

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

AREN Green S.r.l.

Società soggetta alla direzione e coordinamento di AREN Electric Power S.p.A.

Sede legale e amministrativa: Via dell'Arrigoni n. 308 | 47522 Cesena (FC) | Ph. +39 0547 415245

Iscritta nel Registro delle Imprese della Romagna – Forlì-Cesena e Rimini | REA 326908 | C.F./P.Iva 04032170401

**COMUNI DI BUSETO PALIZZOLO, ERICE E TRAPANI (TP)
LOCALITA' "CONTRADA GAMBINO"**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "GAMBINO"

REDAZIONE / PROGETTISTA:



AREN Electric Power S.p.A.
Società per Azioni con Unico Socio
Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC)
Ph. +39 0547 415245 - Fax +39 0547 415274
Web: www.aren-ep.com

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA:

Ing. Samuele Ulivi
Ordine degli Ingegneri di Forlì-
Cesena – matr. 2866

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE SULLE STRUTTURE

CODICE ELABORATO:

GMBDS_F00R00100_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	12/02/2024	D. Zampa	S. Ulivi	S. Ulivi
01					
02					
03					
04					

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 42

Sommario

1	Premessa.....	3
2	Inquadramento del progetto.....	3
3	Tipologia di intervento.....	5
4	Descrizione generale dell’opera.....	5
5	Normative di riferimento.....	7
6	Caratterizzazione sismica dell’area.....	7
6.1	Periodo di riferimento dell’azione sismica di base.....	8
6.2	Pericolosità sismica di base.....	8
6.3	Azione sismica di base.....	9
6.3.1	Parametri sismici aerogeneratori.....	10
6.4	Risposta Sismica Locale.....	10
6.4.1	Amplificazione Topografica.....	10
6.4.2	Amplificazione Stratigrafica.....	11
7	Materiali Impiegati.....	11
7.1	Calcestruzzo.....	11
7.2	Acciaio per il Calcestruzzo.....	12
8	Caratterizzazione Geotecnica dell’area.....	13
8.1	Parametri geotecnici.....	13
9	Metodo di calcolo.....	15
9.1	Modello numero.....	15
10	Modellazione della struttura.....	15
10.1	Criteri principali di modellazione.....	15
10.2	Vincoli strutturali.....	16
10.3	Principali combinazioni delle azioni.....	16
10.4	Metodo di analisi.....	16
10.5	Criteri di verifica agli stati limite indagati.....	18
10.6	Modellazione della fondazione superficiale e profonda.....	18
10.7	Modellazione dei vincoli interni ed esterni.....	22
11	Azioni sulla struttura.....	22
11.1	Modellazione delle azioni.....	24
11.2	Combinazioni delle azioni.....	24
11.3	Coefficienti adottati.....	25
11.4	Modellazione dei carichi applicati.....	27

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 42

11.5	Schematizzazione dei casi di carico	27
11.6	Definizione delle combinazioni di carico	29
11.7	Informazioni su copriferro e ricoprimento delle armature	30
12	Metodo di analisi	30
13	Criteri di verifica agli stati limite	30
14	Risultati di calcolo	31
14.1	Deformate	31
14.2	Tensioni	32
14.3	Azioni sui pali	33
15	Armature minime di progetto	34
16	Sintesi delle verifiche di sicurezza	39
16.1	Verifiche SLU	39
16.2	Verifiche SLE	41

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 42

1 Premessa

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Gambino”, e sito nei Comuni di Buseto Palizzolo ed Erice (TP) (nel seguito: il “**Progetto**”).

La società proponente è Aren Green S.r.l. Unipersonale, con sede in Via dell'Arrigoni 308 – 47522 Cesena (FC), P.IVA 04032170401 (nel seguito: il “**Soggetto proponente**”).

Il Soggetto proponente ha intrapreso l'iniziativa imprenditoriale di realizzare un impianto di produzione di energia elettrica mediante lo sfruttamento del vento, composto da n. 6 aerogeneratori mod. Vestas V150, ciascuno della potenza di 6.0 MW, per una potenza di immissione complessiva dell'impianto eolico pari a 36.0 MW.

Gli aerogeneratori si trovano nel Comune di Buseto Palizzolo (TP). Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione Utente attraversa i Comuni di Trapani, Buseto Palizzolo ed Erice (TP) e sarà allacciato alla futura Stazione Elettrica Terna denominata “Buseto 2”, tramite connessione a 36 kV.

La presente relazione di calcolo strutturale, in conformità con il DM 17/01/18, è comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica.

2 Inquadramento del progetto

Oggetto della presente relazione è il progetto di fondazioni per torri eoliche da realizzarsi nel Comune di Buseto Palizzolo (TP). Il progetto prevede l'installazione di n. 6 aerogeneratori Vestas V150 da 6.0 MW (potenza complessiva = 36.0 MW), con altezza al mozzo pari a 105 metri e diametro delle pale di 150 metri.

