

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA
"Parco Eolico San Pietro" DI POTENZA PARI A 60 MW

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA di BRINDISI

PARCO EOLICO E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE NEI COMUNI DI:
Brindisi, San Pietro Vernotico, Cellino San Marco

PROGETTO DEFINITIVO
Id AU VSSK6Y3

Tav.:

Titolo:

R06a

Relazione sulle Strutture - Impianto Eolico
art. 26, comma 1, lett. c) DPR 207/2010

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato:

n.a.

A4

VSSK6Y3_CalcoloPreliminareStrutture_R06a

Progettazione:

Committente:

STCs S.r.l.

Via Nazario Sauro, 51 - 73100 Lecce
stcs@pec.it - fabio.calcarella@gmail.com

Dott. Ing. Fabio CALCARELLA



D. E. A.
ING. GIOVANNI LUCA D'AMATO

VIA BENEDETTO CROCE, 23 - 73100 LECCE
TEL 0832 1940701 - FAX 0832 1940702
Email: gl.damato@associatidea.com
PEC: giovanniluca.damato@lngpec.eu



wpd MURO s.r.l.



Viale Aventino, 102 - 00153 Roma
C.F. e P.I. 15443431000
tel. +39 06 960 353-00

| Data | Motivo della revisione: | Redatto: | Controllato: | Approvato: |
|-------------|-------------------------|----------|--------------|-----------------|
| Agosto 2020 | Prima emissione | GLD | FC | wpd MURO s.r.l. |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 0. PREMESSA | 2 |
| 1. DATI DI INPUT | 3 |
| 1.1. CARICHI..... | 4 |
| 1.1.1. AZIONE DEL VENTO SULLA TORRE | 4 |
| 1.1.2. AZIONE DELLA NEVE | 7 |
| 1.1.3. CARICHI ESTREMI | 7 |
| 1.1.4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO | 8 |
| 1.2. INFORMAZIONI GEOTECNICHE..... | 9 |
| 1.3. COEFFICIENTI DI SICUREZZA PER CARICHI | 11 |
| 1.4. COEFFICIENTI DI SICUREZZA PER I MATERIALI | 11 |
| 2. DESCRIZIONE DEL MODELLO..... | 12 |
| 2.1. FONDAZIONI | 12 |
| 2.1.1. VERIFICA AL RIBALTAMENTO | 15 |
| 2.1.2. MODELLO FEM..... | 16 |
| 2.2. CONDIZIONI AL CONTORNO | 19 |
| 2.3. CARICHI APPLICATI | 19 |
| 2.4. CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARE..... | 20 |
| 2.5. COMBINAZIONI DI CARICO | 20 |
| 2.6. MATERIALI | 20 |
| 3. VERIFICHE STRUTTURALI..... | 21 |
| 3.1. FONDAZIONI INDIRETTE–TERRENO SABBIOSO LIMOSO/LIMO ARGILLOSO SABBIOSO | 21 |
| 3.1.1. VERIFICA DELLA PLATEA DI FONDAZIONE | 21 |
| 3.1.1.1. SOLLECITAZIONI FLETTENTI AGENTI SULLA STRUTTURA DI FONDAZIONE E VERIFICHE | 21 |
| 4. REFERENZE | 31 |

O. PREMESSA

QUESTO DOCUMENTO HA LO SCOPO DI ILLUSTRARE IL PROGETTO DEFINITIVO DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE PER LO SVILUPPO DELLE FONDAZIONI PER AEROGENERATORI CON TORRE ALTA 161,5 METRI (QUOTA DELLA TORRE IN ACCIAIO – QUOTA MOZZO 165 M) E ROTORE DEL DIAMETRO MASSIMO DI 170 METRI (AEROGENERATORE DA 6 MW), DEL PARCO EOLICO COMPOSTO DA N. 10 TORRI EOLICHE, PROPOSTO DALLA SOCIETÀ WPDITALIA S.R.L., NEL TERRITORIO DI SAN PIETRO VERNOTICO (BR).

SI PRECISA PRELIMINARMENTE CHE I CARICHI RIGUARDANTI IL PESO DELLA NAVICELLA E L'AZIONE DEL VENTO SU DI ESSA SONO DETERMINATI SULLA BASE DELL'ESPERIENZA DI MACCHINE SIMILI GIÀ INSTALLATE. IN FASE ESECUTIVA LE ANALISI DOVRANNO TENER CONTO DELLE ATTREZZATURE CHE EFFETTIVAMENTE SARANNO INSTALLATE (MODELLO DELLE MACCHINE E RELATIVE AZIONI PASSIVE [PESO] E ATTIVE [VENTO]).

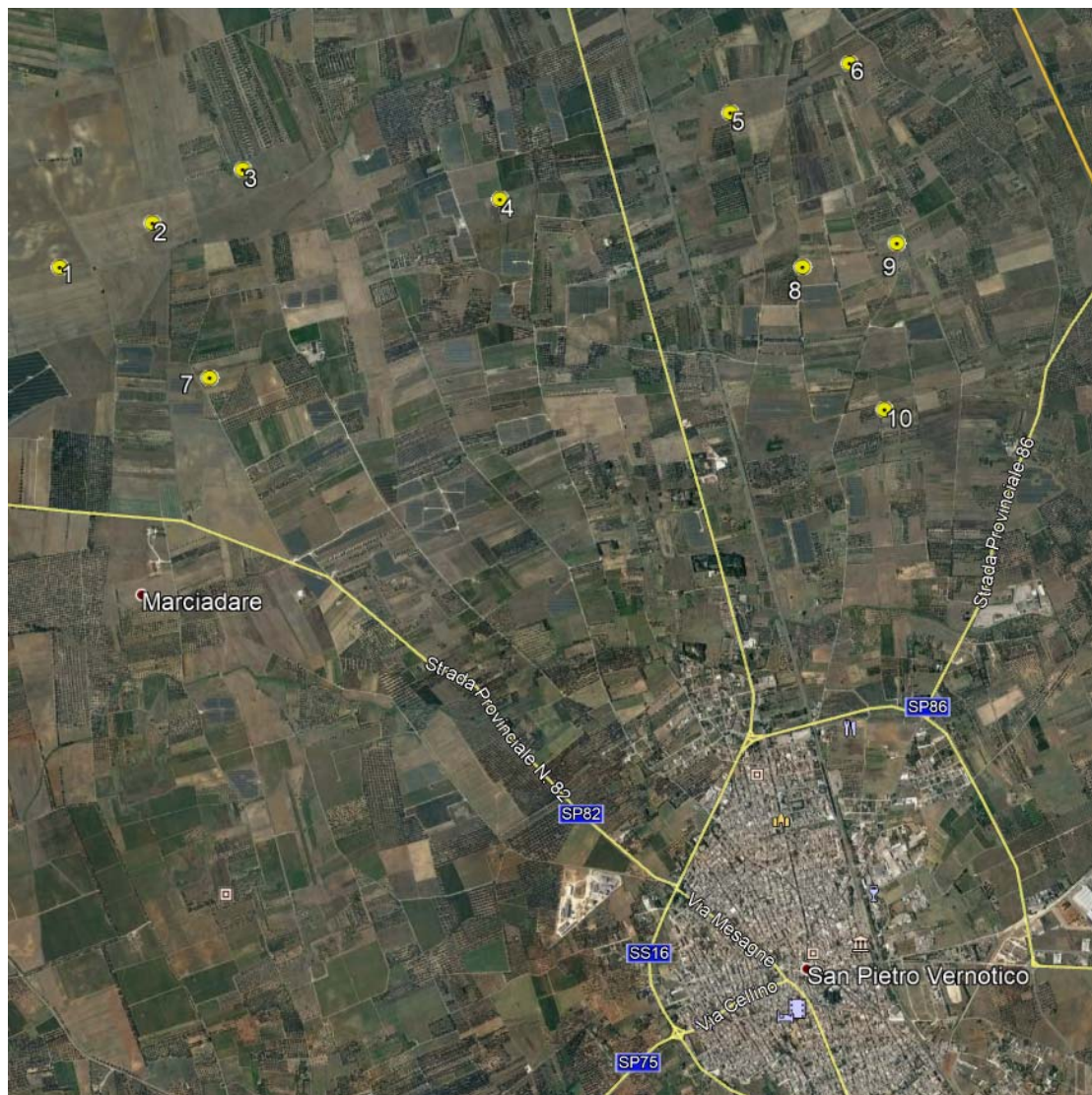


FIGURA I'. ORTOFOTO DELL'AREA E POSIZIONE DEGLI AEROGENERATORI

I. DATI DI INPUT

NEL SEGUITO SI FARÀ RIFERIMENTO AL SISTEMA DI COORDINATE RIPORTATO NELLA SUCCESSIVA FIGURA 2 PER LA DETERMINAZIONE E DESCRIZIONE DELLE AZIONI CHE IMPEGNANO L'AEROGENERATORE.

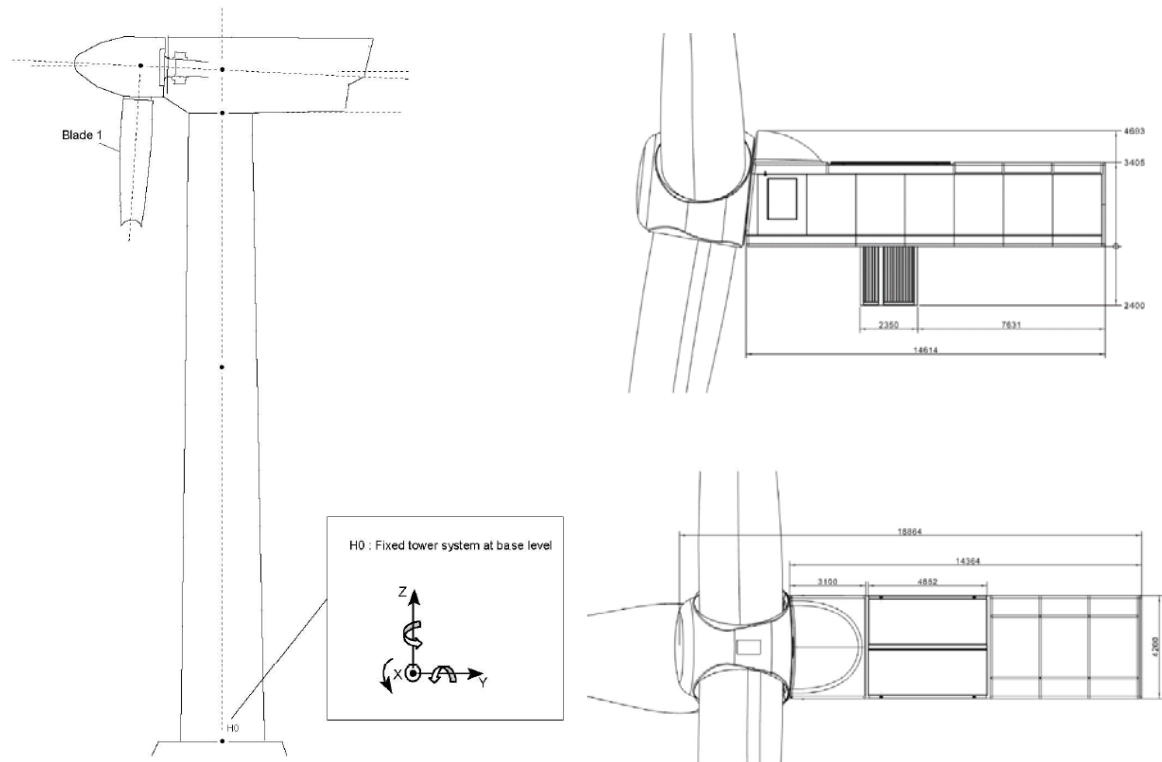


FIGURA 2: SISTEMA DI RIFERIMENTO DELLE COORDINATE ADOTTATO E DIMENSIONI DELLA NAVICELA

IN ACCORDO CON LE CARATTERISTICHE DEL TERRITORIO SARANNO VALUTATI I CARICHI ESTREMI PER L'ANALISI PRELIMINARE DELLE AZIONI IN FONDAZIONE.

SI SOTTOLINEA CHE TALI VALORI SARANNO OGGETTO DI REVISIONE NEI SUCCESSIVI E PIÙ APPROFONDITI LIVELLI DI PROGETTAZIONE.

