



Parco Eolico “La Regina”

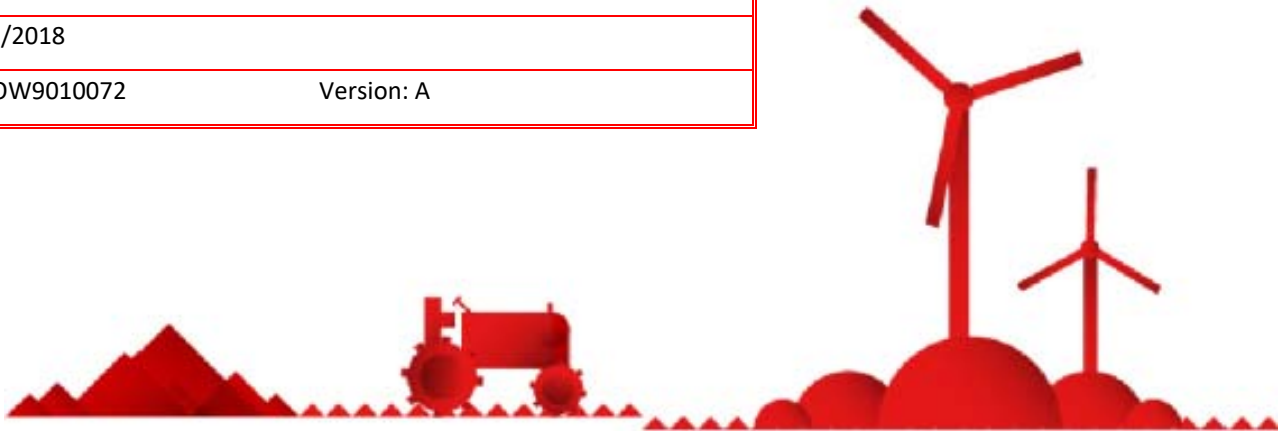
A.11 - Relazione preliminare sulle strutture

Banzi (Potenza)

15/11/2018

REF.:OW9010072

Version: A



Edp Renewables Italia Holding S.r.l.

Via Lepetit 8/10

20124 - Milano

Direttore Tecnico

Ing. Giovanni Di Santo



Via Nazario Sauro 112

85100 - Potenza

Piva 01822640767

Tel.: 0971-1944797

Fax: 0971-55452



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	Verifica a scorrimento	13
7.3	Tensioni sul terreno	14
7.4	Carico limite	14
8	Verifiche strutturali	16
8.1	Verifica a pressoflessione retta	16
8.2	Verifica delle tensioni di esercizio	20
8.3	Verifica a fessurazione	20



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 di tipo diretto, di forma circolare, di diametro pari a 21.70 m ed altezza variabile da 2.30 m (esterno gona aerogeneratore) a 0.70 m (esterno plinto).

Il calcolo riguarda le sollecitazioni massime delle singole componenti del plinto e la loro verifica.

