN C.A.:  $G = 800 \text{ daN/mq}$  ;  $Q = 400 \text{ daN/mq}$
- CARICHI SCALE IN LEGNO:  $G = 200 \text{ daN/mq}$  ;  $Q = 400 \text{ daN/mq}$
- CARICHI SCALE IN ACCIAIO:  $G = 100 \text{ daN/mq}$  ;  $Q = 400 \text{ daN/mq}$
- CARICO PARETI:  $G=100 \text{ daN/mq}$  (in prospetto)
- CARICO NEVE:  $120 \text{ daN/mq}$
- CARICO VENTO: pressione  $83 \text{ daN/mq}$  ; depressione  $53 \text{ daN/mq}$

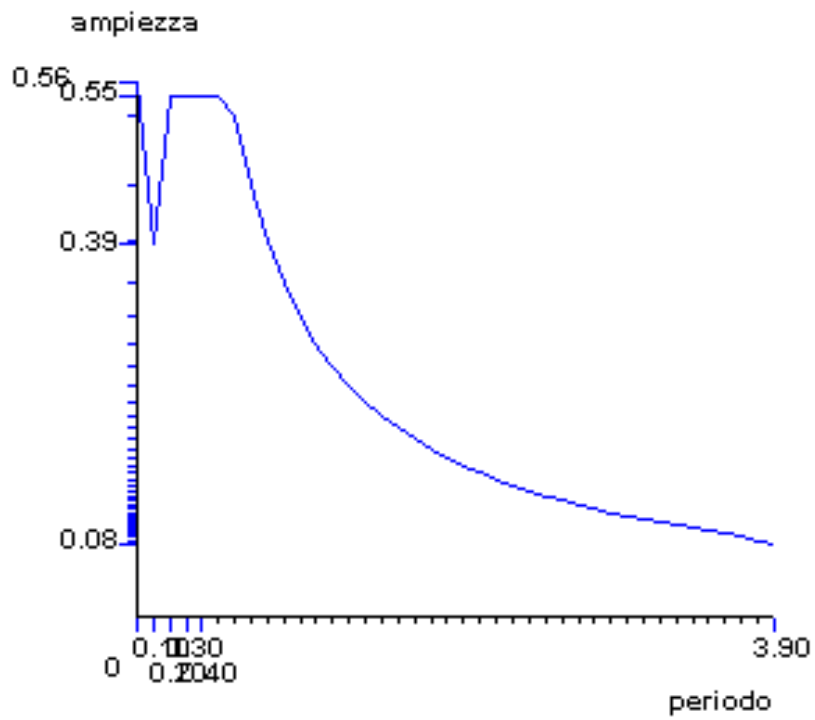
### Elementi in c.a.:

- FONDAZIONE: PALI TRIVELLATI  $\varnothing 60 \text{ cm}$  ;  $L=12 \text{ m}$  + TRAVI  $70 \times 50$
- SOLAIO IN LATERO-CEMENTO  $20+4 \text{ cm}$  4 PRECOMPRESSO AERATO