I.I. CARICHI

I.I.I. AZIONE DEL VENTO SULLA TORRE

L'AZIONE DEL VENTO SULLA TORRE IN ACCIAIO, ALTA 161,5 M, È VALUTATA SECONDO QUANTO DISPOSTO DA [1]:

TABELLA I': VALUTAZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI PER DETERMINARE L'AZIONE DEL VENTO

| Carichi caratteristici dovuti all'azione estrema del vento | | | | |
|--|---|---|---------------------------|------------------------------|
| Zona | | | 3 | Tab. 3.3.1 |
| Altitudine sul livello del mare di riferimento regionale | $a_0 =$ | | 500 | Tab. 3.3.1 |
| Altitudine sul livello del mare del sito | $a_s =$ | | 50 | |
| Velocità base di riferimento del vento a livello del mare | $V_{b,0} =$ | | 27 | Tab. 3.3.1 |
| Parametro k_s | $k_s =$ | | 0,37 | Tab. 3.3.1 |
| Velocità base di riferimento del vento | $V_b [V_{b,0} \text{ per } a_s < a_0; V_{b,0} + k_s (a_s - a_0)] =$ | | 27,00 m/s | Par. 3.3.1 |
| Periodo di ritorno | $T_R =$ | | 50 anni | |
| Coefficiente di ritorno | $c_r = 0,75 * (1 - 0,2 * \ln(-\ln(1 - (1/T_R))))^{1/2}$ | | 1,00 | Par. 3.3.2 |
| Velocità di riferimento del vento | $V_r = V_b * c_r =$ | | 27,00 | |
| Densità convenzionale dell'aria | $\rho =$ | | 1,25 | |
| Viscosità cinematica dell'aria | | | 0,000015 | |
| Pressione cinetica di riferimento | $q_r = 0,5 \rho V_r^2$ | | 45,56 daN/m ² | Par. 3.3.6 |
| Classe di rugosità del terreno | | | D | |
| Categoria di esposizione | | | II | |
| Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione | | | | |
| | $k_r =$ | | 0,19 | |
| | $z_0 =$ | | 0,05 | |
| | $z_{min} =$ | | 4,00 | |
| | $z_{max} =$ | | 165,00 | |
| Velocità media del vento | $V_m = V_r * C_m(z)$ | | | |
| | $C_m(z) = k_r * \ln(z_{min}/z_0) * c_e(z_{min})$ | | 0,83 | $z \leq z_{min}$ |
| | $C_m(z) = k_r * \ln(z/z_0) * c_e(z)$ | | 1,54 | $z > z_{min}$ |
| | $V_{m, min} =$ | | 22,48 | $z = z_{max}$ |
| | $V_{m, max} =$ | | 41,56 | |
| Coefficiente di esposizione | | | | |
| Coefficiente di topografia | $c_t =$ | | 1,00 | |
| | per $z < z_{min}$ | $c_e(z) = c_e(z_{min}) =$ | 1,80 | |
| | per $z > z_{min}$ (variabile - valore per $z=165$ m) | $c_e(z_{max}) = k_r^2 * c_t * \ln(z/z_0) [7 + c_t * \ln(z/z_0)] =>$ | 4,42 | Par. 3.3.7 |
| Diametro della torre | | | | |
| | $d_{min} =$ | | 3,33 | |
| | $d_{max} =$ | | 4,00 | |
| Lunghezza caratteristica "l" | diametro medio $d_m =$ | | 3,66 | |
| Numero di Reynolds | $Re(z_{min}) =$ | | 5491065 | |
| | $Re(z_{max}) =$ | | 10152115 | |
| Scabrezza | $k =$ | | 0,00002 m | 0,02 mm |
| | $b =$ | | 3,66 | |
| | $k/b =$ | | 5,45852E-06 | |
| | $c_{x0}(A) =$ | | 0,00 minimo | |
| | | | 0,00 massimo | |
| | $c_{x0}(B) =$ | | 0,75 minimo | |
| | | | 0,77 massimo | |
| | $\lambda = 0,7 * L/l$ | | 31,43 | |
| | $\psi_1 = 0,6 + 0,1 * \log_{10}(\lambda)$ | | / | $1 \leq \lambda \leq 10$ |
| | $\psi_2 = 0,45 + 0,25 * \log_{10}(\lambda)$ | | 0,82 | $10 \leq \lambda \leq 100$ |
| | $\psi_3 = 0,61 + 0,17 * \log_{10}(\lambda)$ | | / | $100 \leq \lambda \leq 1000$ |
| | $c_{y0} =$ | | 0,00 | |
| | $c_{mz0} =$ | | 0,00 | |
| | $c_{x1} =$ | | 0,62 minimo | |
| | | | 0,64 massimo | |
| Pressione cinetica in funzione di c_e (per determinare c_p) | | | | |
| | minima | $q = q_r * c_{e, min}$ | 82,04 daN/m ² | |
| | massima | $q = q_r * c_{e, max}$ | 201,24 daN/m ² | |
| Coefficiente di pressione | $c_p =$ | | 0,77 | |
| Coefficiente dinamico | $c_d =$ | | 1,00 | |
| Pressione del vento | $p = q_r * c_e * c_p * c_d$ | | | |

NELLE TABELLE SUCCESSIVE SONO RAPPRESENTATE LE DIMENSIONI DELLA TORRE IN ACCIAIO E IL CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO ALLA QUOTA RELATIVA AL CONCIO CONSIDERATO.

| | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|--------|---------|-------|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| Tronco 5 | Elemento | H | z | d | F _{zi} | c _e (z) | p | F _{yi} |
| | | [m] | [m] | [m] | [kN] | | [kN/m ²] | [kN] |
| | flangia superiore | 0,100 | 161,464 | 3,574 | | 4,399 | 1,55 | 0,55 |
| | | 0,100 | 161,364 | 3,574 | | 4,398 | 1,55 | |
| | 2 | 10,665 | 161,364 | 3,574 | | 4,398 | 1,55 | 61,75 |
| | | 10,665 | 150,699 | 3,937 | | 4,341 | 1,53 | |
| | 1 | 10,665 | 150,699 | 3,937 | | 4,341 | 1,53 | 66,80 |
| | | 10,665 | 140,034 | 4,300 | | 4,280 | 1,51 | |
| | flangia inferiore | 0,100 | 140,034 | 4,300 | | 4,280 | 1,51 | 0,65 |
| | | 0,100 | 139,934 | 4,300 | | 4,280 | 1,51 | |
| Tronco 4 | Elemento | H | z | d | F _{zi} | c _e (z) | p | F _{yi} |
| | | [m] | [m] | [m] | [kN] | | [kN/m ²] | [kN] |
| | flangia superiore | 0,100 | 139,934 | 4,300 | | 4,280 | 1,51 | 0,65 |
| | | 0,100 | 139,834 | 4,300 | | 4,279 | 1,51 | |
| | 2 | 10,592 | 139,834 | 4,300 | | 4,279 | 1,51 | 68,24 |
| | | 10,592 | 129,242 | 4,300 | | 4,214 | 1,49 | |
| | 1 | 10,592 | 129,242 | 4,300 | | 4,214 | 1,49 | 67,16 |
| | | 10,592 | 118,650 | 4,300 | | 4,144 | 1,46 | |
| | flangia inferiore | 0,100 | 118,650 | 4,300 | | 4,144 | 1,46 | 0,63 |
| | | 0,100 | 118,550 | 4,300 | | 4,144 | 1,46 | |
| Tronco 3 | Elemento | H | z | d | F _{zi} | c _e (z) | p | F _{yi} |
| | | [m] | [m] | [m] | [kN] | | [kN/m ²] | [kN] |
| | flangia superiore | 0,100 | 118,550 | 4,300 | | 4,144 | 1,46 | 0,63 |
| | | 0,100 | 118,450 | 4,300 | | 4,143 | 1,46 | |
| | 2 | 8,885 | 118,450 | 4,300 | | 4,143 | 1,46 | 55,42 |
| | | 8,885 | 109,565 | 4,300 | | 4,080 | 1,44 | |
| | 1 | 8,885 | 109,565 | 4,300 | | 4,080 | 1,44 | 54,53 |
| | | 8,885 | 100,680 | 4,300 | | 4,012 | 1,42 | |
| | flangia inferiore | 0,100 | 100,680 | 4,300 | | 4,012 | 1,42 | 0,61 |
| | | 0,100 | 100,580 | 4,300 | | 4,011 | 1,42 | |

| Elemento | H | z | d | F _{zi} | c _e (z) | p | F _{yi} |
|-------------------|--------|---------|-------|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| | [m] | [m] | [m] | [kN] | | [kN/m ²] | [kN] |
| flangia superiore | 0,000 | 100,580 | 4,300 | | 4,011 | 1,42 | 0,00 |
| | 0,000 | 100,580 | 4,668 | | 4,011 | 1,42 | |
| 5 | 10,058 | 100,580 | 4,668 | | 4,011 | 1,42 | 68,01 |
| | 10,058 | 90,522 | 4,990 | | 3,927 | 1,39 | |
| 4 | 10,058 | 90,522 | 4,990 | | 3,927 | 1,39 | 70,93 |
| | 10,058 | 80,464 | 5,313 | | 3,834 | 1,35 | |
| 3 | 10,058 | 80,464 | 5,313 | | 3,834 | 1,35 | 73,47 |
| | 10,058 | 70,406 | 5,637 | | 3,730 | 1,32 | |
| 2 | 10,058 | 70,406 | 5,637 | | 3,730 | 1,32 | 75,52 |
| | 10,058 | 60,348 | 5,960 | | 3,611 | 1,27 | |
| 1 | 10,058 | 60,348 | 5,960 | | 3,611 | 1,27 | 76,93 |
| | 10,058 | 50,290 | 6,282 | | 3,473 | 1,23 | |
| flangia inferiore | 0,000 | 50,290 | 6,282 | | 3,473 | 1,23 | 0,00 |
| | 0,000 | 50,290 | 6,282 | | 3,473 | 1,23 | |
| Elemento | H | z | d | F _{zi} | c _e (z) | p | F _{yi} |
| | [m] | [m] | [m] | [kN] | | [kN/m ²] | [kN] |
| flangia superiore | 0,000 | 50,290 | 6,282 | | 3,473 | 1,23 | 0,00 |
| | 0,000 | 50,290 | 6,282 | | 3,473 | 1,23 | |
| 5 | 10,058 | 50,290 | 6,282 | | 3,473 | 1,23 | 77,49 |
| | 10,058 | 40,232 | 6,604 | | 3,307 | 1,17 | |
| 4 | 10,058 | 40,232 | 6,604 | | 3,307 | 1,17 | 76,87 |
| | 10,058 | 30,174 | 6,925 | | 3,098 | 1,09 | |
| 3 | 10,058 | 30,174 | 6,925 | | 3,098 | 1,09 | 74,32 |
| | 10,058 | 20,116 | 7,246 | | 2,814 | 0,99 | |
| 2 | 10,058 | 20,116 | 7,246 | | 2,814 | 0,99 | 67,94 |
| | 10,058 | 10,058 | 7,567 | | 2,356 | 0,83 | |
| 1 | 10,058 | 10,058 | 7,567 | | 2,356 | 0,83 | 322,67 |
| | 10,058 | 0,000 | 7,888 | | 21,179 | 7,47 | |
| flangia inferiore | 0,000 | 0,000 | 7,888 | | 21,179 | 7,47 | 0,00 |
| | 0,000 | 0,000 | 7,888 | | 21,179 | 7,47 | |

LE AZIONI F_{Yi} SARANNO APPLICATE AD OGNI SINGOLO ELEMENTO CONCIO NEL MODELLO GENERALE DI CALCOLO ADOTTATO PER LA DEFINIZIONE DELLE AZIONI ALLA BASE.

1.1.2. AZIONE DELLA NEVE

TABELLA 2: DETERMINAZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI PER LA VALUTAZIONE DEL CARICO NEVE SULLA NAVICELLA

| Carichi caratteristici dovuti all'azione della neve | | | |
|--|--|---|------------------------------|
| Zona | | | III |
| Coefficiente di esposizione del vento | | Battuta dai venti | |
| Classificazione della costruzione | | Copertura ad una falda senza barriera o parapetto | |
| Dimensione minore in pianta della copertura | W | 4,20 | m |
| Dimensione maggiore in pianta della copertura | L | 14,61 | m |
| Dimensione equivalente in pianta della copertura | $L_e =$ | 7,19 | m |
| Altitudine sul livello del mare di riferimento regionale | $a_{s,r} =$ | 200,00 | |
| Altitudine sul livello del mare del sito | $a_s =$ | 50,00 | |
| Angolo di inclinazione falda | α | 0,00 | |
| Valore caratteristico del carico neve al suolo per $a_s < 200$ m | $q_{s,k} =$ | 0,60 | kN/m ² Par. 3.4.2 |
| Valore caratteristico del carico neve al suolo per $a_s > 200$ m | $q_{s,k} = 0.51 * [1 + (a_s / 481)^2]$ | / | |
| Coefficiente di forma della copertura | $\mu_i =$ | 0,80 | Tab. 3.4.I |
| Coefficiente di esposizione | $C_E =$ | 0,90 | |
| Coefficiente termico | $C_t =$ | 1,00 | |
| Carico neve unitario | $q_s = \mu_i * C_E * C_t * q_{s,k}$ | 43,20 | daN/m ² |
| Carico neve totale | F_n | 2651,56 | daN |
| | | 26,52 | kN |

IL CARICO RISULTATE CONSIDERATO SULLA NAVICELLA DOVUTO ALLA NEVE RISULTA ESSERE DI 26,52 kN.

