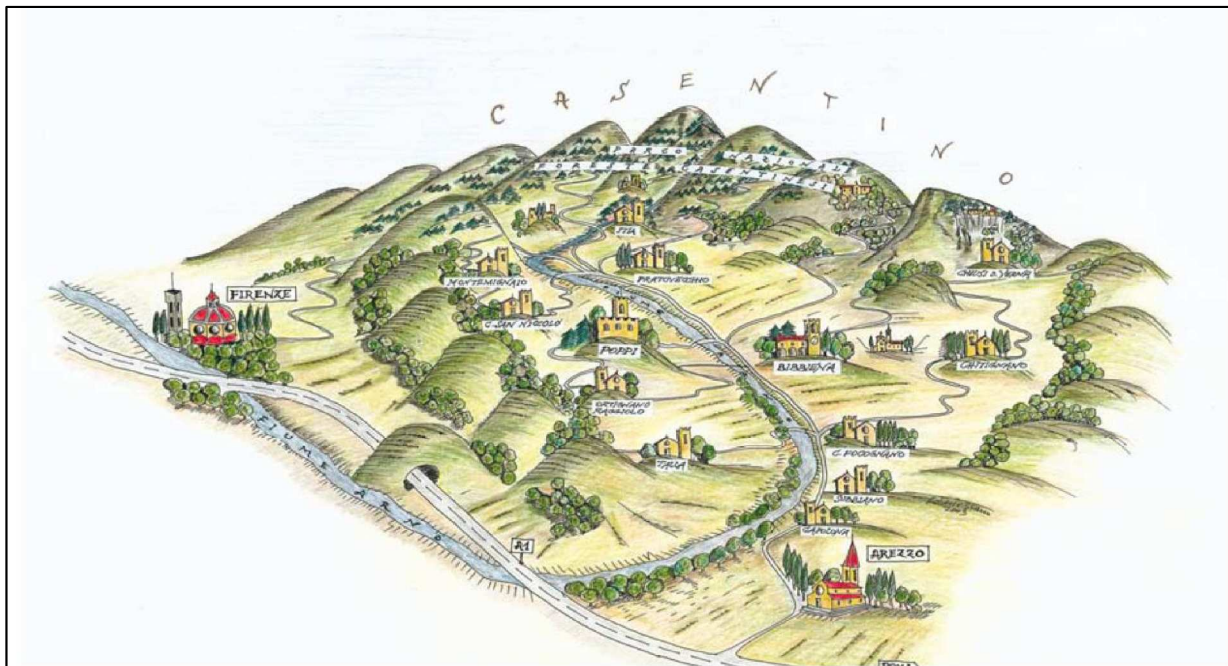


UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO



AREA TECNICA Via Roma, 203 - 52014 Ponte a Poppi (AR)

SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA - TRATTO FIUME ARNO CASENTINO 2° STRALCIO - LOTTO 2 OPERE COMPLEMENTARI



PROGETTO ESECUTIVO

Allegato n°

B.1.4

RELAZIONI SPECIALISTICHE

INTERVENTO 15: PASSERELLA 6 SU TORRENTE ARCHIANO

RELAZIONE STRUTTURALE: FONDAZIONI

RTP:



Via D. TURAZZA, 48/D - 35128 PADOVA
Tel. 049/8715216 - Fax 049/8079157
email: esseia@esseia.it - pec: esseia@pec.it

SIA Studio Ingegneria & Architettura



35128 PADOVA Via D. Turazza, 48 scala D. int. 5-6
Tel. 049/8715216- Fax 049/8079157 E-mail siaing@tin.it
31015 CONEGLIANO (TV) Corte delle Rose, 68
Tel. 0438/411745- Fax 0438/24678 E-mail siaprog@tin.it

Progettazione:



Ing. CRISTIAN CONCOLLATO

Coordinamento della progettazione:



Ing. DANILLO TOMASELLA

Pratica:

P017-2021_ESE_OC

File:

P017-2021_ESE-3°F_OC_B-01-04

Revisione:

00

Data:

DICEMBRE 2021

Revisione:

Data:

Operatore:

Ing. CRISTIAN CONCOLLATO

Verificato:

Ing. DANILLO TOMASELLA

Approvato:

Ing. DANILLO TOMASELLA

Responsabile del Procedimento:

Ing. MAURO CASASOLE

UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO



PROGETTO ESECUTIVO

**SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI
DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA
TRATTO FIUME ARNO CASENTINO
2° STRALCIO – LOTTO 2**

INTERVENTI DI 3° FASE

OPERE COMPLEMENTARI

***PASSERELLE CICLO-PEDONALI:
RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI
Int. 15: Passerella 6 su Torrente Archiano***

INDICE

PREMESSE	3
1 – INTRODUZIONE	4
1.1 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
1.2 - BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	5
1.3 – IMPALCATO.....	6
1.4 - MATERIALI STRUTTURALI	6
2 – ANALISI DEI CARICHI	7
2.1 – PARAMETRI DI RIFERIMENTO.....	7
2.2 – PARAMETRI SISMICI	7
2.3 – PESI PROPRI E CARICHI NON STRUTTURALI.....	10
2.4 – SCARICHI DELLA SOVRASTRUTTURA SUGLI APPOGGI.....	11
3 – DIMENSIONAMENTO OPERE DI FONDAZIONE	13
3.1 – CONSIDERAZIONI PROGETTUALI.....	13
3.2 – STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO	14
3.3 – VALORI CARATTERISTICI DEI TERRENI	17
4 – VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI	18
4.1 – VERIFICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE	18
4.2 – VERIFICA DEL PARAGHIAIA	19

PREMESSE

La presente "Relazione di calcolo delle opere di fondazione" si pone a corredo del Progetto Esecutivo riguardante la realizzazione di alcuni tratti del percorso ciclopedonale che rappresenta una parte del più ampio progetto "Sistema integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del Sentiero della Bonifica", classificato come opera chiave nell'ambito della rete di interesse regionale individuata dal Piano Regionale Integrato Infrastrutture e Mobilità (P.R.I.I.M.) della Regione Toscana, che trova attuazione nell'accordo di programma fra la stessa Regione Toscana e ANCI Toscana, insieme alla Città Metropolitana di Firenze e alle Province di Arezzo, Pisa e Siena, oltre a tutti i Comuni interessati.

Lo stralcio funzionale (secondo) fa parte di un più ampio progetto di mobilità ciclabile, il cui Progetto Preliminare complessivo è stato approvato con Deliberazione di Giunta dell'Unione di Comuni Montani del Casentino n. 111 del 21.09.2016, quindi il Progetto Definitivo complessivo è stato approvato con Deliberazione di Giunta dell'Unione di Comuni Montani del Casentino n. 19 del 18.02.2019.

Nello specifico la realizzazione degli interventi del presente progetto riguarda un tratto di percorso ciclabile a monte del centro abitato di Poppi in destra idraulica al Fiume Arno, un tratto di percorso ciclabile tra Rassina e Giovi in sinistra idraulica ed il completamento di tratti di percorso non compresi nei Lotti precedenti.

All'interno della generalità delle opere di progetto, è prevista la realizzazione di passerelle a struttura portante in acciaio:

Interventi di 1° Fase:

- intervento 21: passerella 9 su fosso dei Bagnacci in Comune di Castel Focognano;
- intervento 10: passerella 3 su Fosso la Bora in Comune di Poppi;

Interventi di 2° Fase:

- intervento 7: passerella 1 su Torrente Solano in Comune di Poppi;
- intervento 9: passerella 2 su Fosso Rovella (Roile) in Comune di Poppi;
- intervento 11: passerella 4 su Fosso Fossatino in Comune di Poppi;
- intervento 12: passerella 5 su Torrente Sova in Comune di Poppi;
- intervento 24: passerella 10 sul Fiume Arno a Calbenzano in Comune di Subbiano;

Interventi di 3° Fase:

- **Intervento 15: passerella 6 su Torrente Archiano in Comune di Bibbiena.**

Sulla verifica del manufatto in oggetto verte la presente Relazione di Calcolo delle opere di fondazione.

1 – INTRODUZIONE

1.1 - Normativa di riferimento

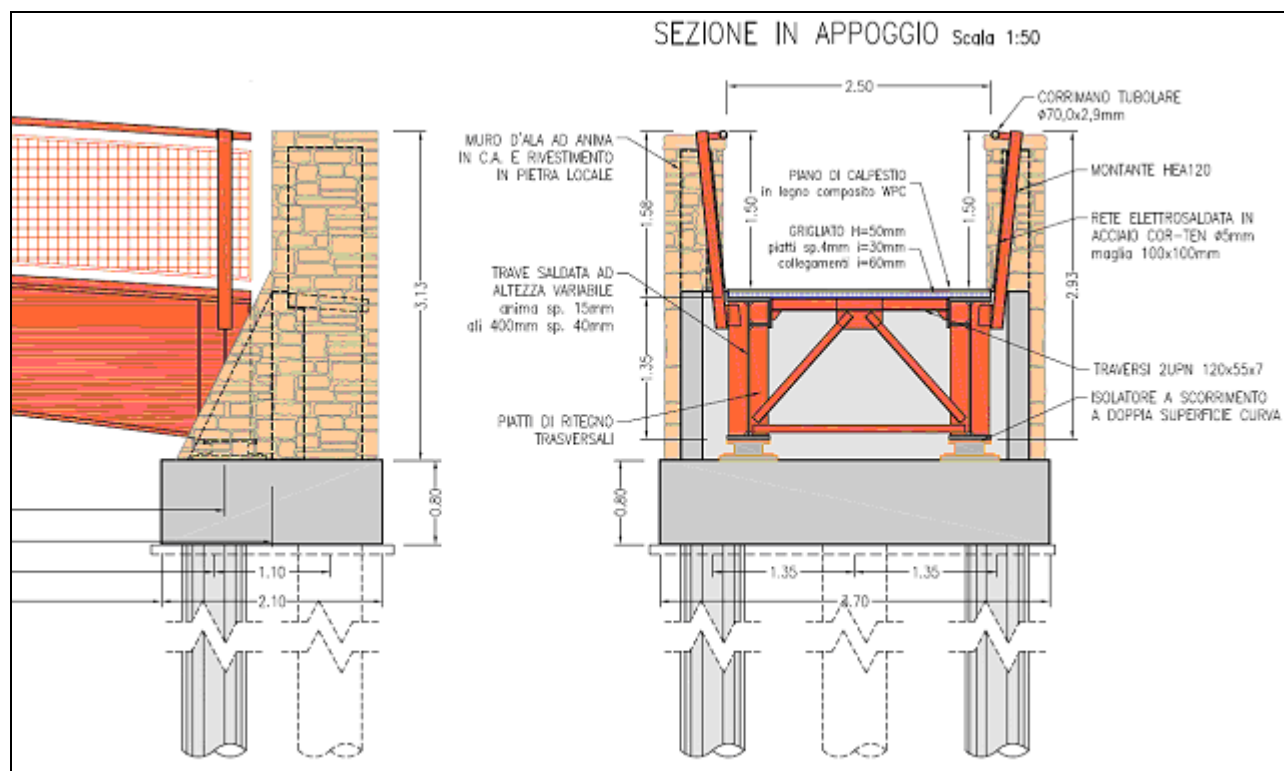
- D.M. 11/3/88 : "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- D.M. 04.05.1990: "Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali.
- Circ. Min. LL.PP. 25/02/1991 n.34233: "L.2/2/74 – art.1 – D.M. 4/5/90 - Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali"
- D.M. 14/2/92 : "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- D.M. 9/1/96 : "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- D.M. 16/1/96 : Norme tecniche relative ai "Criteri generali per le verifiche di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- D.M. 16/1/96 : "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- Circ. Min. LL. PP. 15/10/96 n. 252 : "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- Circ. Min. LL. PP. 4/7/96 n. 156 : "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- Circ. Min. LL. PP. 10/4/97 n. 65/AA.GG. : "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche relative alle costruzioni in zone sismiche"
- Ordinanza del P.C.M. 20/3/2003 n.3274: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica"
- Ordinanza del P.C.M. 2/10/2003 n.3316: "Modifiche ed integrazioni all' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20/3/2003 n.3274"
- D.M. 14.09.2005: "Testo unitario – Norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. LL.PP 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le costruzioni"
- Circolare M. LL.PP. 7 marzo 2008 "Istruzione per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni"

L'intervento ricade nella fattispecie di cui al D.M. LL.PP 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni" Art. 2. "Ambito di applicazione e disposizioni transitorie" in quanto il progetto definitivo ed esecutivo veniva affidato dall'Unione dei Comuni del Casentino con Determinazione n. 1579 del 29/12/2017, quindi precedentemente all'entrata in vigore del su detto Decreto.

