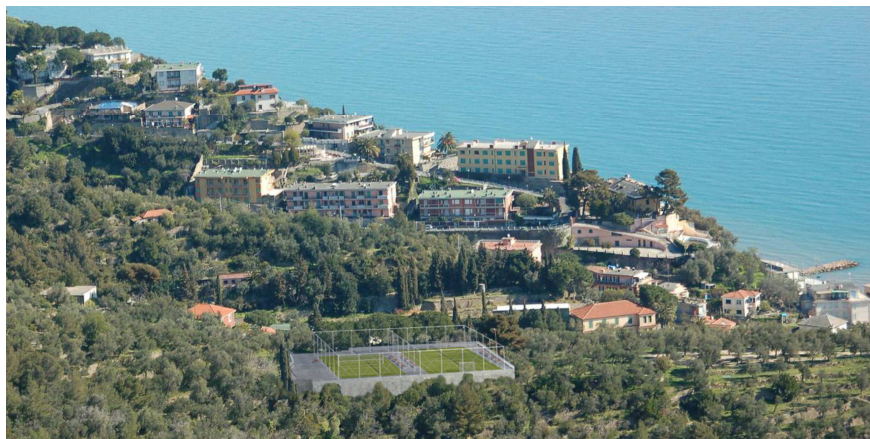




Progetto per un impianto polisportivo all'interno del "Parco dell'Orso". Campo calcetto, campo volley e parco urbano

progettista: giacomo airaldi architetto :: sinapsiarchitettura

via I.sollai, 29 - 17021 alassio sv ita T (+39) 0182.643955 - airaldi@sinapsiarchitettura.com

Ordine Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Savona n°791

Abilitato ad assolvere incarichi previsti dal D.Lgs n° 81/2008 e s.m.i.

Iscritto all'albo dei certificatori energetici della Liguria al n° 891 con DD 2681 del 22/09/2008

Iscritto all'Elenco degli Esperti in materia di Paesaggio della Regione Liguria

team progetto architettonico: arch.giacomo **airaldi** arch stefano **freccero** arch margherita **menardo**

consulenza progetto strutturale/impiantistico: ing. fulvio **ricci**

consulenza aspetti geologici: dott. geol. gianni **piacentino**

rilievo stato di fatto: geom.bruno **meloni**

committente: COMUNE di LAIGUEGLIA

Via Genova 2, 17053 Laigueglia, TEL. 0182-69111 - FAX: 0182-6911301

C.F. e P.IVA: 81001590090 protocollo@postacertificata.comune.laigueglia.sv.it

RUP: UFFICIO LAVORI PUBBLICI geom.Silvano Repetto

PROGETTO ESECUTIVO

laì PDO ESE

elaborato

PDO-E-0.016

scala

-

tipo elaborato

PROGETTO STRUTTURALE

data

settembre 2017

update

11 settembre 2017 emissione **00** 01 02 03

titolo tavola

RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI

data	file	redatto - modificato - revisionato - stampato
11.09.2017		

Relazione geotecnica e sulle fondazioni

Sommario

Sommario	2
1 Normativa di riferimento	3
2 Premessa	4
3 Descrizione delle opere in sito	4
Risposta sismica locale.....	4
Parametri di analisi	5
4 Problemi geotecnici e scelte tipologiche.....	8
Tipologia di fondazione.....	8
4.1 Elementi di fondazione	9
4.1.1 Fondazioni di travi	9
4.1.2 Fondazioni di piastre	9
4.1.3 Fondazioni profonde	9
4.1.4 Pali.....	9
5 Indagini e prove geotecniche	10
5.1 Sondaggi del sito.....	10
6 Caratterizzazione geotecnica dei terreni in sito	11
6.1 Terreni.....	12
7 Modellazione del sottosuolo e metodi di analisi e di verifica	12
Modello di fondazione.....	12
8 Verifiche delle fondazioni	14
8.1 Pressioni terreno in SLU.....	15
8.2 Pressioni terreno in SLVf/SLUEcc	16
8.3 Pressioni terreno in SLE/SLD	17

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

L'intervento in oggetto prevede la realizzazione di un campo polifunzionale sul piazzale esistente e la realizzazione di una zona interrata destinata ai servizi strettamente connessi all'attività sportiva e al parco nella zona interrata. Dal punto di vista strutturale dovrà essere realizzato un muro di contenimento del piazzale lungo il lato sud-ovest e la realizzazione della zona interrata servizi lungo il lato sud-est. Il progetto architettonico è redatto dall'Arch. Giacomo Airaldi, la relazione geologica ad esso allegata è del Dott. Geol. G.B. Piacentino, il progetto strutturale è affidato al sottoscritto, Ing. Fulvio Ricci. Dalla suddetta relazione geologica non emergono particolari problematiche: la nuova struttura andrà ad interessare in parte la coltre detritica ed in parte il substrato roccioso costituito da marne calcaree.

La presente relazione geotecnica e sulle fondazioni si riferisce unicamente alla struttura seminterrata destinata a servizi. Per quanto concerne le valutazioni geotecniche relative al muro di sostegno si rimanda alla relativa relazione di calcolo e sulle fondazioni.

3 Descrizione delle opere in sito

La **struttura in oggetto** è stata analizzata secondo la norma D.M. 14-01-08 (N.T.C.), considerandola come tipo di costruzione 2. In particolare si è prevista, in accordo con il committente, una vita nominale dell'opera di $V_n=50$ anni per una classe d'uso IV, e quindi una vita di riferimento di 100 anni (§2.4.3).

L'opera è edificata in località Savona, Laigueglia; Latitudine ED50 43,9815° (43° 58' 53"); Longitudine ED50 8,1557° (8° 9' 21"); Altitudine s.l.m. 78,91 m. (coordinate esatte: 43,981454 8,155709), punto che risulta corrispondere come zonazione sismica ad una Zona 2.

La pericolosità sismica di base del sito di costruzione è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo in condizioni ideali su sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali, come previsto nell'allegato A della norma. I tre parametri fondamentali (accelerazione a_g , fattore di amplificazione F_0 e periodo T^*C) si ricavano per ciascun nodo del del reticolo di riferimento in funzione del periodo di ritorno dell'azione sismica T_R previsto, espresso in anni; quest'ultimo è noto una volta fissate la vita di riferimento V_r della costruzione e la probabilità di superamento attesa nell'arco della vita di riferimento. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{Vr} cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati sono riportate nella tabella 3.2.I del §3.2.1 della norma; i valori di P_{Vr} forniti in tabella possono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere (cfr. anche il §C3.2.1).

Nella presente progettazione si sono considerati i seguenti parametri sismici:

PVr SLD (%)	63
Tr SLD	101
Ag/g SLD	0.057
Fo SLD	2.58
Tc* SLD	0.238
PVr SLV (%)	10
Tr SLV	949.12
Ag/g SLV	0.1872
Fo SLV	2.457
Tc* SLV	0.299

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 (§3.2.2). Per la valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s la caratterizzazione geotecnica condotta nel volume significativo consente di identificare il sottosuolo prevalente nella categoria A - roccia o terreni molto rigidi. Si riporta per completezza la corrispondente descrizione indicata nella norma (Tab. 3.2.II e Tab. 3.2.III).

Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_s , 30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Per la valutazione del coefficiente di amplificazione topografica S_T , viste le condizioni in sito e l'orografia della zona, si è attribuita la categoria topografica T2. Si riporta per completezza la corrispondente descrizione indicata nella norma (Tab. 3.2.IV).

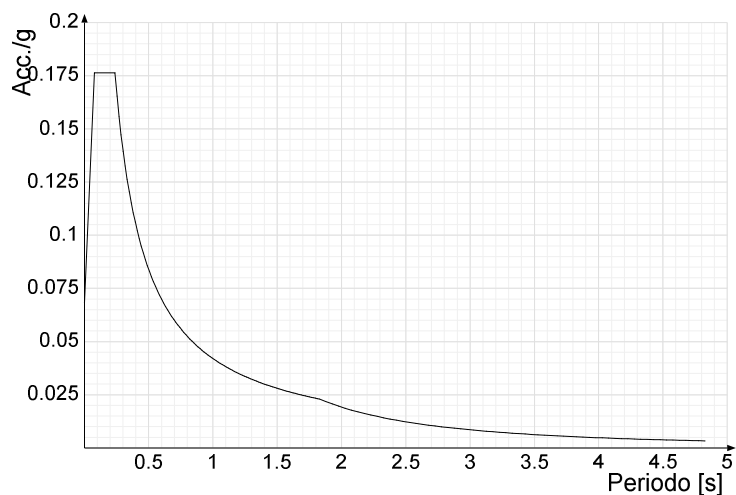
Categoria T2: Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$

In base alle categorie scelte si sono infine adottati i seguenti coefficienti di amplificazione e spettrali:

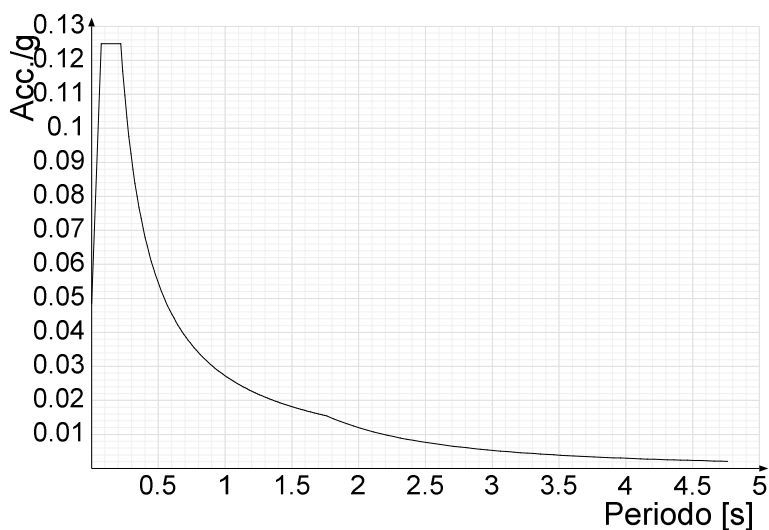
Ss orizzontale SLD	1	
Tb orizzontale SLD	0.079	[s]
Tc orizzontale SLD	0.238	[s]
Td orizzontale SLD	1.828	[s]
Ss orizzontale SLV	1	
Tb orizzontale SLV	0.1	[s]
Tc orizzontale SLV	0.299	[s]
Td orizzontale SLV	2.349	[s]

Si riportano infine gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontali per gli stati limite considerati.

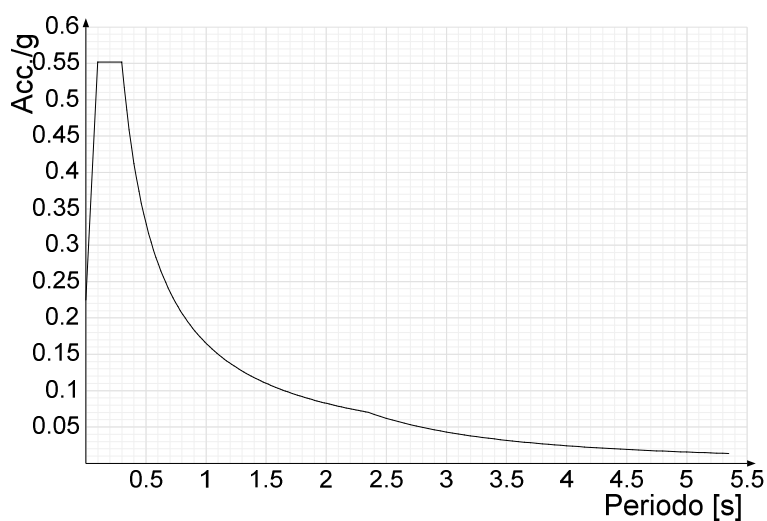
Viene mostrato lo spettro di risposta elastico "Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLD § 3.2.3.2.1 (3.2.4)".



Viene mostrato lo spettro di risposta elastico "Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLO § 3.2.3.2.1 (3.2.4)".



Viene mostrato lo spettro di risposta elastico "Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLV § 3.2.3.2.1 (3.2.4)".



Parametri di analisi

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

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 α_u/α_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	2.52
Fattore di struttura per sisma Y	2.52
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	-130	[cm]
Moltiplicatore sisma X per combinazioni di default	1	
Moltiplicatore sisma Y per combinazioni di default	1	

Nell'analisi dinamica modale si sono analizzati 12 modi di vibrare valutati secondo il metodo di Ritz.

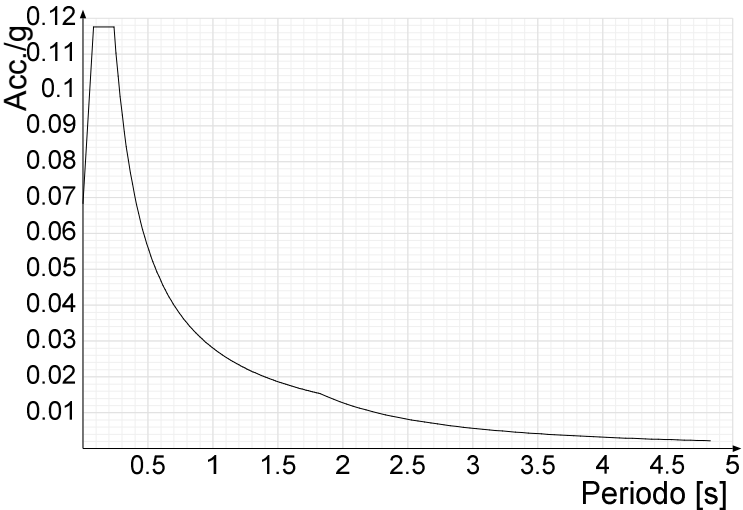
Per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nell'alocalizzazione delle masse, la normativa richiede di attribuire al centro di massa una eccentricità accidentale (§7.2.6), in aggiunta alla eccentricità naturale della costruzione, mediante l'applicazione 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:

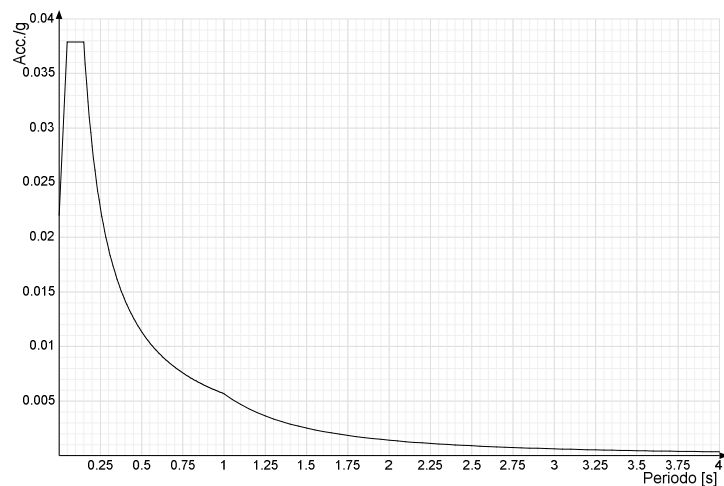
Eccentricità X (per sisma Y) livello "fondazioni inferiori"	0	[cm]
Eccentricità Y (per sisma X) livello "fondazioni inferiori"	0	[cm]
Eccentricità X (per sisma Y) livello "Fondazione"	0	[cm]
Eccentricità Y (per sisma X) livello "Fondazione"	0	[cm]
Eccentricità X (per sisma Y) livello "muro valle"	0	[cm]
Eccentricità Y (per sisma X) livello "muro valle"	0	[cm]
Eccentricità X (per sisma Y) livello "prima rampa"	0	[cm]
Eccentricità Y (per sisma X) livello "prima rampa"	0	[cm]
Eccentricità X (per sisma Y) livello "seconda rampa"	0	[cm]
Eccentricità Y (per sisma X) livello "seconda rampa"	0	[cm]
Eccentricità X (per sisma Y) livello "Piano 1"	142	[cm]
Eccentricità Y (per sisma X) livello "Piano 1"	38.3	[cm]
Eccentricità X (per sisma Y) livello "Piano campo"	0	[cm]
Eccentricità Y (per sisma X) livello "Piano campo"	0	[cm]
Eccentricità X (per sisma Y) livello "Piano ascensore"	24.4	[cm]
Eccentricità Y (per sisma X) livello "Piano ascensore"	12.8	[cm]

Si riportano infine gli spettri di risposta di progetto delle componenti orizzontali per gli stati limite considerati.

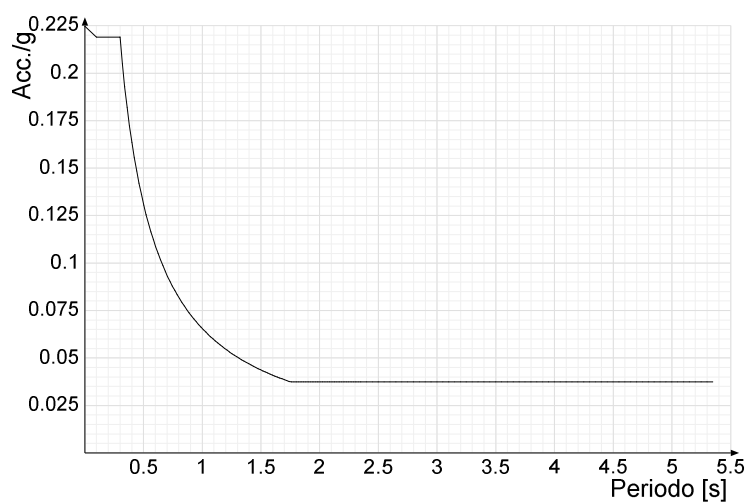
Viene mostrato lo spettro di progetto "Spettro di risposta di progetto in accelerazione delle componenti orizzontali SLD § 7.3.7.1".



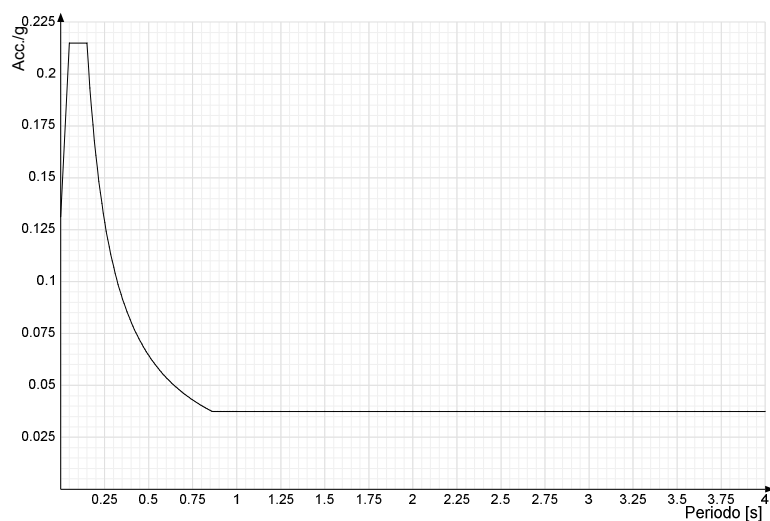
Viene mostrato lo spettro di progetto "Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente verticale SLD § 7.3.7.1".



Viene mostrato lo spettro di progetto "Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLV § 3.2.3.5". Questo spettro è valido anche per l'altra componente orizzontale, essendo coincidente.



Viene mostrato lo spettro di progetto "Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente verticale SLV § 3.2.3.5".



4 Problemi geotecnici e scelte tipologiche

Sulla base delle indicazioni presenti nella relazione geologica del sito, redatta dal Geol. G.B. Piacentino, la scelta progettuale porta ad una struttura su reticolo di travi di fondazione. Per risolvere problematiche dovute alla quota di imposta delle suddette fondazioni su coltre in corrispondenza dell'angolo sud della struttura, esso verrà risolto realizzando un tratto di fondazioni profonde su micropali che consentiranno di andare a scaricare i carichi gravanti su tale porzione direttamente nel sottosuolo più resistente.

Tipologia di fondazione

Nella modellazione si è considerata la presenza di fondazioni superficiali e fondazioni profonde, schematizzando il suolo con un letto di molle elastiche di assegnata rigidezza. In direzione orizzontale si è considerata una rigidezza pari a 0.5 volte quella verticale.

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)	3	[daN/cm³]
K punta palo (default)	4	[daN/cm³]
Pressione limite punta palo (default)	10	[daN/cm²]

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	EC7+Richards
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 nelle seguenti stratigrafie, 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 infissi, punta	1.15
Coefficiente di sicurezza portanza verticale pali infissi, laterale compressione	1.15
Coefficiente di sicurezza portanza verticale pali infissi, laterale trazione	1.25
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
Coefficiente di sicurezza portanza verticale micropali, punta	1.35
Coefficiente di sicurezza portanza verticale micropali, laterale compressione	1.15
Coefficiente di sicurezza portanza verticale micropali, laterale trazione	1.25
Fattore di correlazione resistenza caratteristica dei pali in base alle verticali indagate	1.7