1.1.3. CARICHI ESTREMI

IN SINTESI I CARICHI AGENTI SULLA FONDAZIONE DELLA TORRE EOLICA SONO SINTETIZZATI NELLA SUCCESSIVA TABELLA 3:

TABELLA 3: SINTESI DEI CARICHI AGENTI SULLA FONDAZIONE DELLA TORRE EOLICA

| Azioni sulla testa della torre (navicella + rotore + vento) | | | | | | |
|---|-------|-------|--------|---------|--------|-------|
| | F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z |
| | [kN] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] | [kNm] |
| peso navicella | | | -3000 | | | |
| neve navicella | | | -27 | | | |
| vento navicella | -241 | 552 | | -3898 | -2275 | -1536 |
| peso torre | | | -33908 | | | |
| vento torre | | 1066 | | -85932 | | |
| orizzontale navicella | | | | | -38947 | |
| momento vento navicella | | | | -91080 | | |
| totale | -241 | 1618 | -36934 | -180909 | -41222 | -1536 |
| | 1636 | | | 185546 | | |

I CARICHI INDICATI IN TABELLA 3 RAPPRESENTANO QUELLI ATTINTI TENUTO CONTO DI [1]. PER TENER CONTO ANCHE DELLE AZIONI DEFINITE SECONDO [27], TALI SOLLECITAZIONI SARANNO INCREMENTATE DEL 10%.

TABELLA 4: CARICHI SECONDO [27]

| Azioni | | | | | | |
|-----------|-------|--------|-----------|-------|----------|------|
| F_x | F_y | F_z | M_x | M_y | M_z | h |
| F_{res} | | | M_{res} | | | |
| [kN] | [kN] | [kN] | [kNm] | [kNm] | [kNm] | [m] |
| 1799,80 | | -40628 | 204100,67 | | -1689,60 | 0,20 |

1.1.4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO È DESCRITTA IN QUANTO DI SEGUITO RIPORTATO, CONSIDERATO CHE:

- L'AREA RICADE IN ZONA CLASSIFICATA 4;
- LE STRUTTURE DI CUI TRATTASI RIENTRANO TRA QUELLE DI INTERESSE STRATEGICO PER LA REGIONE PUGLIA, DUNQUE DEVE ESSERE CONSIDERATA UNA CLASSE D'USO IV (IMPIANTO RIENTRANTE NELLA CATEGORIA DI CENTRALE ELETTRICA).

TABELLA 5: RIASSUNTO DELLA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Sito di costruzione: Unnamed Road, 72027 San Pietro Vernotico BR, Italia LON. 17.97810 LAT. 40... Individua

Contenuto tra ID reticolo: 34145 34367 34146 34368

Tipo di opera: Opera ordinaria Vita nominale V_N : 100

Classe d'uso: Classe IV

| | | | | | | | |
|---|--|----|--|----|---|-----|--|
| <input type="checkbox"/> SLO-Pvr | <input type="text"/> | Ag | <input type="text"/> | Fo | <input type="text"/> | Tc* | <input type="text"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> SLD-Pvr | 63 | Ag | 0.339788 | Fo | 2.4226 | Tc* | 0.372817 |
| <input checked="" type="checkbox"/> SLV-Pvr | 10 | Ag | 0.682071 | Fo | 2.65683 | Tc* | 0.544457 |
| <input type="checkbox"/> SLC-Pvr | <input type="text"/> | Ag | <input type="text"/> | Fo | <input type="text"/> | Tc* | <input type="text"/> |

Struttura dissipativa

Quota di riferimento: <cm> 0

Quota max della struttura: <cm> 16990.4

Numero piani edificio: 0

Coefficiente θ : 0

Edificio regolare in altezza

Edificio regolare in pianta

TABELLA 6: CASO DI SUOLO TIPO "CALCARE" E "CALCARENITE"

| | | |
|---|-----------------------|---|
| Categoria del suolo di fondazione | B | |
| Categoria topografica | T1 - Super... | Coeff. amplificazione topografica S_T |
| Accelerazione di picco del terreno $A_g S$: 0.0818 <g> | | |
| <input type="checkbox"/> Applica semplificazioni per bassa sismicità | | |
| <input type="checkbox"/> Tipologia diversa nelle due direzioni sismiche | | |
| | Direzione X | Direzione Y |
| Tipologia strutturale | acciaio a mensola ... | |
| Periodo T_1 | 4.00011 | 4.00011 |
| Coeff. λ | SLV | 1 |
| Rapporto di sovrarresistenza (α_U/α_1) | 1 | 1 |
| Valore di riferimento del fattore di comportamento (q_0) | 2 | 2 |
| Fattore riduttivo (K_w) | 1 | 1 |
| Fattore di comportamento dissipativo (q) | 2 | 2 |
| Fattore di comportamento non dissipativo (q_{ND}) | 1.33333 | 1.33333 |
| Fattore di comportamento per SLD (q_D) | 1.33333 | 1.33333 |
| Fattore di comportamento per sisma verticale (q_v) | | 1.5 |
| Smorzamento spettro | <%> 5 | Visualizza spettri |
| Angolo di ingresso del sisma | | <grad> 0 |
| Tipo di combinazione sismica | | 30% esteso |

SIMBOLOGIA

T_{CC} = TIPO DI COMBINAZIONE DI CARICO

T_R = PERIODO DI RITORNO

A_G = ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA AL SITO

F_0 = VALORE MASSIMO DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLO SPETTRO IN ACCELERAZIONE ORIZZONTALE

T_{C^*} = PERIODO DI INIZIO DEL TRATTO A VELOCITÀ COSTANTE DELLO SPETTRO IN ACCELERAZIONE ORIZZONTALE

S_S = COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

C_C = COEFFICIENTE FUNZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO

1.2. INFORMAZIONI GEOTECNICHE

PER TUTTE LE INFORMAZIONI INERENTI ALLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E LA CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI DI FONDAZIONE SI RIMANDA ALLA RELAZIONE GEOLOGICA E ALLA RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA, PARTE INTEGRANTE DELLA PRESENTE RELAZIONE GENERALE DI CALCOLO. SI RIPOрта DI SEGUITO LO SCHEMA RIASSUNTIVO DEI TERRENI DI FONDAZIONE NELL'AREA IN OGGETTO.

| Id | Litologia | Profondità letto (m) | Vp (m/s) | Vs (m/s) | Densità f(Vp) (kN/mc) |
|----------|--|----------------------|----------|----------|-----------------------|
| strato 1 | Suolo limoso sabbiosi | 1,20 | 365,91 | 187,05 | 16,68 |
| strato 2 | Sabbie limose con intervalli calcarenitici | 2,17 | 687,13 | 342,49 | 16,66 |
| strato 3 | Sabbie limose addensate con intervalli calcarenitici | 8,80 | 857,47 | 407,77 | 16,72 |
| strato 4 | Limi sabbioso argillosi con intervalli calcarenitici | indefinito | 993,74 | 606,70 | 17,69 |

| | E | ν | G | E_d | E_u | φ | c | γ | γ_{sat} |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|----------------------|----------------------|
| | [MPa] | | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [°] | [MPa] | [kg/m ³] | [kg/m ³] |
| 3 Sabbie limose | 492 | 0,35 | 182 | 364 | 252 | 27 | 0,15 | 1900 | 2200 |
| 4 limi sabbioso argillosi | 1463 | 0,2 | 608 | 1219 | 1372 | 24 | 0,05 | 2000 | 2300 |

FIGURA 3: STRATIGRAFIA E TIPOLOGIA DI TERRENO DI FONDAZIONE (EVIDENZIATI IN ROSSO GLI STRATI INTERESSATI CONSIDERATA L'ALTEZZA DELLA FONDAZIONE)

1.3. COEFFICIENTI DI SICUREZZA PER CARICHI

I COEFFICIENTI DI MAGGIORAZIONE DEI CARICHI RACCOMANDATI DALL'EURO CODICE APPLICABILE SONO RIPORTATI NELLA SUCCESSIVA TABELLA RIEPILOGATIVA.

1. VERIFICA DI STABILITÀ (RIBALTAMENTO E SCORRIMENTO)

| | |
|--|------|
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE DEI CARICHI A SFAVORE DELLA SICUREZZA PER RIBALTAMENTO | 1,35 |
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE DEI CARICHI A SFAVORE DELLA SICUREZZA PER SCORRIMENTO | 1,35 |
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE DEI CARICHI A FAVORE DELLA SICUREZZA | 0,9 |

2. VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO (USANDO CARICHI CARATTERISTICI):

| | |
|---|---|
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE DEI CARICHI | 1 |
|---|---|

3. VERIFICA STRUTTURALE DEL CEMENTO ARMATO

| | |
|--|------|
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE PER CARICHI ESTREMI A SFAVORE DELLA SICUREZZA | 1,50 |
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE PER CARICHI ESTREMI A FAVORE DELLA SICUREZZA | 0,9 |
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE PER CARICHI A SFAVORE DELLA SICUREZZA (PESO PROPRIO) | 1,30 |
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE PER CARICHI A FAVORE DELLA SICUREZZA (PESO PROPRIO) | 0,9 |

4. VERIFICA GAP

| | |
|-------------------------------|---|
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE | 1 |
|-------------------------------|---|

5. VERIFICA A FATICA

| | |
|--|---|
| COEFFICIENTE DI MAGGIORAZIONE PER CARICHI A FATICA | 1 |
|--|---|

1.4. COEFFICIENTI DI SICUREZZA PER I MATERIALI

I COEFFICIENTI DI MAGGIORAZIONE RACCOMANDATI DALL'EURO CODICE APPLICABILE SONO:

1. VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO:

| | |
|---|-----|
| COEFFICIENTE DI SICUREZZA PER I MATERIALI | 2,3 |
|---|-----|

2. VERIFICA STRUTTURALE DEL CEMENTO ARMATO:

| | |
|--|------|
| COEFFICIENTE DI SICUREZZA PER ARMATURA | 1,15 |
| COEFFICIENTE DI SICUREZZA PER CEMENTO | 1,5 |

3. GHIERA, BARRE POST-TENSIONATE, CONNETTORI (EC-3, CE-4 E GL):

| | |
|--|------|
| COEFFICIENTE DI SICUREZZA PER ACCIAIO E BARRE (CARICHI ESTREMI) | 1,1 |
| COEFFICIENTE DI SICUREZZA PER ACCIAIO E BARRE (CARICHI A FATICA) | 1,25 |
| COEFFICIENTE DI SICUREZZA PER CONNETTORI | 1,25 |

2. DESCRIZIONE DEL MODELLO

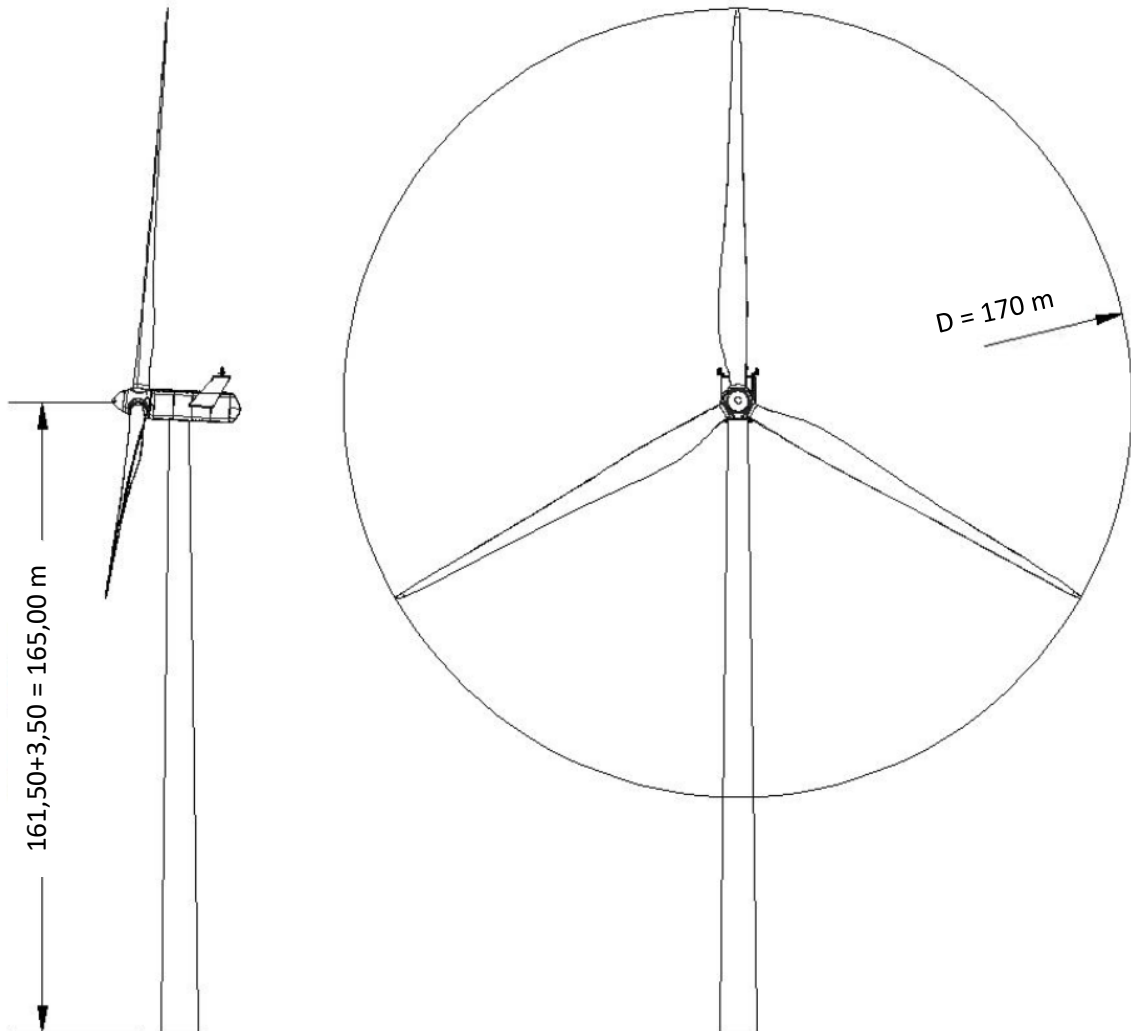


FIGURA 4: SCHEMA E DIMENSIONI DELLA TORRE EOLICA

2.1. FONDAZIONI

PER I TERRENI CLASSIFICATI COME SABBIE LIMOSE E LIMI ARGILLOSO SABBIOSI COME QUELLI RISCONTRATI PRESSO IL SITO IN OGGETTO, LE TORRI EOLICHE RICHIEDONO FONDAZIONI DI TIPO INDIRETTO COSTITUITE DA:

- FONDAZIONI INDIRETTE
 - o PLINTO DI BASE, RAPPRESENTATO DA ELEMENTO TRONCOCONICO, IN CUI VIENE GENERALMENTE ANNEGATA LA VIROLA DI FONDAZIONE DELLA TORRE;

- N. 10 PALI CON DIAMETRO E LUNGHEZZA DA DETERMINARE CASO PER CASO IN FUNZIONE DELLE ANOMALIE GEOTECNICHE RISCOVTRATE NEL CORSO DELLE INDAGINI DI DETTAGLIO SVILUPPATE PER LA REDAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO.

CON QUESTO PROGETTO PRELIMINARE SI INTENDE FORNIRE AL COMMITTENTE E ALL'ENTE INCARICATO DELLA VALUTAZIONE DEL PROGETTO PRELIMINARE TUTTE LE INFORMAZIONI NECESSARIE A DETERMINARE LA GIUSTA SCELTA IN FASE DI PROGETTO ESECUTIVO.

SI OSSERVA INFINE CHE QUANTO DETERMINATO NELLA PRESENTE RELAZIONE È FRUTTO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRETTE CONDOTTE PER LA PRESENTE FASE PROGETTUALE. LA TIPOLOGIA DI FONDAZIONE IN FASE ESECUTIVA PUÒ SUBIRE SOSTANZIALI MODIFICHE IN FUNZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE CHE SARANNO ESEGUITE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA.

NEL CASO IN ESAME, IN PRIMA APPROSSIMAZIONE, SARANNO CONSIDERATE FONDAZIONI DEL TIPO:

- TERRENO COSTITUITO DA SABBIE LIMOSE E LIMI ARGILLOSO SABBIOSI
 - FONDAZIONE INDIRETTA COSTITUITA DA
 - PLATEA SUPERIORE DEL DIAMETRO DI 25 M, ALTEZZA VARIABILE DA CIRCA 2,00 M A CIRCA 4,00 (IN CORRISPONDENZA DELL'ATTACCO VIROLA – TORRE IBRIDA CALCESTRUZZO / ACCIAIO)
 - N. 10 PALI DI FONDAZIONE PALI $\phi 1000$ MM E LUNGHEZZA 30 M.

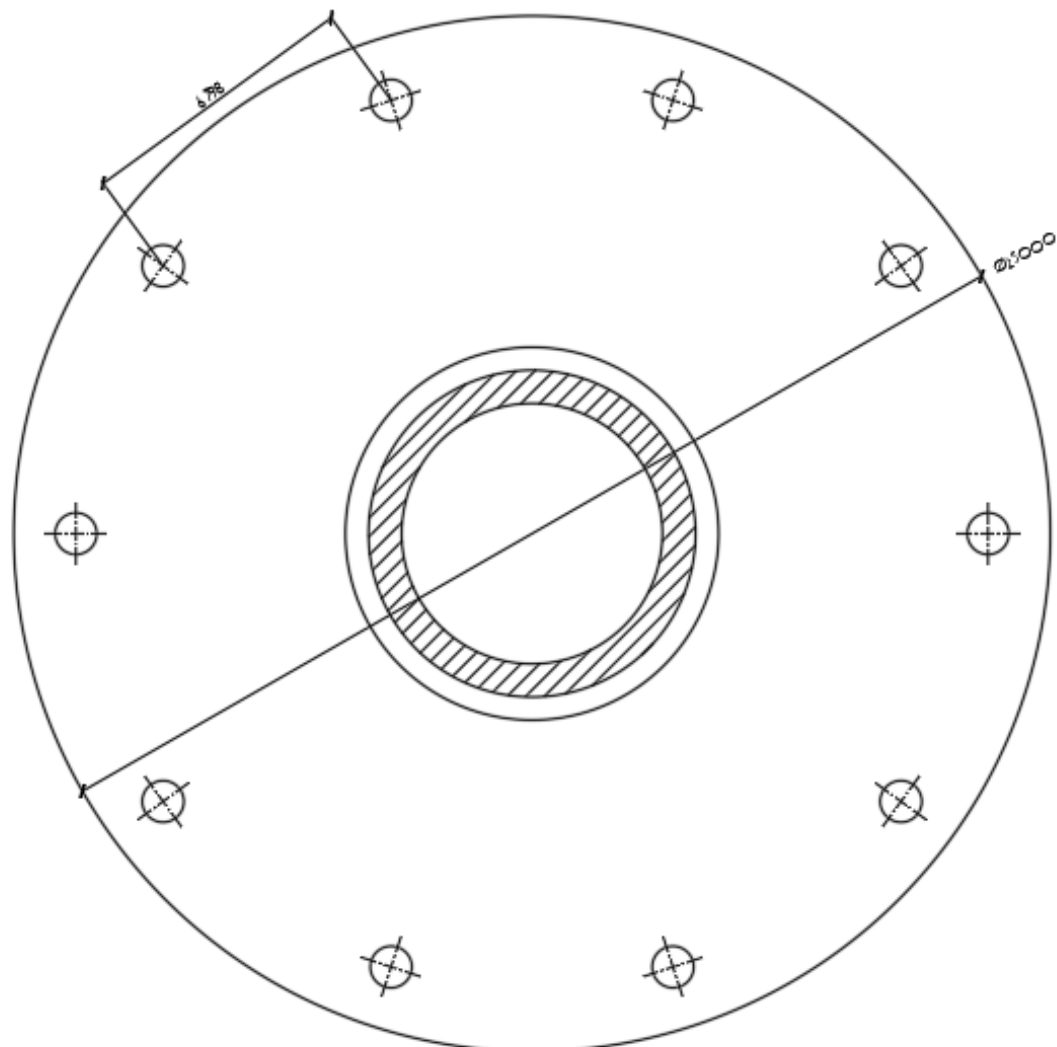
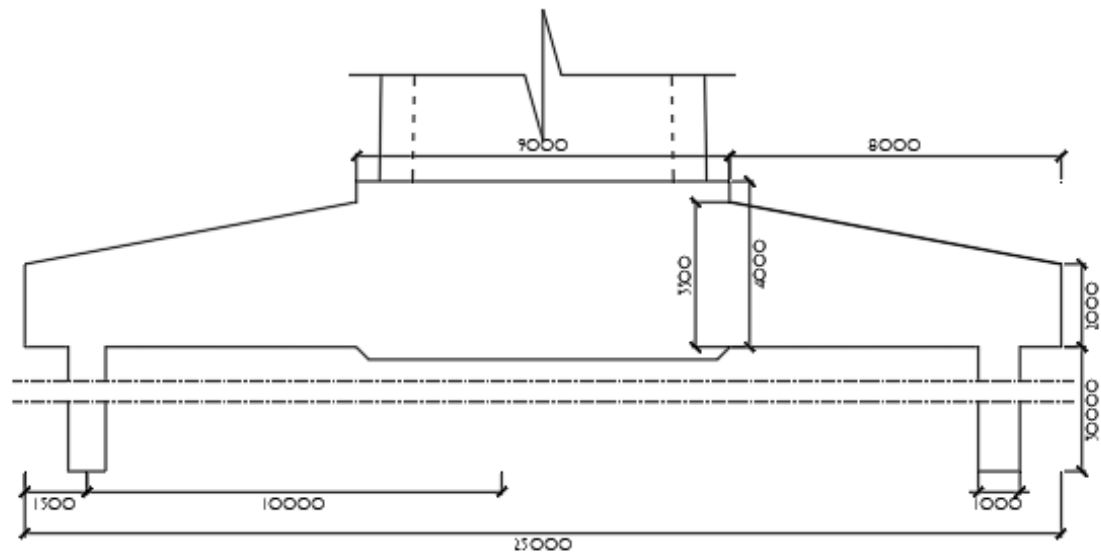


FIGURA 5: FONDAZIONE INDIRETTA - PLATEA E PALI IN SEZIONE E CARPENTERIA

2.1.1. VERIFICA AL RIBALTAMENTO

LA VERIFICA "A STABILITÀ AL RIBALTAMENTO", RAPPRESENTA IL PRIMO STEP PER IL CORRETTO PRE-DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE PER LE TORRI EOLICHE. FACENDO RIFERIMENTO ALLO SCHEMA IN FIGURA 5, NELLA SUCCESSIVA TABELLA 6 È RIPORTATA LA VERIFICA A RIBALTAMENTO.

