

EMILIE Wind S.r.l.

Parco Eolico “EMILIE” sito nel Comune di Casalfiumanese (BO)

Relazione di calcolo preliminare strutture in elevazione

Luglio 2023

Committente:

EMILIE Wind S.r.l.

EMILIE Wind S.r.l.

Via Sardegna, 40

00187 Roma

P.IVA/C.F. 16666851007

Titolo del Progetto:

Parco Eolico "EMILIE" sito nel Comune di Casalfiumanese (BO)

Documento:

**Relazione di calcolo
preliminare strutture in
elevazione**

N° Documento:

IT-VesEMI-PGR-CIV-TR-02

Progettista:



Ing. Domenico Teta



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Luglio 2023	Prima Emissione	C. Cucci	D. Teta	S. Sguazzo

Sommario

1. Premessa	4
2. Descrizione generale dell'impianto	4
2.1. Caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore	5
3. Normativa di riferimento	7
4. Descrizione delle opere strutturali	8
4.1. Tipologia delle opere	8
4.2. Caratterizzazione sismica dell'area	8
4.3. Materiali impiegati e resistenze di calcolo	10
4.3.1. Calcestruzzo.....	10
4.3.2. Acciaio per calcestruzzo	11
5. Azioni sulla struttura	13
5.1. Stato limite di salvaguardia della vita.....	13
5.2. Stato limite di danno	14
5.3. Stati limite di esercizio.....	15
6. Verifiche di sicurezza	16
6.1. Combinazioni di carico.....	17
6.2. Analisi dei carichi	17
6.3. Sistema di riferimento	18
6.3.1. Convenzioni adottate	18
6.3.2. Riferimento globale	19
6.3.3. Riferimento locale	19
7. Plinto di fondazione	20
8. Conclusioni	21

Relazione di calcolo preliminare strutture in elevazione

1. Premessa

La presente relazione di calcolo preliminare delle strutture in elevazione e fondazione è relativa al progetto di un parco eolico denominato “**Emilie**” e relative opere di connessione alla RTN, che la Società **Emilie Wind Srl** intende realizzare nel territorio comunale di Casalfiumanese (BO).

2. Descrizione generale dell’impianto

L’impianto eolico “**Emilie**” consta di n. 9 aerogeneratori caratterizzati da un’altezza mozzo di 113 m, rotore di 163 m e potenza nominale di 4,5 MW, per una potenza complessiva nominale del parco pari a 40.5 MW.

Tutti gli aerogeneratori sono collocati nel territorio comunale di Casalfiumanese (BO) e sono collegati tra loro mediante un sistema di cavidotti interrati da 36 kV (denominato cavidotto interno), opportunamente dimensionato.

Un cavidotto interrato da 36 kV, denominato cavidotto esterno, collega poi il Parco ad una stazione elettrica di trasformazione (SE) 36-380 kV di nuova realizzazione ubicata nel comune di Monterenzio. Da quest’ultima è previsto un raccordo AT in aereo sulla nuova linea Colunga-Calenzano anch’essa di nuova realizzazione da parte di TERNA¹.

