

PROGETTO

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO
EOLICO DENOMINATO "PIANI DI PEDINA" NEL COMUNE DI
VENOSA (PZ) IN LOCALITA' "PIANI DI PEDINA" E DELLE OPERE
CONNESSE NEI COMUNI DI VENOSA, RAPOLLA E MELFI (PZ)**

TITOLO

A.11 - Relazione preliminare sulle strutture

PROGETTAZIONE	PROPONENTE	VISTI
 <p>F4 ingegneria srl Via Nazario Sauro 112, 85100 Potenza Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452 www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it</p> <p style="text-align: center;">Il Direttore Tecnico (ing. Giovanni DI SANTO)</p> 	<p>INERGIA LUCANIA S.r.l.</p> <p>Sede legale: Vicolo del Messaggero n.11 38068 ROVERETO (TN)</p> <p>PEC: direzione.inergialucania@legalmail.it</p>	

DATI PROGETTAZIONE

Scala	Formato Stampa	Cod.Elaborato	Rev.	Nome File	Elaborato	Foglio
-	A4	EO-CRV-PD-REL-9	a		1	1 di 1

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
a	18/10/2019	Prima Emissione	F4	A.Corradetti	R.Caioli



Sommario

1	Premessa	3
2	Normativa di riferimento	4
3	Materiali impiegati	5
4	Terreni	6
5	Analisi dei carichi	7
5.1	Carichi aerogeneratore	7
5.2	Peso plinto	8
5.3	Peso terreno	9
5.4	Combinazioni di carico	9
6	Codice di calcolo impiegato	10
6.1	Modello di calcolo	10
7	Verifiche geotecniche	12
7.1	Verifica a ribaltamento	13
7.2	Tensioni sul terreno	13
7.3	Carico limite per pali	14
8	Verifiche strutturali	16
8.1	Verifica a pressoflessione retta del plinto	16
8.2	Verifica delle tensioni di esercizio del plinto	20
8.3	Verifica a fessurazione del plinto	20
8.4	Verifica a pressoflessione deviata dei pali	21



8.5 Verifica a taglio per pressoflessione deviata dei pali

21

1 Premessa

Scopo della presente relazione è l'analisi statica del plinto di fondazione dell'aerogeneratore del parco eolico in oggetto. La vita nominale dell'opera è stabilita in 50 anni e la classe d'uso relativa è la classe II.

La fondazione è costituita da un plinto su pali; il plinto ha un diametro pari a 21.70 m ed altezza variabile da 2.30 m (esterno gona aerogeneratore) a 0.70 m (esterno plinto); i pali sono 12, di diametro pari a 0.80 m e lunghezza 20.00 m.

Il calcolo riguarda le sollecitazioni massime delle singole componenti della fondazione e la loro verifica.



Figura 1: vista tridimensionale della fondazione dell'aerogeneratore



2 Normativa di riferimento

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321) "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76) "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche". Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981;
- D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8) "Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni".

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nelle seguenti norme:

- D. M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008 (G.U. 4 febbraio 2008 n. 29 - Suppl. Ord.) "Norme tecniche per le Costruzioni";
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018".



3 Materiali impiegati

Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE" ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali; in particolare si precisa che si utilizzerà un cls tipo C30/37 per il plinto e tipo C25/30 per i pali.

CALCESTRUZZO

Caratteristiche calcestruzzo															
N _{id}	γ _k	α _{T, i}	E	G	C _{Erid}	Stz	R _{ck}	R _{cm}	%R _{ck}	γ _c	f _{cd}	f _{ctd}	f _{ctm}	N	n Ac
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]		[N/mm ²]	[N/mm ²]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Cls C30/37_B450C - (C30/37)															
002	25.000	0,000010	33.019	13.758	60	P	37,00	-	0,85	1,50	17,40	1,37	3,53	15	003
Cls C25/30_B450C - (C25/30)															
004	25.000	0,000010	31.447	13.103	60	P	30,00	-	0,85	1,50	14,11	1,19	3,07	15	003

LEGENDA:

- N_{id} Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k Peso specifico.
- α_{T, i} Coefficiente di dilatazione termica.
- E Modulo elastico normale.
- G Modulo elastico tangenziale.
- C_{Erid} Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [E_{sisma} = E · C_{Erid}].
- Stz Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- R_{ck} Resistenza caratteristica cubica.
- R_{cm} Resistenza media cubica.
- %R_{ck} Percentuale di riduzione della R_{ck}
- γ_c Coefficiente parziale di sicurezza del materiale.
- f_{cd} Resistenza di calcolo a compressione.
- f_{ctd} Resistenza di calcolo a trazione.
- f_{ctm} Resistenza media a trazione per flessione.
- n Ac Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale.

ACCIAIO

Caratteristiche acciaio																
N _{id}	γ _k	α _{T, i}	E	G	Stz	f _{yk,1} / f _{yk,2}	f _{tk,1} / f _{tk,2}	f _{yd,1} / f _{yd,2}	f _{td}	γ _s	γ _{M1}	γ _{M2}	γ _{M3,SLV}	γ _{M3,SLE}	γ _{M7} NCnt t	Cnt
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]							
Acciaio B450C - (B450C)																
003	78.500	0,000010	210.000	80.769	P	450,00 -	-	391,30 -	-	1,15	-	-	-	-	-	-

LEGENDA:

- N_{id} Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k Peso specifico.
- α_{T, i} Coefficiente di dilatazione termica.
- E Modulo elastico normale.
- G Modulo elastico tangenziale.
- Stz Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- f_{tk,1} Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con t ≤ 40 mm).
- f_{tk,2} Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
- f_{td} Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).
- γ_s Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.
- γ_{M1} Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.
- γ_{M2} Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.
- γ_{M3,SLV} Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).
- γ_{M3,SLE} Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).
- γ_{M7} Coefficiente parziale di sicurezza precarico di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.
- f_{yk,1} Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con t ≤ 40 mm).
- f_{yk,2} Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
- f_{yd,1} Resistenza di calcolo (per profili con t ≤ 40 mm).
- f_{yd,2} Resistenza di calcolo (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
- NOTE [-] = Parametro non significativo per il materiale.



4 Terreni

Tutti i parametri che caratterizzano i terreni di fondazione sono riportati di seguito. Per ulteriori dettagli si rimanda alla Relazione geologica.

TERRENI

N _{TRN}	γ _T [N/m ³]	K			φ [°]	c _u [N/mm ²]	c' [N/mm ²]	E _d [N/mm ²]	E _{cu} [N/mm ²]	Terreni
		K _X [N/cm ³]	K _Y [N/cm ³]	K _Z [N/cm ³]						A _{S-B}
SABBIE GROSSOLANE E GHIAIE SUPERFICIALI										
T001	21.200	60	60	30	31	0,000	0,000	15	0	0,000

LEGENDA:

N _{TRN}	Numero identificativo del terreno.
γ _T	Peso specifico del terreno.
K	Valori della costante di sottofondo del terreno nelle direzioni degli assi del riferimento globale X (K _X), Y (K _Y), e Z (K _Z).
φ	Angolo di attrito del terreno.
c _u	Coesione non drenata.
c'	Coesione efficace.
E _d	Modulo edometrico.
E _{cu}	Modulo elastico in condizione non drenate.
A _{S-B}	Parametro "A" di Skempton-Bjerrum per pressioni interstiziali.

5 Analisi dei carichi

5.1 Carichi aerogeneratore

L'aerogeneratore previsto è fornito dalla società Vestas ed è del tipo V162-HH119. La relazione fornita dal produttore Vestas riporta le massime sollecitazioni che la torre scarica in fondazione.

Le sollecitazioni indotte dal sisma risultano inferiori a quelle dovute al vento, per cui si analizzerà solamente il caso di carico massimo dovuto al vento.