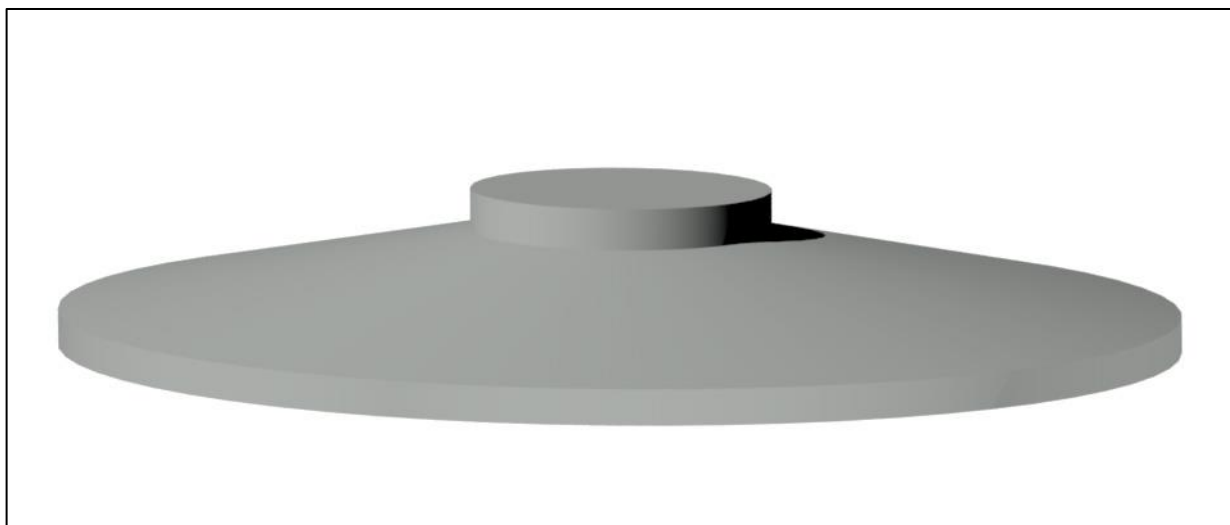


Figura 1: vista tridimensionale del plinto dell'aerogeneratore



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 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.) "Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008".



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:

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 _{cfm}	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

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_{cfm}** 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	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 ²]	K _y [N/cm ²]	K _z [N/cm ²]						A _{S-B}
TERRENO CONGLOMERATICO IN SCARSA MATRICE SABBIOSA										
T001	18.830	60	60	30	35	0,000	0,000	60	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 V150-4.2MW-HH105. La relazione fornita da Vestas ("Combine Foundation loads" – Document 0074-8846 VER 01) 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.

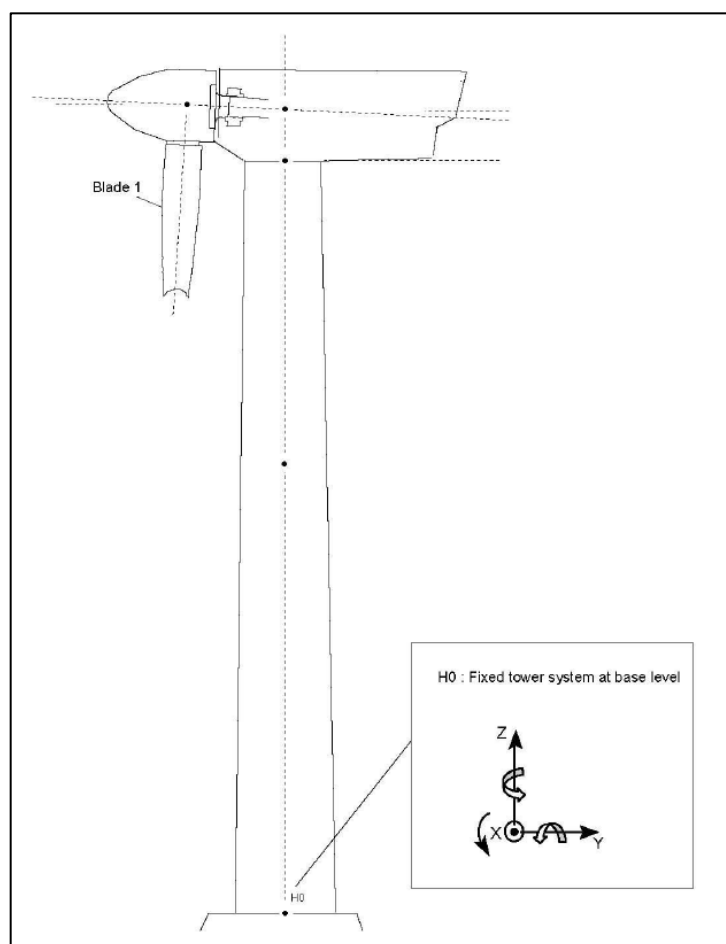


Figura 2: sistema di riferimento aerogeneratore



Characteristic Extreme								
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt	Mzt	FndFr	Fzt	Ref
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[-]
Mbt	32PREogVra11(fam242)	1.35	Abs	106000	-498.6	968.4	-4936	[1]
Mzt	21RPY8Vo1a00(fam116)	1.35	Abs	36880	-9622	343.8	-4840	[2]
FndFr	23CoEogVra5(fam181)	1.10	Abs	125300	-536.4	1201	-4961	[2]
Fzt	12IceUHWO100(fam27)	1.35	Abs	37170	2040	379.6	-5094	[2]