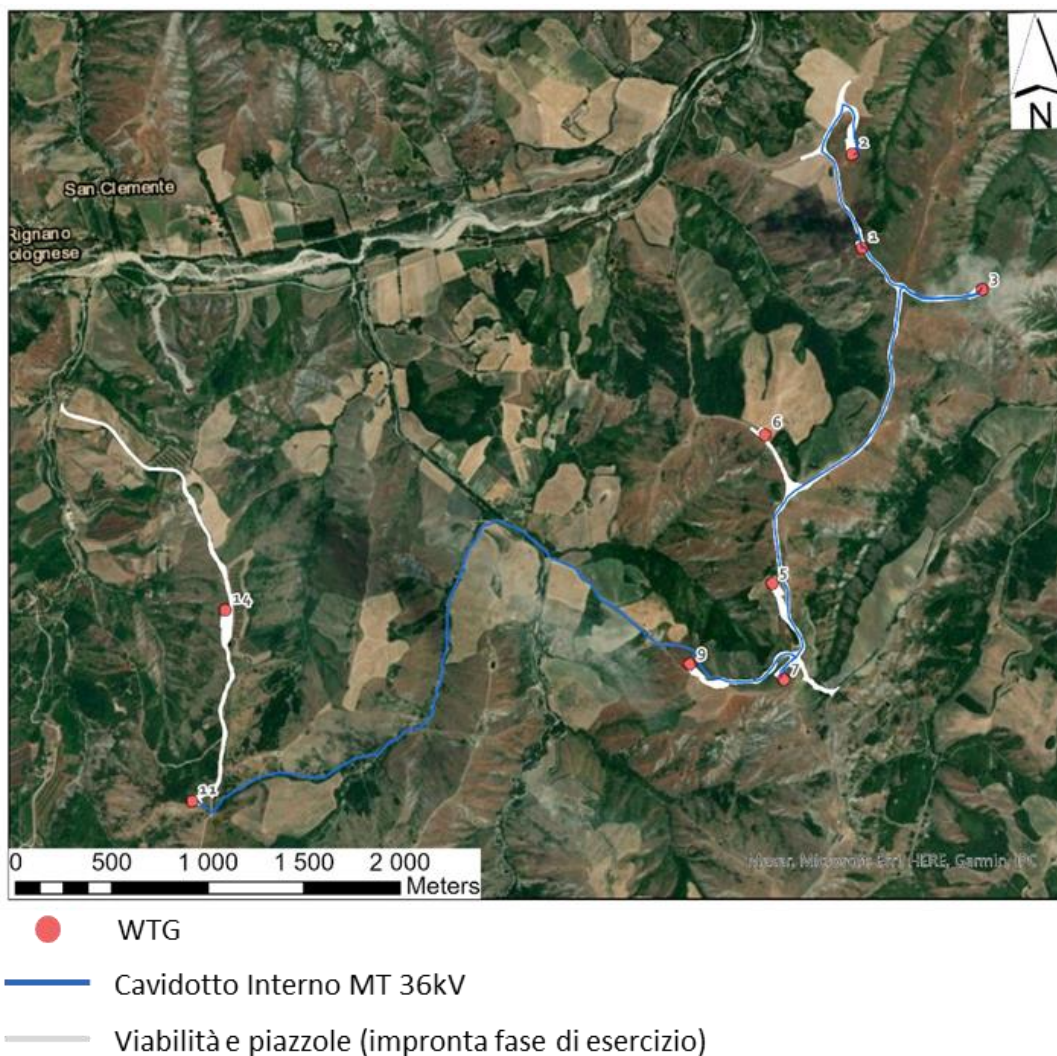
Il parco, in termini di areale circoscritto dagli aerogeneratori, interessa una superficie di circa 450 ettari mentre l’occupazione di suolo effettiva del parco è invece limitata a circa 22 ettari in fase di cantiere e a circa 16 ettari in fase di esercizio.

Di seguito si riportano la tabella riepilogativa in cui sono indicate per ciascun aerogeneratore le relative coordinate metriche (UTM 33N) e le particelle catastali e l’inquadramento del Parco su orofoto.

Tabella 1 Coordinate e Dati Catastali Aerogeneratori

ID	Comune	Coordinate WGS 1984 UTM 32 Nord		Foglio	Particella	D rotore [m]	Hhub [m]	Htot [m]
		Lat – [m]	Long [m]					
WTG1	Casalfiumanese	4910136.77	702111.50	25	25	163	113	194,5
WTG 2	Casalfiumanese	4910627.22	702063.54	21	40	163	113	194,5
WTG 3	Casalfiumanese	4909922.29	702739.52	22	53	163	113	194,5
WTG 5	Casalfiumanese	4908392.94	701642.90	36	9	163	113	194,5
WTG 6	Casalfiumanese	4909165.91	701607.31	26	21	163	113	194,5
WTG 7	Casalfiumanese	4907895.87	701704.73	36	31	163	113	194,5
WTG 9	Casalfiumanese	4907975.00	701215.38	37	23	163	113	194,5
WTG 11	Casalfiumanese	4907260.71	698623.89	48	7	163	113	194,5
WTG 14	Casalfiumanese	4908255.36	698797.90	32	85	163	113	194,5