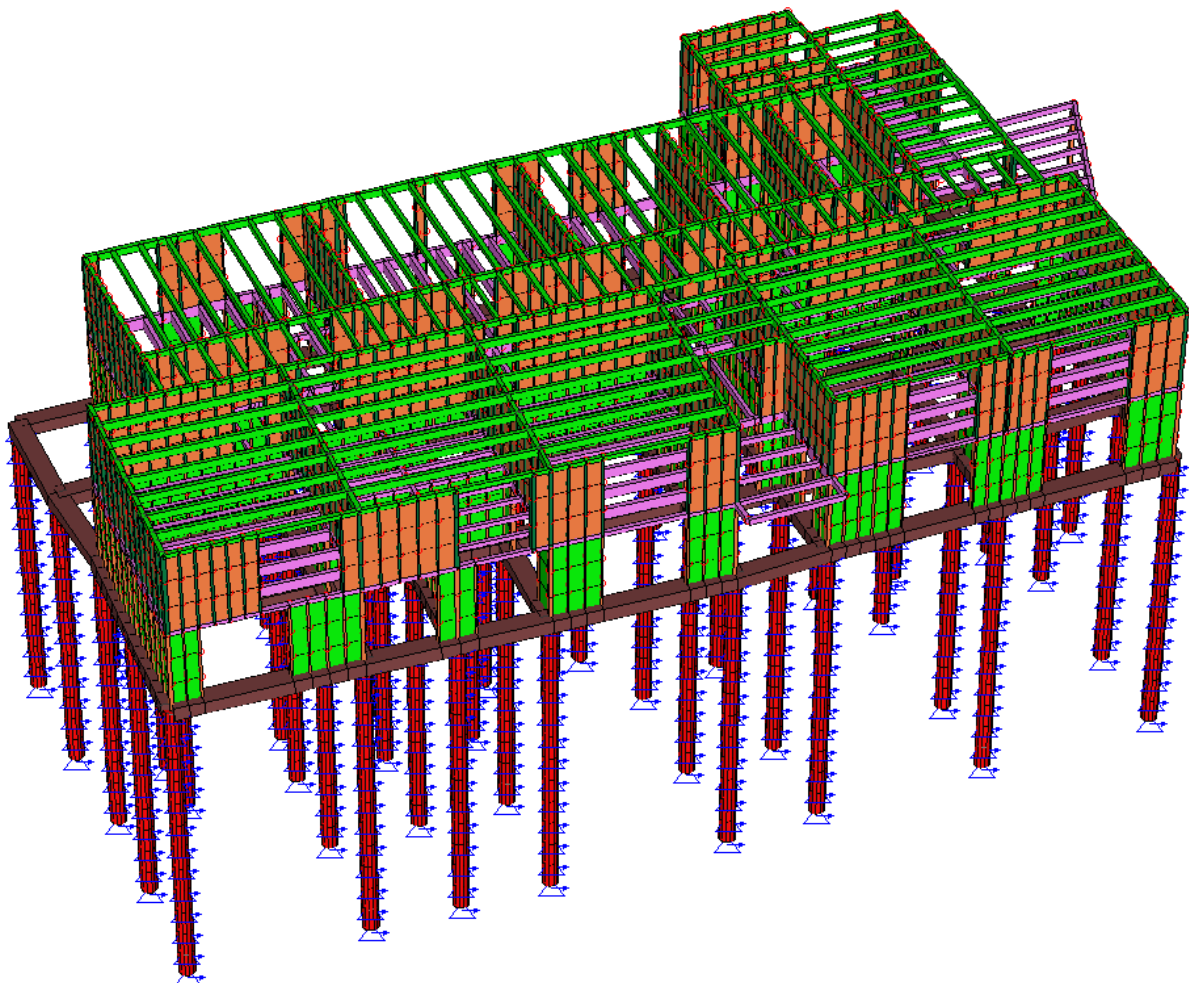
### Elementi in legno:

- STRUTTURA A PARETI PORTANTI TIPO PLATFORM FRAME
- SOLAIO DI PIANO CON TRAVI A VISTA E PERLINATO
- SOLAIO DI COPERTURA CON TRAVI A VISTA E PERLINATO