Ai fini del calcolo si utilizzano i carichi derivanti dalla IEC 61400-1, più gravosi rispetto a quelli derivanti dalla normativa italiana.

I carichi forniti dal produttore rappresentano i carichi massimi da non combinare con alcun altro tipo di carico; essi includono gli effetti dinamici della struttura e corrispondono alla più sfavorevole tra le combinazioni con carico da vento sulla turbina.

I carichi massimi, forniti ad una quota di +20 cm rispetto all'estradosso della fondazione, sono di seguito riportati.

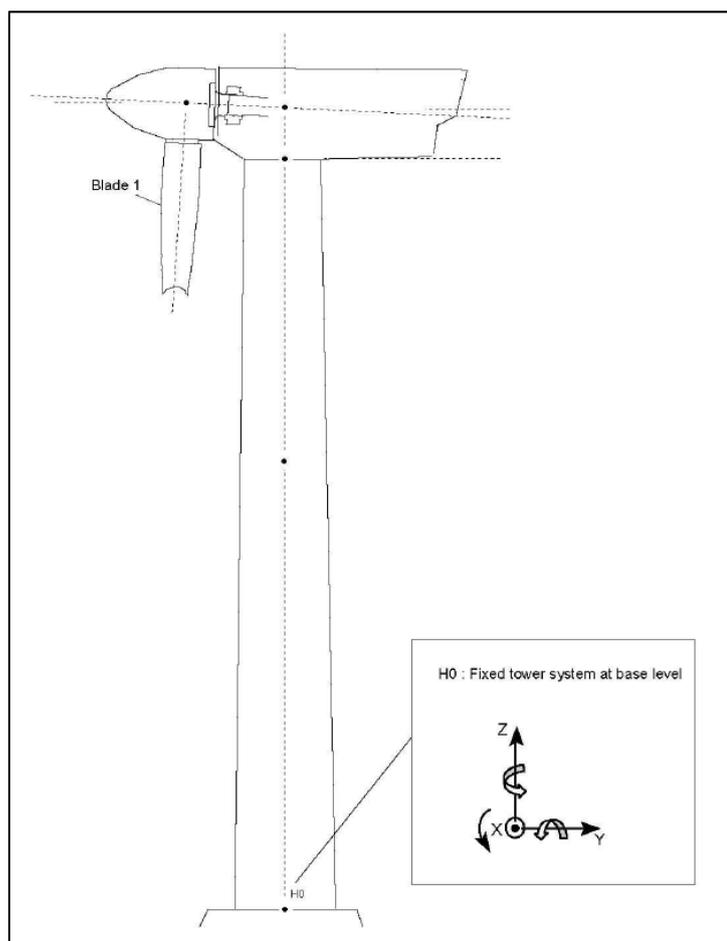


Figura 2: sistema di riferimento aerogeneratore



Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	14EcdVrma00(fam43)	1.35	Abs	164300	1429	1292	-7447
Mzt1	23NTMHW0100(fam166)	1.49	Abs	29490	-15630	261.9	-7198
FndFr	23NTMVRp00(fam164)	1.49	Abs	135200	-841.6	1308	-7458
Fzt1	23NTMHW0100(fam166)	1.49	Abs	68500	-998.0	554.0	-7557

Table 2-1 Characteristic Extreme (excl. PLF). Load cases sorted with PLF.

Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	14EcdVrma00(fam43)	1.35	Abs	164300	1429	1292	-7447
Mzt1	23NTMHW0100(fam166)	1.49	Abs	29490	-15630	261.9	-7198
FndFr	1312etm00(fam36)	1.35	Abs	135000	-1762	1341	-7419
Fzt1	12lceUHW0100(fam26)	1.35	Abs	62620	1551	439.1	-7633

Table 2-2 Characteristic Extreme (excl. PLF). Load cases sorted without PLF.

Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	62E50b08000(fam286)	1.10	Abs	141300	2643	1243	-7320
Mzt1	22OSFHWO200(fam103)	1.10	Abs	27320	-13680	188.6	-7225
FndFr	62E50b08000(fam286)	1.10	Abs	141200	2678	1246	-7319
Fzt1	22VOGHWO200(fam113)	1.10	Abs	56710	3416	379.5	-7532

Table 2-3 Characteristic Extreme (excl. PLF). Only load cases with PLF = 1.10.

Characteristic Extreme							
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt1	Mzt1	FndFr	Fzt1
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
Mbt1	14EcdVrma00(fam43)	1.35	Abs	164300	1429	1292	-7447
Mzt1	1320etm00(fam40)	1.35	Abs	56860	-13250	470.7	-7327
FndFr	1312etm00(fam36)	1.35	Abs	135000	-1762	1341	-7419
Fzt1	12lceUHW0100(fam26)	1.35	Abs	62620	1551	439.1	-7633

Table 2-4 Characteristic Extreme (excl. PLF). Only load cases with PLF = 1.35.

5.2 Peso plinto

Il plinto di fondazione ha un volume pari a 523.22 mc, mentre il colpetto un volume pari a 21.28 mc. Considerando un peso del c.a. pari a 25.00 kN/mc avremo un peso totale pari a 13612.34 kN.



5.3 Peso terreno

Il carico del terreno di ricoprimento sopra la fondazione dell'aerogeneratore risulta essere pari a $21.20 \text{ kN/mc} \cdot 274.51 \text{ mc} = 5819.61 \text{ kN}$.

5.4 Combinazioni di carico

La struttura è calcolata con vita utile 50 anni. In accordo con il paragrafo 2.5.3 del D.M. 17/1/2018 la combinazione per le verifiche agli S.L.U. è:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

dove:

- γ_{G1} coefficiente parziale per peso proprio della struttura ed dei pesi permanenti;
- G_1 è il valore caratteristico dei carichi permanenti;
- γ_{Q1} coefficiente parziale per dell'azione variabile;
- ψ_{0i} = è il coefficiente di combinazione che fornisce il valore raro dell'azione variabile Q_{kj} ;
- ψ_{2i} = è il coefficiente di combinazione che fornisce il valore quasi-permanente dell'azione variabile Q_{kj} ;
- Q_{kj} è il valore caratteristico dell'azione variabile Q_i ;

Allo S.L.E. le sollecitazioni con cui sono state semiprogettate le aste in c.a. sono state ricavate applicando le formule riportate nel D.M. 2018 al §2.5.3. Per le verifiche agli stati limite di esercizio, a seconda dei casi, si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

rara	frequente	quasi permanente
$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$	$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

dove:

- G_{kj} : valore caratteristico della j-esima azione permanente;
- P_{kh} : valore caratteristico della h-esima deformazione impressa;
- Q_{k1} : valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
- Q_{ki} : valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- ψ_{0i} : coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili di durata breve ma ancora significativi nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili;
- ψ_{1i} : coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;
- ψ_{2i} : coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni ammissibili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.



6 Codice di calcolo impiegato

L'analisi strutturale della fondazione è stata sviluppata mediante calcolo automatico con modello tridimensionale utilizzando il programma Edilus sviluppato dalla ACCA Software.

Il software consente di modellare la struttura, di effettuare il dimensionamento e le verifiche di tutti gli elementi strutturali e di generare gli elaborati grafici esecutivi.

È una procedura integrata dotata di tutte le funzionalità necessarie per consentire il calcolo completo di una struttura mediante il metodo degli elementi finiti (FEM); la modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette, setti, travi-parete).

L'input della struttura avviene per oggetti (travi, pilastri, solai, solette, pareti, etc.) in un ambiente grafico integrato; il modello di calcolo agli elementi finiti, che può essere visualizzato in qualsiasi momento in una apposita finestra, viene generato dinamicamente dal software.

Apposite funzioni consentono la creazione e la manutenzione di archivi Sezioni, Materiali e Carichi; tali archivi sono generali, nel senso che sono creati una tantum e sono pronti per ogni calcolo, potendoli comunque integrare/modificare in ogni momento.