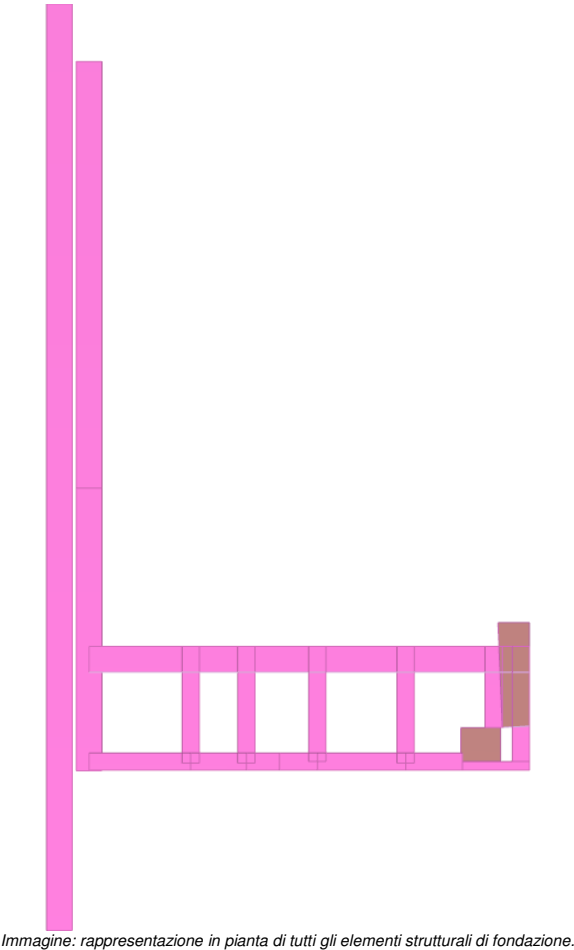


Immagine: rappresentazione in pianta di tutti gli elementi strutturali di fondazione.

4.1 Elementi di fondazione

4.1.1 Fondazioni di travi

Descrizione breve: Descrizione breve usata nelle tabelle dei capitoli delle travi di fondazione.

Stratigrafia: Stratigrafia del terreno nel punto medio in pianta dell'elemento.

Sondaggio: È possibile indicare esplicitamente un sondaggio definito nelle preferenze oppure richiedere di estrapolare il sondaggio dalla definizione del sito espressa nelle preferenze.

Estradosso: Distanza dalla quota superiore del sondaggio misurata in verticale con verso positivo verso l'alto. [cm]

Deformazione volumetrica: Valore della deformazione volumetrica impiegato nel calcolo della pressione limite a rottura con la formula di Vesic. Il valore è adimensionale. Accetta anche il valore di default espresso nelle preferenze.

K verticale: Coefficiente di sottofondo verticale del letto di molle. [daN/cm³]

Limite compressione: Pressione limite di plasticizzazione a compressione del letto di molle. [daN/cm²]

Limite trazione: Pressione limite di plasticizzazione a trazione del letto di molle. [daN/cm²]

Sbordo magrone: Allargamento dell'impronta della trave dovuta al magrone: nel calcolare la reazione del terreno la larghezza della trave sarà incrementata del doppio dello sbordo. [cm]

Terreno riporto: Caratteristiche dell'eventuale terreno di riporto presente lateralmente all'elemento di fondazione. Esso costituisce un sovraccarico agente sul piano di posa.

Descrizione breve	Stratigrafia			K verticale	Limite compressione	Limite trazione	Sbordo magrone	Terreno riporto
	Sondaggio	Estradosso	Deformazione volumetrica					
FT1	Sondaggio	0		Default (3)	Default (10)	Default (0.001)		Si; Default (substrato alterato Laigueglia); Default (40); 0
FT2	Piu' vicino in sito	0		Default (3)	Default (10)	Default (0.001)		Si; Default (substrato alterato Laigueglia); Default (40); 0

4.1.2 Fondazioni di piastre

Descrizione breve: Descrizione breve usata nelle tabelle dei capitoli delle piastre di fondazione.

Stratigrafia: Stratigrafia del terreno nel punto medio in pianta dell'elemento.

Sondaggio: È possibile indicare esplicitamente un sondaggio definito nelle preferenze oppure richiedere di estrapolare il sondaggio dalla definizione del sito espressa nelle preferenze.

Estradosso: Distanza dalla quota superiore del sondaggio misurata in verticale con verso positivo verso l'alto. [cm]

Deformazione volumetrica: Valore della deformazione volumetrica impiegato nel calcolo della pressione limite a rottura con la formula di Vesic. Il valore è adimensionale. Accetta anche il valore di default espresso nelle preferenze.

K verticale: Coefficiente di sottofondo verticale del letto di molle. [daN/cm³]

Limite compressione: Pressione limite di plasticizzazione a compressione del letto di molle. [daN/cm²]

Limite trazione: Pressione limite di plasticizzazione a trazione del letto di molle. [daN/cm²]

Descrizione breve	Stratigrafia			K verticale	Limite compressione	Limite trazione
	Sondaggio	Estradosso	Deformazione volumetrica			
FS1	Piu' vicino in sito	0		Default (3)	Default (10)	Default (0.001)

4.1.3 Fondazioni profonde

Descrizione breve: Descrizione breve usata nelle tabelle dei capitoli dei pali e plinti su pali.

Stratigrafia: Stratigrafia del terreno nel punto medio in pianta dell'elemento.

Sondaggio: È possibile indicare esplicitamente un sondaggio definito nelle preferenze oppure richiedere di estrapolare il sondaggio dalla definizione del sito espressa nelle preferenze.

Estradosso: Distanza dalla quota superiore del sondaggio misurata in verticale con verso positivo verso l'alto. [cm]

Deformazione volumetrica: Valore della deformazione volumetrica impiegato nel calcolo della pressione limite a rottura con la formula di Vesic. Il valore è adimensionale. Accetta anche il valore di default espresso nelle preferenze.

K punta: Coefficiente di sottofondo verticale del terreno in punta palo. [daN/cm³]

Pressione limite punta: Valore limite di pressione del terreno in punta palo. [daN/cm²]

Descrizione breve	Stratigrafia			K punta	Pressione limite punta
	Sondaggio	Estradosso	Deformazione volumetrica		
FPP1	Piu' vicino in sito	0	Default (0.061)	Default (4)	Default (10)

4.1.4 Pali

Palo: riferimento ad una definizione di palo.

Q.: quota di inserimento espressa con notazione breve esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Punto: punto di inserimento.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Estr.: distanza dalla quota di inserimento misurata in direzione ortogonale al piano della quota e con verso positivo verso l'alto. [cm]

Lungh.: lunghezza del palo. [cm]

Coll. testa: tipo di collegamento fra la testa del palo e l'eventuale sovrastruttura.

Capacità portante palo: capacità portante ultima palo singolo, somma di quella laterale e quella alla punta; ciascuna delle due capacità può essere calcolata in automatico con formule statiche oppure può esserne specificato direttamente il valore numerico.