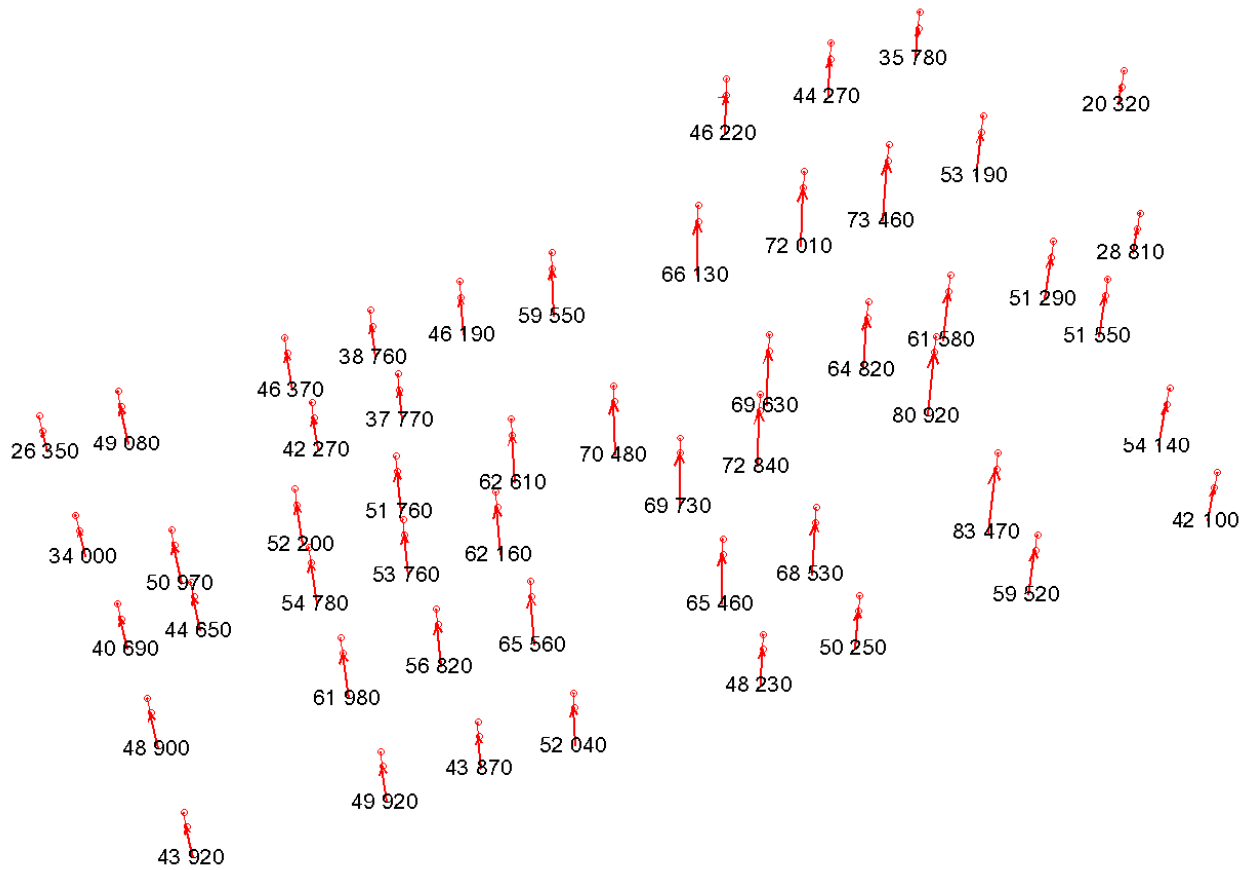
**Spettro di progetto allo SLV:**



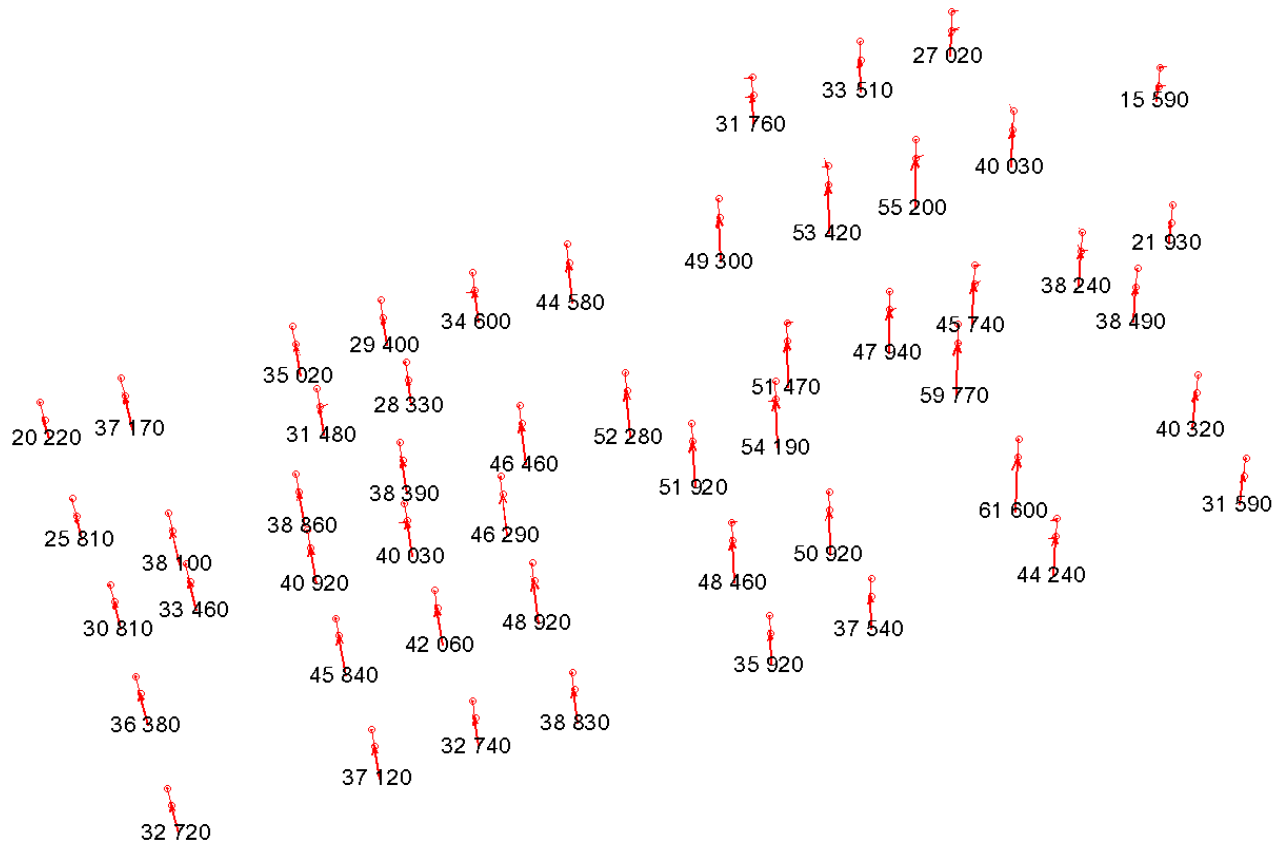
**Modello 3D della struttura:**



**Carico sui pali – Involuppo SLU (daN):**



**Carico sui pali – Involuppo SLE (daN):**



**Armatura elementi in c.a. di fondazione:**

- ARMATURA MINIMA PALI: 10 Ø 16 SPIRALE Ø 8/13
- ARMATURA CORDOLI: TUTTI 6+6 Ø 16 STAFFE Ø 8/10 tranne 5+5 Ø 20 STAFFE Ø 8/10 OVE INDICATO

**Risposta sismica locale**

Le condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera e le condizioni topografiche concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

Gli effetti stratigrafici sono legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno. Gli effetti topografici sono invece legati alla configurazione topografica del piano campagna ed alla possibile focalizzazione delle onde sismiche in punti particolari (pendii, creste).