Nella seguente **Tabella 1** si elencano le posizioni degli aerogeneratori che costituiscono il Progetto, espresse in coordinate WGS 84, fuso UTM 33:

WTG	Comune	X [m]	Y [m]
CG1	Buseto Palizzolo	300868	4206931
CG2	Buseto Palizzolo	300455	4206148
CG3	Buseto Palizzolo	299946	4205841
CG4	Buseto Palizzolo	301557	4202940
CG5	Buseto Palizzolo	302125	4202757
CG6	Buseto Palizzolo	303317	4202430

Tabella 1: Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

I 6 aerogeneratori si trovano ubicati, al Catasto terreni, ai seguenti Fogli:

WTG	Provincia	Comune	Foglio	Particella
CG1	Trapani	Buseto Palizzolo	35	289
CG2	Trapani	Buseto Palizzolo	45	39
CG3	Trapani	Buseto Palizzolo	44	69
CG4	Trapani	Buseto Palizzolo	59	54
CG5	Trapani	Buseto Palizzolo	59	28
CG6	Trapani	Buseto Palizzolo	62	16

Tabella 2: Inquadramento catastale aerogeneratori

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 42

L'area interessata dal campo eolico, più nello specifico dagli aerogeneratori, è posta a un'altitudine compresa circa fra 280 e 320 metri s.l.m. Nella seguente figura è riportato un inquadramento territoriale del parco eolico.



Figura 1: Inquadramento territoriale impianto

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 5 di 42

3 Tipologia di intervento

L'intervento riguarda la nuova costruzione di fondazioni di tipo indiretto (fondazioni su pali) a sostegno di torri eoliche modello Vestas V150-6MW. Nella figura seguente è riportata una rappresentazione tecnica dell'elemento al di sopra del terreno di fondazione.

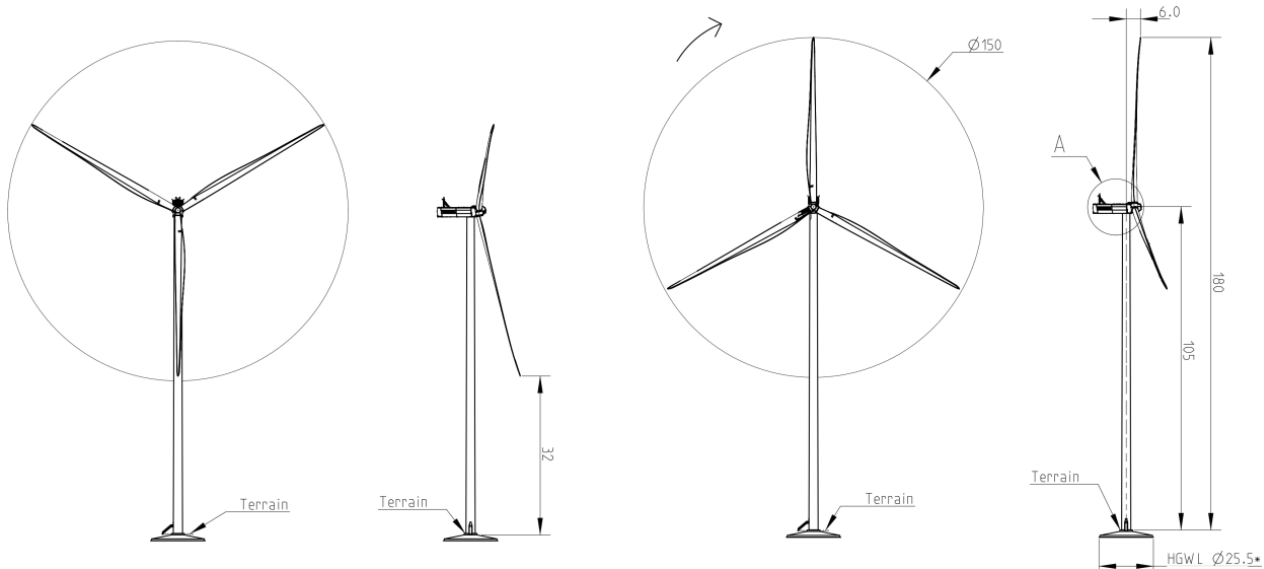


Figura 2: Architettura Aerogeneratore Vestas V150-6.0MW

4 Descrizione generale dell'opera

Il progetto prevede la costruzione di n. 6 plinti di fondazione su pali a servizio dell'installazione di n. 6 aerogeneratori, identificati nel progetto dell'impianto eolico come “CG” seguito da numerazione a doppia cifra come “01”.

Le fondazioni sono del tutto identiche dal punto di vista dimensionale e sono state calcolate in base ai dati più gravosi (anche tenuto conto delle indagini geologiche in sito) che massimizzano l'effetto delle azioni di progetto.

Il plinto di fondazione calcolato presenta una forma assimilabile a un tronco di cono con base maggiore avente diametro pari a 25,5 m e base minore avente diametro pari a 5,50 m, con quota d'imposta a circa -2,30m rispetto al piano medio di campagna. L'altezza massima della fondazione misurata al centro della stessa (sul colletto) è di 2,18 m, mentre l'altezza minima misurata sull'estremità è di 1,45 m. Al centro della fondazione viene realizzato un accrescimento di 0,6m al fine di consentire l'alloggio dell'anchor cage per l'installazione della torre eolica.