L'utente non può modificare il codice, ma soltanto eseguire delle scelte come:

- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come rigidi o meno.

Il programma è dotato di un manuale tecnico ed operativo. L'assistenza è effettuata direttamente dalla casa produttrice, mediante linea telefonica o e-mail.

Il calcolo si basa sul solutore agli elementi finiti MICROSAP prodotto dalla società TESYS srl. La scelta di tale codice è motivata dall'elevata affidabilità dimostrata e dall'ampia documentazione a disposizione, dalla quale risulta la sostanziale uniformità dei risultati ottenuti su strutture standard con i risultati internazionalmente accettati ed utilizzati come riferimento.

Tutti i risultati del calcolo sono forniti, oltre che in formato numerico, anche in formato grafico permettendo così di evidenziare agevolmente eventuali incongruenze.

Il programma consente la stampa di tutti i dati di input, dei dati del modello strutturale utilizzato, dei risultati del calcolo e delle verifiche dei diagrammi delle sollecitazioni e delle deformate.

6.1 Modello di calcolo

Il modello della struttura viene creato automaticamente dal codice di calcolo, individuando i vari elementi strutturali e fornendo le loro caratteristiche geometriche e meccaniche.

Viene definita un'opportuna numerazione degli elementi (nodi, aste, shell) costituenti il modello, al fine di individuare celermente ed univocamente ciascun elemento.

Qui di seguito è fornita una rappresentazione grafica dettagliata della discretizzazione operata con evidenziazione dei nodi e degli elementi.

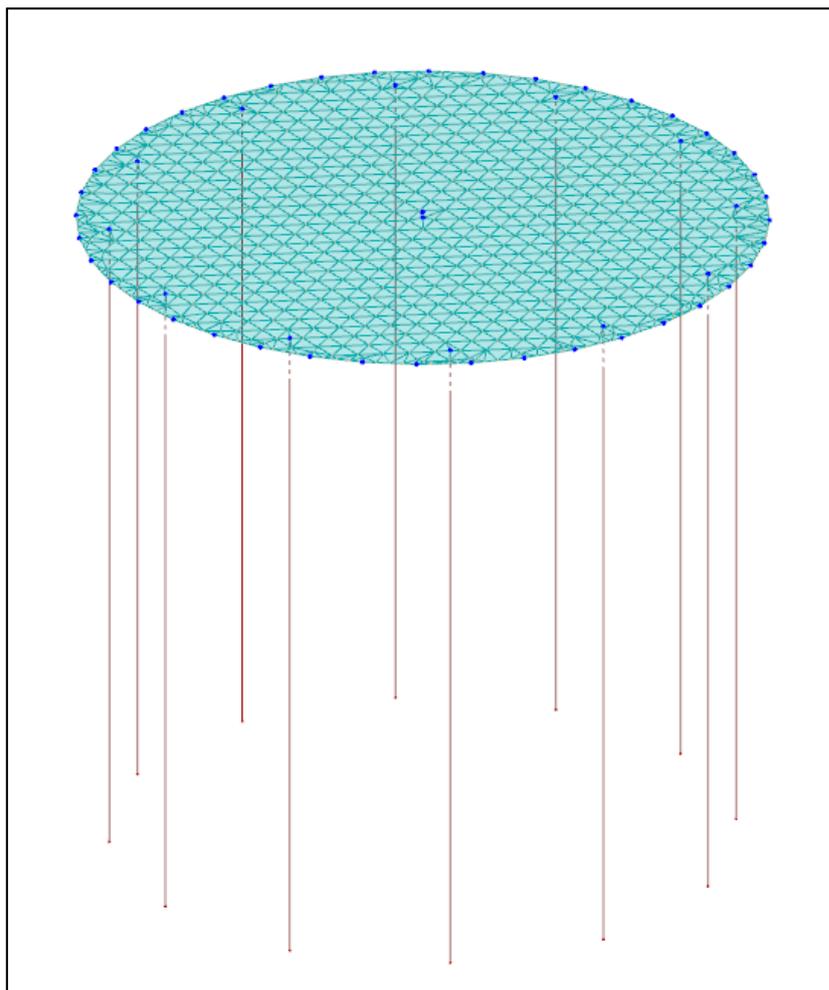


Figura 3: modello strutturale della fondazione



7 Verifiche geotecniche

Ai fini del calcolo strutturale, il terreno sottostante l'opera viene modellato secondo lo schema di Winkler, cioè un sistema costituito da un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti. Ciò consente di ricavare le rigidità offerte dai manufatti di fondazione, siano queste profonde o superficiali, che sono state introdotte direttamente nel modello strutturale per tener conto dell'interazione opera/terreno.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

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.

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni, sono state effettuate con l'Approccio 2 come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione A1+M1+R3. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 (STR) definiti nella tabella 6.2.I del D.M. 2018.

Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni [cfr. D.M. 2018]

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	A1 (STR)	A2 (GEO)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,30
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

(1) Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella tabella 6.2.II del D.M. 2018.

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno [cfr. D.M. 2018]

PARAMETRO GEOTECNICO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan \phi_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	C'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	C_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_r	1,00	1,00

Per le fondazioni su pali, i valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.II del D.M. 2018.

Tabella 6.4.II - Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali (cfr. D.M. 2018)

Resistenza	Simbolo	infissi	trivellati	ad elica continua
	γ_R	R3	R3	R3
Base	γ_b	1,15	1,35	1,30
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,25	1,25

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



7.1 Verifica a ribaltamento

Il calcolo si basa sulla valutazione dell'equilibrio alla rotazione intorno ad ognuno dei lati della fondazione, considerandoli come una cerniera lineare fissa, proiettando tutti i momenti (ribaltanti e stabilizzanti) nel piano verticale ortogonale ai singoli lati di base escludendo qualsivoglia forza di reazione del terreno (che allo stato limite di rotazione rigida infatti è privo di contatto con la fondazione).

Si tratta quindi di controllare se il rapporto tra il momento stabilizzante ed il momento ribaltante M_{stab}/M_{rib} sia superiore al fattore di sicurezza parziale $\gamma_R = 1.25$.

$$M_{rib} = M_y + F_x \cdot h$$

$$M_{stab} = M_{stab\ plinto} + M_{stab\ pali}$$

$$M_{stab\ plinto} = (F_z + G) \cdot r$$

$M_{stab\ pali}$ si calcola moltiplicando la resistenza laterale di progetto di ciascun palo per la distanza del palo dal punto di rotazione. Nel caso in esame ciascun palo ha una resistenza laterale di progetto pari a 1000 kN.

M_y , F_x e F_z sono i carichi massimi forniti dal produttore dell'aerogeneratore, G è dato dalla somma del peso del plinto in c.a. e del peso del terreno di rinterro.

A vantaggio di sicurezza, si considera un peso del terreno di rinterro pari a 17.00 kN/mc.

VERIFICA A RIBALTAMENTO	
My	164300,00 kNm
Fx	1341,00 kN
Fz	7633,00 kN
h plinto	3,30 m
r plinto	10,85 m
peso c.a.	25,00 kN/mc
peso terreno di rinterro	17,00 kN/mc
volume plinto	523,00 mc
volume rinterro	274,51 mc
M ribaltante	168725,30 kNm
M stabilizzante plinto	275315,26 kNm
M stabilizzante pali	129700,00 kNm
FS ribaltamento	2,40

7.2 Tensioni sul terreno

Si riporta, di seguito, un'immagine raffigurante lo stato tensionale massimo allo S.L.U. sul terreno.