Palo	Q.	Punto		Estr.	Lungh.	Coll. testa	Capacita portante palo
		X	Y				
Micropalo D140	L1	-607.6	6096.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	5996.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	7496.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	7396.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	7296.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	7196.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	7096.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6996.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6896.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6796.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	7806.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	7696.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	7596.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6696.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6596.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6496.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6396.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6296.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);
Micropalo D140	L1	-607.6	6196.7	0	1000	Incastro	43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767); 43819 = Default (42052) + Default (1767);

5 Indagini e prove geotecniche

5.1 Sondaggi del sito

Vengono elencati in modo sintetico tutti i sondaggi risultanti dalle verticali di indagine condotte in sito, con l'indicazione dei terreni incontrati, degli spessori e dell'eventuale falda acquifera.
Nome attribuito al sondaggio: Sondaggio
Coordinate planimetriche del sondaggio nel sistema globale scelto: 0, 0
Quota della sommità del sondaggio (P.C.) nel sistema globale scelto: 0

I valori sono espressi in cm

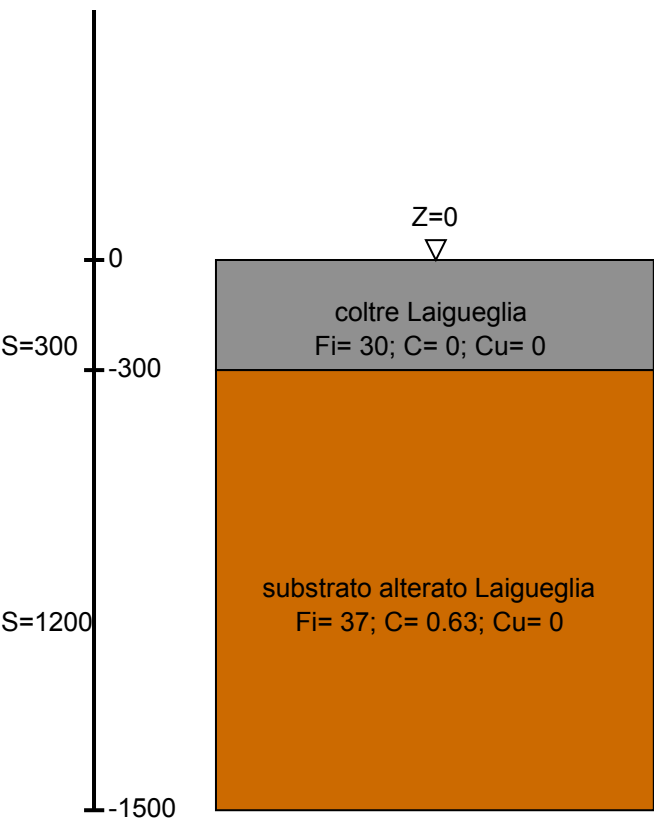


Immagine: Sondaggio

- ▽ Piano ascensore (Z=680)
- ▽ Piano campo (Z=390)
- ▽ Piano 1 (Z=340)
- ▽ seconda rampa (Z=288)
- ▽ prima rampa (Z=135)
- ▽ muro valle (Z=80)
- ▽ Fondazione (Z=-20)
- ▽ fondazioni inferiori (Z=-130)

Stratigrafie

Terreno: terreno mediamente uniforme presente nello strato.
Sp.: spessore dello strato. [cm]
Kor,i: coefficiente K orizzontale al livello inferiore dello strato per modellazione palo. [daN/cm³]
Kor,s: coefficiente K orizzontale al livello superiore dello strato per modellazione palo. [daN/cm³]
Kve,i: coefficiente K verticale al livello inferiore dello strato per modellazione palo. [daN/cm³]
Kve,s: coefficiente K verticale al livello superiore dello strato per modellazione palo. [daN/cm³]
Eel,s: modulo elastico al livello superiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]
Eel,i: modulo elastico al livello inferiore dello strato per calcolo cedimenti istantanei; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]
Eed,s: modulo edometrico al livello superiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]
Eed,i: modulo edometrico al livello inferiore per calcolo cedimenti complessivi; 0 per non calcolarli. [daN/cm²]
CC,s: coefficiente di compressione vergine CC al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.
CC,i: coefficiente di compressione vergine CC al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.
CR,s: coefficiente di ricomprensione CR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.
CR,i: coefficiente di ricomprensione CR al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 0 per non calcolarli. Il valore è adimensionale.
E0,s: indice dei vuoti E0 al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione. Il valore è adimensionale.
E0,i: indice dei vuoti E0 al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione. Il valore è adimensionale.
OCR,s: indice di sovraconsolidazione OCR al livello superiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 1 per terreno NC. Il valore è adimensionale.
OCR,i: indice di sovraconsolidazione OCR al livello inferiore per calcolo cedimenti di consolidazione; 1 per terreno NC. Il valore è adimensionale.

Terreno	Sp.	Kor,i	Kor,s	Kve,i	Kve,s	Eel,s	Eel,i	Eed,s	Eed,i	CC,s	CC,i	CR,s	CR,i	E0,s	E0,i	OCR,s	OCR,i
coltre Laigueglia	300	1.5	1	1	1	900	900	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
substrato alterato Laigueglia	1200	1.5	1	1	1	1032	1032	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

E' il sondaggio desunto dalla relazione geologica allegata al progetto e tale da caratterizzare la stratigrafia dell'areale di intervento.
I profili stratigrafici, le sezioni geologiche rappresentative e le caratteristiche geomeccaniche utilizzate derivano dalla indicazioni della suddetta relazione geologica

6 Caratterizzazione geotecnica dei terreni in sito

Le assunzioni fatte per determinare i parametri geotecnici caratteristici dei terreni presenti nelle sezioni geotecniche derivano dalle indicazioni direttamente fornite dal geologo e dall'applicazione di correlazioni empiriche generalmente utilizzate per caratterizzare i parametri geotecnici in zona.

6.1 Terreni

Descrizione: Descrizione o nome assegnato all'elemento.

Coesione: Coesione del terreno. [daN/cm²]

Attrito interno: Angolo di attrito interno del terreno. [deg]

Delta: Angolo di attrito all'interfaccia terreno-cla. [deg]

Adesione: Coeff. di adesione della coesione all'interfaccia terreno-cla. Il valore è adimensionale.

K0: Coefficiente di spinta a riposo del terreno. Il valore è adimensionale.

Gamma naturale: Peso specifico naturale del terreno in sito, assegnato alle zone non immerse. [daN/cm³]

Gamma saturo: Peso specifico saturo del terreno in sito, assegnato alle zone immerse. [daN/cm³]

E: Modulo elastico longitudinale del terreno. [daN/cm²]

Poisson: Coefficiente di Poisson del terreno. Il valore è adimensionale.

Descrizione	Coesione	Attrito interno	Delta	Adesione	K0	Gamma naturale	Gamma saturo	E	Poisson
coltre Laigueglia	0	30	20	1	0.5	0.0019	0.0021	900	0.3
substrato alterato Laigueglia	0.63	37	25	1	0.4	0.002	0.002	1032	0.3

7 Modellazione del sottosuolo e metodi di analisi e di verifica

Modello di fondazione

Le travi di fondazione sono modellate tramite uno specifico elemento finito che gestisce il suolo elastico alla Winkler. Le fondazioni a plinto superficiale sono modellate con un numero elevato di molle verticali elastiche agenti su nodi collegati rigidamente al nodo centrale. Le fondazioni a platea sono modellate con l'inserimento di molle verticali elastiche agenti nei nodi delle mesh.

Il palo di fondazione è stato modellato tramite il frazionamento in più aste verticali. Nei nodi di suddivisione vengono posizionate molle assialsimmetriche 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 scorrimento

La verifica di scorrimento della fondazione superficiale viene eseguita considerando le caratteristiche del terreno immediatamente sottostante al piano di posa della fondazione, ricavato in base alla stratigrafia associata all'elemento, e trascurando, a favore di sicurezza, l'eventuale spinta passiva laterale. Qualora l'elemento in verifica sia formato da parti non omogenee tra loro, ad esempio una travata in cui le singole travi di fondazione siano associate ad un differente sondaggio, verranno condotte verifiche geotecniche distinte sui singoli tratti.