1.2 - Breve descrizione dell'intervento

Nel dettaglio si hanno le seguenti caratteristiche dimensionali, al dettaglio strutturale delle quali si rimanda nel seguito della Relazione:

- Le strutture sono costituite da n. 2 travi longitudinali ad altezza variabile, realizzate mediante piatti saldati in acciaio COR-TEN, portanti su semplice appoggio, ad interasse m 2,20, luce netta tra gli appoggi ml 30,00, collegate da traversi in profili HEA120, controventate.
- Gli appoggi sono costituiti da isolatori a scorrimento a doppia superficie curva, autocentranti, spostamento massimo ± 200 mm.
- In condizioni statiche, le forze orizzontali sono assorbite da guide a scorrimento longitudinale libero e scorrimento trasversale impedito da perni cedevoli ($SLU_{rottura} = 100$ kN).
- Il piano di calpestio è realizzato in grigliato strutturale $i=30 \times 60$ $h=50$ mm con sovrapposte doghe in legno composito WPC.
- I montanti sono costituiti da profili HEA120, corrimano in profilo tubolare $\phi 70,0$ mm sp. 2.9 mm, con interposta rete elettrosaldata di protezione in filo $\phi 5$ mm maglia 10×10 cm.
- Le spalle sono costituite da strutture in calcestruzzo armato interrata, paraghiaia, fondazione formata da pali DN 600, di lunghezza variabile a seconda delle caratteristiche geotecniche del terreno in sito, con ali di contenimento fuori terra rivestite in pietra locale.



Sezione tipologica

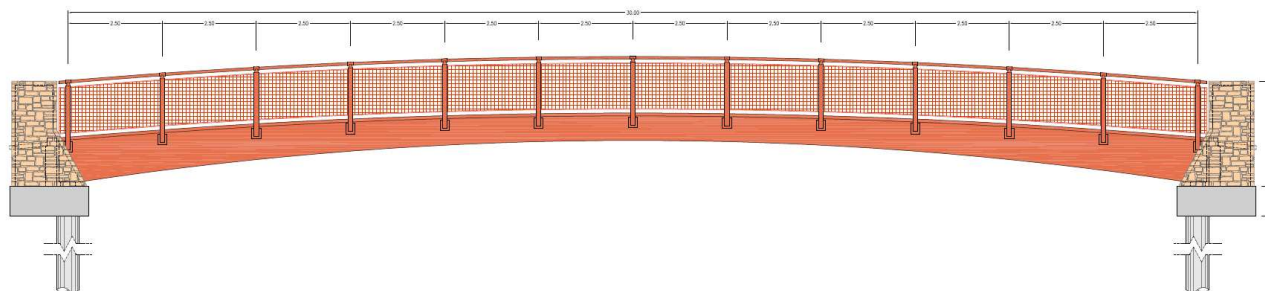
1.3 – Impalcato

Trattasi di una struttura costituita da 2 travi a doppio T ad altezza variabile, realizzate mediante piatti saldati:

- Sezione in appoggio: - altezza 1350mm – ali sp. 40mm - anima sp. 15mm;
- Sezione in mezzeria: - altezza 880mm – ali sp. 40mm - anima sp. 15mm

ad interasse m 2,20, luce netta tra gli appoggi m 30,00 collegate da traversi in profili HEA120, controventate.

Il piano di calpestio è costituito da grigliato strutturale $i=30 \times 60$ $h=50$ mm, con sovrapposte doghe il legno composito WPC, corrimano in profilo tubolare ϕ 70,0mm sp. 2.9mm su montanti HEA120, interposta rete elettrosaldata di protezione in filo ϕ 5mm maglia 10 x 10 cm.



Prospetto

1.4 - Materiali strutturali

Getti di calcestruzzo per opere di fondazione C25/30:

$R_{ck} = 300$ daN/cm²

$f_{ck} = 250$ daN/cm²

$f_{cdu} = 160$ daN/cm²

$f_{cde} = 250$ daN/cm²

$E = 311.770$ daN/cm²

Getti di calcestruzzo per opere in elevazione C28/35:

$R_{ck} = 350$ daN/cm²

$f_{ck} = 280$ daN/cm²

$f_{cdu} = 180$ daN/cm²

$f_{cde} = 280$ daN/cm²

$E = 336.750$ daN/cm²

Acciaio d'armatura per opere in c.a. B450 (Fe B 44 k):

$f_{tk} = 5400$ daN/cm²

$f_{yk} = 4300$ daN/cm²

$f_{yd} = 3740$ daN/cm²

$E = 2.100.000$ daN/cm²

2 – ANALISI DEI CARICHI

2.1 – Parametri di riferimento

Per il calcolo delle sollecitazioni strutturali si assumeranno i seguenti parametri:

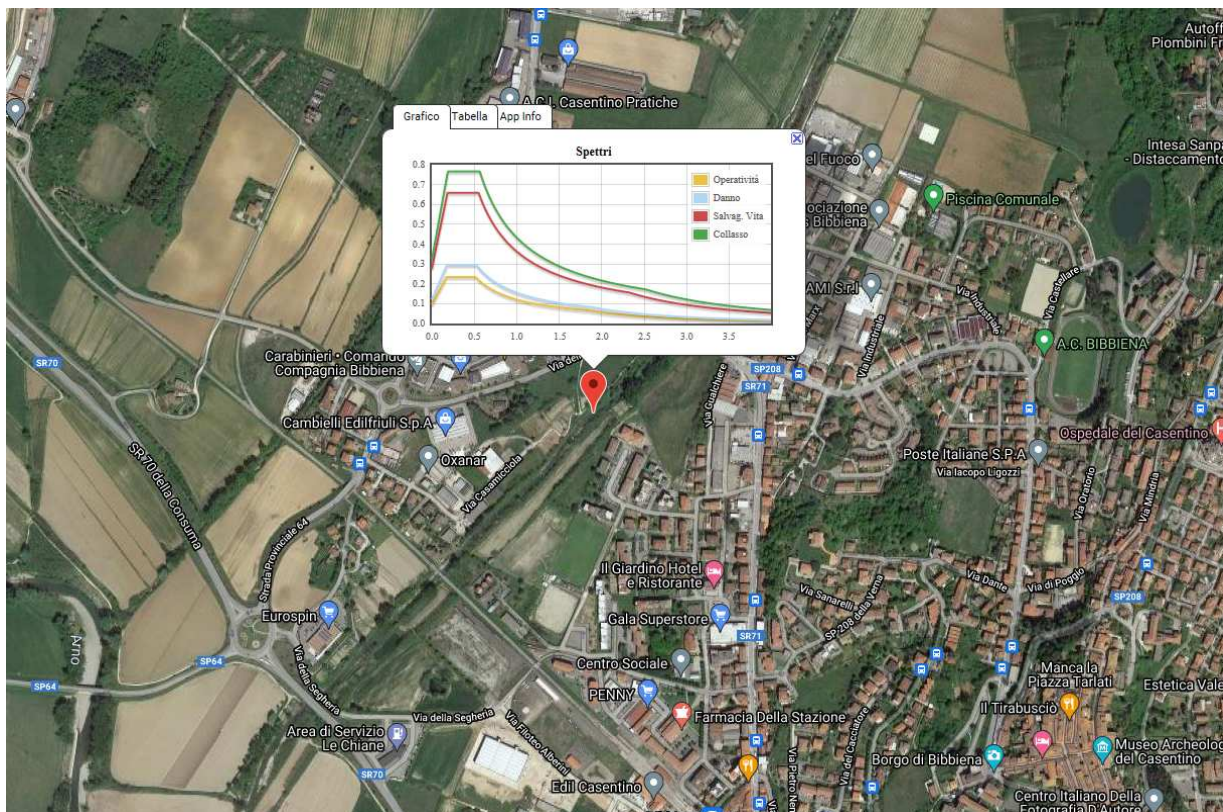
- Tipo di costruzione = 2
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale
- Vita nominale $V_n = 50$ anni
- Classe d'uso = II
Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Coefficiente $C_u = 1,0$
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50 anni
- Categoria di sottosuolo = E
Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.
- Coefficiente topografico = T1

2.2 – Parametri sismici

Sulla base delle coordinate WGS84 del sito:

Lat: 43.69994916

Long: 11.80783366



Localizzazione dell'intervento

si ricavano i Parametri di Pericolosità Sismica:

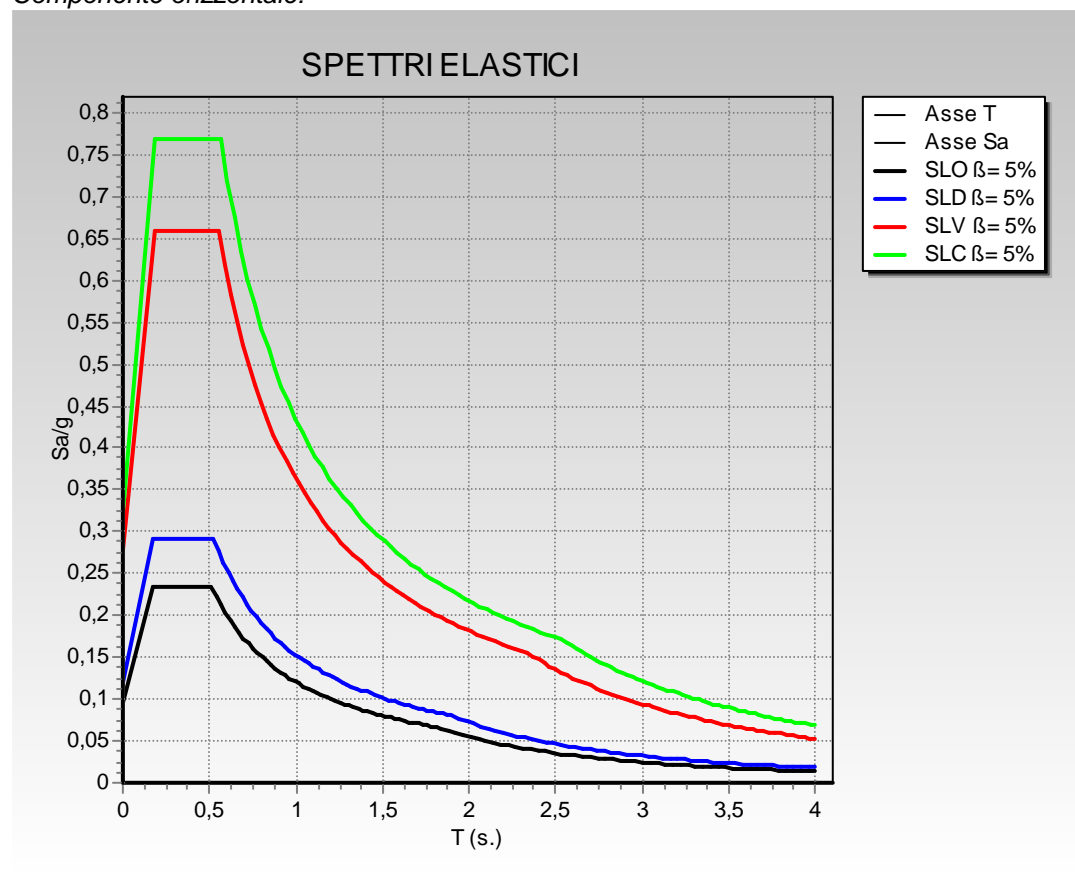
Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.059	2.485	0.263
Danno	50	0.075	2.460	0.273
Salvaguardia Vita	475	0.181	2.385	0.294
Prevenzione Collasso	975	0.230	2.386	0.306

dove:

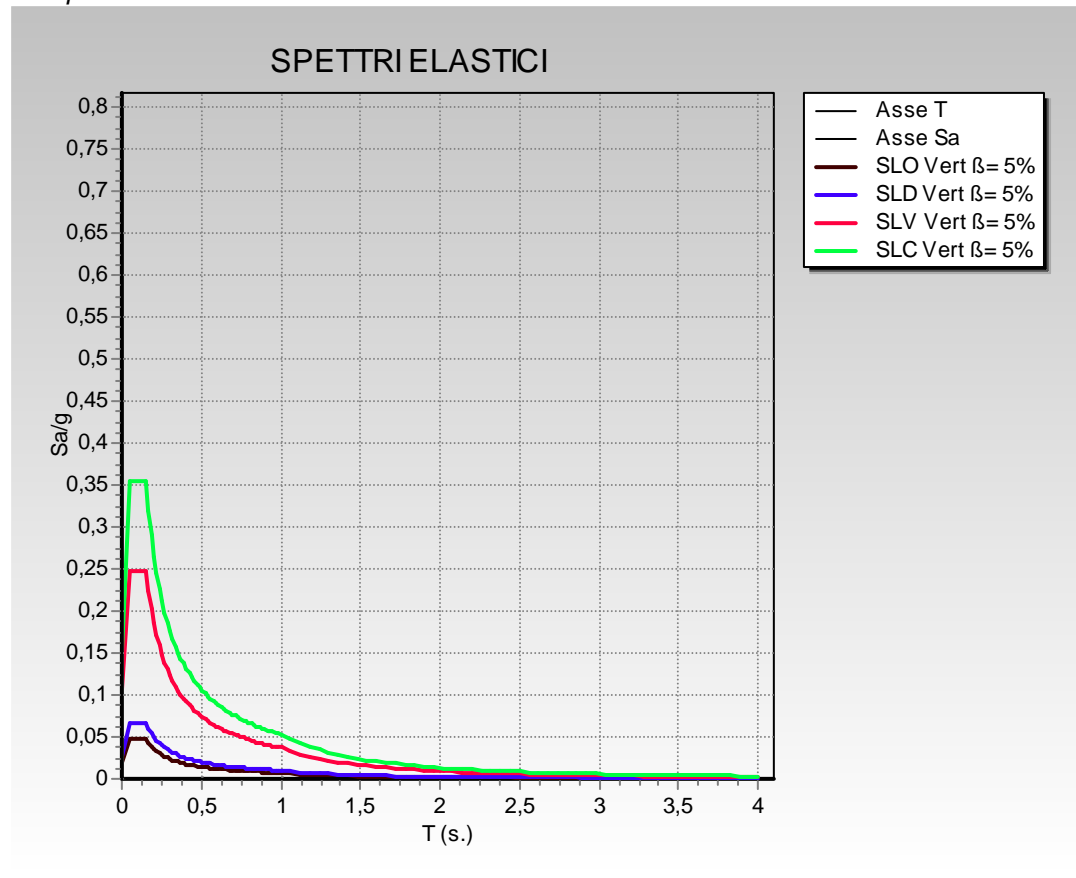
- T_r = Periodo di ritorno dell'azione sismica [anni]
- A_g = Accelerazione orizzontale massima al suolo [g]
- F_0 = Fattore di amplificazione per spettro orizzontale
- T^*_c = Periodo spettrale di riferimento [s]