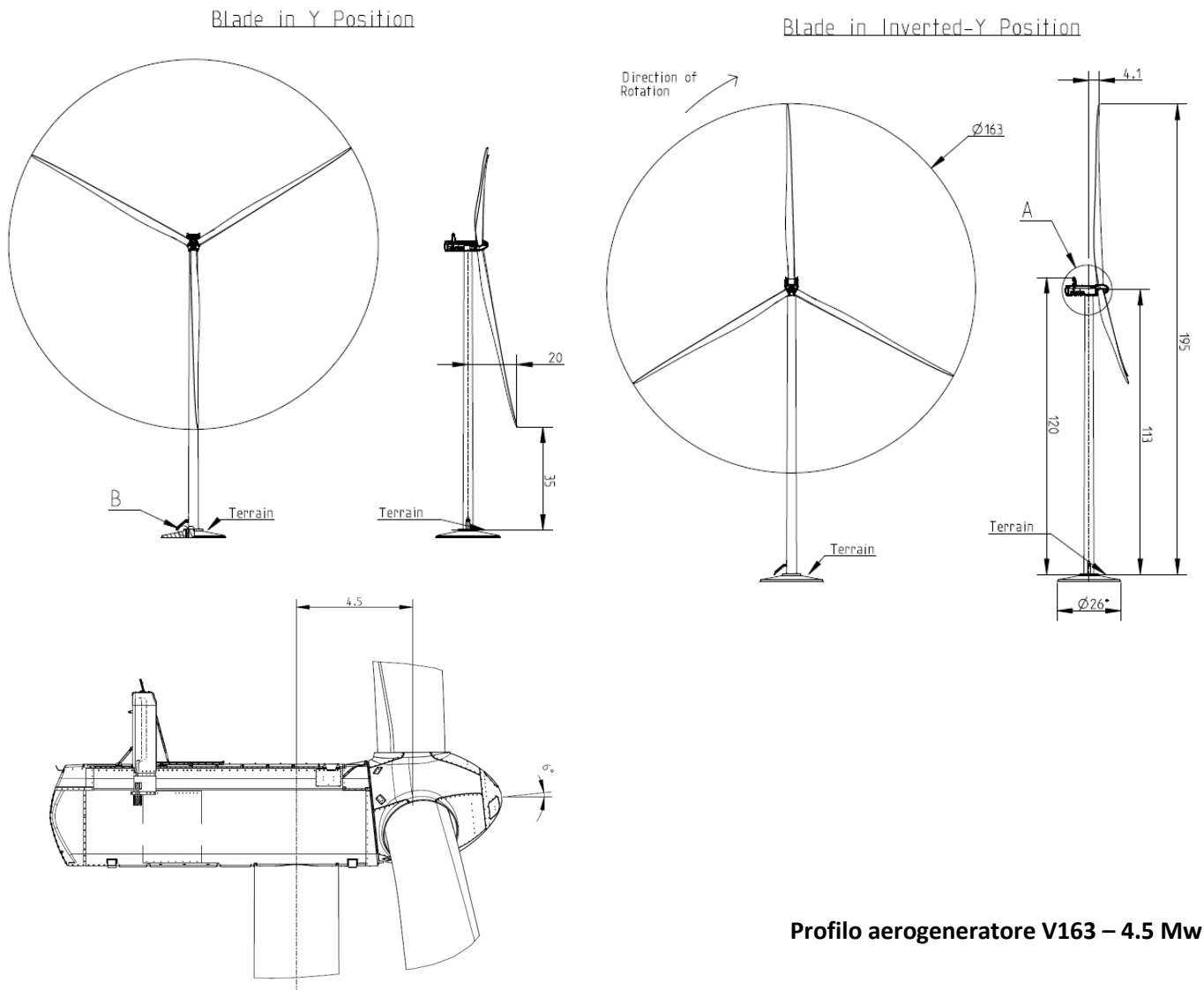
¹ [Colunga-Calenzano: una nuova linea sostenibile tra Toscana ed Emilia Romagna - Terna spa](#)

Figura 1 Inquadramento del Parco su ortofoto

2.1. Caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore

L'aerogeneratore è una macchina rotante che trasforma l'energia cinetica del vento in energia elettrica ed è essenzialmente costituito da una torre (suddivisa in più parti), dalla navicella, dal Drive Train, dall'Hub e tre pale che costituiscono il rotore.

Per il presente progetto verrà installato il modello di aerogeneratore V163 di potenza nominale pari a 4.5 MWp, altezza torre all'hub pari a 113 m e diametro del rotore 163 m.

Figura 2 Aerogeneratore V163-4.5 MW –Disegni tecnici da Specifica Tecnica Aerogeneratore**Profilo aerogeneratore V163 – 4.5 Mw**

3. Normativa di riferimento

Le fasi di analisi e verifica delle strutture saranno condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative:

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971. Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992. Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996. Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996. Norme Tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- D.M. 16 Gennaio 1996. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018).
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