Nella presente progettazione l'effetto della risposta sismica locale è stato valutato individuando la categoria di sottosuolo di riferimento corrispondente alla situazione in sito e considerando le condizioni topografiche locali. Per la valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica SS la caratterizzazione geotecnica condotta nel volume significativo consente di identificare il sottosuolo prevalente nella categoria C - sabbie ed argille medie. Si riporta per completezza la corrispondente descrizione indicata nella norma (Tab. 3.2.II e Tab. 3.2.III).

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT,30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu,30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Per la valutazione del coefficiente di amplificazione topografica ST, viste le condizioni in sito e l'orografia della zona, si è attribuita la categoria topografica T1. Si riporta per completezza la corrispondente descrizione indicata nella norma (Tab. 3.2.IV).

Categoria T1: pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

**Parametri di analisi**

Si è condotta una analisi di tipo Lineare dinamica su una costruzione di calcestruzzo regolare in altezza.

Le parti strutturali in c.a. sono inquadrabili nella tipologia "Strutture miste equivalenti a telai  $q_0 = 3.0 \cdot \alpha_u / \alpha_1$ ", con rapporto  $\alpha_u / \alpha_1$  corrispondente a "Strutture a telaio di un piano  $\alpha_u / \alpha_1 = (1.0 + 1.1) / 2$ ".

Si è considerata una classe di duttilità CD"B", a cui corrispondono per la struttura in esame i seguenti fattori di struttura:

Fattore di struttura per sisma X 3.15

Fattore di struttura per sisma Y 3.15

Fattore di struttura per sisma Z 1.5

Altri parametri che influenzano l'azione sismica di progetto sono riassunti in questo prospetto:

Smorzamento viscoso (%) 5

Rotazione del sisma 0 [deg]

Quota dello '0' sismico 0 [cm]

Nell'analisi dinamica modale si sono analizzati 20 modi di vibrare valutati secondo il metodo di Ritz. Per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse, la normativa richiede di attribuire al centro di massa una eccentricità accidentale (§7.2.6), in aggiunta alla eccentricità naturale della costruzione, mediante l'applicazione di carichi statici costituiti da momenti torcenti di valore pari alla risultante orizzontale della forza agente al piano, moltiplicata per l'eccentricità accidentale del baricentro delle masse rispetto alla sua posizione di calcolo.

Nella struttura in oggetto si è applicata una eccentricità accidentale secondo il seguente prospetto:

Eccentricità X (per sisma Y) livello "Fondazione" 117.5 [cm]

Eccentricità Y (per sisma X) livello "Fondazione" 106.4 [cm]

Eccentricità X (per sisma Y) livello "Piano 1" 117.5 [cm]

Eccentricità Y (per sisma X) livello "Piano 1" 106.4 [cm]



## 4 Geologia

I seguenti parametri geologici e geotecnici sono tratti dalla "Indagine geologica e geotecnica" redatta ad Aprile 2017 dal Dott. Geol. Marco Mantovani – con studio in via Clementina 215, 60048 Serra S. Quirico (AN) - iscritto alla sezione A n. 836 dell'Ordine dei Geologi delle Marche.

L'area in oggetto ricade nel centro urbanizzato di Palombina Nuova, in prossimità della zona costiera del comune di Ancona, presso il confine settentrionale con il territorio amministrativo. E' situata a circa 250 m a sud-est dal confine con il comune di Falconara Marittima ed a circa 240 m a sud dalla linea di costa.

L'area è catastalmente individuata al foglio n. 22, mappale 166, 167 e 243 del catasto terreni del Comune di Ancona.

I principali riferimenti per l'individuazione cartografica sono:

- Cartografia IGM: scala 1:25.000 Quadrante 18 III;
- Carta Tecnica Regionale: scala 1:10.000 Sez. 282140 "Palombina Nuova".

Tra il nuovo edificio scolastico e via Redi verrà realizzato un muretto di contenimento del terreno di circa 3 metri di altezza.

### **Situazione litostratigrafica locale**

La successione litostratigrafica è caratterizzata dai depositi prevalentemente in facies sabbiosa del Plio-Pleistocene p.p. che si rinvergono in gran parte dei rilievi collinari della fascia periadriatica marchigiana. Geologicamente la zona si trova immediatamente a nord-ovest della dorsale carbonatica-cretacica del M. Conero ed è caratterizzata essenzialmente da questi sedimenti plio-pleistocenici e, subordinatamente, da quelli miocenici.