Spettri di riferimento:

Componente orizzontale:



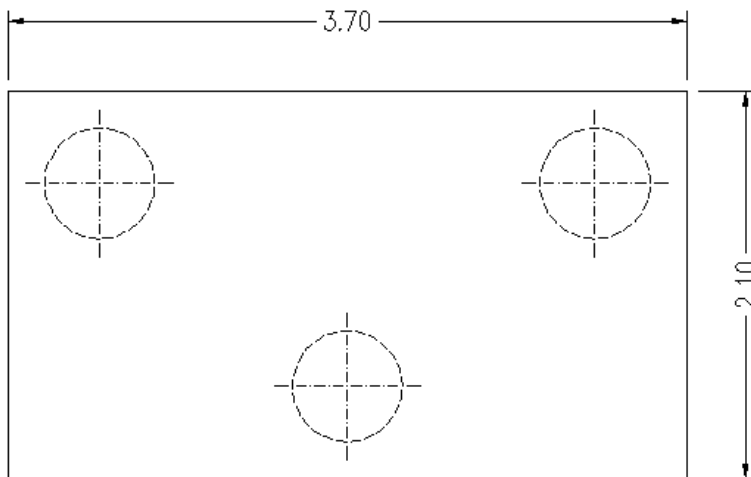
Componente verticale



2.3 – *Pesi propri e carichi non strutturali*

I pesi propri dei materiali costituenti le fondazioni sono ricavate in automatico dal software:

- Batolo di fondazione, dimensioni m 3,70 x 2,10, sp. 80 cm;

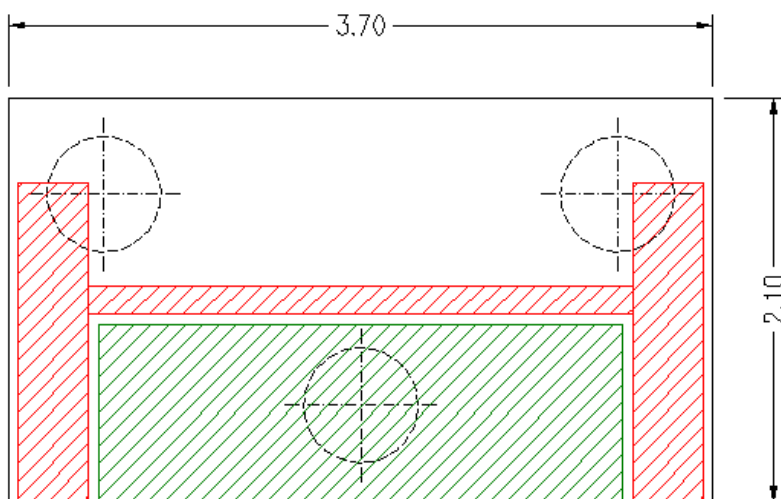


I carichi non strutturali sono inseriti come linee di carico:

- Paraghiaia, altezza cm 160 spessore cm 30, equivalente a 1.200 daN/ml;
- Ali, altezza cm 310 spessore cm 55, equivalente a 4.265 daN/ml;

Il peso del terreno sul batolo di fondazione è inserito come area di carico:

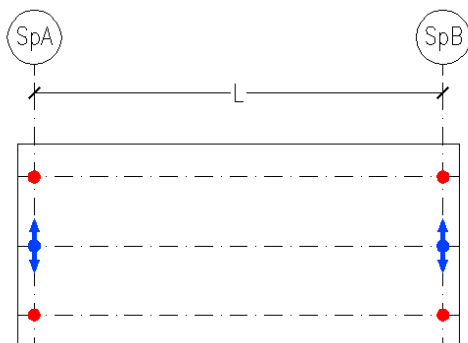
- Rilevato sul retro del paraghiaia, altezza cm 160, equivalente a 2.880 daN/mq;



2.4 – Scarichi della sovrastruttura sugli appoggi

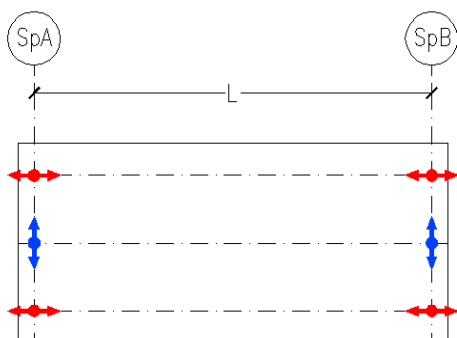
I carichi permanenti ed accidentali assunti alla base del calcolo sono ricavati dall'allegata "Relazione di Calcolo Strutturale: impalcato", a cui si fa riferimento per quanto concerne il trasferimento dei carichi sulle fondazioni.

Combinazioni statiche



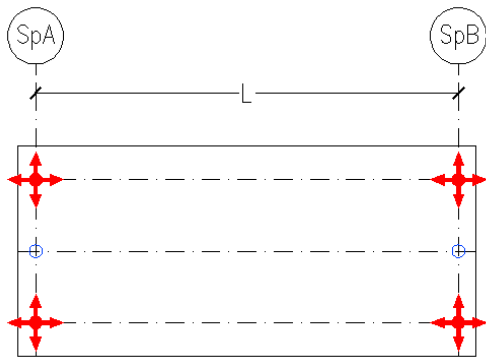
		1,35 PP + 1,35 CP + 1,5 Folla			1,35 PP + 1,35 CP + 1,5 Folla + 0,9 vento			1,35 PP + 1,35 CP + 1,5 vento		
		Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)	Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)	Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)
SPALLA 1	Appoggio 1.1	0	0	27.280	0	0	25.460	0	0	10.150
	Guida 1	0	0	0	0	2.800	0	0	4.660	0
	Appoggio 1.2	0	0	27.280	0	0	29.100	0	0	16.220
SPALLA 2	Appoggio 2.1	0	0	27.280	0	0	25.460	0	0	10.150
	Guida 2	0	0	0	0	2.800	0	0	4.660	0
	Appoggio 2.2	0	0	27.280	0	0	29.100	0	0	16.220

Combinazioni sismiche: prima della rottura dei fusibili sulle guide a scorrimento longitudinale



		1,0 Sx + 0,3 Sy + 0,3 Sz			0,3 Sx + 1,0 Sy + 0,3 Sz			0,3 Sx + 0,3 Sy + 1,0 Sz		
		Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)	Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)	Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)
SPALLA 1	Appoggio 1.1	1.370	0	10.535	410	0	10.535	410	0	12.250
	Guida 1	0	3.000	0	0	10.000	0	0	3.000	0
	Appoggio 1.2	1.370	0	10.535	410	0	10.535	410	0	12.250
SPALLA 2	Appoggio 2.1	1.370	0	10.535	410	0	10.535	410	0	12.250
	Guida 2	0	3.000	0	0	10.000	0	0	3.000	0
	Appoggio 2.2	1.370	0	10.535	410	0	10.535	410	0	12.250

Combinazioni sismiche: dopo la rottura dei fusibili sulle guide a scorrimento longitudinale



		1,0 Sx + 0,3 Sy + 0,3 Sz			0,3 Sx + 1,0 Sy + 0,3 Sz			0,3 Sx + 0,3 Sy + 1,0 Sz		
		Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)	Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)	Long (SLU)	Trasv (SLU)	N (SLU)
SPALLA 1	Appoggio 1.1	1.370	410	10.535	410	1.370	10.535	410	410	12.250
	Guida 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Appoggio 1.2	1.370	410	10.535	410	1.370	10.535	410	410	12.250
SPALLA 2	Appoggio 2.1	1.370	410	10.535	410	1.370	10.535	410	410	12.250
	Guida 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Appoggio 2.2	1.370	410	10.535	410	1.370	10.535	410	410	12.250

Le combinazioni maggiormente sollecitanti si trovano quindi negli schemi 1 e 2: sulla base di tali dati verranno verificate le opere di fondazione

3 – DIMENSIONAMENTO OPERE DI FONDAZIONE

3.1 – Considerazioni progettuali

Il dimensionamento delle opere di fondazione profonda viene eseguito secondo le NTC 2008, con:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

- E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
- R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni E_d sono indicati nella Tab. 6.2.I.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R della Tab. 6.4.II delle Norme Tecniche.

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

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

Per la determinazione della portanza dei pali si utilizza la formula:

$$Q_{lim} = Q_p + Q_f$$

con: Q_p = portanza di punta

Q_f = portanza laterale

dove, per la determinazione della portanza di punta dei pali si applica la formula generale:

$$Q_p = A_p (c N_c + q_b N_q)$$

con A_p = area della sezione del palo

c = coesione del terreno

q_b = pressione litostatica del terreno all'estremità del palo

N_c, N_q = coefficienti per il calcolo della portanza di punta proposti da diversi autori (Meyerhof, Terzaghi, Hansen)

mentre la capacità portante laterale dei pali viene calcolata con l'espressione:

$$Q_f = \int_0^L P (c_a + k \cdot \sigma_v \cdot \tan \delta) dz$$

con L = lunghezza dal palo nello strato considerato

P = perimetro del palo

c_a = adesione terreno-palo

k = coefficiente di spinta del terreno

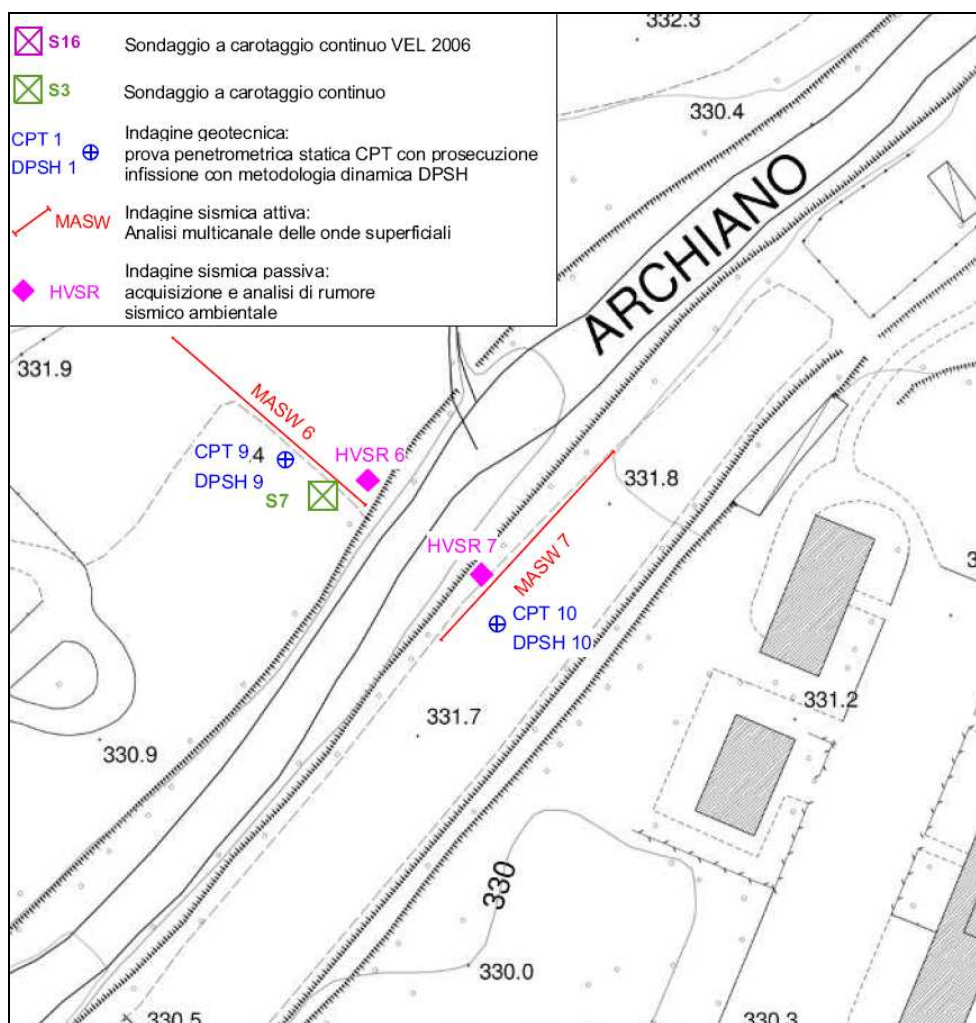
σ_v = pressione geostatica del terreno

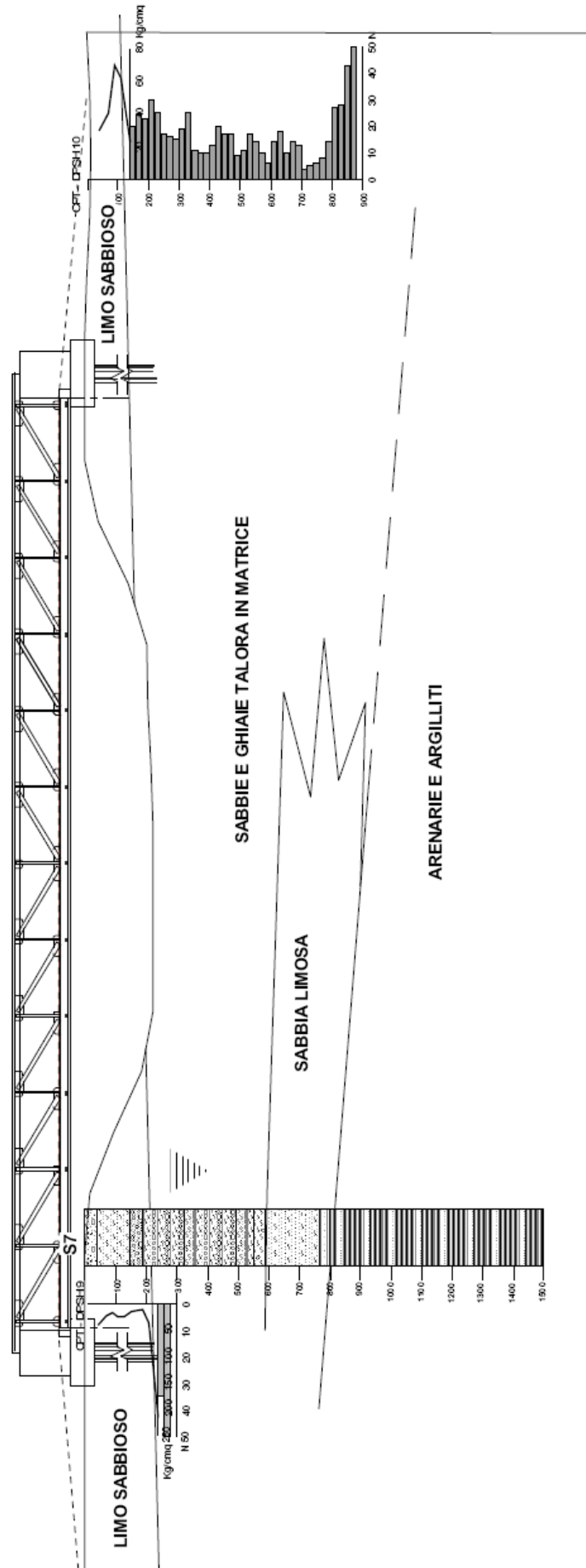
δ = angolo di aderenza terreno-palo ($=2/3 \phi$)

Nel dimensionamento geotecnico delle fondazioni, oltre al fattore riduttivo γ_r ($=1,35$ per portata di punta, $1,15$ per portata laterale) per le verifiche dei pali, si applicherà ai fini cautelativi il massimo fattore di riduzione $\xi = 1,70$.

3.2 – Stratigrafia di riferimento

Quale stratigrafia di riferimento, si assume l'esito delle prove CPT effettuate nel mese di maggio 2018, nel dettaglio riportate all'interno della Relazione Geologica.





o mm	R V	A f	Pz	metri m	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				1								0.4		Limo sabbioso di colore marrone con resti vegetali. Limo sabbioso di colore marrone.
				2						7-10-12	22	1.5		Ghiaia in abbondante matrice limoso sabbiosa di colore marrone.
				3						21-23-33	56	1.8		Ghiaia, sabbia grossolana e clasti talora in matrice argillosa di colore grigio.
				4										
				5										
				6								5.5		
				6								5.9		Sabbia limosa di colore grigio-azzurro e ghiaia con sabbia in matrice argilloso limosa di colore marrone.
				7										Sabbia fine limosa di colore grigio-azzurro.
				7						2-2-3	5			
				8								7.7		Arenarie e argilliti alterate e fratturate.
				8								8.0		Arenarie ed argilliti.
				9										
				10										
				11										
				12										
				13										
				14										
				15								15.0		

3.3 – Valori caratteristici dei terreni

Quali opere di fondazione per spalla si assumono pertanto n. 3 pali trivellati DN 600 mm della lunghezza di 13 metri, a partire dalla quota d'imposta della fondazione a quota -1,00 dal piano campagna fino a quota -14,00 dal piano campagna.

Vengono considerate le seguenti caratteristiche geotecniche degli strati attraversati, secondo la sezione stratigrafica, come riportati all'interno della Relazione Geologica:

LITOLOGIA	Peso Vol. γ t/mc	Coesione C' Kg/cm ²	Coesione non dren C_u Kg/cm ²	Ang. Attr. ϕ °	Mod Edom. E_d Kg/cm ²
Limo sabbioso	1,80	--	0,68	16,27	60
Sabbie e ghiaie talora in matrice	1,98	--	0,79	27,31	140
Sabbia limosa	2,00	0,02	0,09	22,87	77
Arenarie ed argilliti	2,30	0,97	--	18,44	250

Ai fini della sicurezza, si utilizzeranno valori di coesione drenata c' .

La verifica viene condotta calcolando una quota di falda a quota -2,00 dal piano campagna.

4 – VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI

4.1 – Verifica delle opere di fondazione

Sia il batolo che le opere di fondazione sono verificate dal punto di vista geotecnico e strutturale sulla base delle stratigrafie e dei parametri caratteristici ricavati dalla Relazione Geologica.

Si rimanda all'allegato per il dettaglio della verifica

4.2 – Verifica del paraghiaia

Si verifica il paraghiaia di contenimento del terreno a retro della spalla, altezza m 1,60 spessore m 0,30, armato con ferri verticali 1+1 ϕ 16 / 15 cm:

Per la verifica si utilizzano i seguenti valori caratteristici del terreno:

- peso dell'unità di volume: $\gamma_{TERR} = 1800 \text{ daN/m}^3$
- angolo attrito interno: $\varphi_{TERR} = 30^\circ$
- angolo di attrito terreno-parete: $\delta_{TERR-CLS} = 0^\circ$ (a favore della sicurezza)
- coefficiente di spinta attiva: $k_a = \tan^2 (45^\circ - \phi / 2) = 0,333$

Verifica statica:

Per metro lineare di sviluppo del paramento, si valutano i seguenti carichi:

Azioni verticali:

- peso del paramento in calcestruzzo: $\gamma_{CLS} \times H_{PAR} \times SP_{PAR} = 1.200 \text{ daN}$

Azioni orizzontali:

- spinta delle terre: $(\gamma_{TERR} \times H_{PAR} \times k_a) \times (H_{PAR} / 2) = 768 \text{ daN}$ applicato a m 0,53 dalla base.

Nella combinazione SLU si ottengono dunque i seguenti valori:

- $N_{SD} = 1,35 \times 1.200 \text{ daN} = 1.620 \text{ daN}$
- $M_{SD} = 1,50 \times (768 \times 0,53) = 610 \text{ daNm}$

Si esegue la verifica della sezione alla base del paramento con software:

Verifica C.A. S.L.U. - File: ARNO CASENTINO_PARAGHIAIA

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: PARAGHIAIA

N° strati barre: 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	14,07	5
			2	14,07	25

Tipo Sezione:
☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni:
 S.L.U. **Metodo n**
 N_{Ed} 16,2 kN
 M_{xEd} 6,10 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N:
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura:
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali:
B450C **C28/35**
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 15,87 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 11 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6667
 τ_{c1} 1,971

Calcoli:
 M_{xRd} 130,2 kNm
 σ_c -15,87 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 14,83 ‰
 d 25 cm
 x 4,773 x/d 0,1909
 δ 0,7

Metodo di calcolo:
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☐ Metodo n

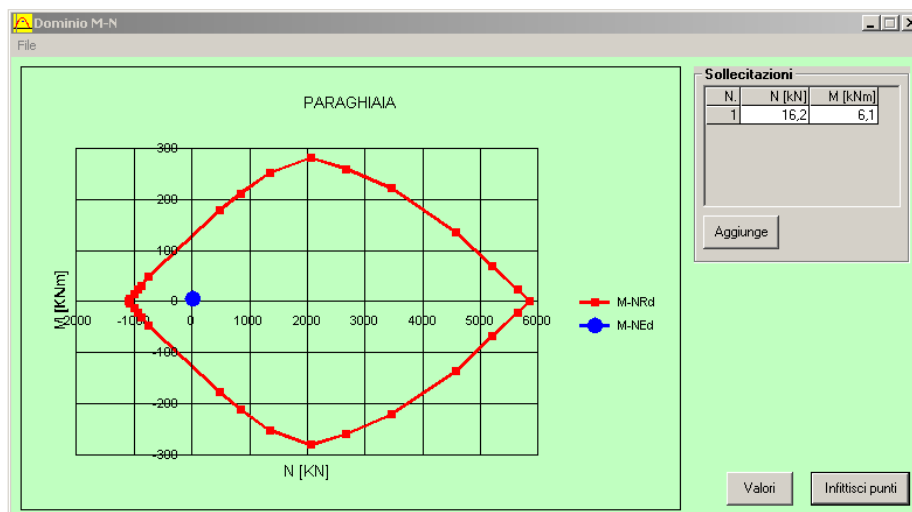
Tipo flessione:
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**

L_o 0 cm **Col. modello**

☐ Precompresso



La verifica risulta soddisfatta.

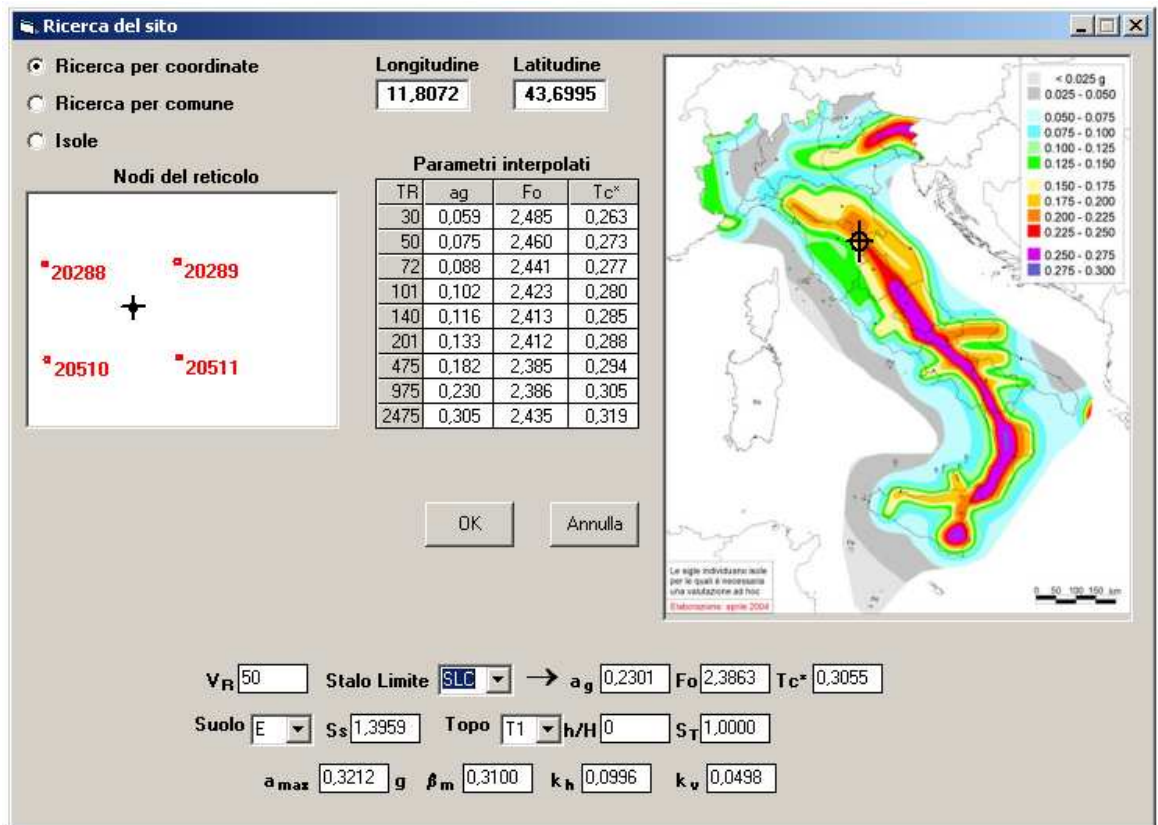
Verifica sismica:

Si adotta la formula di Mononobe-Okabe

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta + \theta + \psi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + \theta + \psi) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$

dove:

- ϕ : angolo di attrito del materiale costituente il terrapieno = 30°
 - δ : angolo d'attrito terreno-parete = 0°
 - β = angolo formato dall'estradosso del terrapieno con l'orizzontale = 0°
 - θ = angolo formato dal paramento virtuale con la verticale = 0°
 - $\psi = \tan^{-1} [kh / (1 + kv)]$ = angolo sismico
 - kh = coefficiente di accelerazione sismica orizzontale
 - kv = coefficiente di accelerazione sismica verticale
- per il sito in oggetto:



da cui si ricava: $K_{AE} = 0,40$

Mediante interpolazione con software, si ottengono i seguenti valori:

Azioni verticali:

- peso del paramento in calcestruzzo: $\gamma_{CLS} \times H_{PAR} \times SP_{PAR} = 1.200 \text{ daN}$

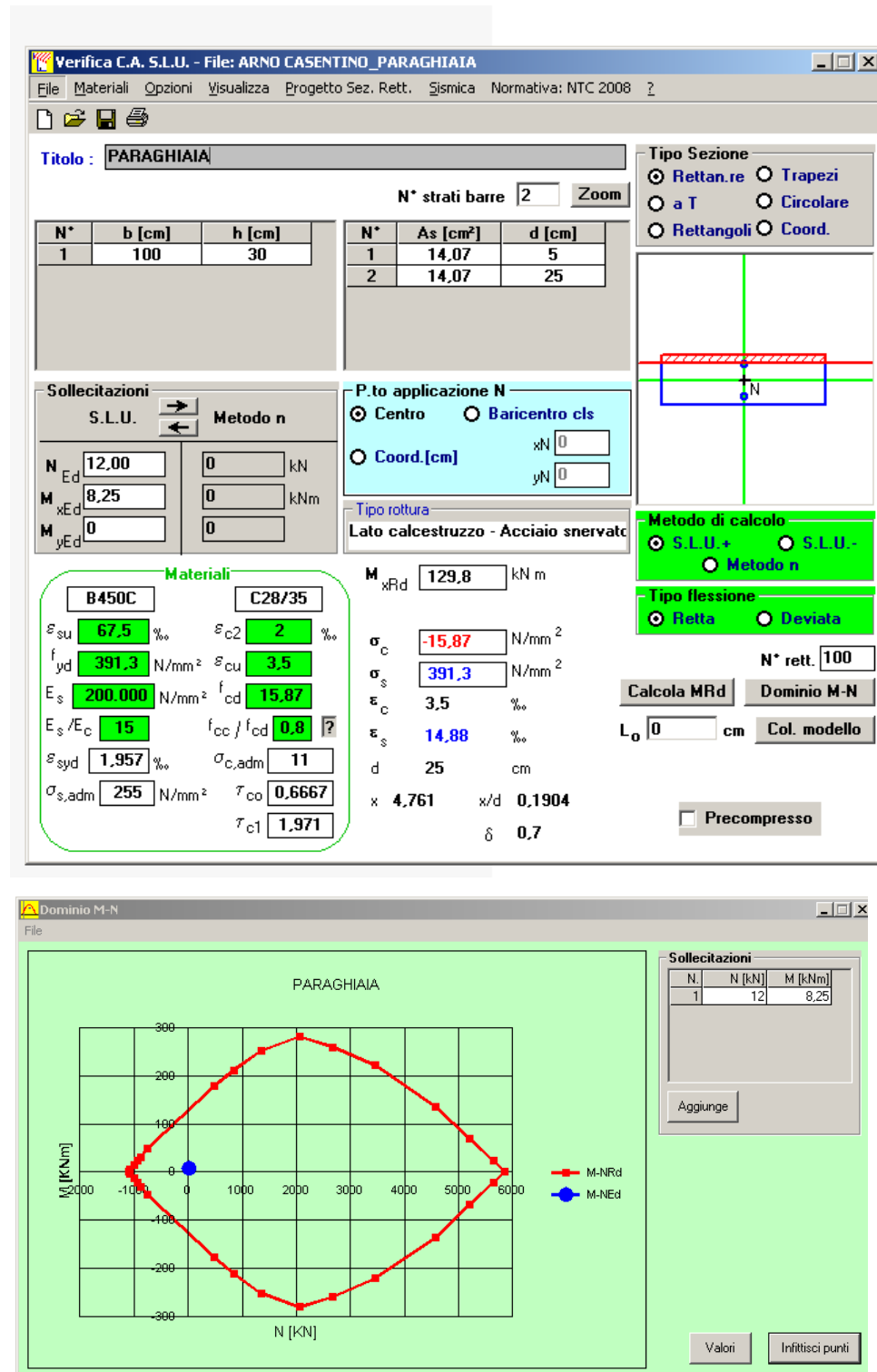
Azioni orizzontali:

- spinta del paramento: $a_{max} \times (\gamma_{CLS} \times H_{PAR} \times SP_{PAR}) = 385 \text{ daN}$ applicato a m 0,80 dalla base.
- spinta delle terre: $(\gamma_{TERR} \times H_{PAR} \times k_{AE}) \times (H_{PAR} / 2) = 876 \text{ daN}$ applicato a m 0,59 dalla base.

Nella combinazione SLU si ottengono dunque i seguenti valori:

- $N_{SD} = 1.200 \text{ daN}$
- $M_{SD} = (385 \times 0,80) + (876 \times 0,59) = 824 \text{ daNm}$

Si esegue la verifica della sezione alla base del paramento con software:



La verifica risulta soddisfatta.

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 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.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Richiami teorici - Metodi di analisi

Calcolo - Analisi ad elementi finiti

Per l'analisi platea si utilizza il metodo degli elementi finiti (FEM). La struttura viene suddivisa in elementi connessi fra di loro in corrispondenza dei nodi. Il campo di spostamenti interno all'elemento viene approssimato in funzione degli spostamenti nodali mediante le funzioni di forma. Il programma utilizza, per l'analisi tipo piastra, elementi quadrangolari e triangolari. Nel problema di tipo piastra gli spostamenti nodali sono lo spostamento verticale w e le rotazioni intorno agli assi x e y , ϕ_x e ϕ_y , legati allo spostamento w tramite relazioni

$$\begin{aligned}\phi_x &= -dw/dy \\ \phi_y &= dw/dx\end{aligned}$$

Note le funzioni di forma che legano gli spostamenti nodali al campo di spostamenti sul singolo elemento è possibile costruire la matrice di rigidezza dell'elemento \mathbf{k}_e ed il vettore dei carichi nodali dell'elemento \mathbf{p}_e .

La fase di assemblaggio consente di ottenere la matrice di rigidezza globale della struttura \mathbf{K} ed il vettore dei carichi nodali \mathbf{p} . La soluzione del sistema

$$\mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{p}$$

consente di ricavare il vettore degli spostamenti nodali \mathbf{u} .

Dagli spostamenti nodali è possibile risalire per ogni elemento al campo di spostamenti ed alle sollecitazioni M_x , M_y ed M_{xy} .

Il terreno di fondazione se presente viene modellato con delle molle disposte in corrispondenza dei nodi. La rigidezza delle molle è proporzionale alla costante di sottofondo k ed all'area dell'elemento.

I pali di fondazione sono modellati con molle verticali aventi rigidezza pari alla rigidezza verticale del palo.

Per l'analisi tipo lastra (analisi della piastra soggetta a carichi nel piano) vengono utilizzati elementi triangolari a 6 nodi a deformazione quadratica. Gli spostamenti nodali sono gli spostamenti u e v nel piano XY . L'analisi fornisce in tal caso il campo di spostamenti orizzontali e le tensioni nel piano della lastra σ_x , σ_y e τ_{xy} . Dalle tensioni è possibile ricavare, noto lo spessore, gli sforzi normali N_x , N_y e N_{xy} .

Nell'analisi tipo lastra i pali di fondazione sono modellati con molle orizzontali in direzione X e Y aventi rigidezza pari alla rigidezza orizzontale del palo.

Nel caso di platea nervata le nervature sono modellate con elementi tipo trave (con eventuale rigidezza torsionale) connesse alla piastra in corrispondenza dei nodi degli elementi.

Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito ϕ e la coesione c . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_p + Q_L - W_p$$

dove:

Q_T portanza totale del palo
 Q_p portanza di base del palo
 Q_L portanza per attrito laterale del palo
 W_p peso proprio del palo

e le due componenti Q_p e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta η_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale η_l .

Palo compresso:

$$Q_A = Q_p / \eta_p + Q_L / \eta_l - W_p$$

Palo teso:

$$Q_A = Q_L / \eta_l + W_p$$

Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_p = A_p(cN'_c + qN'_q)$$

dove A_p è l'area portante efficace della punta del palo, c è la coesione, q è la pressione geostatica alla quota della punta del palo, γ è il peso di volume del terreno, D è il diametro del palo ed i coefficienti N'_c , N'_q sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità. Possono essere utilizzati sia i coefficienti di Hansen che quelli di Vesic con i corrispondenti fattori correttivi per la profondità e la forma.

Il parametro η che compare nell'espressione assume il valore:

$$\eta = \frac{1 + 2K_0}{3}$$

quando si usa la formula di Vesic e viene posto uguale ad 1 per le altre formule.

K_0 rappresenta il coefficiente di spinta a riposo che può essere espresso come: $K_0 = 1 - \sin\phi$.

Capacità portante per resistenza laterale

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \tan\delta$$

dove c_a è l'adesione palo-terreno, δ è l'angolo di attrito palo-terreno, γ è il peso di volume del terreno, z è la generica quota a partire dalla testa del palo, L e P sono rispettivamente la lunghezza ed il perimetro del palo, K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

Portanza trasversale dei pali - Analisi ad elementi finiti

Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante elastica K espressa in $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$ che rappresenta la pressione (in Kg/cm^2) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm.

Il palo viene suddiviso in un certo numero di elementi di eguale lunghezza. Ogni elemento è caratterizzato da una sezione avente area ed inerzia coincidente con quella del palo.

Il terreno viene schematizzato come una serie di molle orizzontali che reagiscono agli spostamenti nei due versi. La rigidità assiale della singola molla è proporzionale alla costante di Winkler orizzontale del terreno, al diametro del palo ed alla lunghezza dell'elemento. La molla, però, non viene vista come un elemento infinitamente elastico ma come un elemento con comportamento del tipo elastoplastico perfetto (diagramma sforzi-deformazioni di tipo bilatero). Essa presenta una resistenza crescente al crescere degli spostamenti fino a che l'entità degli spostamenti si mantiene al di sotto di un certo spostamento limite, X_{\max} oppure fino a quando non si raggiunge il valore della pressione limite. Superato tale limite non si ha un incremento di resistenza. E' evidente che assumendo un comportamento di questo tipo ci si addentra in un tipico problema non lineare che viene risolto mediante una analisi al passo.

Disposizione delle armature

Le armature vengono disposte secondo due direzioni, una principale ed una secondaria. Per il calcolo delle stesse si fa riferimento ai valori nodali delle sollecitazioni ottenute dall'analisi ad elementi finiti. Per la disposizione delle stesse occorre suddividere la piastra in numero di strisce opportuno nelle due direzioni.

Il programma utilizza strisce della larghezza di circa un metro.