4. Descrizione delle opere strutturali

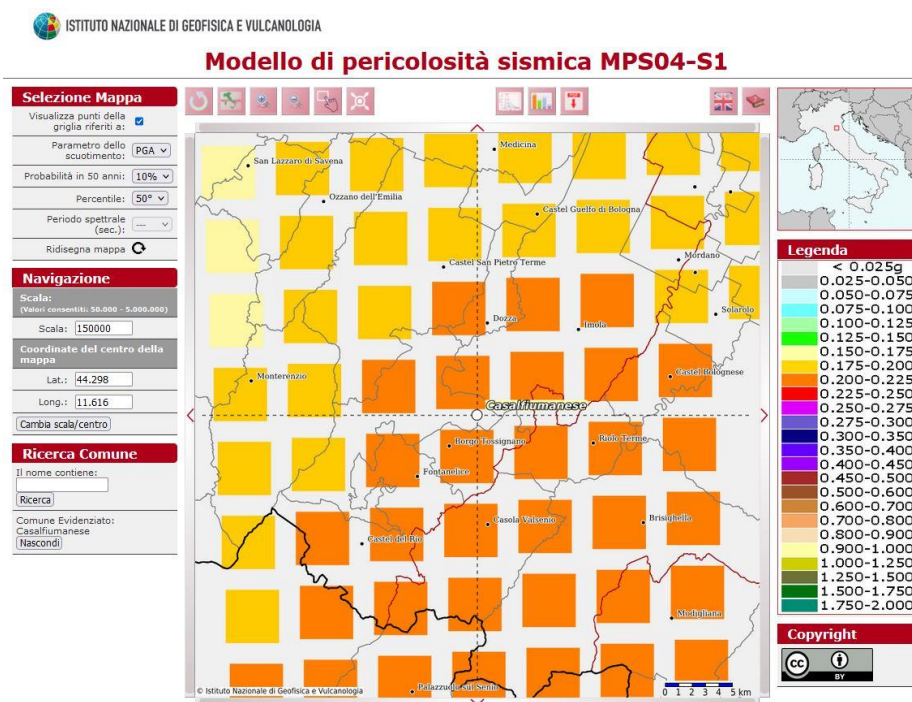
4.1. Tipologia delle opere

Nel presente elaborato verrà analizzata la fondazione di tipo profondo degli aerogeneratori.

4.2. Caratterizzazione sismica dell'area

Il territorio comunale di Casalfiumanese (BO) in base all'Ordinanza P.C.M. del 20 marzo 2003 n.3274, approvata con DGR 2000 del 04/11/2003, è classificato sismicamente come appartenente alla "zona 2".

Figura 3 Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Lo studio di pericolosità sismica, adottato con l'O.P.C.M. del 28 aprile 2006 n. 3519, attribuisce alla zona sismica degli intervalli di accelerazione orizzontale del suolo (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Nel caso in esame l'accelerazione orizzontale del suolo (ag) risulta essere:

Figura 4 Valori di PGA con probalità di superamento pari al 10% in 50 anni

<u>Zona sismica</u>	<u>Accelerazione con probalità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)</u>
1	$ag > 0.25$
2	$0.15 < ag \leq 0.25$
3	$0.05 < ag \leq 0.15$
4	$ag \leq 0.05$



Figura 5 Parametri indipendenti dello spettro di risposta per la zona in esame

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_d	0,207 g
F_o	2,474
T_C^*	0,300 s
S_S	1,392
C_C	1,562
S_T	1,000
q	1,000

Categoria di suolo

Come previsto dalle NTC 2018, per la stima della pericolosità sismica dell'area, è necessario individuare la categoria di sottosuolo del sito mediante opportune indagini geofisiche.

Verranno pertanto effettuate prove sismiche del tipo MASW (Multichannel Analysis Surface Wave) per la determinazione delle V_{seq}, e prove sismiche a rifrazione.

Il valore di V_{seq} ricavato dalle prove sismiche eseguite permetterà di assegnare ad ogni area di sedime degli aerogeneratori la rispettiva categoria di sottosuolo evidenziata nella tabella 3.2. Il allegata alle NTC 2018 e di seguito riportata:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In via preliminare è possibile assegnare alle aree di sedime degli aerogeneratori una categoria di sottosuolo "C".

Categoria tipografica

Per l'assegnazione della categoria topografica si fa riferimento alla tabella 3.2.III allegata alle NTC 2018, di seguito riportata:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Per tutti gli aerogeneratori è possibile assegnare una categoria topografica T1.

4.3. Materiali impiegati e resistenze di calcolo

4.3.1. Calcestruzzo

Il calcestruzzo della piastra di fondazione sarà in classe C 28/35 ($R_{ck} \geq 350$ daN/cm²), mentre per i pali di fondazione si utilizzerà un calcestruzzo in classe C 25/30 ($R_{ck} \geq 300$ daN/cm²).

Per ciascuna tipologia di calcestruzzo si riportano di seguito, le rispettive caratteristiche meccaniche:

Calcestruzzo classe C 28/35 (Rck ≥ 350 daN/cm²)

- Resistenza cilindrica a compressione $R_{ck} = 350 \text{ daN/cm}^2$;
- Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo $\gamma_c = 1.5$;
- Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata $\alpha_{cc} = 0.85$;
- Resistenza di calcolo a compressione $f_{cd} = f_{ck} \times \alpha_{cc} / \gamma_c = 164.62 \text{ daN/cm}^2$;
- peso specifico $\gamma_{cl} = 2500 \text{ daN/m}^3$;
- Classe di consistenza S4 (UNI – EN 206-1);
- Condizioni ambientali Ordinarie (tab. 4.1.III di [1]), per classi di esposizione ambientale XC2, XF1 UNI-EN 206;
- Copriferro $c = 5,0 \text{ cm}$.