I depositi marini del substrato sono costituiti da argille marnose e marnoso-siltose bluastre, disposte in strati da pochi centimetri fino ad un massimo di 50 cm. circa di spessore, talvolta in pacchi fittamente laminati, con spalmature e intercalazioni millimetriche sabbioso-siltose grigiastre che ne evidenziano la stratificazione.

I litotipi del substrato hanno una elevata propensione alla alterazione con parziale decadimento delle proprietà geomeccaniche, cosicché è difficile rinvenirli in subaffioramento; questo avviene solitamente lungo le scarpate strutturali a reggi poggio (molto acclivi e frequentemente sub-verticali) e in prossimità dei tagli stradali.

In corrispondenza dell'area di imposta il substrato risulta ricoperto da pochi metri di una fascia di coltri di alterazione del substrato.

### **Lineamenti morfologici**

Dal punto di vista geomorfologico l'area ricade in prossimità della parte bassa di un versante che scende in direzione nord-est dalla cima di M. Barcaglione (204 m. s.l.m.) ed a circa 250 m sud-ovest dalla linea di costa.

Si tratta di un area ubicata a quota 20.0 m s.l.m., esposta a nord-est con una pendenza del versante di circa 23° (40%) nel tratto compreso tra via Redi e via Mercantini, mentre nel tratto sopra via Redi si registrano pendenze di circa 6° (10%) e nel tratto sotto via Mercantini si registrano pendenze di circa 9° (15%).

Il PAI (Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche) in prossimità dell'area oggetto di intervento riporta un elemento di rischio legato a frana con cod. F-13-0180 - R3, P2 - includendo oltre 15 fabbricati che tuttavia non evidenziano alcun elemento o indizio legato ad instabilità in corso o pregressa.

### **Caratteri geostrutturali generali**

Geologicamente la zona si trova in corrispondenza del bacino marchigiano esterno, confinato tra la catena appenninica ed il Mare Adriatico, caratterizzato essenzialmente da sedimenti plio-pleistocenici e, subordinatamente, da quelli miocenici.

I principali elementi geologico-strutturali che distinguono l'intero bacino dell'Esino, sono quelli caratteristici dell'Appennino Umbro-Marchigiano, con uno stile tettonico conseguente ad un assetto strutturale dato da una serie di falde sovrascorse e con uno stile caratterizzato da pieghe e faglie.

I lineamenti plicativi della zona risultano essere abbastanza semplici in quanto il substrato, negli affioramenti ben visibili verso il versante di Collemarino, a partire da quote comprese fra i 24.0,25.0 m. s.l.m., presenta giaciture monoclinali che generalmente immergenti verso NE con strati leggermente inclinati.

Dalla bibliografia disponibile non sono emerse notizie ed elementi legati ad eventi di tettonica recente, questo dato è confermato anche dal rilievo effettuato che non ha evidenziato la presenza di elementi diretti o indiretti dovuti a faglie recenti.

### **Circolazione acque superficiali e sotterranee**

Le acque meteoriche sono regolarmente regimate e smaltite sia dalle canalette stradali che dal sistema fognario urbano.

Durante la campagna geognostica non sono state intercettati livelli di percolazioni idriche in profondità. Tale dato è stato confermato anche dall'assenza idrica nelle canne in PVC inserite nei fori delle prove penetrometriche.

Da bibliografia la formazione pliocenica presenta una permeabilità bassa nei livelli argilloso-marnosi e una permeabilità media nei livelli più sabbiosi.

Durante la campagna geognostica del 2010 da parte del Geol. S. Cardellini, in prossimità del sondaggio S3 eseguito con un miniescavatore a valle del muro di contenimento di via Redi, è stata rinvenuta la presenza di un'abbondante fuoriuscita di acqua nel giunto fra la soletta di base del muro in elevazione, probabilmente dovuta ad infiltrazioni nel drenaggio controterra.

Ancora oggi si possono osservare delle fuoriuscite di acqua in prossimità della base del muro di contenimento.

Si rammenta, in via del tutto schematica e parziale, che a monte dall'edificio scolastico, è stata realizzata una serie di drenaggi tramite pali drenanti di diametro  $\varnothing=80$  cm e  $\varnothing=60$  cm per una lunghezza di circa L= 8 m.

### **Assetto litostratigrafico locale**

All'interno dell'area indagata l'assetto litostratigrafico riscontrato sulle verticali di indagine è risultato sostanzialmente uniforme e omogeneo, caratterizzato, in sintesi, da una modesta coltre colluviale detritica, prevalentemente limo-argillosa e sabbiosa, che ricopre la formazione compatta del Pliocene, alterata e decompressa nei livelli di tetto.