Dati

Materiali

Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descrizione	Descrizione materiale
TC	Tipo calcestruzzo
Rck	Resistenza cubica caratteristica, espresso in [kg/cm ²]
γ _{ds}	Peso specifico calcestruzzo, espresso in [kg/m ³]
E	Modulo elastico calcestruzzo, espresso in [kg/cm ²]
ν	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogeneizzazione
TA	Tipo acciaio

n°	Descrizione	TC	Rck	γ _{ds}	E	ν	n	TA
			[kg/cm ²]	[kg/m ³]	[kg/cm ²]			
1	Materiale 1	C25/30	305,91	2500	320665,55	0.200	15.00	B450C

Geometria

Coordinate contorno esterno

n°	X	Y	n°	X	Y	n°	X	Y	n°	X	Y
	[m]	[m]		[m]	[m]		[m]	[m]		[m]	[m]
1	0,00	0,00	2	2,10	0,00	3	2,10	3,70	4	0,00	3,70

Tipologie pali

Simbologia adottata

n°	Indice tipologia
Descrizione	Descrizione tipologia
Geometria	Geometria tipologia (Pali in c.a o Pali in acciaio)
Armatura	Tipologia armatura per pali in c.a.
Portanza	Aliquote contributi portanza (solo Punta, solo Laterale, Entrambe)
Vincolo	Grado di vincolo alla testa del palo (Incastro o Cerniera)
TC	Tipologia costruttiva del palo (Trivellato o Infisso)
Mat	Indice materiale tipologia palo
Pt	Pressione quota testa palo, espressa in [kg/cm ²]

n°	Descrizione	Geometria	Armatura	Portanza	Vincolo	TC	Mat	Pt
								[kg/cm ²]
1	Tipologia 1	Pali circolari in c.a.	Ferri longitudinali + staffe	Entrambe	Incastro	Trivellato	1	0,00

Caratteristiche pali

Simbologia adottata

n°	Indice palo
X	Ascissa palo, espressa in [m]
Y	Ordinata palo, espressa in [m]
d	Diametro palo, espresso in [cm]
l	Lunghezza palo, espressa in [m]
nodo	Indice nodo su cui è posizionato il palo
It	Indice tipologia palo

n°	X	Y	D	L	Nodo	It
	[m]	[m]	[cm]	[m]		
1	1,60	0,50	60,00	13,00	10	1
2	0,50	1,85	60,00	13,00	14	1
3	1,60	3,20	60,00	13,00	22	1

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
δ	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
c	Coesione del terreno espressa in [kg/cm ²]
ca	Adesione del terreno espressa in [kg/cm ²]
τ_l	Tensione tangenziale, per calcolo portanza micropali con il metodo di Bustamante-Doix, espressa in [kg/cm ²]
α	Coeff. di espansione laterale

Descrizione	γ	γ_{sat}	Parametri	ϕ	δ	c	ca	τ_l	α
	[kg/mc]	[kg/mc]		[°]	[°]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	
RILEVATO	1900,0	2100,0	Caratteristici	30.00	20.00	0,000	0,000	0,000	0.00
			Minimi	30.00	20.00	0,000	0,000	0,000	
			Medi	30.00	20.00	0,000	0,000	0,000	
LIMO SABBIOSO	1800,0	2100,0	Caratteristici	16.27	10.85	0,000	0,000	0,000	1.00
			Minimi	16.27	10.85	0,000	0,000	0,000	
			Medi	16.27	10.85	0,000	0,000	0,000	
GHIAIE E SABBIE IN MATRICE	1980,0	2080,0	Caratteristici	27.31	18.21	0,000	0,000	0,000	1.00
			Minimi	27.31	18.21	0,000	0,000	0,000	
			Medi	27.31	18.21	0,000	0,000	0,000	
SABBIA LIMOSA	2000,0	2200,0	Caratteristici	22.90	15.27	0,020	0,010	0,000	1.00
			Minimi	22.90	15.27	0,020	0,010	0,000	
			Medi	22.90	15.27	0,020	0,010	0,000	
SUBSTRATO ARGILLITICO	2300,0	2400,0	Caratteristici	18.44	12.29	0,970	0,485	0,000	1.00
			Minimi	18.44	12.29	0,970	0,485	0,000	
			Medi	18.44	12.29	0,970	0,485	0,000	

Descrizione stratigrafia e falda

Simbologia adottata

N	Identificativo strato
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno associato allo strato
Ks	Coefficiente di spinta
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm ² /cm]
α	Coeff. di sbulbatura

N	Z1	Z2	Z3	Terreno	Ks	Kw	α
	[m]	[m]	[m]			[Kg/cm ² /cm]	
1	-0,5	-0,5	-0,5	RILEVATO	0.750	0.750	1.000
2	-2,5	-2,3	-2,0	LIMO SABBIOSO	0.800	1.000	1.000
3	-6,0	-6,5	-7,0	GHIAIE E SABBIE IN MATRICE	0.700	15.000	1.000
4	-8,0	-9,0	-10,0	SABBIA LIMOSA	0.800	10.000	1.000
5	-30,0	-30,0	-30,0	SUBSTRATO ARGILLITICO	0.800	20.000	1.000

Falda

Profondità dal piano campagna 2,00 [m]

Costante di Winkler

Direzione	Simbolo	Kw
		[Kg/cm ² /cm]
Verticale	Kwv	0.000
Orizzontale	Kwo	Calcolata dal programma (Kwo=Kwv*tan(ϕ))

Convenzioni adottate

Carichi e reazioni vincolari

Fz	Carico verticale positivo verso il basso
Fx	Forza orizzontale in direzione X positiva nel verso delle X crescenti.
Fy	Forza orizzontale in direzione Y positiva nel verso delle Y crescenti.
Mx	Momento con asse vettore parallelo all'asse X positivo antiorario.
My	Momento con asse vettore parallelo all'asse Y positivo antiorario.

Sollecitazioni

Mx	Momento flettente X con asse vettore parallelo all'asse Y (positivo se tende le fibre inferiori).
My	Momento flettente Y con asse vettore parallelo all'asse X (positivo se tende le fibre inferiori).
Mxy	Momento flettente XY.

Condizioni di carico

Carichi concentrati

Simbologia adottata

Ic	Indice carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kg]
Mx	Momento intorno all'asse X espresso in [kgm]
My	Momento intorno all'asse Y espresso in [kgm]
Tx	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kg]
Ty	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kg]

Linee di carico

Simbologia adottata

Ic	Indice carico
P _i	Punto iniziale carico espresso in [m]
P _f	Punto finale carico espresso in [m]
N	Carico verticale espresso in [kg]
Mx	Momento intorno all'asse X espresso in [kgm]
My	Momento intorno all'asse Y espresso in [kgm]
Tx	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kg]
Ty	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kg]

Carichi distribuiti

Simbologia adottata

Ic	Indice carico
P _{is}	Punto inferiore sinistro del carico espresso in [m]
P _{sd}	Punto superiore destro del carico espresso in [m]
Q _{z1}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore sinistro espresso in [kg/mq]
Q _{z2}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore destro espresso in [kg/mq]
Q _{z3}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore sinistro espresso in [kg/mq]
Q _{z4}	Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore destro espresso in [kg/mq]
Q _x	Componente orizzontale del carico in direzione X espressa in [kg/mq]
Q _y	Componente orizzontale del carico in direzione Y espressa in [kg/mq]

Condizione n° 1 - Condizione 1 [Permanente non strutturale - Partecipa al sisma]

Linee di carico

Ic	P _i	P _f	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
1	0,20; 0,20	1,20; 0,20	4270,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,20; 3,50	1,20; 3,50	4270,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,00; 0,30	1,00; 3,40	1200,00	0,00	-410,00	780,00	0,00

Carichi distribuiti

Ic	P _{is}	P _{sd}	Q _{z1}	Q _{z2}	Q _{z3}	Q _{z4}	Q _x	Q _y
	[m]	[m]	[kg/mq]	[kg/mq]	[kg/mq]	[kg/mq]	[kg/mq]	[kg/mq]
1	0,00; 0,50	0,70; 3,20	2880,00	2880,00	2880,00	2880,00	0,00	0,00

Condizione n° 2 - Condizione 2 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]

Carichi concentrati

Oggetto	X	Y	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
Piastra	1,50	0,85	27280,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,50	2,85	27280,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,50	1,85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Condizione n° 3 - Condizione 3 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]

Carichi concentrati

Oggetto	X	Y	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
Piastra	1,50	0,85	25460,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,50	2,85	29100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,50	1,85	0,0	0,0	0,0	0,0	2800,0

Condizione n° 4 - Condizione 4 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]

Carichi concentrati

Oggetto	X	Y	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
Piastra	1,50	0,85	10150,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,50	2,85	16220,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Piastra	1,50	1,85	0,0	0,0	0,0	0,0	4660,0

Condizione n° 5 - Condizione 5 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]

Carichi concentrati

Oggetto	X	Y	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
Piastra	1,50	0,85	10535,0	0,0	0,0	1370,0	0,0
Piastra	1,50	2,85	10535,0	0,0	0,0	1370,0	0,0
Piastra	1,50	1,85	0,0	0,0	0,0	0,0	3000,0

Condizione n° 6 - Condizione 6 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]

Carichi concentrati

Oggetto	X	Y	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
Piastra	1,50	0,85	10535,0	0,0	0,0	410,0	0,0
Piastra	1,50	2,85	10535,0	0,0	0,0	410,0	0,0
Piastra	1,50	1,85	0,0	0,0	0,0	0,0	10000,0

Condizione n° 7 - Condizione 7 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]

Carichi concentrati

Oggetto	X	Y	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
Piastra	1,50	0,85	12250,0	0,0	0,0	410,0	0,0
Piastra	1,50	2,85	12250,0	0,0	0,0	410,0	0,0
Piastra	1,50	1,85	0,0	0,0	0,0	0,0	3000,0

Normativa - Coefficienti di sicurezza*Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni*

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1, fav}$	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G1, sfav}$	1.30
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2, fav}$	0.80
Permanenti non strutturali	Sfavorevole	$\gamma_{G2, sfav}$	1.50
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1, fav}$	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Q1, sfav}$	1.50
Variabili traffico	Favorevole	$\gamma_{Q, fav}$	0.00
Variabili traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Q, sfav}$	1.35

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.00
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00

Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche (Pali trivellati)

Resistenza	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1.00	1.70	1.35
Laterale in compressione	γ_s	1.00	1.45	1.15
Totale	γ_t	1.00	1.60	1.30
Laterale in trazione	γ_{st}	1.00	1.60	1.25

Coefficienti parziali γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soqgetti a carichi trasversali

γ_T	(R1)	(R2)	(R3)
γ_T	1.00	1.60	1.30

Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	ξ_3	ξ_4
2	1.65	1.55

Elenco combinazioni di calcolo

Numero combinazioni definite 6

Simbologia adottata

CP Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - - STR - A1-M1-R3

Condizione	CP
Peso proprio	1.30
Condizione 1	1.50
Condizione 2	1.00

Combinazione n° 2 - - STR - A1-M1-R3

Condizione	CP
Peso proprio	1.30
Condizione 1	1.50
Condizione 3	1.00

Combinazione n° 3 - - STR - A1-M1-R3

Condizione	CP
Peso proprio	1.30
Condizione 1	1.50
Condizione 4	1.00

Combinazione n° 4 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 1.00 X+ + 1.00 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.30
Condizione 1	1.50
Condizione 5	1.00

Combinazione n° 5 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 1.00 X+ + 1.00 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.30
Condizione 1	1.50
Condizione 6	1.00

Combinazione n° 6 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 1.00 X+ + 1.00 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.30
Condizione 1	1.50
Condizione 7	1.00

Impostazioni di analisi*Portanza verticale pali*

Metodo calcolo portanza: Meyerhof

Andamento pressione verticale con la profondità per calcolo portanza di punta:

Pressione geostatica

Andamento pressione verticale con la profondità per calcolo portanza laterale:

Pressione geostatica

Portanza trasversale pali

Costante di Winkler: da strato

Rottura palo-terreno:

Pressione limite secondo Brinch-Hansen

Cedimenti

Metodo calcolo cedimenti: Elementi finiti

Spostamento limite attrito laterale 0,50 [cm]

Spostamento limite punta 1,00 [cm]

Fattore di rigidezza della sovrastruttura 0.00

Zona sismica**Identificazione del sito**

Latitudine 43.732771

Longitudine 11.764026

Comune Bibbiena

Provincia Arezzo

Regione Toscana

Punti di interpolazione del reticolo 20288 - 20289 - 20067 - 20066

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera ordinaria

Vita nominale 50 anni

Classe d'uso II - Normali affollamenti e industrie non pericolose

Vita di riferimento 50 anni

Descrizione	Simbolo	UM		SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a_0	[m/s ²]		1.848	0.754
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0			2.378	2.447
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*			0.292	0.272
Coeff. di amplificazione per tipo di sottosuolo	Ss		E	1.507	1.600
Coeff. di amplificazione topografica	St		T1	1.000	1.000
Coeff. di intensità sismica orizzontale	K _h	[%]		28.39	12.30

ModelloCaratteristiche Mesh

Numero elementi	43
Numero nodi	28

Risultati inviluppo

Spostamenti

Piastra

Spostamenti massimi e minimi della piastra

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
w	Spostamento verticale, espresso in [cm]
u	Spostamento direzione X, espresso in [cm]
v	Spostamento direzione Y, espresso in [cm]
φx	Rotazione intorno all'asse X, espressa in [°]
φy	Rotazione intorno all'asse Y, espressa in [°]
p	Pressione sul terreno (solo per calcolo fondazione), espressa in [kg/cm ²]
kw	Costante di Winkler (solo per calcolo fondazione), espressa in [kg/cm ² /cm]. Il valore viene stampato solo se si è utilizzato il modello di interazione
Tra parentesi l'indice del nodo in cui si sono misurati i valori massimi e minimi	

In	X	Y		Valore	UM	Cmb	
	[m]	[m]					
25	0,00	3,70	w	0,161250	[cm]	2	MAX
5	0,00	0,00		0,052632		5	MIN
25	0,00	3,70	ux	0,108306	[cm]	4	MAX
17	2,10	3,70		0,011774		3	MIN
25	0,00	3,70	uy	0,116090	[cm]	5	MAX
3	0,00	0,50		-0,000621		1	MIN
14	0,50	1,85	φx	0,000118	[°]	4	MAX
26	1,00	3,40		-0,000129		3	MIN
6	0,00	0,90	φy	0,000032	[°]	1	MAX
27	0,00	3,20		-0,000246		5	MIN