Lo scorrimento di una fondazione avviene nel momento in cui le componenti delle forze parallele al piano di contatto tra fondazione e terreno vincono l'attrito e la coesione terreno-fondazione e, qualora fosse presente, la spinta passiva laterale.

Il coefficiente di sicurezza a scorrimento si ottiene dal rapporto tra le forze stabilizzanti di progetto (Rd) e quelle instabilizzanti (Ed):

$$Rd = (N \cdot \tan(\varphi) + c_a \cdot B \cdot L + \alpha \cdot S_p) / \gamma_{Rs}$$

$$|Ed = \sqrt{T_x^2 + T_y^2}$$

dove:

N = risultante delle forze normali al piano di scorrimento;

Tx, Ty = componenti delle forze tangenziali al piano di scorrimento;

tan(phi) = coefficiente di attrito terreno-fondazione;

ca = aderenza alla base, pari alla coesione del terreno di fondazione o ad una sua frazione;

B, L = dimensioni della fondazione;

alpha = fattore di riduzione della spinta passiva;

Sp = spinta passiva dell'eventuale terreno laterale;

gamma rs= fattore di sicurezza parziale per lo scorrimento;

Le normative prevedono che il fattore di sicurezza a scorrimento FS=Rd/Ed sia non minore di un prefissato limite.

Verifica di capacità portante

La verifica di capacità portante della fondazione superficiale 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.

Qualora l'elemento in verifica sia formato da parti non omogenee tra loro, ad esempio una travata in cui le singole travi di fondazione siano associate ad un differente sondaggio, verranno condotte verifiche geotecniche distinte sui singoli tratti.

La verifica viene fatta raffrontando la portanza di progetto (Rd) con la sollecitazione di progetto (Ed); 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 (Rd) ed il carico agente (Ed), 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.

La determinazione della capacità portante ai fini della verifica è stata condotta secondo il metodo di EC7+Richards, che viene descritto nei paragrafi successivi.

Influenza degli strati sulla capacità portante

Le formulazioni utilizzate per la portanza prevedono la presenza di uno stesso terreno nella zona interessata dalla potenziale rottura. In prima approssimazione lo spessore di tale zona è pari a:

$$H = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \tan(45^\circ + \phi / 2)$$

In presenza di stratificazioni di terreni diversi all'interno di tale zona, il calcolo diventa più complesso; non esiste una metodologia univoca per questi casi, differenti autori hanno proposto soluzioni diverse a seconda dei casi che si possono presentare. In prima approssimazione, nel caso di stratificazioni, viene trovata una media delle caratteristiche dei terreni, pesata sullo spessore degli strati interessati. Nel caso in cui il primo strato incontrato sia coesivo viene anche verificato che la compressione media agente sulla fondazione non superi la tensione limite di espulsione, circostanza che provocherebbe il rifluimento del terreno da sotto la fondazione, rendendo impossibile la portanza.

La tensione limite di espulsione q_{ult} per terreno coesivo viene calcolata come:

$$q_{ult} = 4c + q$$

dove c è la coesione e q è il sovraccarico agente sul piano di posa.

Influenza del sisma sulla capacità portante

La capacità portante nelle combinazioni sismiche viene valutata mediante l'estensione di procedure classiche al caso di azione sismica.

L'effetto inerziale prodotto dalla struttura in elevazione sulla fondazione può essere considerato tenendo conto dell'effetto dell'inclinazione (rapporto tra forze T parallele al piano di posa e carico normale N) e dell'eccentricità (rapporto tra momento M e carico normale N) delle azioni in fondazione, e produce variazioni di tutti i coefficienti di capacità portante del carico limite, oltre alla riduzione dell'area efficace.

L'effetto cinematico si manifesta per effetto dell'inerzia delle masse del suolo sotto la fondazione come una riduzione della resistenza teorica calcolata in condizioni statiche; tale riduzione è in funzione del coefficiente sismico orizzontale k_h, cioè dell'accelerazione normalizzata massima attesa al suolo, e delle caratteristiche del suolo. L'effetto è più marcato su terreni granulari, mentre nei suoli coesivi è poco rilevante.

Per tener conto nella determinazione del carico limite di tali effetti inerziali vengono introdotti nelle combinazioni sismiche anche i fattori correttivi e (earthquake), valutati secondo **Paolucci e Pecker**:

$$e_q = \left(1 - \frac{k_h}{\lg \phi}\right)^{0.35}; \quad e_c = 1 - 0.32 \cdot k_h; \quad e_\gamma = e_q$$

Verifica di capacità portante pali

La verifica di capacità portante del palo viene eseguita raffrontando la portanza di progetto (Rd) con la sollecitazione di progetto (Ed), valutata come sforzo normale agente alla sommità del palo, compreso il peso proprio del palo. La portanza di progetto (Rd) è pari alla portanza verticale calcolata, mediante una formulazione analitica, divisa per opportuni fattori di sicurezza parziali.

La portanza verticale complessiva calcolata è data dalla somma del contributo laterale+punta, o del solo contributo laterale nel caso di palo in trazione.

La **capacità portante laterale** viene calcolata con una formulazione statica, in funzione della coesione e dell'attrito laterale dei terreni incontrati lungo il fusto del palo, valutata nel punto medio di ciascuno strato omogeneo presente. Il valore complessivo laterale è data dalla sommatoria:

$$P_v = \sum_i (\alpha \cdot c + k_0 \cdot p_v \cdot \tan \phi) \cdot S_i$$

dove si sono indicati con:

k₀ il coefficiente di spinta a riposo dell'i-esimo terreno della stratigrafia

p_v= Sum gamma_i*h_i, la pressione litostatica verticale efficace nel punto di calcolo

po=k₀ * p_v, la pressione litostatica orizzontale efficace nel punto di calcolo

c, phi la coesione e l'angolo di attrito interno dell'i-esimo terreno

alpha il coefficiente di adesione della coesione all'interfaccia terreno-pali (usualmente tra 0.5÷0.8)

D il diametro di perforazione del palo

Si la superficie laterale dell'i-esimo tratto di calcolo (Pi * D * h_i)

La capacità portante di punta del palo viene presa pari al prodotto tra la pressione limite di rottura in punta palo, dichiarata espressamente o calcolata con formule analitiche di letteratura, e l'area della punta del palo. Nei pali in cui si è calcolata la pressione limite con formule analitiche in funzione della

stratigrafia sottostante la punta del palo, questa viene calcolata utilizzando la formulazione proposta da Vesic per la capacità portante alla punta dei pali. Con tale formulazione i fattori di capacità portante sono:

$$N'_q = \frac{3e^{(\pi/2 - \phi) \tan \phi}}{3 - \sin \phi} \cdot \left[\operatorname{tg} \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right]^2 \cdot I_{rr} \left[\frac{4 \sin \phi}{3(1 + \sin \phi)} \right]$$

$$N'_c = (N'_q - 1) \cdot \cot \phi$$

L'indice di rigidezza ridotto I_{rr} tiene conto della deformazione volumetrica ϵ_v raggiunta dal terreno in condizioni prossime alla rottura e riduce l'indice di rigidezza I_r teorico. Secondo la formulazione proposta da Vesic quest'ultimo è pari al rapporto tra modulo di elasticità tangenziale G e resistenza al taglio del terreno (Fondazioni, J.E.Bowles).

$$I_r = \frac{G}{c + q \cdot \operatorname{tg} \phi}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + \epsilon \cdot I_r}$$

Il valore di portanza alla punta è quindi:

$$P_{pu} = A_p \cdot [c \cdot N'_c + \eta \cdot q \cdot (N'_q - 1)]$$

dove si sono indicati con:

A_p , l'area della punta del palo

c , ϕ la coesione e l'angolo di attrito interno del terreno sottostante la punta

η , coefficiente indicato da Vesic, dato da: $(1 + 2 \cdot K_0)/3$

q sforzo verticale efficace (pressione geostatica) agente alla profondità della punta

A favore di sicurezza tale formulazione trascura il termine N'_q e considera il peso proprio del palo.