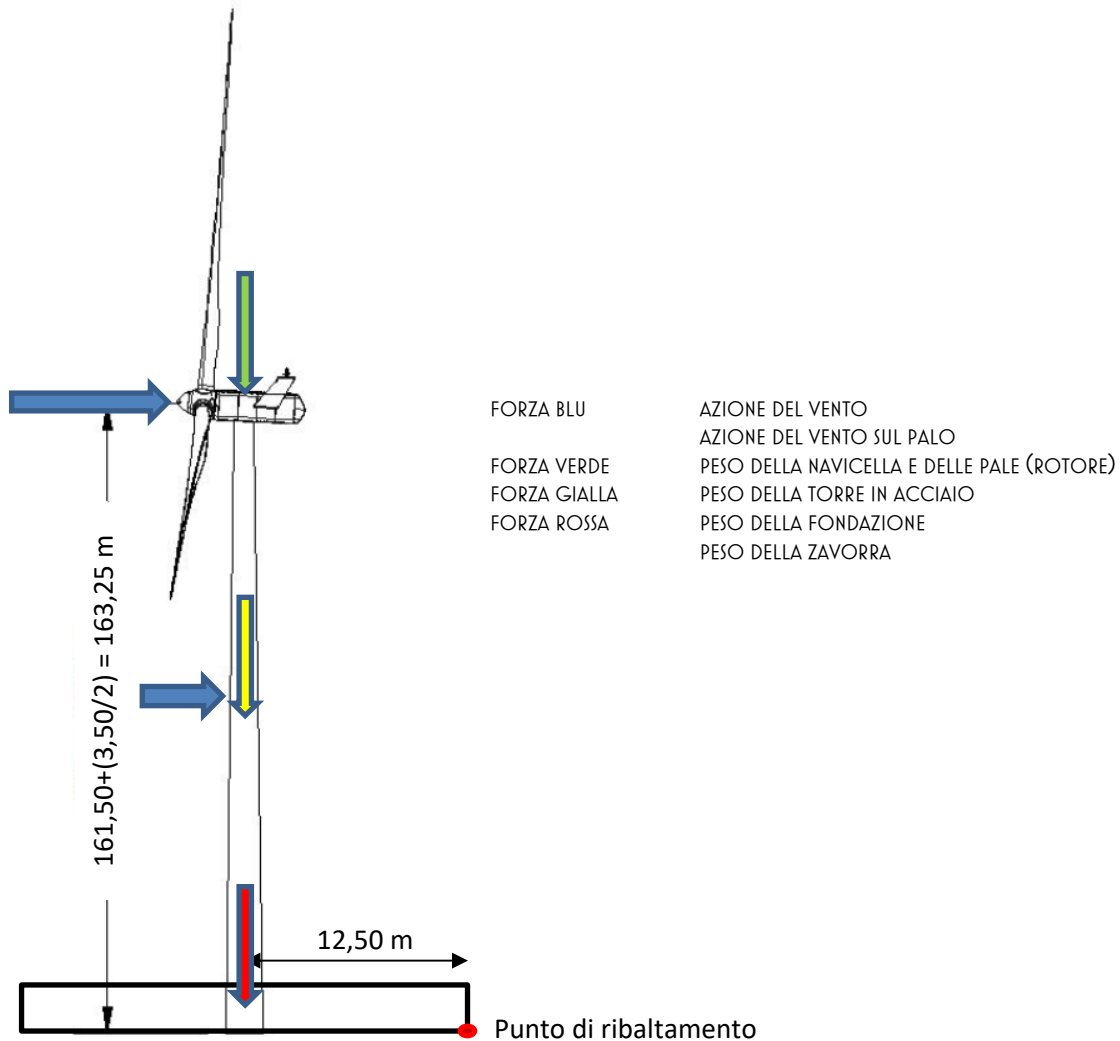


FIGURA 5: SCHEMA STATICO PER LA VERIFICA A RIBALTAMENTO

TABELLA 7

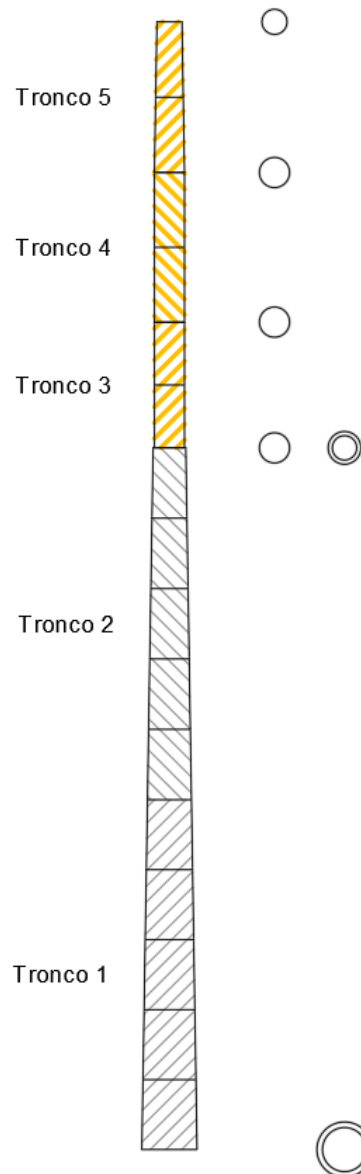
| Fondazione | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|--|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------|--------------|
| Plinto | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| R ₁ | H _{1a} | H _{1b} | R ₂ | H ₂ | γ _c | γ _z | H _T | |
| [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [daN/m ³] | [daN/m ³] | [m] | |
| 12,50 | 2,00 | 1,50 | 4,50 | 0,50 | 2500 | 1000 | 4,00 | |
| 3,50 | | | | | | | | |
| Volume calcestruzzo 01 | | | V ₁ | 981,75 | [m ³] | | | |
| Volume calcestruzzo 02 | | | V ₂ | 365,60 | [m ³] | | | |
| Volume calcestruzzo 03 | | | V ₃ | 31,81 | [m ³] | | | |
| Volume totale calcestruzzo | | | V _c | 1379,16 | [m ³] | | | |
| | | | | | | | 3447898 [daN] | Peso plinto |
| Volume zavorra | | | V _z | 338,90 | [m ³] | | | |
| | | | | | | | 338899 [daN] | Peso zavorra |
| Verifica al Ribaltamento | | | | | | | | |
| MOMENTO RIBALTANTE: | | $M_{rd} = 1,5 * M_{res} + 1,5 * F_{res} * h$ | | | | | | |
| MOMENTO STABILIZZANTE: | | $M_{sd} = W * R_1 + F_z * R_1$ | | | | | | |
| Momento Ribaltante | M _{rd} | 317490 | kNm | | | | | |
| Momento Stabilizzante | M _{sd} | 883079 | kNm | | 2,78 | Verificato! | | |

2.1.2. MODELLO FEM

LE ANALISI NUMERICHE DA CUI SONO STATI DEDOTTI I VALORI DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO DI SEGUITO RIPORTATE SONO IL RISULTATO DELL'ANALISI SVOLTA CON L'AUSILIO DEL SOFTWARE DI MODELLAZIONE E VERIFICA "MODEST VER. 8.22" E CON IL SOFTWARE DI CALCOLO NUMERICO "XFINEST 2014 VER. 8.7". TUTTI I DETTAGLI DELLE VERIFICHE SONO RIPORTATI NELL'ALLEGATO TABULATO DI CALCOLO.

IL MODELLO DI CALCOLO RIPRODUCE LE IPOTESI PROGETTUALI RAPPRESENTATE DA:

- UNA TORRE IN CALCESTRUZZO ARMATO DI SEZIONE TUBOLARE TRONCOCONICA, DI SPESSORE VARIABILE, PER I PRIMI 100,00 M DI ALTEZZA;
- TORRE IN ACCIAIO COSTITUITA DA UN ELEMENTO CONICO, SORMONTATO NELLA PARTE FINALE DA UN ELEMENTO TRONCOCONICO CHE SI RASTREMA VERSO L'ALTO;



- UNA FONDAZIONE TRONCO CONICA (DI ALTEZZA MINIMA PARI A 2000 MM E MASSIMA PARI A 4000 MM, CON DIAMETRO DI 25000 MM), CHE ACCOGLIE SULLA SUA SOMMITÀ IL CONCIO (O PIASTRE) DI BASE IN CALCESTRUZZO ARMATO;
- NEL CASO DI CALCARENITE, N. 10 PALI TRIVELLATI DEL DIAMETRO ϕ 1000 MM E LUNGHEZZA TOTALE L=30000MM.

IL COMPORTAMENTO DELLA FONDAZIONE PIANA È STATO ANALIZZATO ATTRAVERSO UN MODELLO A ELEMENTI FINITI (FEM) COMPOSTO DA:

- ASTE CILINDRICHE CHE SI RASTREMANO VERSO LA SOMMITÀ DELLA TORRE;
- ELEMENTI BIDIMENSIONALI DI SPESSORE VARIABILE CHE SIMULANO LA FORMA TRONCOCONICA DEL PLINTO DI BASE;
- N. IO PALI VINCOLATI AL PLINTO TRONCO CONICO.

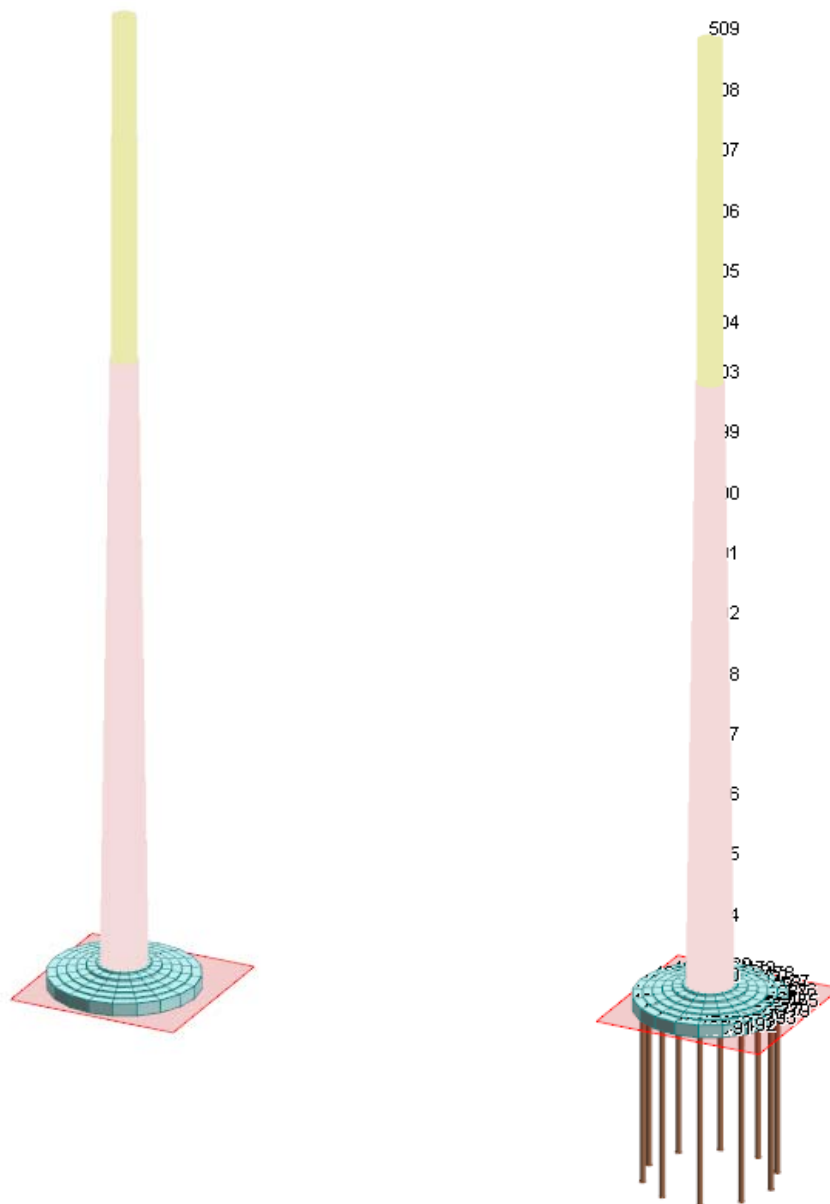


FIGURA 6: MODELLO SOLIDO DEL COMPLESSO TORRE IN ACCIAIO / BLOCCO DI FONDAZIONE CASO SOLO PLATEA E CASO PLATEA CON PALI

IL CALCESTRUZZO ARMATO È STATO SCHEMATIZZATO COME UN MATERIALE OMOGENEO, ISOTROPO A COMPORTAMENTO ELASTICO E LINEARE CON LE SEGUENTI CARATTERISTICHE MECCANICHE:

$$E = 3250 * \sqrt[2]{f_{ck,j}} + 14000 = 3250 * \sqrt[2]{30MPa} + 14000 = 28580 * 10^6 N / m^2$$

$$\mu = 0.2$$

I MODELLI STUDIATI PER QUESTA FASE PROGETTUALE SONO INDICATO COME:

- ST_001-B2 – TORRE FONDATA SU TERRENI DI TIPO SABBIOSO LIMOSI E LIMOSO ARGILLO SABBIOSI, LA CUI STRUTTURA DI FONDAZIONE È COSTITUITA DA FONDAZIONI “INDIRETTE”, N. 10 PALI DIAMETRO 1000 MM E LUNGHEZZA 30000 MM, VINCOLATI A UNA PLATEA DI FONDAZIONE TRONCO CONICA DEL DIAMETRO DI 25000 MM.

2.2. CONDIZIONI AL CONTORNO

SI RIPORTANO NEL PRESENTE PARAGRAFO LE CONDIZIONI AL CONTORNO APPLICATE PER SIMULARE GLI EFFETTI DEL COMPORTAMENTO NON LINEARE DEL TERRENO A CUI È VINCOLATA LA FONDAZIONE DIRETTA.

IL TERRENO DI FONDAZIONE È STATO SCHEMATIZZATO SECONDO LA TEORIA DEL WINKLER.

IL PESO DEL TERRENO DI RIPIEMIMENTO (DENOMINATO ZAVORRA) È STATO APPLICATO COME CARICO DISTRIBUITO NELLA PARTE SOVRASTANTE L'AREA DELLA FONDAZIONE PIANA; IL PESO SPECIFICO MINIMO PRESCRITTO PER TALE MATERIALE È DI 1000 DAN/M³.

LA SPINTA ORIZZONTALE AGENTE SULLE AREE VERTICALI DELLA FONDAZIONE NON È STATA CONSIDERATA PERCHÉ QUESTO CARICO È EQUILIBRATO DALLA FONDAZIONE PIANA.

UNA STRUTTURA AUSILIARIA, DI RIGIDEZZA ADEGUATA, PERMETTE DI APPLICARE I CARICHI DELL'AEROGENERATORE (FORZE E MOMENTI) ALLA STRUTTURA DI FONDAZIONE. CON QUESTA STRUTTURA È STATO OTTENUTO UN MODELLO PIÙ ACCURATO DEL SISTEMA STRUTTURA / FONDAZIONE.

2.3. CARICHI APPLICATI

I CARICHI APPLICATI SONO SINTETIZZATI IN QUANTO SEGUE.