La colonna litostratigrafica che meglio rappresenta la situazione dell'area può essere come di seguito schematizzata :

- riporto di livellamento e suolo vegetale costituito da argille siltose sovraconsolidate e limi ricchi in materia organica o resti vegetali. Sismostrato caratterizzato da Vs comprese fra 70-100 m/s. Fino alla profondità di 0.4 m dal p.c;

- limi argillosi e sabbiosi colluviali di colore avana grigiastro, con sottili intercalazioni limose brunastre, poco consistenti e plastiche. Sismostrato caratterizzato da Vs comprese fra 250-300 m/s. Valore medio PP 2.0 kg/cmq, valore medio VT 1.6. Da 0.4 m fino alla profondità di 3.7 m dal p.c;

- argille marnose e limi sabbiosi eluviali di colore grigio azzurro mediamente consistenti, plastiche e decomprese. Sismostrato caratterizzato da Vs comprese fra 300-400 m/s. Valore medio PP 3.5 kg/cmq, valore medio VT 1.8. Da 3.7 m fino alla profondità di 6.1 m dal p.c;

- argille marnose e limi consistenti (formazione pliocenica) con intercalati sottili livelli maggiormente sabbiosi di colore grigio azzurro, poco plastici e consistenti. La consistenza aumenta con la profondità. Sismostrato caratterizzato da Vs maggiori di 400 m/s; Valore medio PP 6.0 kg/cmq, valore medio VT >2.0. Da 6.1 m. fino a fine sondaggio dal p.c.

### Parametri geotecnici

I principali parametri geotecnici sono caratterizzati da un'alta variabilità in funzione della natura litologica e dello stato di alterazione.

Sulla base delle risultanze delle prove penetrometriche statiche e delle prove di laboratorio eseguite, possono essere attribuiti i seguenti parametri geomeccanici:

litologia	Angolo di attrito [ $\phi$ - °]	Coesione Efficace [C' - t/m <sup>2</sup> ]	Coes. non Drenata [Cu - t/m <sup>2</sup> ]	Peso di volume [Y - t/m <sup>3</sup> ]	Modulo Edometrico [Ed - t/m <sup>2</sup> ]
Coltri colluviali limo argillose	18÷20	0.1÷0.3	4.0÷10.0	1.68÷1.92	400÷600
Coltri colluvio-eluviali argillo-marn. e sabb.	21÷23	0.3÷0.5	15.0÷25.0	1.78÷2.00	600÷800
Substrato argillo marnoso e sabbioso	25÷26	2.0÷4.0	≥25	1.90÷2.10	≥1.500

### Verifiche di stabilità

Dalle verifiche della stabilità generale dei pendii eseguite con il metodo Morgenstern-Price, il versante risulta stabile per la superficie di scivolamento considerata, tangente alla superficie di separazione fra fascia di alterazione eluviale e la formazione integra.

Dall'elaborazione di verifica stabilità del pendio (eseguite in schema sismico delle NTC 2008 con valori ridotti in via cautelativa), il fattore di sicurezza minimo individuato risulta essere  $F_s = 2.05$ .

## 5 Elementi di fondazione

### **Modellazione strutturale**

Nella modellazione si è considerata la presenza di fondazioni superficiali (cordoli) e fondazioni profonde (pali), schematizzando il suolo con un letto di molle elastiche di assegnata rigidità.

I valori di default dei parametri di modellazione del suolo, cioè quelli adottati dove non diversamente specificato, sono i seguenti:

Coefficiente di sottofondo verticale per fondazioni superficiali (default): 1.9 [daN/cm<sup>3</sup>];

K punta palo (default): 4 [daN/cm<sup>3</sup>];

Pressione limite punta palo (default): 10 [daN/cm<sup>2</sup>].

Per elementi nei quali si sono valutati i parametri geotecnici in funzione della stratigrafia sottostante si sono adottate le seguenti formulazioni di letteratura:

Metodo di calcolo della K verticale: Vesic;

Metodo di calcolo della capacità portante: Terzaghi;

Metodo di calcolo della pressione limite punta palo: Vesic.

La resistenza limite offerta dai pali in direzione orizzontale e verticale è funzione dell'attrito e della coesione che si può sviluppare all'interfaccia con il terreno. Oltre ai dati del suolo, descritti nella precedente stratigrafia, hanno influenza anche i seguenti parametri:

Coefficiente di sicurezza portanza fondazioni superficiali: 2.3;

Coefficiente di sicurezza scorrimento fondazioni superficiali: 1.1;

Coefficiente di sicurezza portanza verticale pali trivellati, punta: 1.35;

Coefficiente di sicurezza portanza verticale pali trivellati, laterale compressione: 1.15;

Coefficiente di sicurezza portanza verticale pali trivellati, laterale trazione: 1.25;

Fattore di correlazione resistenza caratteristica dei pali in base alle verticali indagate: 1.7.

### **Caratterizzazione geotecnica dei terreni adottata**

La stratigrafia utilizzata nel modello di calcolo è quella desunta dalla relazione geologica sopra riportata.