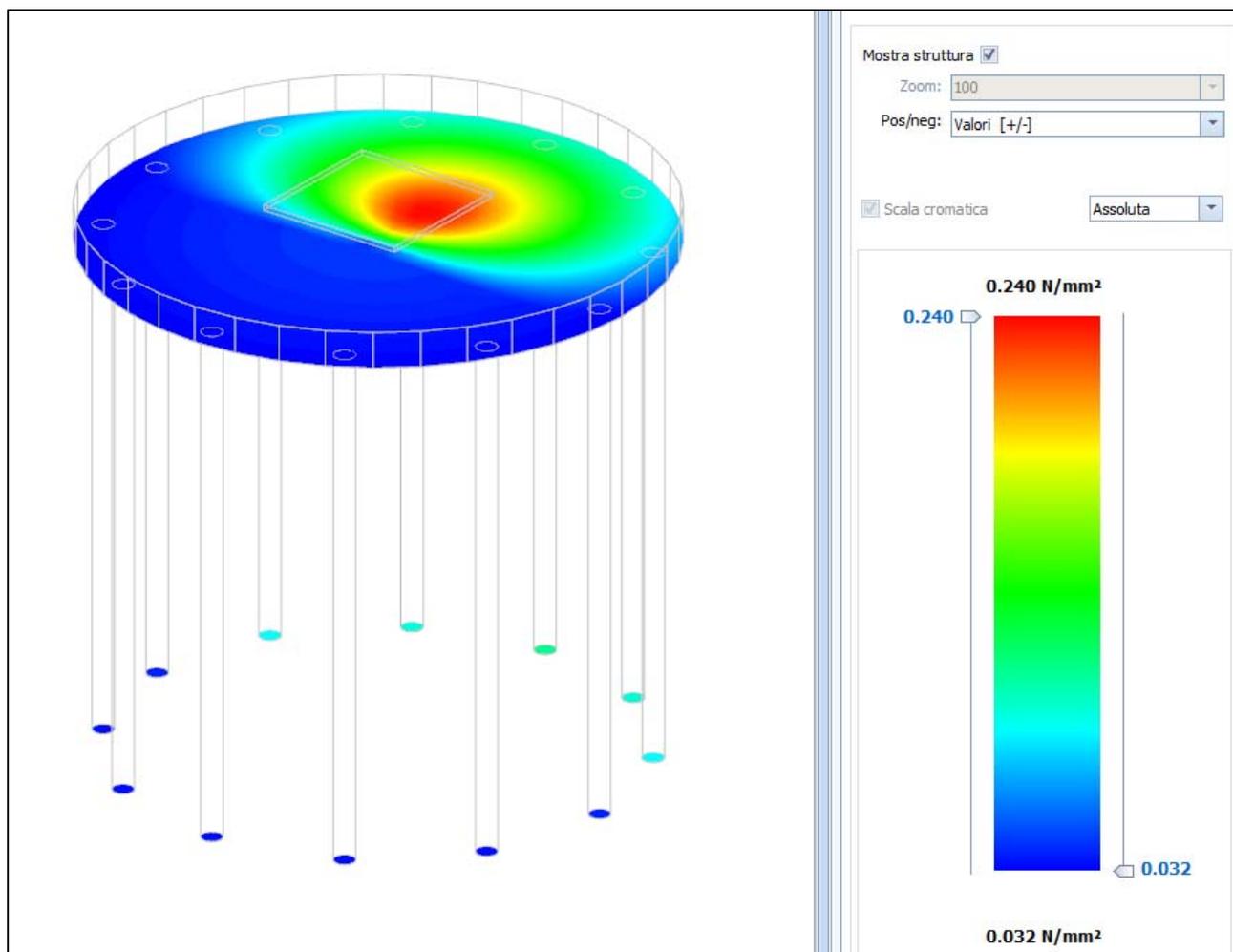


Figura 4: tensioni sul terreno

7.3 Carico limite per pali

Per il calcolo del carico limite verticale viene adottato il metodo dell'equilibrio limite in base al quale il carico limite verticale q_{lim} è dato dalla somma della resistenza laterale P_l e della resistenza alla punta P_p :

$$q_{lim} = P_p + P_l$$

Stimando il carico limite sia in condizione drenate che non drenate è fondamentale nella stratigrafia il comportamento del singolo strato (coerente/incoerente). In particolare se uno strato è stato dichiarato incoerente il suo contributo al carico limite viene sempre valutato in condizioni drenate a prescindere dal metodo di calcolo richiesto (drenato/non drenato).

Per la valutazione del carico limite orizzontale si è fatto riferimento alla teoria di Broms e al caso di pali supporti vincolati in testa (rotazione impedita). Le ipotesi assunte da *Broms* sono le seguenti:

- comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente plastico, cioè la resistenza del terreno si mobilita interamente per un qualsiasi valore non nullo dello spostamento e resta poi costante al crescere dello spostamento;



- forma del palo influente rispetto al carico limite orizzontale il quale risulta influenzato solo dal diametro del palo stesso;
- in presenza di forze orizzontali la resistenza della sezione strutturale del palo può essere chiamata in causa poiché il regime di sollecitazione di flessione e taglio che consegue all'applicazione di forze orizzontali è molto più gravoso dello sforzo normale che consegue all'applicazione di carichi verticali;
- anche il comportamento flessionale del palo è assunto di tipo rigido-perfettamente plastico, cioè le rotazioni plastiche del palo sono trascurabili finché il momento flettente non attinge al valore M_{plast} ovvero momento di plasticizzazione. A questo punto nella sezione si forma una cerniera plastica ovvero la rotazione continua indefinitamente sotto momento costante.

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra:

- il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo;
- il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo.

PALI - VERIFICHE A CARICO LIMITE VERTICALE E ORIZZONTALE ALLO SLU

Pali - Verifiche a carico limite verticale e orizzontale allo SLU

Id _{PI/Pnt PI}	Id _{Nd,sup}	Q _{Ed,V} [N]	Q _{Ed,o} [N]	Q _{Rd,V} [N]	Q _{Rd,V,Pt} [N]	Q _{Rd,V,Lt} [N]	Q _{Rd,o} [N]	M _{max,o} [N·m]	T.R.	Z _{c,pls} [m]	CS _v	CS _o
PALO12	00003	882.810	173.328	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	3,93	1,53
PALO7	00004	317.547	20.764	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	10,94	12,75
PALO1	00005	227.647	173.135	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	15,26	1,53
PALO6	00006	320.140	243.745	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	10,85	1,09
PALO11	00007	809.300	123.372	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	4,29	2,15
PALO9	00008	600.935	66.396	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	5,78	3,99
PALO5	00009	227.361	66.435	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	15,28	3,98
PALO3	00010	227.419	123.567	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	15,27	2,14
PALO2	00011	227.431	211.549	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	15,27	1,25
PALO4	00012	227.407	235.565	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	15,28	1,12
PALO8	00013	600.882	235.525	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	5,78	1,12
PALO10	00054	805.891	211.544	3.473.783	1.928.376	1.545.407	264.698	483036	Palo Lungo	2,63	4,31	1,25

LEGENDA:

Id _{PI/Pnt PI}	Identificativo del palo o del plinto su pali.
Id _{Nd,sup}	Identificativo del nodo all'estremo superiore del palo o della pilastata cui il plinto è collegato.
Q _{Ed,V}	Carico verticale di progetto.
Q _{Ed,o}	Carico orizzontale di progetto.
Q _{Rd,V}	Resistenza di progetto verticale.
Q _{Rd,V,Pt}	Aliquota della resistenza di progetto verticale dovuto alla resistenza alla punta.
Q _{Rd,V,Lt}	Aliquota della resistenza di progetto verticale dovuto alla resistenza laterale.
Q _{Rd,o}	Resistenza di progetto orizzontale.
M _{max,o}	Momento massimo lungo il palo per carichi orizzontali.
T.R.	Modalità di rottura per carico limite orizzontale (Palo Corto, Palo Medio, Palo Lungo).
Z _{c,pls}	Profondità della seconda cerniera plastica.
CS _v	Coefficiente di sicurezza per azioni verticali ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
CS _o	Coefficiente di sicurezza per azioni orizzontali ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).