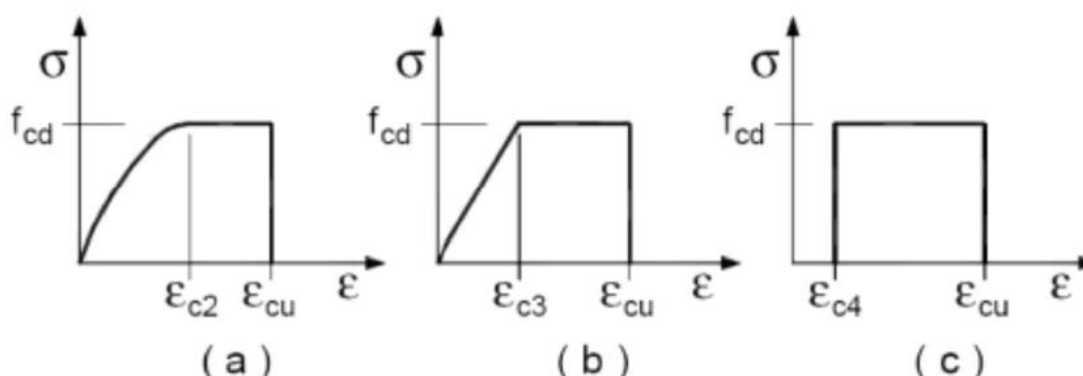
Calcestruzzo classe C 25/30 (Rck ≥ 300 daN/cm²)

- Resistenza cilindrica a compressione $R_{ck} = 300 \text{ daN/cm}^2$;
- Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo $\gamma_c = 1.5$;
- Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata $\alpha_{cc} = 0.85$;
- Resistenza di calcolo a compressione $f_{cd} = f_{ck} \times \alpha_{cc} / \gamma_c = 141.6 \text{ daN/cm}^2$;
- peso specifico $\gamma_{cl} = 2500 \text{ daN/m}^3$;
- Classe di consistenza S4 (UNI – EN 206-1);
- Condizioni ambientali Ordinarie (tab. 4.1.III di [1]), per classi di esposizione ambientale XC2, XF1 UNI-EN 206;
- Copriferro $c = 7,0 \text{ cm}$.

Il calcestruzzo magro usato per la sottofondazione è di classe $R_{ck} \geq 15 \text{ N/mm}^2$.

I diagrammi costitutivi del calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.1 delle NTC 2018; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta e a pressoflessione deviata è adottato il modello riportato in figura.

Figura 6 Diagrammi di progetto tensione-deformazione del calcestruzzo



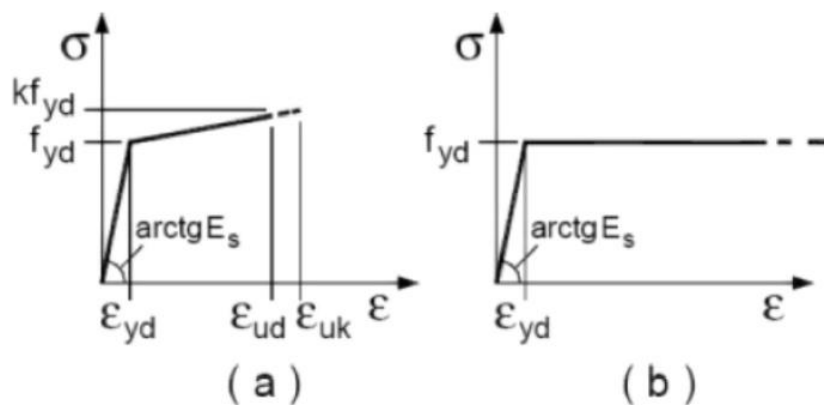
4.3.2. Acciaio per calcestruzzo

L'acciaio utilizzato per le barre di armatura sarà in classe B450C, con le seguenti caratteristiche:

- $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$ - Tensione caratteristica di rottura;
- $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ – Tensione caratteristica di snervamento;
- $\tau = 2.6 \text{ N/mm}^2$ – Tensione caratteristica di aderenza.

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.2 delle NTC 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in figura.

Figura 7 Diagrammi di progetto tensione-deformazione dell'acciaio



Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

5. Azioni sulla struttura

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni delle NTC 2018. Le azioni introdotte direttamente sono combinate con le altre (carichi permanenti, accidentali e sisma) mediante le combinazioni di carico di seguito descritte; da esse si ottengono i valori probabilistici da impiegare successivamente nelle verifiche.

5.1. Stato limite di salvaguardia della vita

Le azioni sulla costruzione sono state cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme vigenti.

Per gli stati limite ultimi sono state adottate le combinazioni del tipo:

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

dove:

G_i sono le azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G_1);
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2);
- spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro;
- presollecitazione (P).

Q_i sono le azioni variabili che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura:

- sovraccarichi;
- azioni del vento;
- azioni della neve;
- azioni della temperatura.