Nella figura seguente è riportata una sezione di dettaglio della fondazione superficiale.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 6 di 42

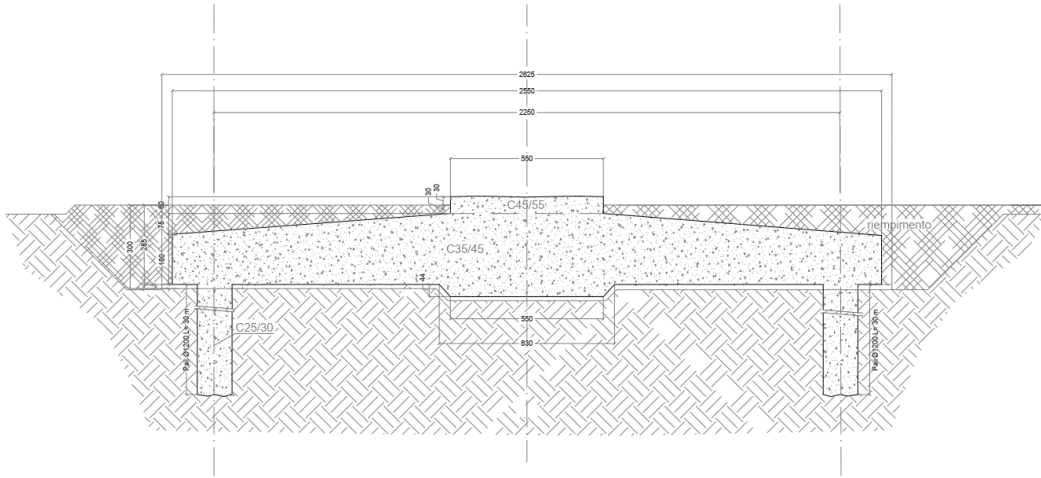


Figura 3: Dettaglio sezione fondazione

Viste le caratteristiche geologiche e gli enti sollecitanti, la fondazione è del tipo indiretto fondata su n.16 pali di diametro 120 cm e lunghezza pari a 30,00 m, disposti radialmente ad una distanza dal centro pari a 11,25 m. Le due congiungenti degli assi di due generici pali contigui con il centro della fondazione formano un angolo al centro pari a 23.00°.

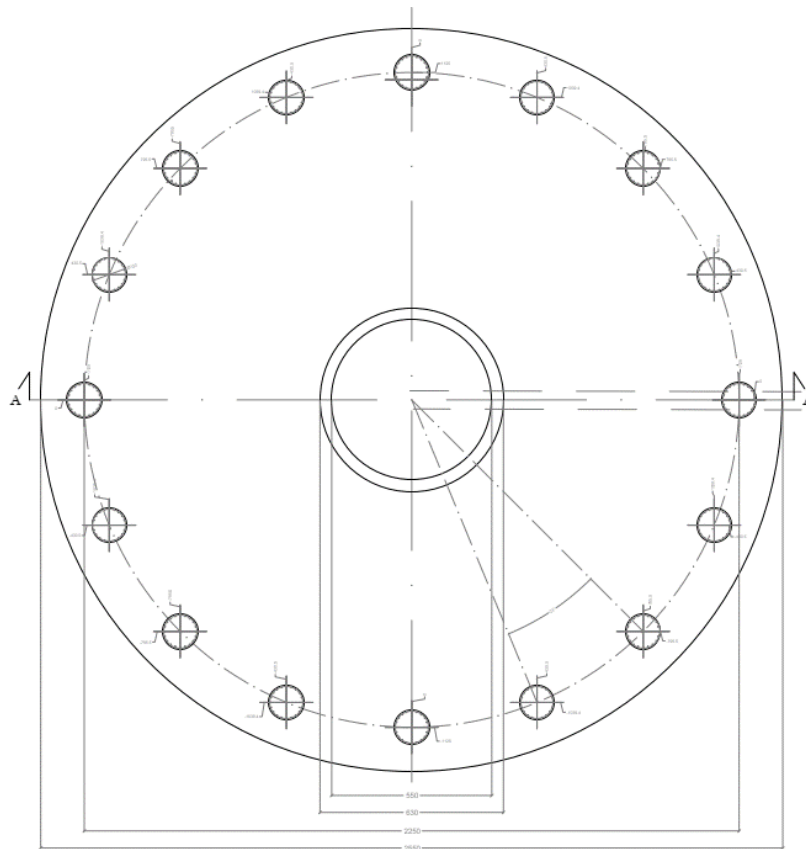


Figura 4: Dettaglio pianta fondazione

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 42

L’installazione delle torri eoliche sul plinto di fondazione avviene tramite collegamento meccanico a mezzo di bulloni su barre filettate provvedute dal fornitore degli aerogeneratori. Le barre, da assemblare su struttura circolare a doppio anello (inferiore e superiore), costituiscono la cosiddetta “Anchor Cage” che interessa tutta la parte centrale della fondazione e che viene annegata nelle fasi di getto.

Il punto di contatto tra la flangia di base dell’aerogeneratore e le fondazioni viene lasciato vuoto, in modo tale da essere riempito (una volta posizionata la torre ed a serraggio dei bulloni completato) con una malta ad alta resistenza.

5 Normative di riferimento

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

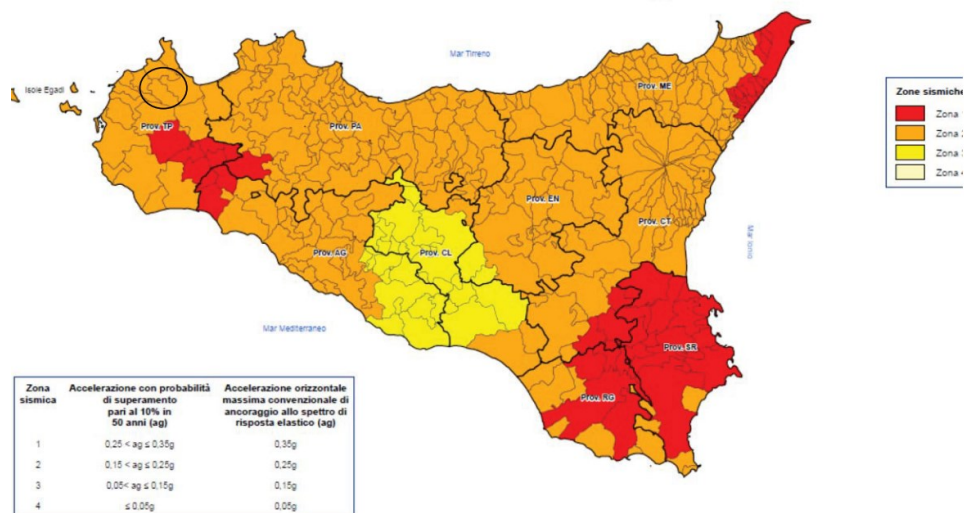
- Norme tecniche per le costruzioni DM 17/01/2018 (“Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni”);
- Istruzioni per l’applicazione dell’” Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al decreto ministeriale del 17 gennaio 2018 (Circolare 7 del 19/01/2019).