- PESO PROPRIO DEL CALCESTRUZZO ARMATO 2500 DAN/M³
- PESO PROPRIO DEL RIPIEMIMENTO 1000 DAN/M³
- I CARICHI ESTERNI PROVENIENTI DALLA TORRE E DALL'AEROGENERATORE (FORZE E MOMENTI), SONO APPLICATI ATTRAVERSO LA STRUTTURA AUSILIARIA CHE TRASMETTE I CARICHI DAL NODO CENTRALE AI NODI DI INTERFACCIA

2.4. CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARE

| CCE | Commento | Tipo CCE | Sic. | Var. | Peso | C. A. | Dir. | Tipo | s | Mx | My | Mz | Jpx | Jpy | Jpz |
|-----|------------------------|------------------------|-----------|---------|-------------------------------------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | peso proprio struttura | 1 D.M. 08 Permanenti | a sfavore | | <input checked="" type="checkbox"/> | P | | | 1.00 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 2 | peso navicella | 2 D.M. 08 Permanenti | a sfavore | | <input type="checkbox"/> | | | | 1.00 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 3 | vento navicella | 10 D.M. 08 Variabili | a sfavore | di base | <input type="checkbox"/> | | | | 1.00 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 4 | vento torre | 10 D.M. 08 Variabili | a sfavore | di base | <input type="checkbox"/> | | | | 1.00 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 5 | neve navicella | 11 D.M. 08 Variabili N | a sfavore | di base | <input type="checkbox"/> | | | | 1.00 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| 6 | zavorra | 1 D.M. 08 Permanenti | a sfavore | | <input type="checkbox"/> | | | | 1.00 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 |

L'AZIONE DEI CARICHI SU CITATI È STATA APPLICATA LUNGO UNA SOLA DIREZIONE PRINCIPALE:

- CONSIDERATO CHE LA GEOMETRIA DELLA FONDAZIONE È CIRCOLARE NEL CASO DI FONDAZIONE DIRETTA;
- CHE COINCIDE, NEL CASO DI PALI DI FONDAZIONE CON L'ALLINEAMENTO "CENTRO FONDAZIONE – PALO DI FONDAZIONE" (CONDIZIONE CHE PRODUCE LA MASSIMA SOLLECITAZIONE SULLA FONDAZIONE INDIRETTA).

2.5. COMBINAZIONI DI CARICO

NELLA TABELLA DI SEGUITO RIPORTATA SONO INDICATE LE COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE PER IL CALCOLO E LA VERIFICA DEL MODELLO STRUTTURALE.

| CC | Commento | TCC | An. | Bk | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | SX | SY |
|----|-----------------------|---------|-----|----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 1 | Amb. 1 (SLU S) S + | SLV+SND | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.30 |
| 2 | Amb. 1 (SLE S) S +X+ | SLD | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.30 |
| 3 | Amb. 1 (SLU S) S + | SLV+SND | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | -0.30 |
| 4 | Amb. 1 (SLE S) S +X- | SLD | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | -0.30 |
| 5 | Amb. 1 (SLU S) S - | SLV+SND | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -1.00 | 0.30 |
| 6 | Amb. 1 (SLE S) S -X+ | SLD | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -1.00 | 0.30 |
| 7 | Amb. 1 (SLU S) S - | SLV+SND | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -1.00 | -0.30 |
| 8 | Amb. 1 (SLE S) S -X- | SLD | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -1.00 | -0.30 |
| 9 | Amb. 1 (SLU S) S + | SLV+SND | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.30 | 1.00 |
| 10 | Amb. 1 (SLE S) S +0. | SLD | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.30 | 1.00 |
| 11 | Amb. 1 (SLU S) S - | SLV+SND | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -0.30 | 1.00 |
| 12 | Amb. 1 (SLE S) S -0.3 | SLD | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -0.30 | 1.00 |
| 13 | Amb. 1 (SLU S) S + | SLV+SND | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.30 | -1.00 |
| 14 | Amb. 1 (SLE S) S +0. | SLD | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.30 | -1.00 |
| 15 | Amb. 1 (SLU S) S - | SLV+SND | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -0.30 | -1.00 |
| 16 | Amb. 1 (SLE S) S -0.3 | SLD | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | -0.30 | -1.00 |
| 17 | Amb. 2 (SLU) | SLU | L | | 1.30 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.30 | 0.00 | 0.00 |
| 18 | Amb. 2 (SLE R) | SLE R | L | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 | Amb. 2 (SLE F) | SLE F | L | | 1.00 | 1.00 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20 | Amb. 2 (SLE Q) | SLE Q | L | | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |

2.6. MATERIALI

I MATERIALI PREVISTI PER LA REALIZZAZIONE DELLA STRUTTURA DI FONDAZIONE SONO:

- CALCESTRUZZO C28/35
- ACCIAIO AD ADERENZA MIGLIORATA B450C
- ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA S355

3. VERIFICHE STRUTTURALI

3.1. FONDAZIONI INDIRETTE–TERRENO SABBIOSO LIMOSO/LIMO ARGILLOSO SABBIOSO

3.1.1. VERIFICA DELLA PLATEA DI FONDAZIONE

NEL SEGUITO SI RIPORTA IL PRE-DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE NECESSARIE A RINFORZARE LA STRUTTURA IN CALCESTRUZZO. IL CALCOLO DETTAGLIATO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI SULLA PLATEA DI FONDAZIONE È DETTAGLIATAMENTE RIPORTATA NELL'ALLEGATO TABULATO DI CALCOLO ALLA PRESENTE RELAZIONE.