Le azioni variabili sono dette di lunga durata quando agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura. Sono dette di breve durata, invece, se agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura. A seconda del sito ove sorge la costruzione, una medesima azione climatica può essere di lunga o di breve durata.

$\gamma_g, \gamma_q, \gamma_p$ sono coefficienti parziali come definiti nella tabella 2.6.I delle NTC 2018;

ψ_{0i} sono coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici. Essi sono riportati nella tabella 2.5.I della suddetta norma.

Le combinazioni risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico elementare. I coefficienti relativi a tali combinazioni di carico sono riportati negli allegati fascicoli di calcolo.

In zona sismica, oltre alle sollecitazioni derivanti dalle condizioni di carico statiche, vengono considerate anche le sollecitazioni derivanti dal sisma. L'azione sismica è stata combinata con le altre azioni secondo la seguente relazione:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove:

- E: azione sismica per lo stato limite e per la classe di importanza in esame;
- G1: peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G2: peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P: pretensione e precompressione;
- ψ_{2i} : coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q_i ;
- Q_{ki} : valore caratteristico dell'azione variabile Q_i .

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

I valori dei coefficienti ψ_{2j} sono riportati, assieme ai valori dei coefficienti ψ_{0j} , ψ_{1j} , nella tabella 2.5.I riportata di seguito:

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

5.2. Stato limite di danno

L'azione sismica, ottenuta dallo spettro di progetto per lo Stato Limite di Danno, è stata combinata con le altre azioni mediante una relazione del tutto analoga alla precedente:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove:

- E: azione sismica per lo stato limite e per la classe di importanza in esame;
- G1: peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G2: peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P: pretensione e precompressione;
- ψ_{2i} : coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q_i ;
- Q_{ki} : valore caratteristico dell'azione variabile Q_i .

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

I valori dei coefficienti ψ_{2j} sono riportati nella tabella 2.5.I delle N.T.C. 2018 di cui al paragrafo precedente.

5.3. Stati limite di esercizio

Allo Stato Limite di esercizio le sollecitazioni con cui sono stati progettati gli elementi in c.a. sono state ricavate applicando le combinazioni di carico riportate nelle NTC 2018 al punto 2.5.3. Per le verifiche agli stati limite di esercizio, a seconda dei casi, si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

- combinazione rara

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

- combinazione frequente

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

- combinazione quasi permanente

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki}) + \sum_{h=1}^l (P_{kh})$$

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.

Ai coefficienti ψ_{0i} , ψ_{1i} , ψ_{2i} sono attribuiti i valori della tabella 2.5.I delle NTC 2018 di cui al paragrafo 8.2.

In maniera analoga a quanto illustrato nel caso dello SLU le combinazioni risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico; a turno ogni condizione di carico accidentale è stata considerata sollecitazione di base (Q_{k1} nella formula (1)), con ciò dando origine a tanti valori combinati. Per ognuna delle combinazioni ottenute, in funzione dell'elemento sono state effettuate le verifiche allo SLE (tensioni, deformazioni e fessurazione). Negli allegati fascicoli di calcolo sono riportati i coefficienti relativi alle combinazioni di calcolo generate relativamente alle combinazioni di azioni "Quasi Permanente", "Frequente" e "Rara".

Nelle sezioni relative alle verifiche allo SLE dei citati fascicoli, inoltre, sono riportati i valori delle sollecitazioni relativi alle combinazioni che hanno originato i risultati più gravosi.

6. Verifiche di sicurezza

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

$$R_d \geq E_d$$

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 allo SLU di tipo geotecnico (GEO) delle fondazioni vengono eseguite, in ottemperanza alle prescrizioni contenute nel par. 6.4.3.1 delle NTC 2018, secondo la Combinazione (A1+M1+R3) dell'Approccio 2, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle che seguono.

La verifica di stabilità globale, invece, viene effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1. Per quel che concerne le verifiche allo SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente γ_R non viene portato in conto. Si riportano, di seguito, i coefficienti desunti dalle tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.I, 6.4.II, 6.4.IV, 6.4.VI riportate nel cap. 6 delle NTC 2018:

Figura 8 Coefficienti parziali per le azioni o per gli effetti delle azioni

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

Figura 9 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici

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

Figura 10 Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche (pali trivellati)

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

Figura 11 Coefficienti parziali γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

γ_T	(R1)	(R2)	(R3)
γ_T	1.00	1.60	1.30

Figura 12 Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di varticali indagate

Numero di verticali indagate	ξ_3	ξ_4
1	1.70	1.70

6.1. Combinazioni di carico

A partire dai carichi agenti sulla struttura di fondazione sono state analizzate le combinazioni di carico per gli stati limite.

Tali combinazioni, riportate nella tabella seguente, sono state effettuate tenendo presente quanto prescritto dalle NTC 2018.