6 Caratterizzazione sismica dell’area

La Mappa di Pericolosità Sismica suddivide il territorio nazionale in zone sismiche ognuna contrassegnata da un diverso valore di “ a_g ” (accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante) riferito ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. I valori che assumo tali accelerazioni sono riportati nella tabella che segue:

Zona Sismica “1”	“ a_g ” $\geq 0,25$ g
Zona Sismica “2”	$0,15$ g \leq “ a_g ” $< 0,25$ g
Zona Sismica “3”	$0,05$ g \leq “ a_g ” $< 0,15$ g
Zona Sismica “4”	“ a_g ” $< 0,15$ g

Tabella 3: Zona sismicità di base



AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 42

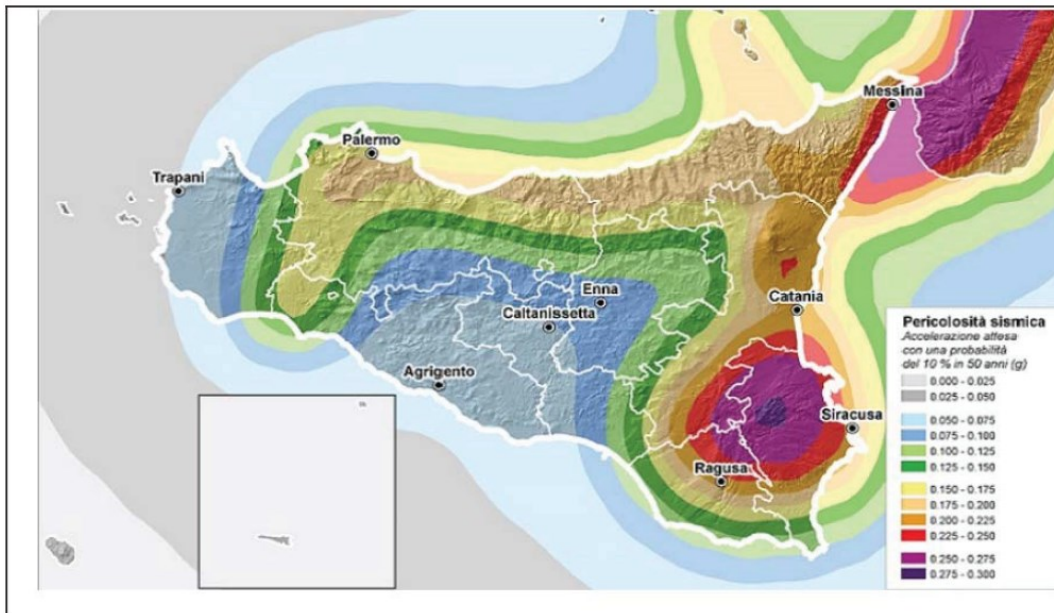


Figura 5: Zona sismicità di base comune di Buseto Palizzolo (TP)

Il territorio comunale di Buseto Palizzolo (Provincia di Trapani) è individuato in una Zona Sismica “2” descritta come Zona con pericolosità sismica Medio-Alta, contrassegnata da un valore di “a_g” compreso tra 0,15 g e 0,25 g. In particolare, il Comune è definito da un’accelerazione orizzontale di picco PGA compresa tra 0,075 e 0,100 g.

L’azione sismica sulle costruzioni viene valutata in relazione ai seguenti parametri:

- Vita nominale V_N pari a **50 anni** (costruzioni con livelli prestazionali ordinari);
- Classe d’uso **II**;
- Categoria Topografica **T1**;
- Categoria Stratigrafica;
- Coefficiente d’uso C_u pari a **1**;

6.1 Periodo di riferimento dell’azione sismica di base

Noti i parametri precedentemente riportati, è possibile calcolare il periodo di riferimento definito come segue:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per cui sostituendo i valori precedenti si ottiene:

$$V_R = 50 \cdot 1 = 50 \text{ anni}$$

6.2 Pericolosità sismica di base

L’azione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire dalla Pericolosità Sismica di Base, in condizioni ideali di sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale (Categoria A nelle NTC2018). La pericolosità sismica di base costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e viene descritta in termini di valori di accelerazione orizzontale massima “a_g” e dei parametri che permettono di definire

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 42

gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, come sopra definito, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

A titolo di esempio, viene riportato il reticolo sopra citato per il Comune dell’impianto in oggetto con probabilità di superamento in 50 anni del 10% (SLV).