8 Verifiche strutturali

La verifica degli elementi allo S.L.U. avviene col seguente procedimento: si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni; si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute all'azione del sisma secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018; per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

8.1 Verifica a pressoflessione retta del plinto

Si riporta di seguito, in forma tabellare, la verifica a pressoflessione retta allo S.L.U. del plinto di fondazione dell'aerogeneratore.

PLINTO - VERIFICHE PRESSOFLESSIONE RETTA ALLO SLU

Verifiche pressoflessione retta allo SLU																			
Dir	Pos	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _{df}	CS	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _{df}	CS	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _{df}	CS
			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]	
Fondazione																			
Platea 1																			
P	S	00001	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00003	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00004	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	1.506. 865	0,536 17	0,536 17	46,6 4		2	34.79 2	0,536 17	0,536 17	3,04		-2	34.79 2	0,536 17	0,536 17	3,04
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		0	1.360. 482	0,402 12	0,402 12	3,53		-2	21.58 9	0,402 12	0,402 12	NS		2	21.58 9	0,402 12	0,402 12	NS
P	S	00005	2	33.40 6	0,265 46	0,265 46	2,91	00006	-2	33.40 6	0,265 46	0,265 46	2,91	00007	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	966	0,536 17	0,536 17	2,97		0	966	0,536 17	0,536 17	2,97		7	208.1 12	0,536 17	0,536 17	3,41
S	S		-2	31.45 4	0,402 12	0,402 12	NS		2	31.45 4	0,402 12	0,402 12	NS		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		0	866	0,402 12	0,402 12	NS		0	866	0,402 12	0,402 12	NS		-2	147.4 48	0,402 12	0,402 12	32,58
P	S	00008	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00009	584	693.3 06	2,276 08	2,276 08	1,78	00010	-113	1.786. 674	2,276 08	2,276 08	2,02
	I		-39	247.8 08	0,536 17	0,536 17	3,51		0	2.854	0,536 17	0,536 17	1,65		0	3.346	0,536 17	0,536 17	1,65
S	S		23	237.6 41	0,402 12	0,402 12	20,2 2		-481	29.35 0	1,206 37	1,206 37	2,04		-208	16.29 8	1,206 37	1,206 37	2,03
	I		0	3.262	0,402 12	0,402 12	NS		0	3.645	0,402 12	0,402 12	2,02		0	1.108	0,402 12	0,402 12	2,02
P	S	00011	627	2.979. 062	2,276 08	2,276 08	2,38	00012	0	3.578. 621	2,276 08	2,276 08	2,61	00013	-627	2.979. 062	2,276 08	2,276 08	2,38
	I		0	3.110	0,536 17	0,536 17	1,65		0	3.410	0,536 17	0,536 17	1,65		0	3.110	0,536 17	0,536 17	1,65
S	S		0	0	1,206 37	1,206 37	-		0	0	1,206 37	1,206 37	-		0	0	1,206 37	1,206 37	-
	I		-612	129.9 10	0,402 12	0,402 12	1,97		0	63.69 3	0,402 12	0,402 12	2,00		612	129.9 10	0,402 12	0,402 12	1,97
P	S	00014	113	1.786. 674	2,276 08	2,276 08	2,02	00015	-584	693.3 06	2,276 08	2,276 08	1,78	00016	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	3.346	0,536 17	0,536 17	1,65		0	2.854	0,536 17	0,536 17	1,65		39	247.8 08	0,536 17	0,536 17	3,51
S	S		208	16.29 8	1,206 37	1,206 37	2,03		481	29.35 0	1,206 37	1,206 37	2,04		-23	237.6 41	0,402 12	0,402 12	20,22
	I		0	1.108	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.645	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.262	0,402 12	0,402 12	NS
P	S	00017	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00018	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00019	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		-7	208.1 12	0,536 17	0,536 17	3,41		-7	107.0 36	0,536 17	0,536 17	3,18		31	551.1 01	0,536 17	0,536 17	4,52



REGIONE BASILICATA - PROVINCIA DI POTENZA - COMUNE DI VENOSA
PROGETTO DEFINITIVO
Parco Eolico "Piani di Pedina"
Relazione preliminare sulle strutture

Verifiche pressoflessione retta allo SLU																			
Dir	Pos	Nodo	NEd	MEd	As	A _{df}	CS	Nodo	NEd	MEd	As	A _{df}	CS	Nodo	NEd	MEd	As	A _{df}	CS
			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]	
S	S		0	0	0,402	0,402	-		3	254.9	0,402	0,402	18,8		-20	745.7	0,402	0,402	6,44
	I		2	147.4	0,402	0,402	32,5		0	2.260	0,402	0,402	NS		0	2.283	0,402	0,402	NS
P	S	00020	0	163.6	0,265	0,265	2,70	00021	0	0	0,265	0,265	-	00022	0	0	0,265	0,265	-
	I		0	1.929	0,536	0,536	2,98		-37	682.7	0,536	0,536	5,16		198	360.9	0,536	0,536	3,83
S	S		0	865.9	0,402	0,402	5,55		38	968.0	0,402	0,402	4,96		-110	556.5	0,402	0,402	8,63
	I		0	3.897	0,402	0,402	NS		0	2.575	0,402	0,402	NS		0	2.596	0,402	0,402	NS
P	S	00023	0	0	0,265	0,265	-	00024	-198	392.2	0,265	0,265	2,39	00025	37	683.3	0,265	0,265	2,09
	I		0	4.339	0,536	0,536	2,98		0	3.117	0,536	0,536	2,98		0	3.093	0,536	0,536	2,98
S	S		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-
	I		0	287.2	0,402	0,402	16,7		110	1.105.	0,402	0,402	4,35		-38	1.445.	0,402	0,402	3,32
P	S	00026	0	0	0,265	0,265	-	00027	-31	521.2	0,265	0,265	2,24	00028	7	96.58	0,265	0,265	2,80
	I		0	155.8	0,536	0,536	3,29		0	2.910	0,536	0,536	2,98		0	342	0,536	0,536	2,97
S	S		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-
	I		0	1.215.	0,402	0,402	3,95		20	940.9	0,402	0,402	5,11		-3	344.2	0,402	0,402	13,95
P	S	00029	7	121.5	0,265	0,265	2,76	00030	-39	95.99	0,265	0,265	2,80	00031	0	0	0,265	0,265	-
	I		0	2.380	0,536	0,536	2,98		0	3.063	0,536	0,536	2,98		584	1.034.	0,536	0,536	8,31
S	S		-2	162.0	0,402	0,402	29,6		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-
	I		0	970	0,402	0,402	NS		23	285.3	0,402	0,402	16,8		-481	13.79	0,402	0,402	NS
P	S	00032	0	0	0,265	0,265	-	00033	0	0	0,265	0,265	-	00034	0	0	0,265	0,265	-
	I		-113	2.235.	0,536	0,536	7,64		627	3.573.	0,536	0,536	2,44		0	4.186.	0,536	0,536	1,86
S	S		0	0	0,402	0,402	-		-612	162.6	0,402	0,402	29,5		0	52.31	0,402	0,402	91,84
	I		-208	35.29	0,402	0,402	NS		0	4.075	0,402	0,402	NS		0	1.025	0,402	0,402	NS
P	S	00035	0	0	0,265	0,265	-	00036	0	0	0,265	0,265	-	00037	0	0	0,265	0,265	-
	I		-627	3.573.	0,536	0,536	2,44		113	2.235.	0,536	0,536	7,64		-584	1.034.	0,536	0,536	8,32
S	S		612	162.6	0,402	0,402	29,5		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-
	I		0	4.075	0,402	0,402	NS		208	35.29	0,402	0,402	NS		481	13.79	0,402	0,402	NS
P	S	00038	39	95.99	0,265	0,265	2,80	00039	-7	121.5	0,265	0,265	2,76	00040	-7	96.58	0,265	0,265	2,80
	I		0	3.063	0,536	0,536	2,98		0	2.380	0,536	0,536	2,98		0	342	0,536	0,536	2,97
S	S		0	0	0,402	0,402	-		2	162.0	0,402	0,402	29,6		0	0	0,402	0,402	-
	I		-23	285.3	0,402	0,402	16,8		0	970	0,402	0,402	NS		3	344.2	0,402	0,402	13,95
P	S	00041	31	521.2	0,265	0,265	2,24	00042	0	0	0,265	0,265	-	00043	-37	683.3	0,265	0,265	2,09
	I		0	2.910	0,536	0,536	2,98		0	155.8	0,536	0,536	3,29		0	3.093	0,536	0,536	2,98
S	S		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-
	I		-20	940.9	0,402	0,402	5,11		0	1.215.	0,402	0,402	3,95		38	1.445.	0,402	0,402	3,32
P	S	00044	198	392.2	0,265	0,265	2,39	00045	0	0	0,265	0,265	-	00046	0	0	0,265	0,265	-
	I		0	3.117	0,536	0,536	2,98		0	4.339	0,536	0,536	2,98		-198	360.9	0,536	0,536	3,83
S	S		0	0	0,402	0,402	-		0	0	0,402	0,402	-		110	556.5	0,402	0,402	8,63