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

Characteristic Extreme								
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt	Mzt	FndFr	Fzt	Ref
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[-]
Mbt	23CoEogVra4(fam180)	1.10	Abs	125500	-698.8	1176	-4946	[2]
Mzt	22VOGHWO300(fam168)	1.10	Abs	21970	-10060	203.9	-4774	[2]
FndFr	23CoEogVra5(fam181)	1.10	Abs	125300	-536.4	1201	-4961	[2]
Fzt	12IceUHWO100(fam27)	1.35	Abs	37170	2040	379.6	-5094	[2]

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

Characteristic Extreme								
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt	Mzt	FndFr	Fzt	Ref
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[-]
Mbt	23CoEogVra4(fam180)	1.10	Abs	125500	-698.8	1176	-4946	[2]
Mzt	22VOGHWO300(fam168)	1.10	Abs	21970	-10060	203.9	-4774	[2]
FndFr	23CoEogVra5(fam181)	1.10	Abs	125300	-536.4	1201	-4961	[2]
Fzt	22VOGHWO200(fam167)	1.10	Abs	36490	1621	367.4	-5040	[1]

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

Characteristic Extreme								
Lead	LC/Family	PLF	Type	Mbt	Mzt	FndFr	Fzt	Ref
Sensor	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[-]
Mbt	32PREogVra11(fam242)	1.35	Abs	106000	-498.6	968.4	-4936	[1]
Mzt	21RPY8Vo1a00(fam116)	1.35	Abs	36880	-9622	343.8	-4840	[2]
FndFr	14EcdVrpa00(fam54)	1.35	Abs	98730	-1765	973.7	-4946	[2]
Fzt	12IceUHWO100(fam27)	1.35	Abs	37170	2040	379.6	-5094	[2]

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 colletto 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 $18.83 \text{ kN/mc} \cdot 274.51 \text{ mc} = 5169.03 \text{ kN}$.

5.4 Combinazioni di carico

La struttura è calcolata con vita utile 50 anni. In accordo al 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_{ki} : 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.

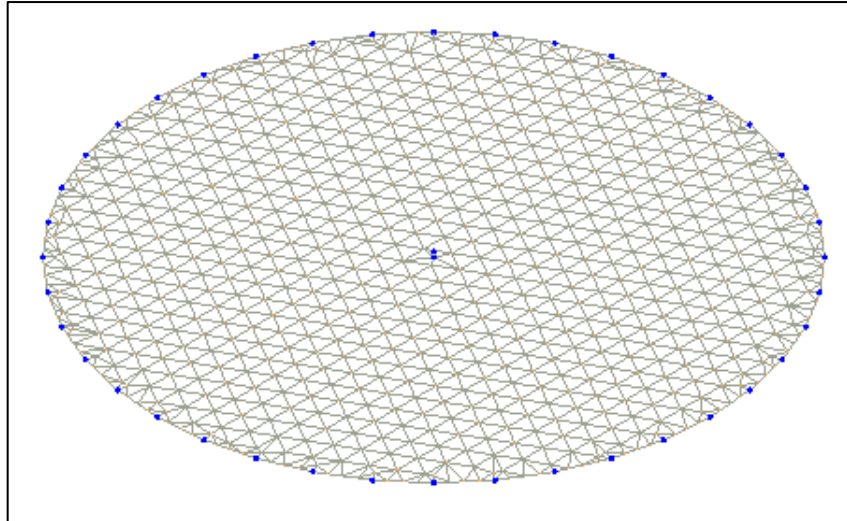


Figura 3: discretizzazione mediante elementi shell della fondazione



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

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.I del D.M. 2018 per le fondazioni superficiali.