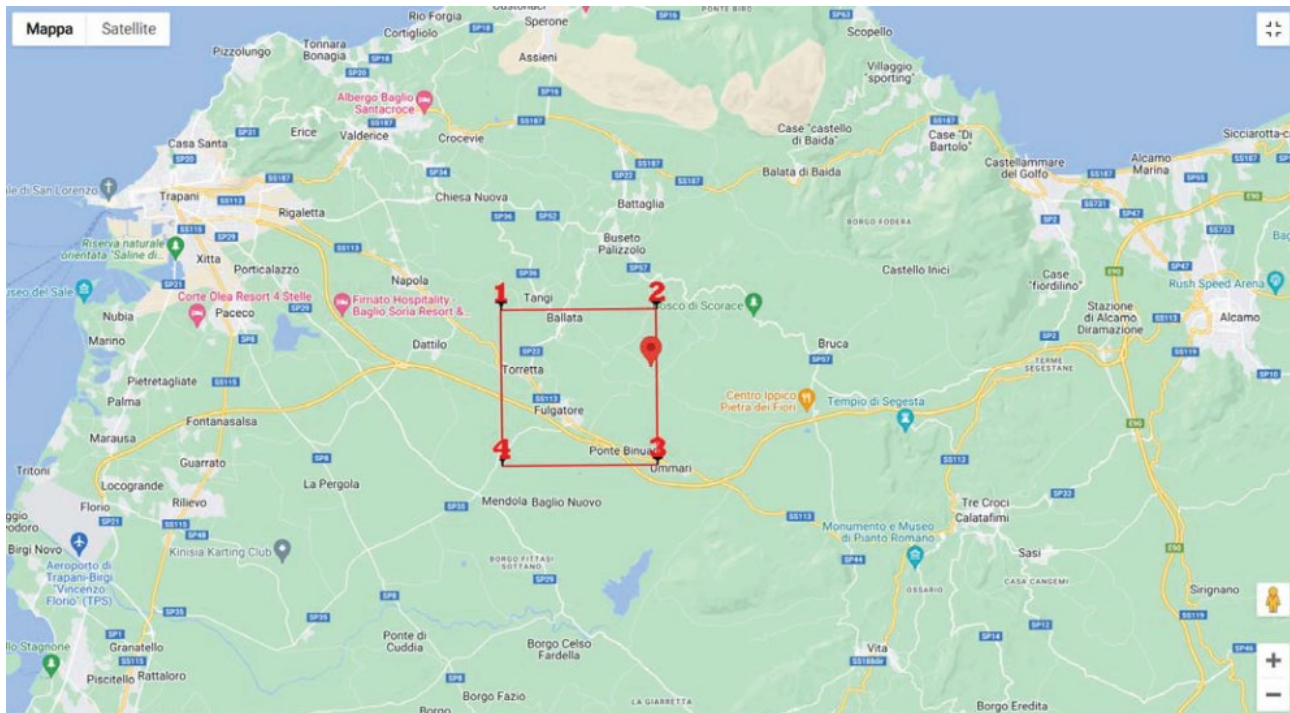


Figura 6: Stralcio mappa pericolosità sismica Comune di Buseto Palizzolo (TP)

6.3 Azione sismica di base

I parametri che definiscono l’azione sismica di base sono i seguenti:

- Accelerazione orizzontale massima del terreno a_g ;
- Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione orizzontale F_0 ;
- Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale T^*_c .

Detti parametri sismici dipendono dal periodo di ritorno T_R , espresso in anni, e dalla posizione geografica del sito. Il periodo di ritorno per ciascuno degli stati limite è il seguente:

Stato Limite	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno
	P_{VR}	T_R
SLO	81%	30
SLD	63%	50
SLV	10%	475
SLC	5%	975

Tabella 4: Periodo di ritorno per gli stati limite

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 42

Entrando nel reticolo di riferimento attraverso la posizione del sito di riferimento espressa con latitudine e longitudine e il periodo di ritorno si ricavano i parametri sismici. Nel caso in cui il periodo di ritorno non sia esplicitato nel reticolo, essi sono ricavati per interpolazione.

Di seguito sono indicati per ciascuna posizione della turbina, i parametri necessari alla definizione della pericolosità sismica di base utili alla determinazione degli spettri di risposta elastica come da NTC per i diversi stati limite.

6.3.1 Parametri sismici aerogeneratori

I parametri necessari alla definizione della pericolosità sismica di base sono riportati nella seguente tabella. Si sottolinea che per tutte le torri in fase di progettazione verranno considerati i parametri più sfavorevoli.

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente C_u : 1

	Prob. superamento [%]	T_r [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,021	2,468	0,163
Danno (SLD)	63	50	0,028	2,427	0,198
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,068	2,556	0,316
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,086	2,616	0,336

Tabella 5: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratori

6.4 Risposta Sismica Locale

L'azione sismica di base individuata nella precedente sezione viene successivamente variata, nei modi precisati dalle NTC2018, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. In particolare, per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dalle opere a farsi, sono state prese in considerazione alcune indagini sismiche eseguite in aree prospicienti il sito in esame.

La risposta sismica locale è determinata mediante valutazione della Categoria Topografica e Stratigrafica del suolo di fondazione che determinano a loro volta l'amplificazione Topografica S_T e Stratigrafica S_s .

6.4.1 Amplificazione Topografica

Di seguito è riportata la categoria topografica dell'area in esame:

AEROGENERATORE	CATEGORIA TOPOGRAFICA	DESCRIZIONE
1, 2, 3, 4, 5 e 6	T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Tabella 6: Categoria topografica

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 11 di 42

6.4.2 Amplificazione Stratigrafica

Sulla base delle Categorie Stratigrafiche definite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni in zona sismica, i suoli di fondazione sono individuabili all'interno delle Categorie Stratigrafiche "A", "B", "C", "D" ed "E". Tali categorie sono identificabili mediante specifiche analisi di risposta sismica locale.