In particolare:

- Unità A: fino alla profondità di 0.4 m dal p.c: riporto di livellamento e suolo vegetale costituito da argille siltose sovraconsolidate e limi ricchi in materia organica o resti vegetali;
- Unità B: da 0.4 m fino alla profondità di 3.7 m dal p.c: limi argillosi e sabbiosi colluviali con sottili intercalazioni limose poco consistenti e plastiche;
- Unità C: da 3.7 m fino alla profondità di 6.1 m dal p.c: argille marnose e limi sabbiosi eluviali mediamente consistenti, plastiche e decomprese;
- Unità D: da 6.1 m. fino a fine sondaggio dal p.c.: argille marnose e limi consistenti (formazione pliocenica) con intercalati sottili livelli maggiormente sabbiosi poco plastici e consistenti.

# 6 Modellazione della fondazione - Analisi e verifica

## Modello di fondazione

Il palo di fondazione è stato modellato tramite il frazionamento in più aste verticali. Nei nodi di suddivisione vengono posizionate molle assial-simmetriche elastiche denominate FLAT, che riproducono l'interazione con il terreno lungo la superficie laterale del palo. L'elemento finito denominato FLAT possiede 3 gradi di libertà, ovvero spostamento lungo l'asse del palo (verticale), spostamento planare (orizzontale), rotazione attorno all'asse (torcente).

Il comportamento elastico degli elementi FLAT è dato dalle costanti elastiche orizzontali, verticali e rotazionali. Esse sono calcolate a partire dalle costanti elastiche orizzontali e verticali caratteristiche di ogni strato di terreno che compone la stratigrafia nella quale il palo è immerso. In punta al palo, in aggiunta all'elemento FLAT, viene inserita una molla elastica verticale le cui caratteristiche sono ricavate dai dati di input del palo o dalla stratigrafia.

## Verifica di capacità portante

La verifica di capacità portante della fondazione profonda viene eseguita mediante formulazioni di letteratura geotecnica considerando le caratteristiche dei terreni sottostanti al piano di posa della fondazione, ricavati in base alla stratigrafia associata all'elemento.

La verifica viene fatta raffrontando la portanza di progetto ( $R_d$ ) con la sollecitazione di progetto ( $E_d$ ); la prima deriva dalla portanza calcolata con metodi della letteratura geotecnica, ridotta da opportuni fattori di sicurezza parziali; la seconda viene valutata ricavando la risultante della sollecitazione scaricata al suolo con una integrazione delle pressioni nel tratto di calcolo. Le normative prevedono che il fattore di sicurezza alla capacità portante, espresso come rapporto tra il carico ultimo di progetto della fondazione ( $R_d$ ) ed il carico agente ( $E_d$ ), sia non minore di un prefissato limite.

La portanza di una fondazione rappresenta il carico ultimo trasmissibile al suolo prima di arrivare alla rottura del terreno. Le formule di calcolo presenti in letteratura sono nate per la fondazione nastriforme indefinita ma aggiungono una serie di termini correttivi per considerare le effettive condizioni al contorno della fondazione, esprimendo la capacità portante ultima in termini di pressione limite agente su di una fondazione equivalente soggetta a carico centrato.

I pali di fondazione hanno tutti medesima sezione e armatura. Pertanto si limita la verifica al solo elemento più sollecitato (palo n. 15).

## Verifica del palo

Quota: quota sezione [cm];

Filo: eventuale numero del filo;

Indice: indice del palo;

$X_p$ : coordinata x del palo [cm];

$Y_p$ : coordinata y del palo [cm];

$A_s$ : area complessiva delle armature verticali [cm<sup>2</sup>];

$M_x$ : momento  $M_x$  [daN\*cm];

$M_y$ : momento  $M_y$  [daN\*cm];

$N$ : sforzo normale [daN];

Comb.: combinazione peggiore;

Coeff.s.: coefficiente sicurezza minimo;

Verifica: stato di verifica;

$Sc,max$ : tensione massima sul calcestruzzo [daN/cm<sup>2</sup>];

$Sf,max$ : tensione massima sull'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>];

Fess: sezione fessurata;

$T_x$ : taglio  $T_x$  [daN]

$T_y$ : taglio  $T_y$  [daN]

$E_d$ : carico totale di progetto [daN]

Rd: resistenza totale di progetto [daN]

Coeff.s.: coefficiente di sicurezza

Le unità di misura delle verifiche elencate nel capitolo sono in [cm, daN] ove non espressamente specificato.

#### **Caratteristiche geometriche del palo**

Diametro: cm. 60

Lunghezza: cm. 1200

Copriferro: cm. 5

#### **Caratteristiche dei materiali**

Calcestruzzo C25/30:  $R_{ck}$  300 daN/cm<sup>2</sup>

Acciaio B450C:  $f_{yk} \geq 4580$  daN/cm<sup>2</sup>

Classe di esposizione: XC2

Classe di consistenza: S3

Le verifiche sono state effettuate secondo D.M. 14-01-08 (N.T.C.)