Pali

Simbologia adottata

In	Indice sezione
Y	ordinata palo espressa in [m]
Ur	spostamento limite espresso in [cm]
Pr	pressione limite espressa in [kg/cm ²]
Ue	spostamento in esercizio espresso in [cm]
Pe	pressione in esercizio espressa in [kg/cm ²]

Palo n° 1

n°	Y	Ue	Ur	Pe	Pr
	[m]	[cm]	[cm]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	0,00	0,1349 (5)	0,5202 (5)	0,000 (0)	0,000 (0)
11	1,30	0,0976 (5)	0,3959 (5)	0,098 (5)	0,396 (5)
21	2,60	0,0396 (5)	0,1835 (5)	0,594 (5)	2,122 (1)
31	3,90	0,0056 (5)	0,0394 (5)	0,084 (5)	0,591 (5)
41	5,20	-0,0053 (5)	-0,0149 (5)	-0,080 (5)	-0,224 (5)
51	6,50	-0,0053 (5)	-0,0204 (5)	-0,053 (5)	-0,204 (5)
61	7,80	-0,0025 (5)	-0,0106 (5)	-0,050 (5)	-0,213 (5)
71	9,10	-0,0005 (5)	-0,0026 (5)	-0,010 (5)	-0,052 (5)
81	10,40	0,0002 (5)	0,0005 (5)	0,004 (5)	0,010 (5)
91	11,70	0,0002 (5)	0,0009 (5)	0,005 (5)	0,018 (5)
101	13,00	0,0001 (5)	0,0006 (5)	0,002 (5)	0,012 (5)

Palo n° 2

n°	Y	Ue	Ur	Pe	Pr
	[m]	[cm]	[cm]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	0,00	0,1393 (5)	0,5189 (5)	0,000 (0)	0,000 (0)
11	1,30	0,1007 (5)	0,3953 (5)	0,101 (5)	0,395 (5)
21	2,60	0,0409 (5)	0,1833 (5)	0,614 (5)	2,122 (1)
31	3,90	0,0058 (5)	0,0394 (5)	0,087 (5)	0,590 (5)
41	5,20	-0,0055 (5)	-0,0150 (5)	-0,083 (5)	-0,226 (5)
51	6,50	-0,0056 (5)	-0,0207 (5)	-0,056 (5)	-0,207 (5)
61	7,80	-0,0026 (5)	-0,0109 (5)	-0,053 (5)	-0,219 (5)
71	9,10	-0,0005 (5)	-0,0027 (5)	-0,011 (5)	-0,055 (5)
81	10,40	0,0002 (5)	0,0005 (5)	0,004 (5)	0,009 (5)
91	11,70	0,0002 (5)	0,0009 (5)	0,005 (5)	0,018 (5)
101	13,00	0,0001 (5)	0,0007 (5)	0,003 (5)	0,013 (5)

Palo n° 3

n°	Y	Ue	Ur	Pe	Pr
	[m]	[cm]	[cm]	[kg/cmq]	[kg/cmq]
1	0,00	0,1390 (5)	0,5079 (4)	0,000 (0)	0,000 (0)
11	1,30	0,0991 (5)	0,3849 (4)	0,099 (5)	0,385 (4)
21	2,60	0,0392 (5)	0,1766 (4)	0,589 (5)	2,121 (1)
31	3,90	0,0051 (5)	0,0372 (4)	0,076 (5)	0,557 (4)
41	5,20	-0,0056 (5)	-0,0149 (4)	-0,084 (5)	-0,224 (4)
51	6,50	-0,0055 (5)	-0,0204 (4)	-0,055 (5)	-0,204 (4)
61	7,80	-0,0027 (5)	-0,0113 (4)	-0,027 (5)	-0,113 (4)
71	9,10	-0,0006 (5)	-0,0031 (4)	-0,012 (5)	-0,062 (4)
81	10,40	0,0002 (5)	0,0003 (4)	0,003 (5)	0,006 (4)
91	11,70	0,0002 (5)	0,0009 (4)	0,005 (5)	0,018 (4)
101	13,00	0,0001 (5)	0,0007 (4)	0,003 (5)	0,015 (4)

Sollecitazioni*Piastra***Sollecitazioni massime e minime piastra**

Simbologia adottata

In	Indice nodo modello
Mx	Momento X espresso in [kgm]
My	Momento Y espresso in [kgm]
Mxy	Momento XY espresso in [kgm]
Tx	Taglio X, espresso in [kg]
Ty	Taglio Y, espresso in [kg]
Nx	Tensione normale X espressa in [kg/cm ²]
Ny	Tensione normale Y espressa in [kg/cm ²]
Nxy	Tensione tangenziale XY espressa in [kg/cm ²]

In	X	Y		Valore	UM	Cmb	
	[m]	[m]					
13	1,50	1,85	Mx	2393,22	[kgm]	1	MAX
14	0,50	1,85		-6763,10		2	MIN
20	1,50	2,85	My	4122,18	[kgm]	2	MAX
22	1,60	3,20		-10993,05		5	MIN
8	0,70	1,20	Mxy	2400,91	[kgm]	1	MAX
22	1,60	3,20		-2748,07		5	MIN
24	1,20	3,50	Nx	0,47	[kg/cm ²]	6	MAX
15	0,70	1,89		-0,52		4	MIN
20	1,50	2,85	Ny	0,39	[kg/cm ²]	5	MAX
19	0,00	2,22		-0,51		5	MIN
11	0,00	1,32	Nxy	0,25	[kg/cm ²]	4	MAX
15	0,70	1,89		-0,34		5	MIN

Pali

Simbologia adottata

n°	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso, espressa in [m]
Nr	sforzo normale a rottura, espresso in [kg]
Ne	sforzo normale in esercizio, espresso in [kg]
Tr	taglio a rottura, espresso in [kg]
Te	taglio in esercizio, espresso in [kg]
Mr	momento a rottura, espresso in [kgm]
Me	momento in esercizio, espresso in [kgm]

Palo n° 1

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kgm]	[kgm]
1	0,00	33106 (1)	203432 (1)	7360 (5)	20726 (5)	11577 (5)	36931 (1)
11	1,30	33873 (1)	202897 (1)	6625 (5)	19376 (5)	2382 (5)	10487 (1)
21	2,60	34314 (1)	200513 (1)	993 (5)	7582 (5)	-3216 (5)	-9367 (5)
31	3,90	34551 (1)	197187 (1)	-1183 (5)	-3441 (5)	-2826 (5)	-11143 (5)
41	5,20	34624 (1)	193070 (1)	-974 (5)	-3869 (5)	-1286 (5)	-5791 (5)
51	6,50	34527 (1)	188131 (1)	-499 (5)	-2216 (5)	-314 (5)	-1738 (5)
61	7,80	33687 (1)	179213 (1)	-139 (5)	-743 (5)	129 (5)	318 (5)
71	9,10	31075 (1)	162160 (1)	57 (5)	159 (5)	163 (5)	625 (5)
81	10,40	28302 (1)	144329 (1)	62 (5)	245 (5)	75 (5)	320 (5)
91	11,70	25368 (1)	125722 (1)	25 (5)	114 (5)	16 (5)	73 (5)
101	13,00	22272 (1)	0 (0)	1 (5)	5 (5)	0 (0)	0 (3)

Palo n° 2

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kgm]	[kgm]
1	0,00	32928 (2)	202218 (1)	7589 (5)	20717 (5)	11947 (5)	36931 (1)
11	1,30	33695 (2)	201683 (1)	6838 (5)	19367 (5)	2459 (5)	10490 (3)
21	2,60	34129 (2)	199299 (1)	1024 (5)	7575 (5)	-3318 (5)	-9344 (5)
31	3,90	34365 (2)	195974 (1)	-1222 (5)	-3436 (5)	-2915 (5)	-11119 (5)
41	5,20	34435 (2)	191857 (1)	-1004 (5)	-3857 (5)	-1325 (5)	-5777 (5)
51	6,50	34336 (2)	186923 (1)	-509 (5)	-2190 (5)	-327 (5)	-1747 (5)
61	7,80	33761 (2)	179062 (1)	-155 (5)	-788 (5)	125 (5)	288 (5)
71	9,10	31143 (2)	162027 (1)	57 (5)	149 (5)	170 (5)	631 (5)
81	10,40	28363 (2)	144214 (1)	65 (5)	249 (5)	80 (5)	329 (5)
91	11,70	25422 (2)	125625 (1)	27 (5)	118 (5)	17 (5)	76 (5)
101	13,00	22318 (2)	0 (0)	1 (5)	5 (5)	0 (0)	0 (1)

Palo n° 3

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kgm]	[kgm]
1	0,00	34440 (2)	198770 (1)	8174 (5)	21063 (4)	12480 (5)	36931 (1)
11	1,30	35199 (2)	198235 (1)	7429 (5)	19721 (4)	2231 (5)	10038 (3)
21	2,60	35596 (2)	195776 (1)	846 (5)	7119 (4)	-3418 (5)	-9409 (4)
31	3,90	35795 (2)	192452 (1)	-1265 (5)	-3487 (4)	-2874 (5)	-10842 (4)
41	5,20	35820 (2)	188336 (1)	-1010 (5)	-3821 (4)	-1258 (5)	-5512 (4)
51	6,50	35669 (2)	183415 (1)	-469 (5)	-2032 (4)	-299 (5)	-1657 (4)
61	7,80	35335 (2)	177660 (1)	-157 (5)	-805 (4)	104 (5)	186 (4)
71	9,10	32889 (2)	161710 (1)	48 (5)	109 (4)	165 (5)	610 (4)
81	10,40	29920 (2)	143941 (1)	64 (5)	244 (4)	82 (5)	337 (4)
91	11,70	26781 (2)	125395 (1)	28 (5)	123 (4)	18 (5)	82 (4)
101	13,00	23472 (2)	0 (0)	1 (5)	6 (4)	0 (0)	0 (3)

Verifiche strutturali*Verifica a flessione***Piastra**

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale, S: direzione secondaria)
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
M _u	Momento ultimo espresso in [kgm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza

Is	Afi	Afs	Mu	Nu	FS
	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	
1-1-P	10,18	10,18	26888	3505	30.246
1-2-P	10,18	10,18	26620	2629	25.618
1-3-P	10,18	10,18	27286	4804	24.851
1-4-P	10,18	10,18	27831	6582	24.228
1-5-P	10,18	10,18	29795	12992	30.148
1-6-P	10,18	10,18	-37730	39462	48.733
1-7-P	10,18	10,18	-31236	17883	18.619
1-8-P	10,18	10,18	-29580	12379	14.621
1-9-P	10,18	10,18	-30019	13837	34.279
1-10-P	10,18	10,18	-29528	12207	35.056
2-1-P	10,18	10,18	-27662	6005	70.171
2-2-P	10,18	10,18	-25549	-824	13.755
2-3-P	10,18	10,18	-25211	-1874	9.645
2-4-P	10,18	10,18	-23008	-8720	18.784
2-5-P	10,18	10,18	17871	-24852	25.244
2-6-P	10,18	10,18	24306	-4745	29.085
2-7-P	10,18	10,18	25475	-1068	25.246
2-8-P	10,18	10,18	25265	-1728	19.662
2-9-P	10,18	10,18	26014	651	44.332
2-10-P	10,18	10,18	-28614	9170	36.072
3-1-P	10,18	10,18	-27445	5285	45.256
3-2-P	10,18	10,18	-25758	-176	15.033
3-3-P	10,18	10,18	-25307	-1577	9.865
3-4-P	10,18	10,18	-22849	-9214	17.836
3-5-P	10,18	10,18	-19117	-20807	26.039
3-6-P	10,18	10,18	-22368	-10708	26.736
3-7-P	10,18	10,18	-24916	-2792	21.187