Verifiche pressoflessione retta allo SLU																			
Dir	Pos	Nodo	NEd	MEd	As	A _{df}	CS	Nodo	NEd	MEd	As	A _{df}	CS	Nodo	NEd	MEd	As	A _{df}	CS
			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]	
	I		-110	1.105.601	0,402 12	0,402 12	4,35		0	287.276	0,402 12	0,402 12	16,7 2		0	2.596	0,402 12	0,402 12	NS
P	S	00047	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00048	0	163.670	0,265 46	0,265 46	2,70	00049	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		37	682.762	0,536 17	0,536 17	5,16		0	1.929	0,536 17	0,536 17	2,98		-31	551.101	0,536 17	0,536 17	4,52
S	S		-38	968.049	0,402 12	0,402 12	4,96		0	865.971	0,402 12	0,402 12	5,55		20	745.764	0,402 12	0,402 12	6,44
	I		0	2.575	0,402 12	0,402 12	NS		0	3.897	0,402 12	0,402 12	NS		0	2.283	0,402 12	0,402 12	NS
P	S	00050	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00051	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00052	4	27.684	0,265 46	0,265 46	2,92
	I		7	107.036	0,536 17	0,536 17	3,18		-4	68.780	0,536 17	0,536 17	3,10		0	1.587	0,536 17	0,536 17	2,97
S	S		-3	254.967	0,402 12	0,402 12	18,8 4		0	79.765	0,402 12	0,402 12	60,2 3		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		0	2.260	0,402 12	0,402 12	NS		0	1.707	0,402 12	0,402 12	NS		0	123.244	0,402 12	0,402 12	38,98
P	S	00053	-4	27.684	0,265 46	0,265 46	2,92	00054	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00055	-2	180.855	0,265 46	0,265 46	2,67
	I		0	1.587	0,536 17	0,536 17	2,97		4	68.780	0,536 17	0,536 17	3,10		0	2.579	0,536 17	0,536 17	2,98
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	79.765	0,402 12	0,402 12	60,2 3		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		0	123.244	0,402 12	0,402 12	38,9 8		0	1.707	0,402 12	0,402 12	NS		-23	807.651	0,402 12	0,402 12	5,95
P	S	00056	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00057	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00058	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		-487	328.203	0,536 17	0,536 17	3,73		9.424	2.646.119	2,546 79	2,546 79	1,59		0	5.252.049	2,546 79	2,546 79	2,16
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		382	1.417.975	0,402 12	0,402 12	3,39		-9.190	1.275.563	1,206 37	1,206 37	2,79		0	769.290	1,206 37	1,206 37	2,42
P	S	00059	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00060	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00061	2	180.855	0,265 46	0,265 46	2,67
	I		-9.424	2.646.119	2,546 79	2,546 79	1,59		487	328.203	0,536 17	0,536 17	3,73		0	2.579	0,536 17	0,536 17	2,98
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		9.190	1.275.563	1,206 37	1,206 37	2,78		-382	1.417.975	0,402 12	0,402 12	3,39		23	807.651	0,402 12	0,402 12	5,95
P	S	00062	-94	573.554	0,265 46	0,265 46	2,19	00063	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00064	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	3.608	0,536 17	0,536 17	2,98		8.211	1.055.156	2,546 79	2,546 79	1,37		-427.406	6.216.646	2,546 79	2,546 79	2,61
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		85	2.438.570	0,402 12	0,402 12	1,97		-7.960	4.599.001	1,206 37	1,206 37	NS		414.389	5.043.246	1,206 37	1,206 37	27,56
P	S	00065	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00066	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00067	94	573.554	0,265 46	0,265 46	2,19
	I		427.406	6.216.646	2,546 79	2,546 79	2,36		-8.211	1.055.156	2,546 79	2,546 79	1,37		0	3.608	0,536 17	0,536 17	2,98
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		-414.389	5.043.246	1,206 37	1,206 37	25,9 1		7.960	4.599.001	1,206 37	1,206 37	NS		-85	2.438.570	0,402 12	0,402 12	1,97
P	S	00068	-6	390.954	0,265 46	0,265 46	2,39	00069	-3.341	565.758	0,265 46	0,265 46	2,20	00070	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	3.463	0,536 17	0,536 17	2,98		0	3.122	0,536 17	0,536 17	2,98		116.839	948.092	2,546 79	2,546 79	1,34
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		-126	1.326.166	0,402 12	0,402 12	3,62		3.239	3.463.640	0,402 12	0,402 12	1,39		-113.281	11.923.177	1,206 37	1,206 37	1,33
P	S	00071	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00072	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00073	3.341	565.758	0,265 46	0,265 46	2,20
	I		0	22.843.834	2,546 79	2,546 79	1,53		-116.839	948.092	2,546 79	2,546 79	1,37		0	3.122	0,536 17	0,536 17	2,98
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-