Si riportano di seguito l'elenco delle combinazioni di calcolo per un totale di 12 combinazioni definite, dove il coefficiente CP identifica: CP = Coefficiente di partecipazione della condizione.

Combinazione n° 1 - STR - A1-M1-R3

Condizione	CP
Peso proprio, Peso terreno sulla piastra, carichi aerogeneratore	1.30
Condizione 1	1.00

6.2. Analisi dei carichi

Un'accurata valutazione dei carichi è un requisito imprescindibile di una corretta progettazione, in particolare per le costruzioni realizzate in zona sismica. La valutazione dei carichi e sovraccarichi agenti sulla fondazione e dei carichi e sovraccarichi derivanti dalla sovrastruttura, è stata effettuata in accordo alle NTC 2018.

Le condizioni di carico per le quali si effettuano le verifiche sono:

- Peso proprio fondazione;
- Peso torre eolica;
- Neve;
- Vento in condizioni di esercizio;
- Vento estremo;
- Sisma.

Le azioni sismiche sono combinate secondo quanto riportato nel par. 7.3.5 delle NTC 2018.

Nel caso in esame le sollecitazioni della sovrastruttura (aerogeneratore) utilizzate sono quelle riportate di seguito, considerando nello specifico i carichi estremi trasmessi dall'aerogeneratore alla struttura di fondazione.

Figura 13 Carichi estremi trasmessi dall'aerogeneratore alla fondazione

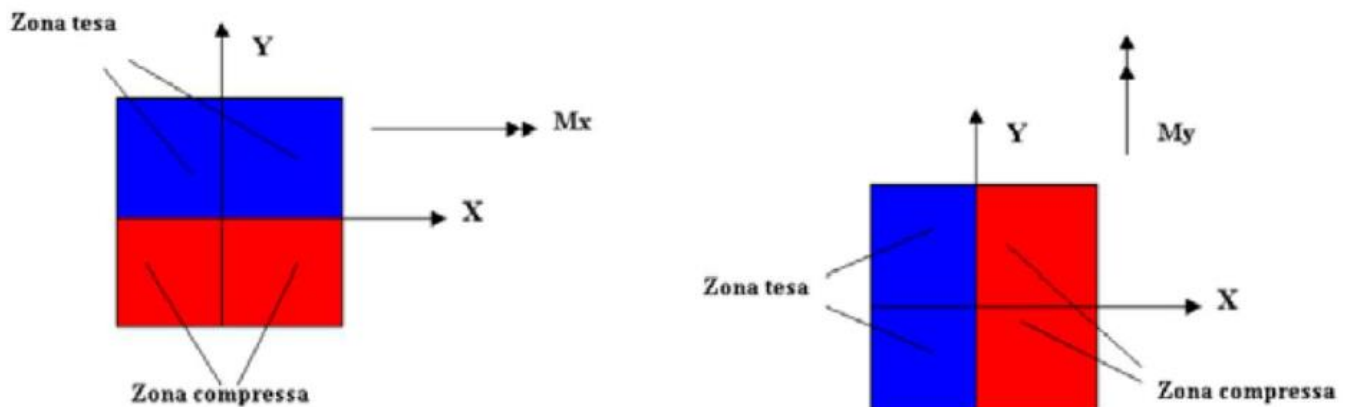
Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Fxy (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Mz (kNm)	Mxy (kNm)
1.688,33	-26,84	-7.571,58	1.688,54	9.840,11	231.769,91	792,11	231.978,72