In condizioni non drenate ($c=c_u$ e $\phi=0$) il termine N'_q diventa pari a 1, mentre il termine N'_c viene assunto pari all'usuale valore (9) utilizzato per pali. In tali condizioni la portanza alla punta si semplifica in:

$$P_{pu} = A_p \cdot [9 \cdot c_u]$$

8 Verifiche delle fondazioni

Per la verifica degli elementi strutturali si rimanda all'allegato alla relazione di calcolo.

8.1 Pressioni terreno in SLU

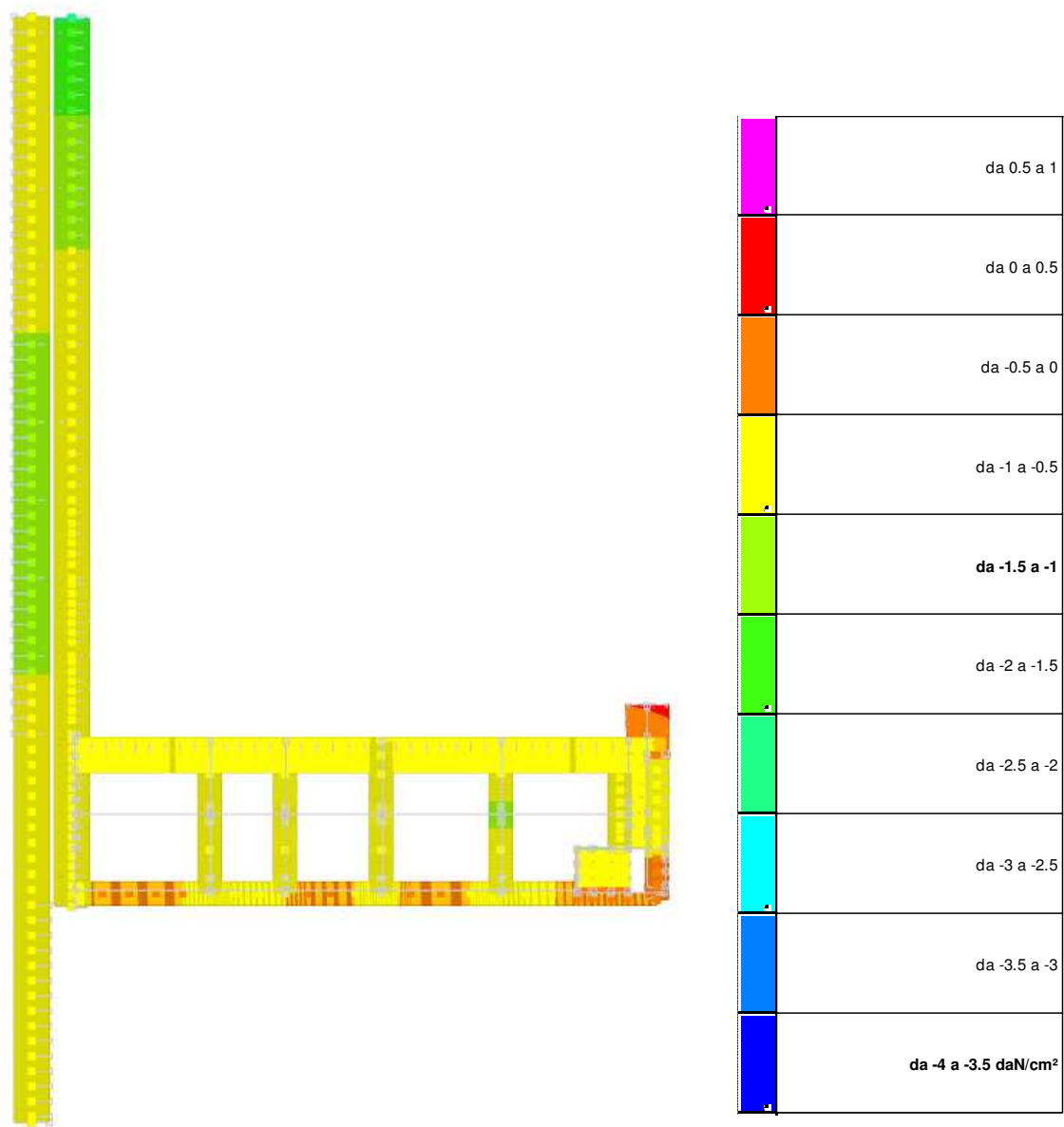


Immagine: rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglia SLU.

Nodo: Nodo che interagisce col terreno.

Ind.: Indice del nodo.

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

Cont.: 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/cm²]

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

Cont.: Nome breve della condizione o combinazione di carico a cui si riferisce la pressione massima.

uz: Spostamento minimo verticale del nodo. [cm]

Valore: Pressione massima sul terreno del nodo. [daN/cm²]

Compressione estrema massima **-2.24** al nodo di indice 820, di coordinate x = -547, y = 10500, z = -150, nel contesto SLU 17.