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Verifica	Coefficiente Parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$



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 $\gamma_R = 1.15$.

$$M_{rib} = M_y + F_x \cdot h$$
$$M_{stab} = (F_z + G) \cdot r$$

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	125500,00 kNm
Fx	1201,00 kN
Fz	5094,00 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	129463,30 kNm
M stabilizzante	247767,11 kNm
FS ribaltamento	1,91

7.2 Verifica a scorrimento

La verifica allo scorrimento sul piano di posa della fondazione consiste nell'imporre l'equilibrio alla traslazione orizzontale tra tutte le forze instabilizzanti e resistenti che intervengono nel problema, richiedendo che l'equilibrio sia soddisfatto con un opportuno fattore di sicurezza alla traslazione, imposto dalle norme.

Il piano su cui scorre l'opera di sostegno è rappresentato dalla base della fondazione.

$$F_{inst} = F_x$$
$$F_{res} = (G + F_z) \cdot \text{tg}(2/3 \Phi)$$

Φ è l'angolo di attrito interno del terreno di fondazione.

VERIFICA A SCORRIMENTO	
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
Fz	5094,00 kN
fi	35,00 °
Fx	1201,00 kN
F resistente	9850,35 kN
FS scorrimento	8,20

7.3 Tensioni sul terreno

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

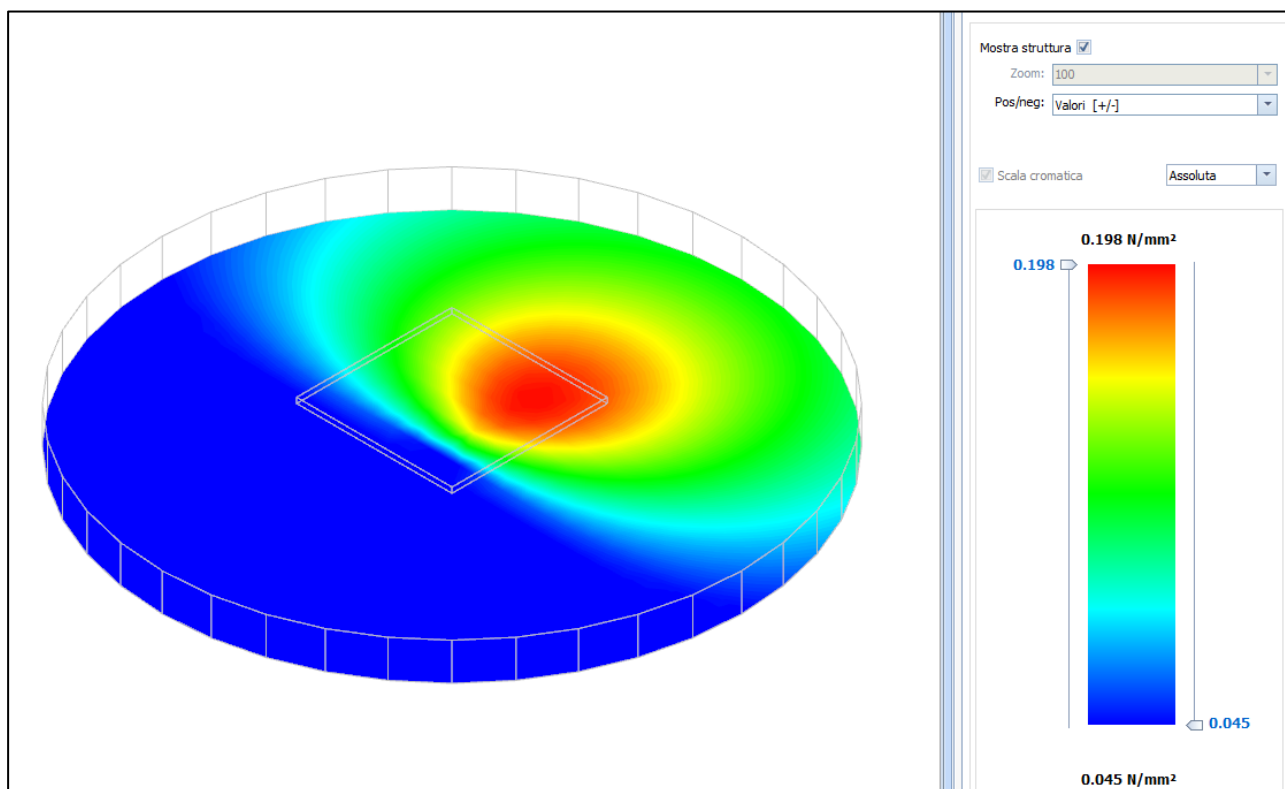


Figura 4: tensioni sul terreno

7.4 Carico limite

La formula del carico limite esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno. Il carico limite è dato dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \Psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \Psi_q + \frac{B'}{2} \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma$$



in cui:

- c = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;
- $q = \gamma \cdot D$ = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;
- γ = peso unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione;
- D = profondità del piano di posa della fondazione;