La tipologia di sottosuolo delle aree d'interesse degli aerogeneratori risulta ricadere nella Categoria Stratigrafica seguente:

AEROGENERATORE	Categoria di suolo	
1, 2, 3, 4, 5 e 6	C	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

Tabella 7: Categoria di suolo

7 Materiali Impiegati

7.1 Calcestruzzo

Il calcestruzzo della piastra di fondazione sarà in classe C35/45 ($R_{ck} \geq 45$ MPa) e per i pali di fondazione si utilizzerà un calcestruzzo di classe C25/30 ($R_{ck} \geq 30$ MPa). La resistenza della Malta Speciale sarà invece di classe C80/95 ($R_{ck} \geq 95$ MPa).

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

- **Calcestruzzo per plinti di fondazione: C35/45**

Classe di esposizione: XC4

Copriferro minimo: 5cm (salvo diversamente specificato)

Classe	f_{ck}	α_{cc}	γ_{cls}	E_{cm}	f_{cd}	f_{ctm}	f_{ctk}	f_{ctd}	f_{cfm}	f_{bk}	f_{bd}	ϵ_{c2}	ϵ_{cu}	$\sigma_{c,Rara}$	$\sigma_{c,QP}$
	[MPa]			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]			[MPa]	[MPa]
C35/45	35,00	0,85	1,50	34.077	19,83	3,21	2,25	1,50	3,86	5,06	3,37	0,00200	0,00350	21,00	15,75

Tabella 8: Caratteristiche meccaniche CLS C35/45

- **Calcestruzzo per pali di fondazione: C25/30**

Classe di esposizione: XC2

Copriferro minimo: 5cm (salvo diversamente specificato)

Classe	f_{ck}	α_{cc}	γ_{cls}	E_{cm}	f_{cd}	f_{ctm}	f_{ctk}	f_{ctd}	f_{cfm}	f_{bk}	f_{bd}	ϵ_{c2}	ϵ_{cu}	$\sigma_{c,Rara}$	$\sigma_{c,QP}$
	[MPa]			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]			[MPa]	[MPa]
C25/30	25,00	0,85	1,50	31.476	14,17	2,57	1,80	1,20	3,08	4,04	2,70	0,00200	0,00350	15,00	11,25

Tabella 9: Caratteristiche meccaniche CLS C25/30

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO		Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
			Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE		Revisione: 00
			Pagina: 12 di 42

- **Malta speciale C80/95**

Classe	f _{ck}	α _{cc}	γ _{cls}	E _{cm}	f _{cd}	f _{ctm}	f _{ctk}	f _{ctd}	f _{cfm}	f _{bk}	f _{bd}	ε _{c2}	ε _{cu}	σ _{c,Rara}	σ _{c,QP}
	[MPa]			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]			[MPa]	[MPa]
C80/95	80.00	0.85	1.50	42'244	45.33	4.84	3.39	2.26	5.81	7.62	5.08	0.00252	0.00260	48.00	36.00

Tabella 10: Caratteristiche meccaniche CLS C80/95

I diagrammi costitutivi del calcestruzzo (tensione-deformazione) sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.1 del D.M. 17 gennaio 2018; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta e a pressoflessione deviata è adottato il modello riportato nella seguente figura:

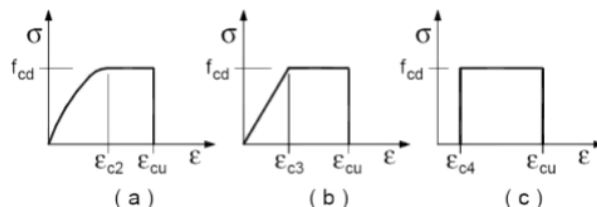


Figura 7: Modello tensione-deformazione per il calcestruzzo

7.2 Acciaio per il Calcestruzzo

L'acciaio adottato per le barre di armatura è di classe B450C con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- **Acciaio in barre: B450C**

Classe acciaio	f _{yk}	γ _s	f _{tk}	E _s	f _{yd}	ε _{yd}	ε _{uk}	(f _y /f _{y,nom}) _k	ε _{ud}	k = (f _t /f _y) _k	σ _{s,Rara}	Diametro minimo mandrino di piegatura	
	[MPa]		[MPa]	[MPa]	[MPa]					[MPa]	[MPa]	Φ ≤ 16mm	Φ > 16mm
B450C	450,00	1,15	540,00	210.000	391,30	0,00186	0,07500	≤ 1,25	0,06750	1,15 - 1,35	360,00	4Φ	7Φ

Tabella 11: Caratteristiche meccaniche acciaio B450C

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato nella figura b seguente:

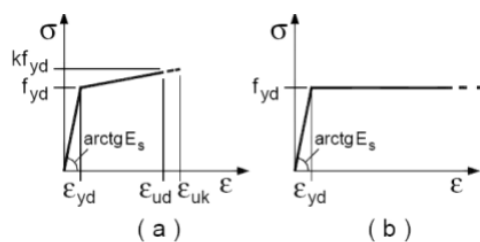


Figura 8: Modello tensione-deformazione per l'acciaio

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 13 di 42

8 Caratterizzazione Geotecnica dell'area

Al fine di determinare la stratigrafia e le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di sedime dei n° 4 aerogeneratori, sono state utilizzate le risultanze delle indagini geotecniche in situ eseguite in aree limitrofe e l'esecuzione di n°1 indagini geofisiche di tipo HVSR.