3.1.1.1 SOLLECITAZIONI FLETTENTI AGENTI SULLA STRUTTURA DI FONDAZIONE E VERIFICHE

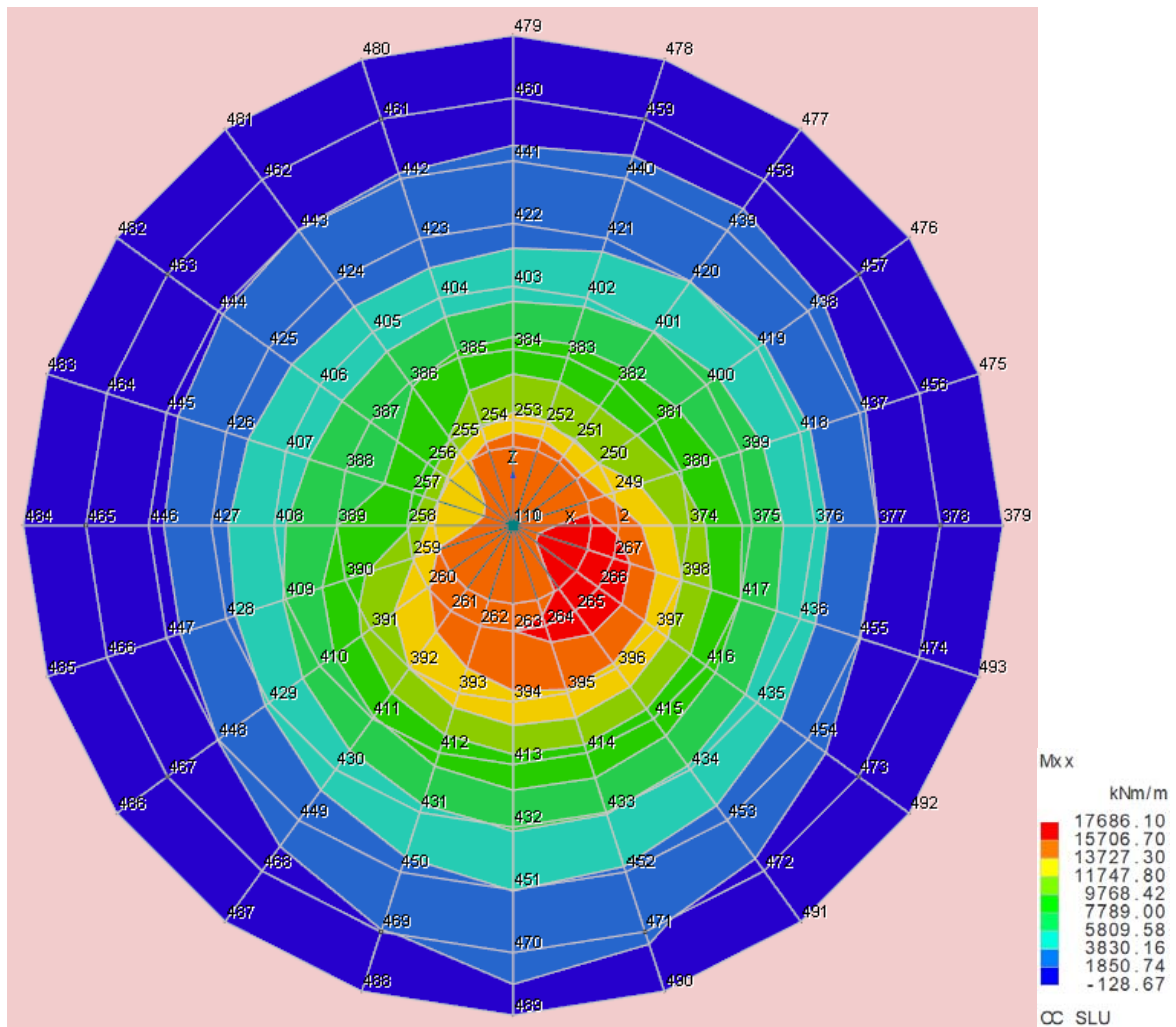


FIGURA 7: DIAGRAMMA DEI MOMENTI CHE PROVOCANO TENSIONI NORMALI IN DIREZIONE X SU FACCE CON NORMALE X

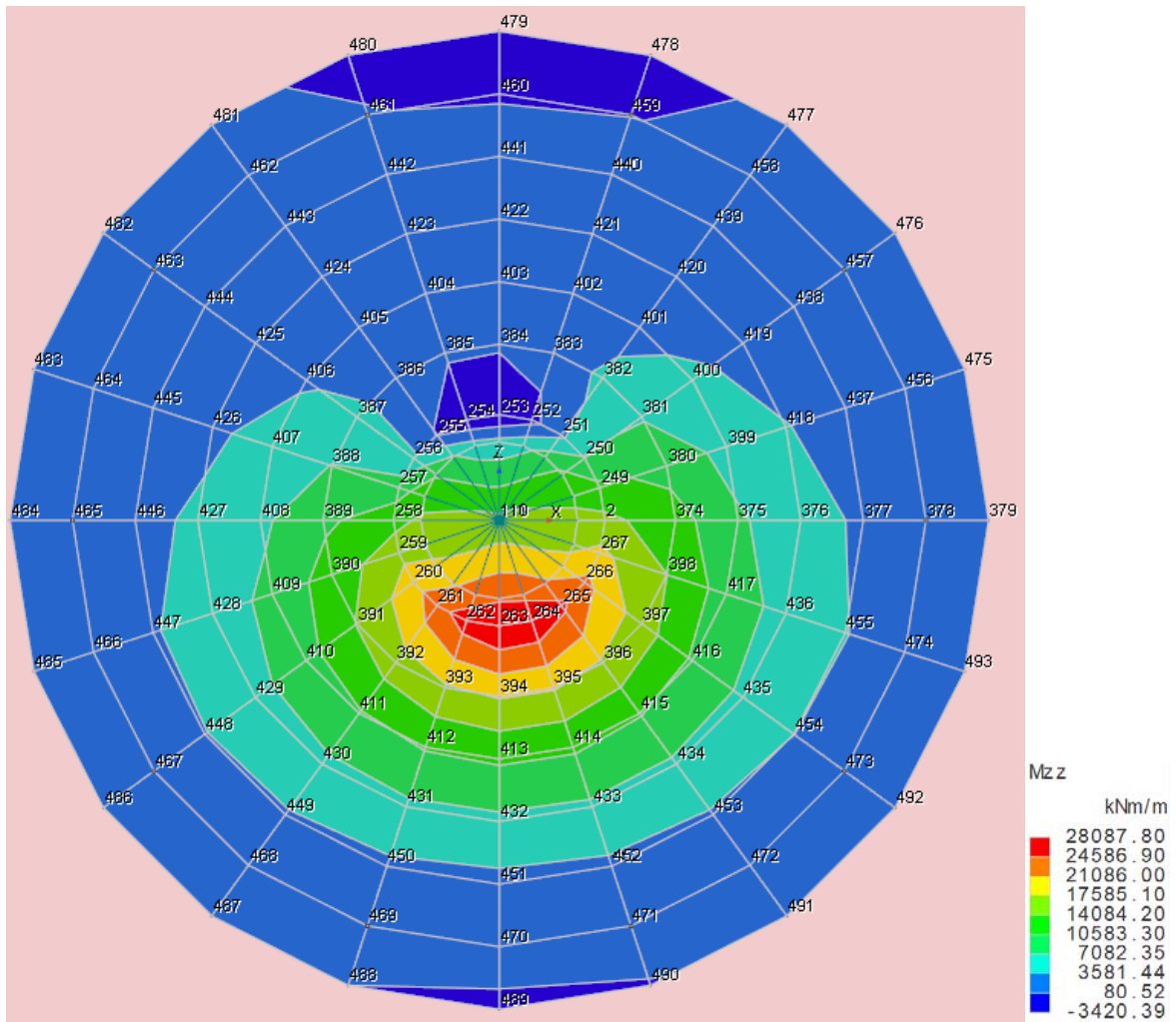


FIGURA 8: DIAGRAMMA DEI MOMENTI CHE PROVOCANO TENSIONI NORMALI IN DIREZIONE Z SU FACCE CON NORMALE Z

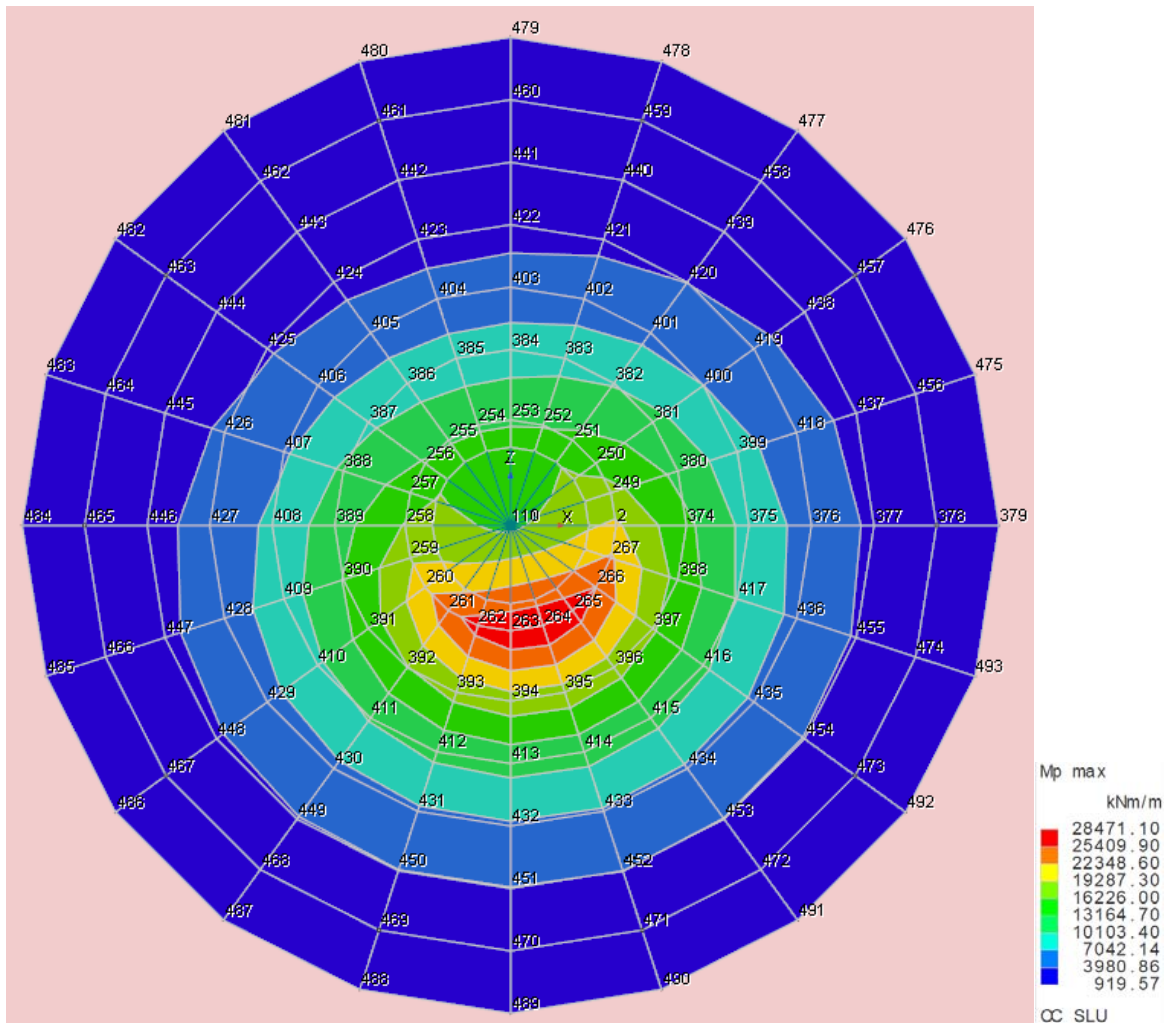


FIGURA 9: DIAGRAMMA DEI MOMENTI PRINCIPALI MASSIMI

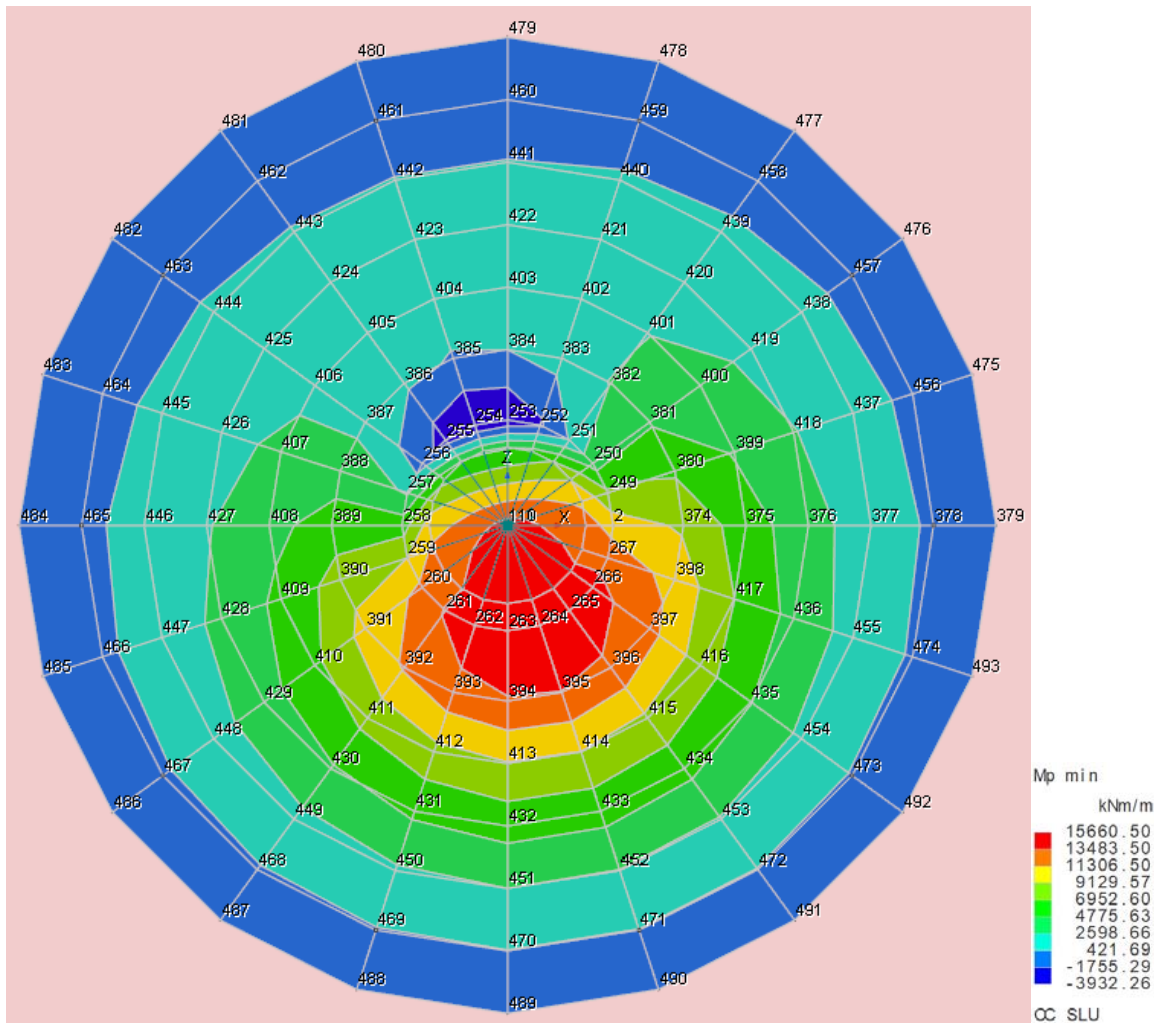


FIGURA IO: DIAGRAMMA DEI MOMENTI PRINCIPALI MINIMI

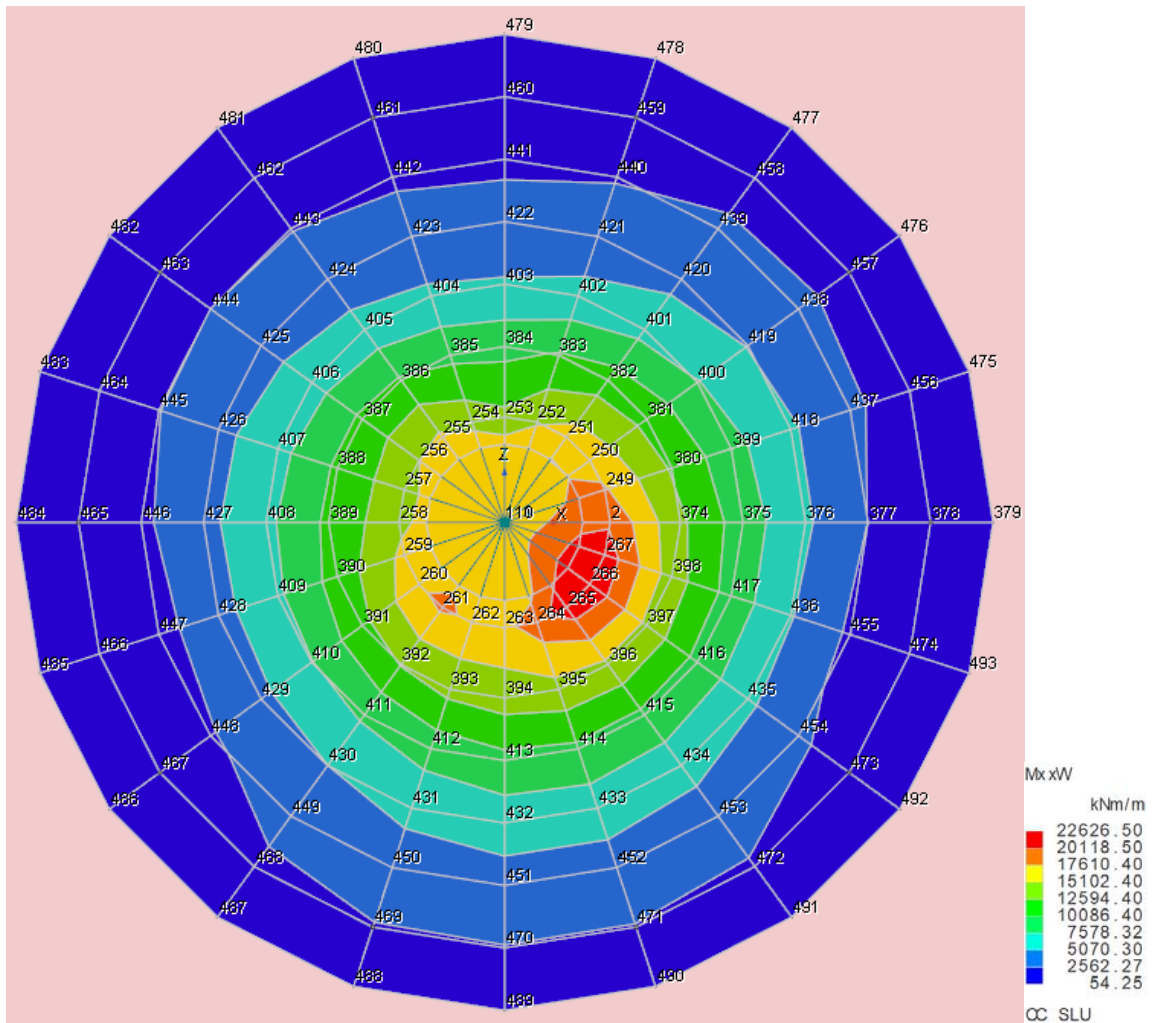


FIGURA II: DIAGRAMMA DEI MOMENTI DI WOOD IN DIREZIONE X

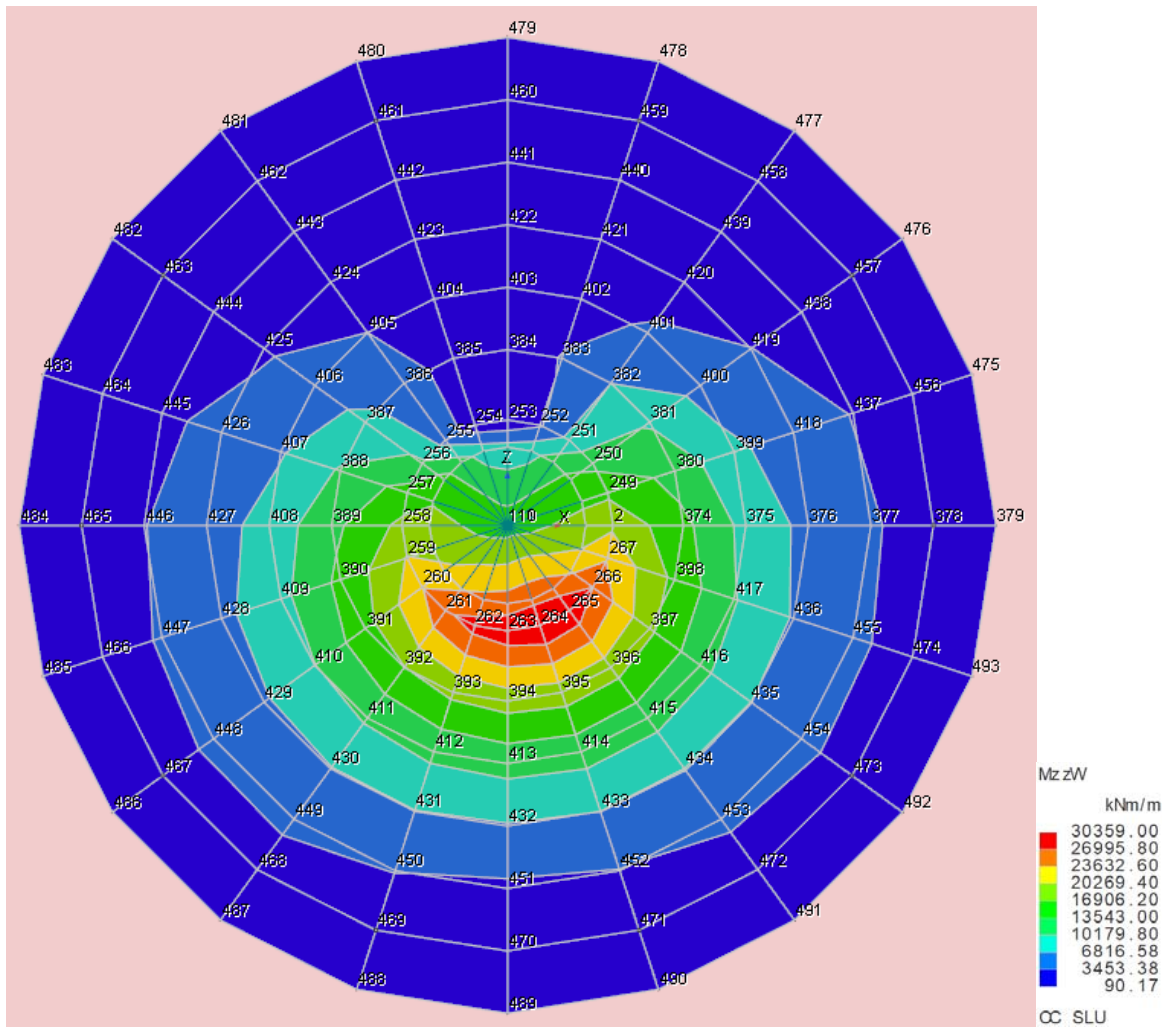


FIGURA 12: DIAGRAMMA DEI MOMENTI DI WOOD IN DIREZIONE Z

Verifica C.A. S.L.U. - File: 400_20--Virola_anulare

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

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 400 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 26,61 | 10 |
| 2 | 26,61 | 15 |
| 3 | 26,61 | 20 |
| 4 | 37,17 | 370 |
| 5 | 37,17 | 375 |
| 6 | 37,17 | 380 |
| 7 | 37,17 | 385 |
| 8 | 37,17 | 390 |

Tipologia sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma di sezione:

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd

o cm

Precompresso

Materiali:

B450C C28/35

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 15,87
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 11
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6667
 τ_{c1} 1,971

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 36,32 ‰
 d 390 cm
 x 34,28 x/d 0,0879
 δ 0,7

ARMATURA ANULARE BLOCCO VIROLA – VERIFICA PER OGNI METRO LINEARE DI IN DIREZIONE RADIALE

7+7+7 ϕ 22 DISPOSTI SU 3 STRATI SUPERIORI

7+7+7+7+7 ϕ 26 DISPOSTI SU 5 STRATI INFERIORI

$M_{SD} = 22626$ KNM

$M_{RD} = 26587$ KNM

$C_s = 1,17$

Verifica C.A. S.L.U. - File: 400_20--Viola_radiale

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 100 | 400 | 1 | 26,61 | 10 |
| | | | 2 | 26,61 | 15 |
| | | | 3 | 26,61 | 20 |
| | | | 4 | 51,24 | 370 |
| | | | 5 | 51,24 | 375 |
| | | | 6 | 51,24 | 380 |
| | | | 7 | 51,24 | 385 |
| | | | 8 | 51,24 | 390 |

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

Materiali

B450C C28/35

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
E_s N/mm² f_{cd} ‰
E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰
σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰
τ_{c1} ‰

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kN m
σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.
Calcola MRd Dominio M-N
o cm Col. modello
 Precompresso

ARMATURA RADIALE BLOCCO VIOLA – VERIFICA PER OGNI METRO LINEARE DI IN DIREZIONE RADIALE

7+7+7φ22 DISPOSTI SU 3 STRATI SUPERIORI

7+7+7+7+7φ30 DISPOSTI SU 5 STRATI INFERIORI

M_{SD} = 30359 KNM

M_{RD} = 36083 KNM

C_s = 1,18

Verifica C.A. S.L.U. - File: 400_20--Platea_anulare

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1 | 100 | 350 | 1 | 26,61 | 10 |
| | | | 2 | 26,61 | 15 |
| | | | 3 | 0 | 20 |
| | | | 4 | 0 | 320 |
| | | | 5 | 37,17 | 325 |
| | | | 6 | 37,17 | 330 |
| | | | 7 | 37,17 | 335 |
| | | | 8 | 37,17 | 340 |

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd}

Materiali

B450C **C28/35**

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ε_{syd} ‰ σ_{c,adm}
 σ_{s,adm} N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.
 Calcola MRd Dominio M-N
 o cm Col. modello
 Precompresso

ARMATURA ANULARE ZONA PLATEA – VERIFICA PER OGNI METRO LINEARE DI IN DIREZIONE RADIALE

7+7φ22 DISPOSTI SU 2 STRATI SUPERIORI

7+7+7+7φ26 DISPOSTI SU 4 STRATI INFERIORI

M_{SD} = 15102 KNM

M_{RD} = 18620 KNM

C_s = 1,23

Verifica C.A. S.L.U. - File: 400_20--Virola_radiale

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

Titolo : _____

N° strati barre

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 100 | 400 |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1 | 26,61 | 10 |
| 2 | 26,61 | 15 |
| 3 | 26,61 | 20 |
| 4 | 37,17 | 370 |
| 5 | 37,17 | 375 |
| 6 | 37,17 | 380 |
| 7 | 37,17 | 385 |
| 8 | 37,17 | 390 |

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd}

Materiali

 ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd}
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ε_{syd} ‰ σ_{c,adm}
 σ_{s,adm} N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