- B' = larghezza ridotta della suola di fondazione;
- L = lunghezza della fondazione;
- γ_f = peso unità di volume del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;
- N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante;
- s, d, i, g, b, ψ, r = coefficienti correttivi.

VERIFICHE CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE ALLO SLU

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{p.cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]							[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Platea	20,6 3	21,63	21,63	157, 50	1,55	-	NON Coesivo	1,43	0,00	0,52	33,3 0	46,1 2	48,0 3	0,115	2,380	N O

LEGENDA:

- Id_{Fnd}** Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.
CS Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se $CS \geq 100$; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
L_{x/y} Dimensioni dell'elemento di fondazione.
R_{tz} Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della platea.
Z_{p.cmp} Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.
Z_{Fld} Profondità della falda dal piano campagna.
Cmp T Classificazione del comportamento del terreno ai fini del calcolo.
C. Coefficienti correttivi per la formula di Terzaghi.
Terzaghi
hi
Q_{Ed} Carico di progetto sul terreno.
Q_{Rd} Resistenza di progetto del terreno.
R_f [SI] = elemento con presenza di rinforzo; [NO] = elemento senza rinforzo.



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

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

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



Verifiche pressoflessione retta allo SLU																			
Dir	Pos	Nodo	N _{Ed} [N]	M _{Ed} [N-m]	A _s [cm ² /cm]	A _{df} [cm ² /cm]	CS	Nodo	N _{Ed} [N]	M _{Ed} [N-m]	A _s [cm ² /cm]	A _{df} [cm ² /cm]	CS	Nodo	N _{Ed} [N]	M _{Ed} [N-m]	A _s [cm ² /cm]	A _{df} [cm ² /cm]	CS
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
	I		-110	1.105.	0,402	0,402	4,35		0	287.2	0,402	0,402	16,7		0	2.596	0,402	0,402	NS