### Verifica a pressoflessione

QUOTA	INDICE	XP	YP	AS	MX	MY	N	COMB	VERIFICA
0-1200	15	3084.00	326.00	24.13	-316392	512755	-83470	SLU	SI

### Verifica delle tensioni in combinazione rara

Tensione limite del calcestruzzo: 149.4

Tensione limite dell'acciaio: 3600

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato:  $E_s / E_c = 6.55$

QUOTA	INDICE	XP	YP	MX	MY	N	Scmax	Sfmax	VERIFICA
0-1200	15	3084.00	326.00	24.13	-316392	-83470	-20.8	398.4	SI

### Verifica delle tensioni sul calcestruzzo in combinazioni quasi permanenti

Tensione limite del calcestruzzo: 112.1

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato:  $E_s * (1 + \varphi) / E_c = 6.55$

Coefficiente di viscosità:  $\varphi = 0$

QUOTA	INDICE	XP	YP	MX	MY	N	COMB	Scmax	VERIFICA
0-1200	15	3084.00	326.00	24.13	-316392	-83470	SLE	398.4	SI

### Verifica delle fessure - Esercizio frequente

Valore limite di controllo: 0.4 mm

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato:  $E_s / E_c = 6.55$

QUOTA	INDICE	XP	YP	MX	MY	N	COMB	Fess	VERIFICA
0-1200	15	3084.00	326.00	24.13	-316392	-83470	SLE	no	SI

### Verifica delle fessure - Esercizio quasi permanente

Valore limite di controllo: 0.3 mm

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato:  $E_s * (1 + \varphi) / E_c = 6.55$

Coefficiente di viscosità:  $\varphi = 0$

QUOTA	INDICE	XP	YP	MX	MY	N	COMB	Fess	VERIFICA
0-1200	15	3084.00	326.00	24.13	-316392	-83470	SLE	no	SI

### Verifica a taglio

QUOTA	INDICE	XP	YP	TX	TY	N	COMB	Coeff s	VERIFICA
0-1200	15	3084.00	326.00	24.13	-316392	-83470	SLU	10.16	SI

### Verifica di capacità per la famiglia di combinazioni SLU - Verifica di capacità portante verticale riferita al palo singolo

Fattore di correlazione  $\psi$  scelto in base alla conoscenza del sito = 1.7

Peso del palo =  $8478 * 1.3$

FILO	XP	YP	COMB	N	Ed	Rd	Cond	Coeff s	VERIFICA
1	3084.00	326.00	SLV	-83470	-94491	103564	lungo	1.14	SI

## Verifica di capacità per la famiglia di combinazioni SLV fondazioni - Verifica di capacità portante verticale riferita al palo singolo

Fattore di correlazione  $\psi$  scelto in base alla conoscenza del sito = 1.7

Peso del palo = 8478 \* 1.3

FILO	XP	YP	COMB	N	Ed	Rd	Cond	Coeff s	VERIFICA
1	3084.00	326.00	SLV	-83470	-96587	103564	lungo	1.87	SI

### Pressioni sul terreno in SLU

Nodo: nodo che interagisce col terreno.

Ind.: indice del nodo.

Pressione minima: situazione in cui si verifica la pressione minima nel nodo.

Conf.: nome breve della condizione o combinazione di carico a cui si riferisce la pressione minima.

uz: spostamento massimo verticale del nodo. [cm]

Valore: pressione minima sul terreno del nodo. [daN/cm<sup>2</sup>]

Pressione massima: situazione in cui si verifica la pressione massima nel nodo.

nodo	Pressione minima			Pressione massima		
	Conf.	uz	Valore	Conf.	uz	Valore
15	SLU	-0.10152	-0.19288	SLU	0.00076	0.00145

### Pressioni sul terreno in SLE

Nodo: nodo che interagisce col terreno.

Ind.: indice del nodo.

Pressione minima: situazione in cui si verifica la pressione minima nel nodo.

Conf.: nome breve della condizione o combinazione di carico a cui si riferisce la pressione minima.

uz: spostamento massimo verticale del nodo. [cm]

Valore: pressione minima sul terreno del nodo. [daN/cm<sup>2</sup>]

Pressione massima: situazione in cui si verifica la pressione massima nel nodo.

nodo	Pressione minima			Pressione massima		
	Conf.	uz	Valore	Conf.	uz	Valore
15	SLE	-0.07309	-0.13886	SLE	0.01577	0.02995

## 9 Prescrizioni tecniche

Le condizioni del terreno andranno verificate con riferimento a quanto riportato nella presente relazione geotecnica.

Dovrà essere gettato un magro di fondazione di pulizia ed evitare che i ferri di armatura si sporchino per effetto delle terre.

Si raccomanda il corretto posizionamento dei ferri di armatura ed il rispetto dei copri ferri; il calcestruzzo ed il ferro di fondazione dovranno avere le caratteristiche riportate nella "Relazione sui materiali impiegati".