Verifiche pressoflessione retta allo SLU

Dir	Pos	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _d	CS	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _d	CS	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _d	CS
			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]			[N]	[N-m]	[cm ² /cm]	[cm ² /cm]	
	I		0	11.75 0.259	1,206 37	1,206 37	1,34		113.2 81	11.92 3.177	1,206 37	1,206 37	1,29		-3.239	3.463. 640	0,402 12	0,402 12	1,39
P	S	00074	6	390.9 54	0,265 46	0,265 46	2,39	00075	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00076	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	3.463	0,536 17	0,536 17	2,98		0	26.82 7	0,536 17	0,536 17	3,02		0	209.3 26	0,536 17	0,536 17	3,42
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		126	1.326. 166	0,402 12	0,402 12	3,62		0	340.2 38	0,402 12	0,402 12	14,1 2		0	514.3 34	0,402 12	0,402 12	9,34
P	S	00077	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00078	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00079	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	793.2 62	0,536 17	0,536 17	5,86		0	793.2 62	0,536 17	0,536 17	5,86		0	209.3 26	0,536 17	0,536 17	3,42
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-		0	0	0,402 12	0,402 12	-
	I		0	1.109. 542	0,402 12	0,402 12	4,33		0	1.109. 542	0,402 12	0,402 12	4,33		0	514.3 34	0,402 12	0,402 12	9,34
P	S	00080	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00081	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00082	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	26.82 7	0,536 17	0,536 17	3,02		6	405.1 22	0,536 17	0,536 17	3,97		3.341	778.9 36	0,536 17	0,536 17	5,75
S	S		0	0	0,402 12	0,402 12	-		126	789.3 06	0,402 12	0,402 12	6,09		-3.239	2.767. 746	0,402 12	0,402 12	1,74
	I		0	340.2 38	0,402 12	0,402 12	14,1 2		0	2.673	0,402 12	0,402 12	NS		0	3.411	0,402 12	0,402 12	NS
P	S	00083	- 116.8 39	176.6 94	2,276 08	2,276 08	1,71	00084	0	21.11 8.294	2,276 08	2,276 08	1,43	00085	116.8 39	176.6 94	2,276 08	2,276 08	1,67
	I		0	3.207	0,536 17	0,536 17	1,65		0	2.603	0,536 17	0,536 17	1,65		0	3.207	0,536 17	0,536 17	1,65
S	S		113.2 81	11.02 4.130	1,206 37	1,206 37	1,48		0	10.78 2.088	1,206 37	1,206 37	1,56		- 113.2 81	11.02 4.129	1,206 37	1,206 37	1,52
	I		0	3.060	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.220	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.060	0,402 12	0,402 12	2,02
P	S	00086	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00087	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00088	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		-3.341	778.9 36	0,536 17	0,536 17	5,77		-6	405.1 22	0,536 17	0,536 17	3,97		94	688.5 15	0,536 17	0,536 17	5,19
S	S		3.239	2.767. 746	0,402 12	0,402 12	1,73		-126	789.3 06	0,402 12	0,402 12	6,09		-85	2.084. 958	0,402 12	0,402 12	2,30
	I		0	3.411	0,402 12	0,402 12	NS		0	2.673	0,402 12	0,402 12	NS		0	3.154	0,402 12	0,402 12	NS
P	S	00089	-8.211	617.0 62	2,276 08	2,276 08	1,77	00090	427.4 06	5.336. 238	2,276 08	2,276 08	3,45	00091	- 427.4 06	5.336. 238	2,276 08	2,276 08	3,84
	I		0	3.250	0,536 17	0,536 17	1,65		0	2.922	0,536 17	0,536 17	1,65		0	2.922	0,536 17	0,536 17	1,65
S	S		7.960	4.247. 948	1,206 37	1,206 37	21,4 3		- 414.3 89	4.767. 696	1,206 37	1,206 37	88,6 5		414.3 89	4.767. 696	1,206 37	1,206 37	NS
	I		0	2.990	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.119	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.119	0,402 12	0,402 12	2,02
P	S	00092	8.211	617.0 62	2,276 08	2,276 08	1,76	00093	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00094	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	3.250	0,536 17	0,536 17	1,65		-94	688.5 15	0,536 17	0,536 17	5,19		2	243.9 79	0,536 17	0,536 17	3,50
S	S		-7.960	4.247. 949	1,206 37	1,206 37	21,5 5		85	2.084. 958	0,402 12	0,402 12	2,30		23	665.6 97	0,402 12	0,402 12	7,22
	I		0	2.990	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.154	0,402 12	0,402 12	NS		0	3.016	0,402 12	0,402 12	NS
P	S	00095	487	76.13 7	0,265 46	0,265 46	2,84	00096	-9.424	2.111. 719	2,276 08	2,276 08	2,11	00097	0	4.534. 318	2,276 08	2,276 08	3,08
	I		0	2.848	0,536 17	0,536 17	2,98		0	2.964	0,536 17	0,536 17	1,65		0	2.916	0,536 17	0,536 17	1,65
S	S		-382	1.302. 064	0,402 12	0,402 12	3,69		9.190	1.223. 671	1,206 37	1,206 37	2,73		0	759.1 69	1,206 37	1,206 37	2,42
	I		0	3.713	0,402 12	0,402 12	NS		0	3.454	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.217	0,402 12	0,402 12	2,02
P	S	00098	9.424	2.111. 719	2,276 08	2,276 08	2,11	00099	-487	76.13 7	0,265 46	0,265 46	2,84	00100	0	0	0,265 46	0,265 46	-
	I		0	2.964	0,536 17	0,536 17	1,65		0	2.848	0,536 17	0,536 17	2,98		-2	243.9 79	0,536 17	0,536 17	3,50
S	S		-9.190	1.223. 671	1,206 37	1,206 37	2,74		382	1.302. 064	0,402 12	0,402 12	3,69		-23	665.6 97	0,402 12	0,402 12	7,22



Verifiche pressoflessione retta allo SLU

Dir	Pos	Nodo	N _{Ed}		M _{Ed}		A _s		A _{df}		CS	Nodo	N _{Ed}		M _{Ed}		A _s		A _{df}		CS
			[N]	[N-m]	[N/mm ²]	[N-m]	[N]	[N-m]	[N/mm ²]	[N-m]			[N]	[N-m]	[N/mm ²]	[N-m]	[N]	[N-m]	[N/mm ²]	[N-m]	
	I		0	3.454	0,402 12	0,402 12	2,02		0	3.713	0,402 12	0,402 12	NS		0	3.016	0,402 12	0,402 12		NS	

LEGENDA:

- Dir** Direzione [P] = principale (asse locale 1) - [S] = secondaria (asse locale 2).
- Pos** Posizione [S] = superiore - [I] = inferiore.
- A_s** Area delle armature esecutive per unità di lunghezza.
- A_{df}** Armatura disponibile per la flessione
- CS** Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se CS ≥ 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
- N_{Ed}, M_{Ed}** Sollecitazioni di progetto.

8.2 Verifica delle tensioni di esercizio del plinto

Si riporta di seguito, in forma tabellare, la verifica delle tensioni di esercizio del plinto di fondazione, sia per il calcestruzzo che per l'acciaio.

PLINTO - VERIFICHE DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO

verifiche delle tensioni di esercizio

Nodo/ T _{Prmf}	Dir	Compressione calcestruzzo							Trazione acciaio						
		Compressione calcestruzzo rinforzo							Trazione acciaio/FRP rinforzo						
		Id _{Cmb}	σ _{cc}	σ _{cd,amm}	N _{Ed}	M _{Ed}	CS	Verificato	Id _{Cmb}	σ _{at}	σ _{td,amm}	N _{Ed}	M _{Ed}	CS	Verificato
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N]	[N-m]					[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N]	[N-m]		
Fondazione															
00072	P	RAR	0,508	18,43	116.839	-947.130	36,26	SI	RAR	5,279	360,00	116.839	-947.130	68,20	SI
		QPR	0,002	13,82	0	-3.207	NS	SI	-	-	-	-	-	-	-
	S	RAR	8,751	18,43	-113.281	11.922.259	2,11	SI	RAR	353,704	360,00	-113.281	11.922.259	1,02	SI
		QPR	0,002	13,82	0	-3.060	NS	SI	-	-	-	-	-	-	-

LEGENDA:

- Rinf.** Indica la presenza del rinforzo sulla sezione di verifica.
- Dir** Direzione [P] = principale (asse locale 1) - [S] = secondaria (asse locale 2).
- Id_{Cmb}** Identificativo della Combinazione di Azione: [QPR] = Quasi Permanente - [FRQ] = Frequente - [RAR] = Rara.
- σ_{cc}** Tensione massima di compressione nel calcestruzzo della Trave/Rinforzo.
- σ_{cd,amm}** Tensione ammissibile per la verifica a compressione del calcestruzzo.
- σ_{at}** Tensione massima di trazione nell'acciaio della Trave/Rinforzo o nel FRP.
- σ_{td,amm}** Tensione ammissibile per la verifica a trazione dell'acciaio/rinforzo.
- N_{Ed}, M_{Ed}** Sollecitazioni di progetto.
- CS** Coefficiente di Sicurezza (= σ_{cd,amm}/σ_{cc} ; σ_{td,amm}/σ_{at}). [NS] = Non Significativo (CS ≥ 100).
- Verificato** [SI] = La verifica è soddisfatta (σ_{cc} ≤ σ_{cd,amm} ; σ_{at} ≤ σ_{td,amm}). [NO] = La verifica NON è soddisfatta (σ_{cc} > σ_{cd,amm} ; σ_{at} > σ_{td,amm}).
- Nota** Nella tabella, per ogni elemento, viene riportato il nodo della shell che ha il coefficiente di sicurezza (CS) più piccolo.