Verifiche pressoflessione retta allo SLU																			
Dir	Pos	Nodo	N _{Ed} [N]	M _{Ed} [N-m]	A _s [cm ² /cm]	A _d [cm ² /cm]	CS	Nodo	N _{Ed} [N]	M _{Ed} [N-m]	A _s [cm ² /cm]	A _d [cm ² /cm]	CS	Nodo	N _{Ed} [N]	M _{Ed} [N-m]	A _s [cm ² /cm]	A _d [cm ² /cm]	CS
P	S	00047	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00048	0	163.6 70	0,265 46	0,265 46	2,70	00049	0	0	0,265 46	0,265 46	-
			37	682.7 62	0,536 17	0,536 17	5,16		0	1.929	0,536 17	0,536 17	2,98		-31	551.1 01	0,536 17	0,536 17	4,52
S	S		-38	968.0 49	0,402 12	0,402 12	4,96		0	865.9 71	0,402 12	0,402 12	5,55		20	745.7 64	0,402 12	0,402 12	6,44
			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	27.68 4	0,265 46	0,265 46	2,92
			7	107.0 36	0,536 17	0,536 17	3,18		-4	68.78 0	0,536 17	0,536 17	3,10		0	1.587	0,536 17	0,536 17	2,97
S	S		-3	254.9 67	0,402 12	0,402 12	18,8 4		0	79.76 5	0,402 12	0,402 12	60,2 3		0	0	0,402 12	0,402 12	-
			0	2.260	0,402 12	0,402 12	NS		0	1.707	0,402 12	0,402 12	NS		0	123.2 44	0,402 12	0,402 12	38,98
P	S	00053	-4	27.68 4	0,265 46	0,265 46	2,92	00054	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00055	-2	180.8 55	0,265 46	0,265 46	2,67
			0	1.587	0,536 17	0,536 17	2,97		4	68.78 0	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	79.76 5	0,402 12	0,402 12	60,2 3		0	0	0,402 12	0,402 12	-
			0	123.2 44	0,402 12	0,402 12	38,9 8		0	1.707	0,402 12	0,402 12	NS		-23	807.6 51	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	-
			-487	328.2 03	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	-
			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	769.2 90	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	180.8 55	0,265 46	0,265 46	2,67
			-9.424	2.646. 119	2,546 79	2,546 79	1,59		487	328.2 03	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	-
			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	807.6 51	0,402 12	0,402 12	5,95
P	S	00062	-94	573.5 54	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	-
			0	3.608	0,536 17	0,536 17	2,98		8.211	1.055. 156	2,546 79	2,546 79	1,37		-	427.4 06	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	-
			85	2.438. 570	0,402 12	0,402 12	1,97		-7.960	4.599. 001	1,206 37	1,206 37	NS		414.3 89	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	573.5 54	0,265 46	0,265 46	2,19
			427.4 06	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	-
			-	414.3 89	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	390.9 54	0,265 46	0,265 46	2,39	00069	-3.341	565.7 58	0,265 46	0,265 46	2,20	00070	0	0	0,265 46	0,265 46	-
			0	3.463	0,536 17	0,536 17	2,98		0	3.122	0,536 17	0,536 17	2,98		116.8 39	948.0 92	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	-
			-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		-	113.2 81	11.92 3.177	1,206 37	1,206 37
P	S	00071	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00072	0	0	0,265 46	0,265 46	-	00073	3.341	565.7 58	0,265 46	0,265 46	2,20
			0	22.84 3.834	2,546 79	2,546 79	1,53		-	116.8 39	948.0 92	2,546 79	2,546 79		1,37	0	3.122	0,536 17	0,536 17
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	-
			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



Verifiche pressoflessione retta allo SLU																			
Dir	Pos	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _{dfr}	CS	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _{dfr}	CS	Nodo	N _{Ed}	M _{Ed}	A _s	A _{dfr}	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]	
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
	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



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]	

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

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

VERIFICHE DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO

Nodo/ Tp _{mf}	Dir	Compressione calcestruzzo							Trazione acciaio						
		Compressione calcestruzzo rinforzo							Trazione acciaio/FRP rinforzo						
		Id _{Cmb}	σ _{cc}	σ _{cd,amm}	N _{Ed}	M _{Ed}	CS	Verific ato	Id _{Cmb}	σ _{at}	σ _{td,amm}	N _{Ed}	M _{Ed}	CS	Verific ato
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N]	[N-m]				[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N]	[N-m]			
Fondazione				Platea											
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).
- Verific
ato** [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

Si riporta di seguito, in forma tabellare, la verifica a fessurazione della struttura di fondazione.

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	Verificat o
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 aggressivo.
- Id_{Cmb}** Identificativo della Combinazione di Azione: [QPR] = Quasi Permanente - [FRQ] = Frequente - [RAR] = Rara.



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/mm ²]		[cm ²]	[mm]	[mm]	[mm]		o
N_{Ed}, M_{Ed}	Sollecitazioni di progetto.												
σ_{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. N.B. I valori negativi indicano una sezione interamente compressa. In tal caso le sollecitazioni forniscono il minimo valore di compressione.												
σ_t	Tensione massima di trazione nel calcestruzzo relativa allo stato limite di formazione delle fessure [relazione (4.1.37) del § 4.1.2.2.4.1 del DM 2008].												
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 ≤ W _{amm} ; [NO] = W _d > W _{amm}												