 cm
 Precompresso

ARMATURA ANULARE ZONA PLATEA – VERIFICA PER OGNI METRO LINEARE DI IN DIREZIONE RADIALE

7+7+7φ22 DISPOSTI SU 3 STRATI SUPERIORI

7+7+7+7+7φ26 DISPOSTI SU 5 STRATI INFERIORI

M_{SD} = 20269 KNM

M_{RD} = 26587 KNM

C_s = 1,31

LE VERIFICHE DEI PALI DI FONDAZIONE SONO RIPORTATE NELL'ALLEGATA RELAZIONE DI CALCOLO E VERIFICA.

4. REFERENZE

- [1] D.M. 17.01.2018 – AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
- [2] D.M. 14.01.2008 – NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008
- [3] CIRCOLARE N. 7/C.S.LL.PP. DEL 12/02/2019
- [4] LEGGE 5 NOVEMBRE 1971 N. 1086 – NORME PER LA DISCIPLINA DELLE OPERE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO NORMALE E PRECOMPRESSO ED A STRUTTURA METALLICA.
- [5] CIRCOLARE MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI 14 FEBBRAIO 1974, N.11951 – “APPLICAZIONE DELLE NORME SUL CEMENTO ARMATO”.
- [6] CIRCOLARE MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI 25 GENNAIO 1975, N.13229 – “L’IMPIEGO DI MATERIALI CON ELEVATE CARATTERISTICHE DI RESISTENZA PER CEMENTO ARMATO NORMALE E PRECOMPRESSO.
- [7] • C.N.R. – UNI 10011-97 – “COSTRUZIONI DI ACCIAIO: ISTRUZIONI PER IL CALCOLO, L’ESECUZIONE, IL COLLAUDO E LA MANUTENZIONE”.
- [8] • OPCM 3274 D.D. 20/03/2003 S.M.I. – “PRIMI ELEMENTI IN MATERIA DI CRITERI GENERALI PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE E DI NORMATIVE TECNICHE PER LE COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA”, E SUCCESSIVE MODIFICHE E INTEGRAZIONI (OPCM 3431 03/05/05).
- [9] D.M.LL.PP. 20 NOVEMBRE 1987 – “NORME TECNICHE PER LA PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E COLLAUDO DEGLI EDIFICI IN MURATURA E PER IL LORO CONSOLIDAMENTO”.
- [10] CIRC. MIN.LL.PP. N.11951 DEL 14 FEBBRAIO 1992 – CIRCOLARE ILLUSTRATIVA DELLA LEGGE N. 1086.
- [11] D.M. 14 FEBBRAIO 1992 – NORME TECNICHE PER L’ESECUZIONE DELLE OPERE IN CEMENTO ARMATO NORMALE, PRECOMPRESSO E PER LE STRUTTURE METALLICHE.
- [12] CIRC. MIN.LL.PP. N.37406 DEL 24 GIUGNO 1993 – ISTRUZIONI RELATIVE ALLE NORME TECNICHE PER L’ESECUZIONE DELLE OPERE IN C.A. NORMALE E PRECOMPRESSO E PER LE STRUTTURE METALLICHE DI CUI AL D.M. 14 FEBBRAIO 1992.
- [13] D.M. 9 GENNAIO 1996 – NORME TECNICHE PER L’ESECUZIONE DELLE OPERE IN CEMENTO ARMATO NORMALE E PRECOMPRESSO E PER LE STRUTTURE METALLICHE.
- [14] CIRC. MIN. LL.PP. 15.10.1996 N.252 AA.GG./S.T.C. – ISTRUZIONI PER L’APPLICAZIONE DELLE «NORME TECNICHE PER IL CALCOLO E L’ESECUZIONE ED IL COLLAUDO DELLE STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO NORMALE E PRECOMPRESSO E PER LE STRUTTURE METALLICHE» DI CUI AL D.M. 09.01.1996.
- [15] D.M. 16 GENNAIO 1996 – NORME TECNICHE RELATIVE AI CRITERI GENERALI PER LA VERIFICA DI SICUREZZA DELLE COSTRUZIONI E DEI CARICHI E SOVRACCARICHI
- [16] • CIRC. MIN.LL.PP. N.156AA.GG./S.T.C. DEL 4 LUGLIO 1996 – ISTRUZIONI PER L’APPLICAZIONE

DELLE "NORME TECNICHE RELATIVE AI CRITERI GENERALI PER LA VERIFICA DI SICUREZZA DELLE COSTRUZIONI E DEI CARICHI E SOVRACCARICHI" DI CUI AL D.M. 16 GENNAIO 1996.

- [17] D.M. 16.1.1996 – NORME TECNICHE RELATIVE ALLE COSTRUZIONI IN ZONE SISMICHE
- [18] CIRC. MIN. LL.PP. 10.4.1997, n. 65 – ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELLE "NORME TECNICHE RELATIVE ALLE COSTRUZIONI IN ZONE SISMICHE" DI CUI AL D.M. 16 GENNAIO 1996
- [19] EUROCODICE 1 – BASI DI CALCOLO ED AZIONI SULLE STRUTTURE
- [20] EUROCODICE 2 – PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE DI CALCESTRUZZO
- [21] EUROCODICE 3 – PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE DI ACCIAIO
- [22] EUROCODICE 4 – PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO
- [23] EUROCODICE 5 – PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE DI LEGNO
- [24] EUROCODICE 6 – PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE DI MURATURA
- [25] EUROCODICE 7 – PROGETTAZIONE GEOTECNICA
- [26] EUROCODICE 8 – INDICAZIONI PROGETTUALI PER LA RESISTENZA SISMICA DELLE STRUTTURE
- [27] GERMANISCHER LLOYD (GL) – REGOLE E LINEE GUIDA, 2003. "RULES AND REGULATION FOR THE CERTIFICATION OF WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS".
- [28] IEC INTERNATIONAL STANDARD. "WIND TURBINE GENERATOR SYSTEMS". REFERENCE NUMBER 61400-1

LECCE, MAGGIO 2020

ING. GIOVANNI LUCA D'AMATO

ALLEGATO: TABULATI DI CALCOLO

- RELAZIONE DI CALCOLO E VERIFICA – ST_001-AI