Il lavoro di rilevamento geologico, supportato principalmente dalla campagna indagini eseguita in area limitrofa, e dai numerosi dati della letteratura tecnica, ha permesso di ricostruire un'attendibile geologia dell'area interessata e si è potuto quindi determinare che, i litotipi affioranti nel sito in oggetto, appartengono ai depositi argillosi. Le informazioni di carattere litologiche acquisite utilizzando i dati indagini e prove eseguite in aree limitrofe, consentono di ricostruire una colonna stratigrafica, di seguito riportata:

0,00 m – 1,20 m	Limo e limo argilloso con all'interno un po' di sostanza organica a granulometria fina e con all'interno piccoli nuclei litoidi. Litotipo aerato, destrutturato, poco plastico e di bassa consistenza. Il colore è marrone chiaro. Copertura agraria (Copertura vegetale)
1,20 m – 3,20 m	Argilla limosa a componente marnosa, di buona consistenza e bassa plasticità. All'interno notiamo tracce di limo argilloso di colore marrone-arancio ocreo con sfumature e venature grigio chiare, che ci sta ad indicare che molto probabilmente ci troviamo in presenza dell'argilla di base alterata. Si nota la sua struttura originaria di tipo scaglioso ed il suo colore è grigio scuro con sfumature verdognole. Sedimento di origine eluviale (Elu.)
3,20 m – 15,00 m	Argilla ed argilla limosa debolmente marnosa a struttura scagliosa caratterizzata da un apprezzabile grado di consistenza e presenta una struttura molto simile ad una di tipo fissile (Wn Wp-lc 1). Il colore tende ad omogeneizzarsi gradualmente con la profondità raggiungendo una tonalità grigio topo con riflessi verdastri. Fino attorno a mt. 3.70 parte alterata della formazione di base-bed rock , poi formazione di base-bed rock inalterato

Nelle seguenti tabelle sono sintetizzati i dati valutati per ogni singola formazione geologica interessata.

8.1 Parametri geotecnici

Per la modellizzazione geotecnica dei siti, nelle tabelle seguenti si propone un possibile modello geotecnico da utilizzare per il predimensionamento dell'elemento di fondazione.

Dai dati ricavati dalle indagini consultate e dalla bibliografia, si propone quanto segue:

- Copertura agraria (Cop.)

E' costituito nel complesso da sedimenti con basse proprietà meccaniche. La genesi del deposito ha, infatti, determinato marcate condizioni di rimaneggiamento dal punto di vista granulometrico, strutturale e tessiturale. Complessivamente ha un comportamento meccanico simile a quello di un suolo pseudo-coesivo scarsamente consolidato o sotto-consolidato per la preponderanza della frazione fine. Nei periodi umidi le acque di pioggia si infiltrano dal p.c. saturando in maniera variegata il suolo (in casi estremi coinvolge l'intero orizzonte sino alla superficie topografica) che mollificandosi rigonfia, perde consistenza e coesione. Di contro, nel periodo caldo, come riscontrato attualmente, la vicinanza con il p.c. facilita gli scambi termici con l'esterno (perdite di umidità per evapotraspirazione) creando di

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 14 di 42

conseguenza riduzioni volumetriche dei sedimenti. Quanto osservato penalizza le doti meccaniche generali dell'intero orizzonte determinando un comportamento scadente e differenziato.

Copertura agraria	
γ_n = peso di volume	18.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	18.00°
c' = coesione drenata	0.00 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	0.10 – 0.20 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	275.00 MPa

Tabella 12: Caratteristiche del terreno Cop.

- **Orizzonte di natura eluviale (Elu.)**

È un sedimento a granulometria limoso-argillosa con una piccola percentuale sabbiosa. Entrando nel dettaglio, la prospezione ha individuato livelli pseudo-coesivi di spessore variabile, asciutti e lievemente sovra-consolidati. La bassa permeabilità della porzione pseudo-coesiva impedisce rapidi trasferimenti delle tensioni allo scheletro solido con ripercussioni nei valori di resistenza al taglio mobilitabili e differimenti nel tempo relativamente ai processi di deformabilità.

Orizzonte eluviale	
γ_n = peso di volume	20.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	22.00°
c' = coesione drenata	0.15 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	0.60 – 0.70 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	640.00 MPa

Tabella 13: Caratteristiche del terreno Elu.

- **Orizzonte di base-bed rock (Fb.)**

Trattasi di un terreno pseudo-coesivo in netto contrasto dal punto di vista meccanico con l'orizzonte che lo sovrasta. Il grado di sovra-consolidazione che lo contraddistingue ed il modestissimo contenuto d'acqua conferiscono consistenza e, complessivamente, apprezzabili doti in termini di rottura e deformabilità. A grande scala, inoltre, si presenta abbastanza omogeneo sia in senso verticale che orizzontale. Tali motivi, unitamente alla notevole estensione areale ed al considerevole spessore, ne fanno un livello di riferimento (bed-rock) nella contrada in questione. A piccola scala, viceversa, vi si riscontrano minute discontinuità, testimonianze dello stato tensionale proprio del sedimento. Le argille, inattive e di bassa plasticità, hanno, infatti, struttura scagliosa con superfici di separazione delle singole scaglie indurite, lisce e con riflessi madreperlacei. Tale condizione genera una riduzione delle caratteristiche meccaniche soprattutto nelle porzioni sommitali dell'ammasso più decomprese laddove, tra l'altro, il sedimento appare leggermente alterato e rimaneggiato. In questi casi il detensionamento dell'ammasso fa assumere alle piccole discontinuità (superfici delle scaglie) un ruolo fondamentale e privilegiato sia in termini di resistenza al taglio che alla deformabilità del suolo. Aspetti questi che assumono un peso non indifferente nell'ambito di "problematiche di versante". Al suo interno si individua un primo livello leggermente decompresso ed alterato dello spessore di qualche metro (Fb. 1) ed un sottostante corpo decisamente più consolidato (Fb.2). Qui di seguito si riportano i parametri meccanici del livello alterato per avere un fattore di sicurezza maggiore.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 15 di 42