Is	Afi	Afs	Mu	Nu	FS
	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	
3-8-P	10,18	10,18	25085	-2294	18.899
3-9-P	10,18	10,18	25626	-592	40.654
3-10-P	10,18	10,18	-26917	3529	24.664
4-1-P	10,18	10,18	26268	1482	28.492
4-2-P	10,18	10,18	26102	938	23.581
4-3-P	10,18	10,18	26599	2560	22.546
4-4-P	10,18	10,18	26973	3781	21.915
4-5-P	10,18	10,18	28399	8435	26.368
4-6-P	10,18	10,18	-37830	39794	27.406
4-7-P	10,18	10,18	-31429	18524	12.693
4-8-P	10,18	10,18	-28817	9842	10.237
4-9-P	10,18	10,18	-25997	580	15.753
4-10-P	10,18	10,18	-25004	-2518	17.313
5-1-S	12,57	12,57	30397	-3824	50.704
5-2-S	12,57	12,57	32509	2991	38.409
5-3-S	12,57	12,57	32049	1481	39.089
5-4-S	12,57	12,57	-31034	-1811	43.374
5-5-S	12,57	12,57	-30965	-2034	31.218
5-6-S	12,57	12,57	-31361	-763	20.871
5-7-S	12,57	12,57	-31071	-1694	9.442
5-8-S	12,57	12,57	-31045	-1776	5.596
5-9-S	12,57	12,57	-30950	-2083	5.891
5-10-S	12,57	12,57	-30806	-2545	9.606
5-11-S	12,57	12,57	-22899	-27561	18.153
5-12-S	12,57	12,57	-23734	-24948	20.785
5-13-S	12,57	12,57	-23137	-26817	25.784
5-14-S	12,57	12,57	31876	912	37.563
5-15-S	12,57	12,57	32649	3452	37.613
5-16-S	12,57	12,57	-32651	3512	52.953
6-1-S	12,57	12,57	-31959	1203	37.687
6-2-S	12,57	12,57	-31122	-1530	42.500
6-3-S	12,57	12,57	-29116	-7968	38.525
6-4-S	12,57	12,57	31672	241	22.967
6-5-S	12,57	12,57	31540	-187	24.753
6-6-S	12,57	12,57	-30021	-5063	34.965
6-7-S	12,57	12,57	-31455	-459	25.478
6-8-S	12,57	12,57	-31695	322	14.904
6-9-S	12,57	12,57	-31673	248	13.513
6-10-S	12,57	12,57	-30381	-3907	25.343
6-11-S	12,57	12,57	-31524	-239	28.261
6-12-S	12,57	12,57	32811	3986	23.407
6-13-S	12,57	12,57	32910	4310	22.009
6-14-S	12,57	12,57	-32958	4534	23.134
6-15-S	12,57	12,57	-31523	-244	41.459
6-16-S	12,57	12,57	-33348	5837	37.206
7-1-S	12,57	12,57	-32012	1379	28.120
7-2-S	12,57	12,57	-31702	347	14.710
7-3-S	12,57	12,57	-31842	814	13.405
7-4-S	12,57	12,57	24922	-21240	30.486
7-5-S	12,57	12,57	26030	-17714	38.860
7-6-S	12,57	12,57	-31787	628	29.800
7-7-S	12,57	12,57	-32466	2893	32.415
7-8-S	12,57	12,57	-32566	3228	36.217
7-9-S	12,57	12,57	-33003	4685	36.395
7-10-S	12,57	12,57	-33051	4843	32.259
7-11-S	12,57	12,57	-32324	2419	29.721
7-12-S	12,57	12,57	-32561	3210	39.347
7-13-S	12,57	12,57	-43730	40462	36.684
7-14-S	12,57	12,57	-34533	9787	10.917
7-15-S	12,57	12,57	-33350	5840	14.151
7-16-S	12,57	12,57	-33664	6890	27.845

Pali in c.a.

Simbologia adottata

Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso, espressa in [m]
Af	Area armatura, espresso in [cmq]
Mu	Momento ultimo, espresso in [kgm]
Nu	Sforzo normale ultimo, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza

Palo n° 1

Y	Af	Mu	Nu	FS
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	
0,00	43,98	43592	62014	3.765

Y	A _r	M _u	N _u	FS
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	
1,30	43,98	5644	498856	14.727
2,60	43,98	45291	252462	14.084
3,90	43,98	6571	498856	14.438
5,20	43,98	2983	498856	14.408
6,50	21,99	602	411109	11.907
7,80	21,99	253	411109	12.204
9,10	21,99	347	411109	13.229
10,40	21,99	176	411109	14.526
11,70	21,99	41	411109	16.206
13,00	21,99	0	411109	18.459

Palo n° 2

Y	A _r	M _u	N _u	FS
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	
0,00	43,98	44842	77226	3.753
1,30	43,98	6598	498856	14.805
2,60	43,98	42956	284318	12.945
3,90	43,98	40670	312539	13.953
5,20	43,98	3483	498856	14.487
6,50	21,99	709	411109	11.973
7,80	21,99	277	411109	12.177
9,10	21,99	406	411109	13.201
10,40	21,99	210	411109	14.494
11,70	21,99	50	411109	16.171
13,00	21,99	0	411109	18.420

Palo n° 3

Y	A _r	M _u	N _u	FS
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]	
0,00	43,98	47223	106918	3.784
1,30	43,98	30829	401346	13.821
2,60	43,98	38638	333567	11.304
3,90	43,98	35233	365414	12.258
5,20	21,99	2512	411109	11.477
6,50	21,99	599	411109	11.526
7,80	21,99	211	411109	11.635
9,10	21,99	360	411109	12.500
10,40	21,99	195	411109	13.740
11,70	21,99	48	411109	15.351
13,00	21,99	0	411109	17.515

*Verifica a taglio***Pali in c.a.**

Simbologia adottata

Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso, espressa in [m]
V _{Rcd}	Taglio resistente a compressione, espresso in [kg]
V _{Rsd}	Taglio resistente a trazione, espresso in [kg]
V _{Rd}	Taglio resistente, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza

Palo n° 1

Y	V _{Rcd}	V _{Rsd}	V _{Rd}	FS
[m]	[kg]	[kg]	[kg]	
0,00	40246	29653	29653	4.029
1,30	40364	29653	29653	4.476
2,60	40449	29653	29653	29.876
3,90	40513	29653	29653	25.067
5,20	40562	29653	29653	30.434
6,50	40593	17792	17792	35.681
7,80	40551	17792	17792	127.602
9,10	40333	17792	17792	311.888
10,40	40099	17792	17792	285.344
11,70	39849	17792	17792	701.297
13,00	39583	17792	17792	19658.127

Palo n° 2

Y	V _{Rcd}	V _{Rsd}	V _{Rd}	FS
---	------------------	------------------	-----------------	----

<i>[m]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	
0,00	40477	29653	29653	3.907
1,30	40593	29653	29653	4.336
2,60	40675	29653	29653	28.963
3,90	40735	29653	29653	24.275
5,20	40779	29653	29653	29.533
6,50	40804	17792	17792	34.957
7,80	40779	17792	17792	114.590
9,10	40540	17792	17792	314.725
10,40	40283	17792	17792	272.687
11,70	40009	17792	17792	653.814
13,00	39719	17792	17792	17644.465

Palo n° 3

Y	V_{Rcd}	V_{Rsd}	V_{Rd}	FS
<i>[m]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	
0,00	41300	29653	29653	3.628
1,30	41413	29653	29653	3.992
2,60	41483	29653	29653	35.037
3,90	41529	29653	29653	23.441
5,20	41554	17792	17792	17.622
6,50	41557	17792	17792	37.971
7,80	41539	17792	17792	113.355
9,10	41266	17792	17792	370.571
10,40	40931	17792	17792	276.600
11,70	40574	17792	17792	625.355
13,00	40198	17792	17792	15556.451

Verifiche geotecniche**Pali**

Simbologia adottata

n°	Indice palo
Oggetto	Oggetto di appartenenza del palo (Piastra, Plinto o Trave)
N	Carico verticale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Pd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS _v	Fattore di sicurezza (Pd/N). Tra parentesi l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.
T	Carico orizzontale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Td	Portanza trasversale di progetto, espresso in [kg]
FS _o	Fattore di sicurezza (Vd/V). Tra parentesi l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

n°	Oggetto	N [kg]	Pd [kg]	FS _v	T [kg]	Td [kg]	FS _o
1	Piastra 1	33106	87086	2.631 (1)	7360	15943	2.166 (5)
2	Piastra 1	32928	86337	2.622 (2)	7589	15936	2.100 (5)
3	Piastra 1	34440	84566	2.455 (2)	8174	16199	1.982 (5)

Dettagli calcolo portanza verticale

Simbologia adottata

n°	Indice palo
Oggetto	Oggetto di appartenenza del palo (Piastra, Plinto o Trave)
Nc, Nq	Coeff. di capacità portante
N'c, N'q	Coeff. di capacità portante corretti
Zc	Profondità andamento pressione geostatica, espressa in [m]
Pp, Pl	Portanza di punta e laterale caratteristica, espresse in [kg]
A	Attrito negativo, espresso in [kg]

n°	Oggetto	Nc	N'c	Nq	N'q	Zc [m]	Pp [kg]	Pl [kg]	A [kg]
1	Piastra 1	13.460	26.532	5.488	6.649	--	107324 107324	96489 96489	0
2	Piastra 1	13.460	26.532	5.488	6.649	--	107244 107244	95135 95135	0
3	Piastra 1	13.460	26.532	5.488	6.649	--	107055 107055	91937 91937	0

*Cedimenti***Pali**

Simbologia adottata

Ip	Indice palo
w	Cedimento verticale, espressa in [cm]
Ic	Indice della combinazione

Ip	w [cm]	Ic
1	-1E0020	0
2	-1E0020	0
3	-1E0020	0

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature 0,00 [°]
 Direzione secondaria armature -90,00 [°]
 Numero tratti complessivi 7
 Ampiezza singolo tratto 1,00 [m]
 Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto 0,25 [m]

Maglia superiore (4 ϕ 12) x (5 ϕ 20)
 Maglia inferiore (4 ϕ 12) x (5 ϕ 20)

n°	Gruppo	Tipo	Lembo	Dir	nf ϕ [mm]	L [m]
2	B	Lungo	Superiore	X	20 ϕ 12	3,26
4	D	Lungo	Inferiore	X	20 ϕ 12	3,26

Armature pali

Pali circolari in c.a.

Ip Indice palo
 Tratto Indice tratto
 Ys, Yi Quota superiore e inferiore ferro, espresso in [m]
 Lf Lunghezza ferro, espresso in [m]
 Al Armatura longitudinale, numero e diametro espresso in [mm]
 At Armatura trasversale, diametro espresso in [mm] e passo espresso in [cm]

Ip	Tratto	Ys [m]	Yi [m]	Lf [m]	Al [mm]	At [mm] / [cm]
1	1	0,60	-6,60	7,20	14 - ϕ 20	ϕ 8 / 12
	2	-5,40	-12,97	7,57	7 - ϕ 20	ϕ 8 / 20
2	1	0,60	-6,60	7,20	14 - ϕ 20	ϕ 8 / 12
	2	-5,40	-12,97	7,57	7 - ϕ 20	ϕ 8 / 20
3	1	0,60	-4,68	5,28	14 - ϕ 20	ϕ 8 / 12
	2	-3,48	-12,97	9,49	7 - ϕ 20	ϕ 8 / 20

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Per il calcolo di piastre, plinti e graticci si utilizza il metodo degli elementi finiti. Il generatore di mesh permette di utilizzare elementi triangolari o quadrangolari, anche a deformabilità tagliante.

Per le strutture di fondazione il terreno viene modellato con una serie di molle alla Winkler non reagenti a trazione. Il calcolo delle tensioni indotte nel terreno può essere condotto con i metodi di Boussinesq, Westergaard o Frohlich. Il calcolo dei cedimenti può essere eseguito con il metodo edometrico (con il modulo edometrico o con la curva edometrica) o elastico. Il calcolo della portanza può essere fatto con i metodi di Terzaghi, Meyerhof, Hansen o Vesic.

In presenza di pali viene eseguito il calcolo di portanza verticale (di punta e laterale) e trasversale (portanza per carichi orizzontali).

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	API++ Platee e Graticci - Analisi Fondazioni
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	Esse. I.A. Ingegneria
Licenza	AIU57149M

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Indice

Normative di riferimento	1
Richiami teorici - Metodi di analisi	2
Calcolo - Analisi ad elementi finiti	2
Analisi dei pali	2
Disposizione delle armature	3
Dati	4
Materiali	4
Geometria	4
Coordinate contorno esterno	4
Tipologie pali	4
Caratteristiche pali	4
Descrizione terreni	5
Caratteristiche fisico meccaniche	5
Descrizione stratigrafia e falda	5
Costante di Winkler	5
Convenzioni adottate	6
Condizioni di carico	6
Condizione n° 1 - Condizione 1 [Permanente non strutturale - Partecipa al sisma]	6
Linee di carico	6
Carichi distribuiti	6
Condizione n° 2 - Condizione 2 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]	6
Carichi concentrati	6
Condizione n° 3 - Condizione 3 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]	7
Carichi concentrati	7
Condizione n° 4 - Condizione 4 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]	7
Carichi concentrati	7
Condizione n° 5 - Condizione 5 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]	7
Carichi concentrati	7
Condizione n° 6 - Condizione 6 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]	7
Carichi concentrati	7
Condizione n° 7 - Condizione 7 [Variabile - $\Psi_0=1.00$ $\Psi_1=1.00$ $\Psi_2=1.00$]	7
Carichi concentrati	7
Normativa - Coefficienti di sicurezza	8
Elenco combinazioni di calcolo	9
Impostazioni di analisi	10
Portanza verticale pali	10
Portanza trasversale pali	10
Cedimenti	10
Zona sismica	10
Modello	11
Caratteristiche Mesh	11
Risultati involucro	12
Spostamenti	12
Piastra	12
Spostamenti massimi e minimi della piastra	12
Pali	12
Sollecitazioni	13
Piastra	13
Sollecitazioni massime e minime piastra	13
Pali	13
Verifiche strutturali	14
Verifica a flessione	14
Piastra	14
Pali in c.a.	15
Verifica a taglio	16
Pali in c.a.	16
Verifiche geotecniche	18
Pali	18
Dettagli calcolo portanza verticale	18
Cedimenti	18
Pali	18
Armature	19
Armature piastra	19
Armature pali	19
Pali circolari in c.a.	19
Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)	20