8.3 Verifica a fessurazione del plinto

Si riporta di seguito, in forma tabellare, la verifica a fessurazione del plinto di fondazione.

PLINTO - VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

verifica allo stato limite di fessurazione

Nodo	Dir	Id _{Cmb}	N _{Ed}		M _{Ed}		σ _{ct,f}	σ _t	ε _{sm}	A _e	Δ _{sm}	W _d	W _{amm}	CS	Verificato
			[N]	[N-m]	[N/mm ²]	[N-m]									
Fondazione															
			Platea 1				AA= PCA								
NOTA: L'elemento NON è fessurato. Di seguito si riporta il nodo strutturale per la quale si riscontra la massima tensione di trazione(max σ_{ct,f})															
00035	P	FRQ	-	-3.110	0,00	2,45	0 E+00	0	0	0,000	0,400	-	SI		
		QPR	-	-3.110	0,00	2,45	0 E+00	0	0	0,000	0,300	-	SI		
	S	FRQ	-	-4.075	0,00	2,45	0 E+00	0	0	0,000	0,400	-	SI		
		QPR	-	-4.075	0,00	2,45	0 E+00	0	0	0,000	0,300	-	SI		

LEGENDA:

- Dir** Direzione [P] = principale (asse locale 1) - [S] = secondaria (asse locale 2).
- AA** Identificativo dell'aggressività dell'ambiente: [PCA] = Ordinarie (Poco aggressivo) - [MDA] = Aggressive (Moderatamente aggressivo) - [MLA] = Molto aggressive.



verifica allo stato limite di fessurazione

Nodo	Dir	I_{dCmb}	N_{Ed}	M_{Ed}	$\sigma_{ct,f}$	σ_t	ϵ_{sm}	A_e	Δ_{sm}	W_d	W_{amm}	CS	Verificato
			[N]	[N-m]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[cm ²]	[mm]	[mm]	[mm]		o
I_{dCmb}	Identificativo della Combinazione di Azione: [QPR] = Quasi Permanente - [FRQ] = Frequente - [RAR] = Rara.												
N_{Ed}, M_{Ed}	Sollecitazioni di progetto.												
$\sigma_{ct,f}$	Tensione massima di trazione nel calcestruzzo per la fessurazione, calcolata nell'ipotesi di calcestruzzo resistente a trazione. Se tale valore è maggiore di σ_t la sezione è soggetta a fessurazione.												
σ_t	N.B. I valori negativi indicano una sezione interamente compressa. In tal caso le sollecitazioni forniscono il minimo valore di compressione.												
ϵ_{sm}	Deformazione media nel calcestruzzo.												
A_e	Area efficace del calcestruzzo teso.												
Δ_{sm}	Distanza media tra le fessure.												
W_d	Valore di calcolo di apertura massima delle fessure.												
W_{amm}	Valore ammissibile di apertura delle fessure.												
CS	Coefficiente di Sicurezza (= W_d / W_{amm}). [NS] = Non Significativo (CS ≥ 100). [-] = Fessurazioni nulle ($W_d = 0$).												
Verificato	[SI] = $W_d \leq W_{amm}$; [NO] = $W_d > W_{amm}$												

8.4 Verifica a pressoflessione deviata dei pali

Si riporta di seguito, in forma tabellare, la verifica a pressoflessione deviata dei pali di fondazione.

PALI - VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE DEVIATA ALLO SLU

Pali - Verifiche a pressoflessione deviata allo SLU										
I_{dPI}	I_{dNd}	N_{Ed}	$M_{Ed,x}$	$M_{Ed,y}$	CS	N_u	ϕ_s	n_s	$\phi_{As,st}$	
		[N]	[N-m]	[N-m]		[N]	[mm]		[mm]	
PALO12	00003	833.148	-252.240	-306	2.55[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO7	00004	267.885	97.152	91.328	3.91[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO1	00005	-294.971	-69.136	-310	5.52[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO6	00006	270.478	97.038	-91.245	3.92[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO11	00007	759.638	-175.866	158.208	2.66[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO9	00008	551.273	-10.906	192.593	3.03[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO5	00009	-12.162	79.168	-32.860	5.32[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO3	00010	-217.209	-16.836	-65.957	5.94[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO2	00011	-219.790	-17.073	66.259	5.90[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO4	00012	-12.126	80.759	33.255	5.22[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO8	00013	551.220	-11.675	-192.106	3.04[V]	7.149.150	20	12	8	
PALO10	00054	756.229	-174.753	-157.899	2.67[V]	7.149.150	20	12	8	

LEGENDA:

I_{dPI}	Identificativo del palo.
I_{dNd}	Identificativo del nodo in testa al palo.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se CS ≥ 100 ; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
N_u	Sforzo Normale Ultimo per compressione semplice.
ϕ_s	Diametro delle barre di acciaio.
n_s	Numero delle barre di acciaio.
$\phi_{As,st}$	Diametro delle staffe.
$N_{Ed}, M_{Ed,x}, M_{Ed,y}$	Sollecitazioni di progetto.

8.5 Verifica a taglio per pressoflessione deviata dei pali

Si riporta di seguito, in forma tabellare, la verifica a taglio per pressoflessione deviata dei pali di fondazione.

PALI - VERIFICHE A TAGLIO (Fondazione)

Pali - Verifiche a Taglio											
I_{dPI}	I_{dNd}	V_{Ed}	CS	V_{Rcd}		$V_{Rsd,s}$		A_{sw}	S_{Asw}	$\phi_{As,st}$	
				X	Y	X	Y				
		[N]		[N]		[N]		[cm ² /cm]	[cm]	[mm]	
PALO12	00003	173.328	2,04	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8	
PALO7	00004	20.764	17,05	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8	
PALO1	00005	173.135	2,04	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8	
PALO6	00006	243.745	1,45	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8	
PALO11	00007	123.372	2,87	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8	
PALO9	00008	66.396	5,33	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8	



Pali - Verifiche a Taglio

Id _{PI}	Id _{Nd}	V _{Ed}	CS	V _{Rcd}		V _{Rsd,s}		A _{sw}	S _{Asw}	φ _{As,st}
				X	Y	X	Y			
		[N]		[N]		[N]		[cm ² /cm]	[cm]	[mm]
PALO5	00009	66.435	5,33	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8
PALO3	00010	123.567	2,87	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8
PALO2	00011	211.549	1,67	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8
PALO4	00012	235.565	1,50	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8
PALO8	00013	235.525	1,50	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8
PALO10	00054	211.544	1,67	1331206	0	354040	0	0,0529	19	8

LEGENDA:

- Id_{PI}** Identificativo del palo.
Id_{Nd} Identificativo del nodo in testa al palo.
V_{Ed} Massima sollecitazione di taglio composta in funzione di V_{Ed,X}, V_{Ed,Y} e dell'asse neutro.
CS Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se CS ≥ 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
V_{Rcd} Resistenza a taglio compressione del calcestruzzo.
V_{Rsd,s} Resistenza a taglio trazione delle staffe.
A_{sw} Area delle staffe per unità di lunghezza.
S_{Asw} Passo massimo staffe da normativa.
φ_{As,st} Diametro delle staffe.