8.2 Pressioni terreno in SLVf/SLUEcc

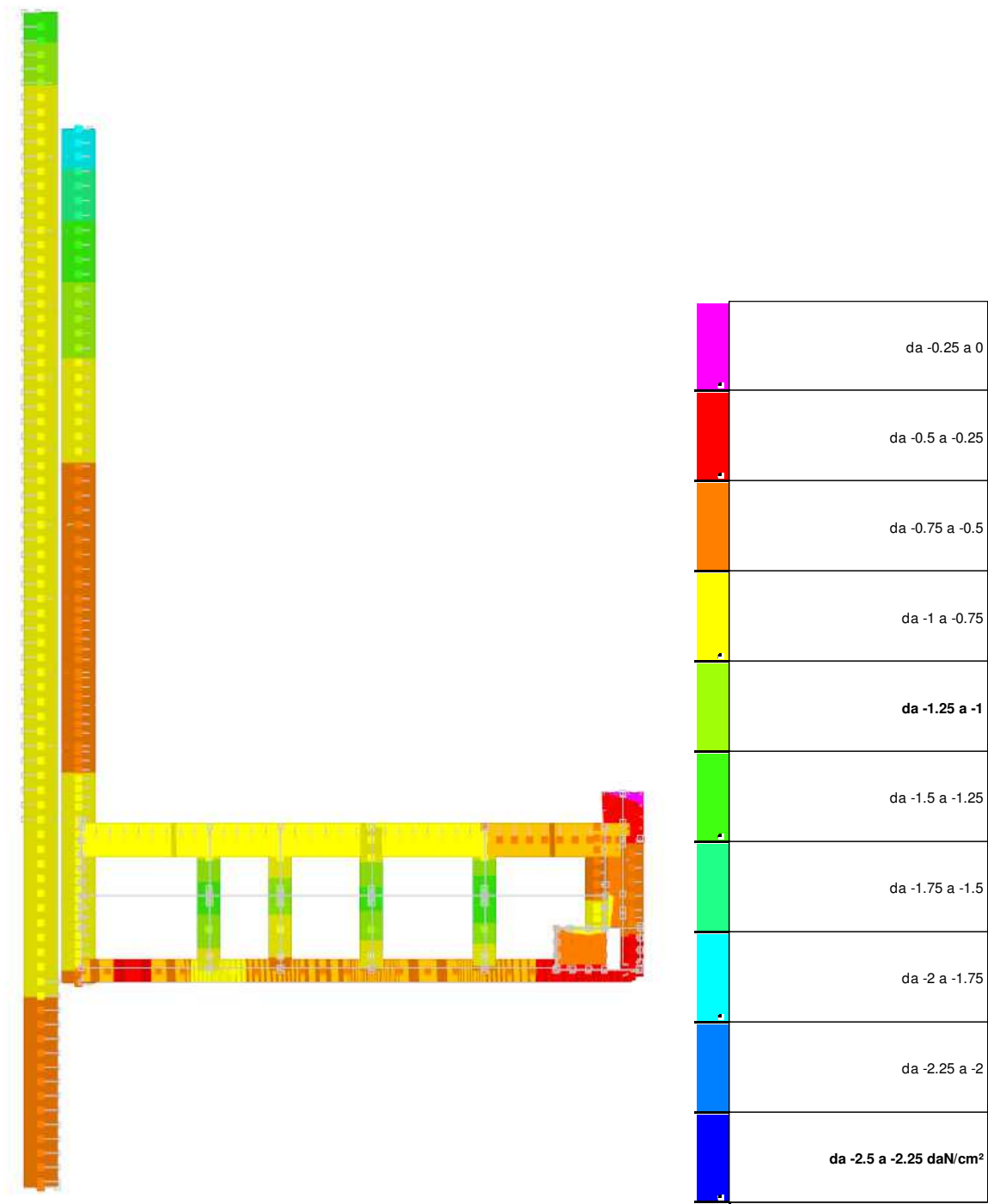


Immagine: rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglie SLVf/SLUEcc.

- Nodo:** Nodo che interagisce col terreno.
Ind.: Indice del nodo.
Pressione minima: Situazione in cui si verifica la pressione minima nel nodo.
Cont.: 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/cm²]
Pressione massima: Situazione in cui si verifica la pressione massima nel nodo.
Cont.: Nome breve della condizione o combinazione di carico a cui si riferisce la pressione massima.
uz: Spostamento minimo verticale del nodo. [cm]
Valore: Pressione massima sul terreno del nodo. [daN/cm²]

Compressione estrema massima **-1.92** al nodo di indice 829, di coordinate x = -547, y = 10500, z = -150, nel contesto SLV fondazioni 16.

8.3 Pressioni terreno in SLE/SLD

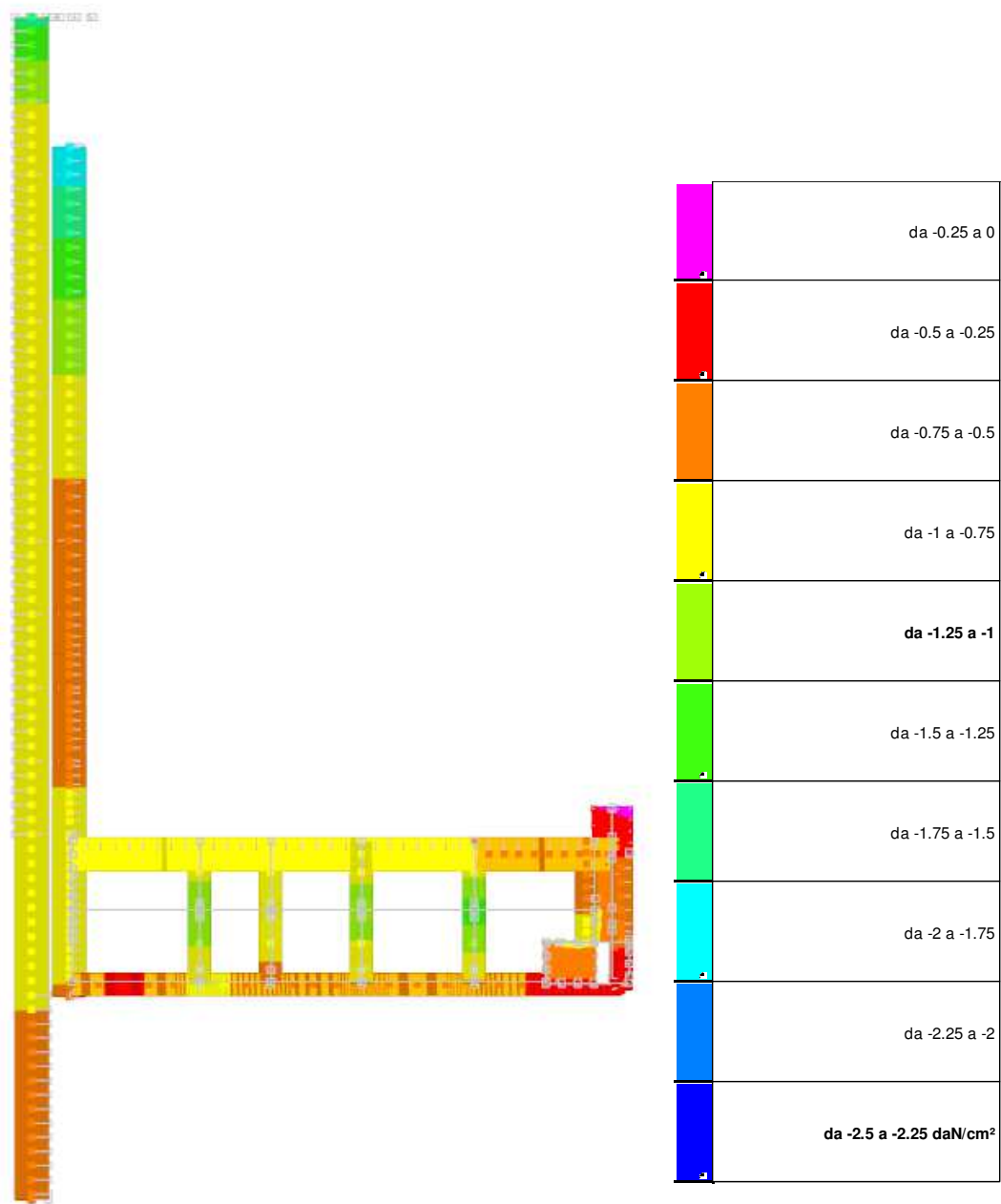


Immagine: rappresentazione in pianta delle massime compressioni sul terreno in famiglie SLE/SLD.

Nodo: Nodo che interagisce col terreno.

Ind.: Indice del nodo.

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

Cont.: 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/cm²]

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

Cont.: Nome breve della condizione o combinazione di carico a cui si riferisce la pressione massima.

uz: Spostamento minimo verticale del nodo. [cm]

Valore: Pressione massima sul terreno del nodo. [daN/cm²]

Compressione estrema massima **-1.82** al nodo di indice 829, di coordinate x = -547, y = 10574, z = -150, nel contesto SLO 16.

Il Tecnico