6.3. Sistema di riferimento

6.3.1. Convenzioni adottate

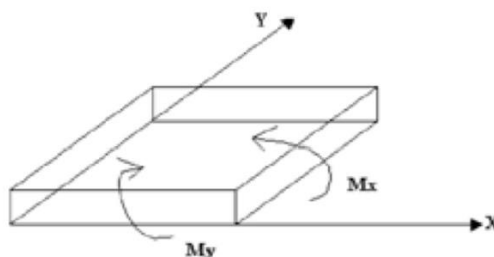
Carichi e reazioni vincolari

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



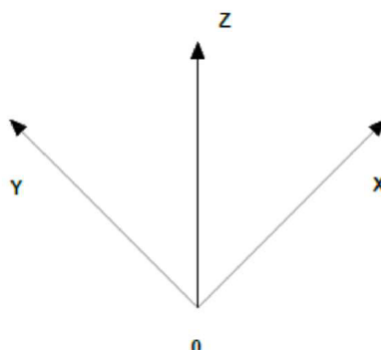
Sollecitazioni

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



6.3.2. Riferimento globale

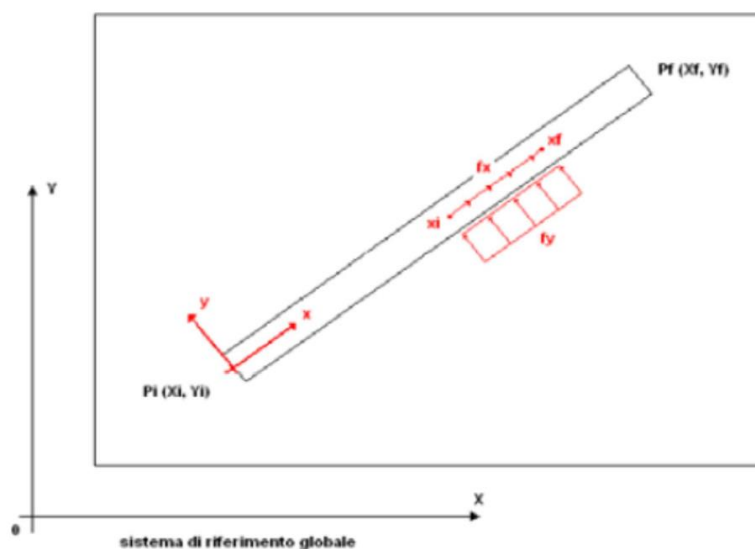
Il sistema di riferimento globale, rispetto al quale va riferita l'intera struttura, è costituito da una terna di assi cartesiani sinistrorsa OXYZ (X, Y, Z posizionati a 90° tra loro).



6.3.3. Riferimento locale

Definiti i e f come i due nodi iniziale e finale dell'elemento, viene individuato un sistema di assi cartesiani locale all'elemento, con origine nel Nodo i così composto:

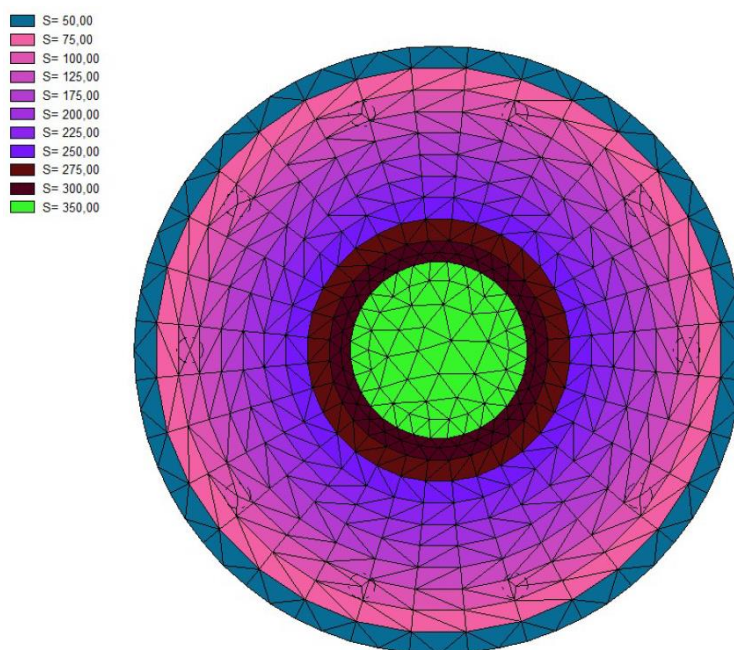
- asse x orientato dal nodo i al nodo j;
- asse y perpendicolare all' asse x;
- asse z che completa la terna.



7. Plinto di fondazione

Si riporta di seguito lo schema strutturale adottato in fase di calcolo. La struttura viene schematizzata come anelli concentrici con altezza variabile crescente verso il centro. L'incremento di altezza viene identificato con differente colorazione:

Figura 14 Spessori modellazione strutturale



8. Conclusioni

La progettazione e verifica preliminare della struttura della presente relazione tiene in considerazione i carichi relativi ad un aerogeneratore tipo V163 e delle assunzioni relative ai modelli geotecnici indicati dalla relazione geologica.

Le caratteristiche geometriche della fondazione descritta nel presente elaborato dovrà confermarsi mediante dimensionamento di dettaglio in fase di progettazione definitiva-esecutiva, così come le relative armature di carpenteria.

Dalla presente progettazione preliminare, considerando la stratigrafia più sfavorevole tra quelle individuate dalla relazione geologica, si è giunti al dimensionamento di una struttura composta da una piastra assimilabile a un tronco di cono con base maggiore avente diametro pari a 26.00 m e base minore avente diametro pari a 6.25 m. L'altezza massima della fondazione, misurata al centro della stessa è di 3.60 m mentre l'altezza minima misurata sull'estremità è di 0.70 m. Al centro della fondazione viene realizzato un accrescimento di 0.90 m al fine di consentire l'alloggio dell'anchor cage per l'installazione della torre eolica.

Viste le caratteristiche geologiche e gli enti sollecitanti, la fondazione è del tipo indiretto fondata su n. 16 pali di diametro 1200 mm e lunghezza pari a 35 m, disposti ad una distanza dal centro pari a 10 m.