Orizzonte bed rock	
γ_n = peso di volume	22.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	24.00°
c' = coesione drenata	0.25 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	1.20 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	1400.00 MPa

Tabella 14: Caratteristiche del terreno Fb.

9 Metodo di calcolo

La struttura di fondazione è calcolata in base al metodo degli stati limite in accordo con il DM 17/01/2018. Le azioni derivanti dalle sollecitazioni sulla sovrastruttura (torre eolica /aerogeneratore) vengono considerate nelle combinazioni di carico di cui al Cap.2 e Cap.3 delle NTC2018.

9.1 Modello numero

L'analisi strutturale è eseguita per mezzo di una modellazione di tipo FEM (Finite Element Model) utilizzando il software "PRO_SAP" (PROfessional Structural Analysis Program), dove la struttura viene suddivisa in elementi connessi fra di loro in corrispondenza dei nodi.

10 Modellazione della struttura

Si riportano i principali criteri utilizzati al fine della modellazione della platea e dei pali.

10.1 Criteri principali di modellazione

Le geometrie strutturali della platea e dei pali sono state implementate nel modello di calcolo meglio identificato nel proseguo nel rispetto di ipotesi delle geometrie e dei carichi in elevazione derivanti dallo specifico impiego. La platea è discretizzata in elementi shell con distribuzione concentrica modificando lo spessore degli stessi dai bordi esterni verso il centro.

Si prevede nella modellazione l'effettiva distribuzione radiale delle armature al fine di una migliore simulazione del reale comportamento dell'insieme. Nella verifica dell'opera si osservano i criteri specifici per ogni contingenza, in osservanza del D.M. 17/01/2018.

Per le azioni sulla platea, in riferimento al Capitolo 3 del D.M. 17/01/2018 ed alle indicazioni del fornitore degli aerogeneratori per la parte in elevazione, si sono considerati carichi nominali e caratteristici (pesi propri, permanenti, variabili di vento e sisma per i diversi casi di carico), così come in riferimento al Capitolo 2 dello stesso D.M. si sono definite le loro combinazioni.

Si è impiegato inoltre quanto descritto nel Capitolo 4.1 del D.M. 17/01/2018, in termini di sicurezza, metodi di analisi, resistenza di materiali e sezioni, metodi di verifica e dettagli costruttivi nonché quanto previsto dalle specifiche normative di settore per quanto concerne le valutazioni del comportamento delle fondazioni ai fenomeni ciclici di esercizio e limite.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 16 di 42

La determinazione della rigidità rotazionale e traslazionale delle fondazioni si opera con le teorie e le formulazioni contenute nel “Canadian Foundation Manual IVth ed”, di riferimento per i dimensionamenti delle fondazioni di Aerogeneratori.

Per i metodi di verifica e gli aspetti costruttivi di opere di fondazione profonde si è fatto riferimento al punto dedicato del Cap. 6 del D.M. 17/01/2018.

In aderenza a quanto descritto nel pertinente punto del Cap. 7 del D.M. del 17/01/2018, la valutazione sismica dei carichi in ipotesi di applicazione sulla platea (diretti o tramite strutture) si esegue considerando che tali carichi siano trasmessi con coefficiente di comportamento $q=1.00$ (comportamento non dissipativo-fondazioni in campo elastico), per avere la massima sollecitazione sismica al piede degli stessi.

In considerazione della tipologia di struttura in progetto, che sono di fatto elementi di fondazione, si seguono le indicazioni del D.M. 17/01/2018 sulle modalità di calcolo in termini di comportamento delle fondazioni in campo elastico. La sicurezza e le prestazioni delle fondazioni si sono valutate in relazione agli stati limite ultimi (S.L.U.) e agli stati limite di esercizio (S.L.E.).

10.2 Vincoli strutturali

Le fondazioni, di tipo a platea in c.c.a. gettata in opera su pali, in conformità alle ipotesi di progetto ed in aderenza alle risultanze delle Relazioni Geologico-Geotecniche, si considerano completamente sostenute dai pali stessi. Le costanti elastiche sono determinate automaticamente dal programma di calcolo ProSap utilizzato attraverso correlazioni fra pressioni sul terreno e deformazioni attese, previo input nel modulo geotecnico delle caratteristiche del terreno in sito ricavabili dalla Relazione Geologica di riferimento.

10.3 Principali combinazioni delle azioni

Le verifiche sono state condotte nei riguardi degli stati limite ultimi e di esercizio. Le azioni sulla platea sono 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 indicato nel D.M. 17/01/2018 Cap. 2.5.3.

10.4 Metodo di analisi

Si è utilizzata un’analisi statica lineare, in aderenza a quanto previsto nel D.M. 17/01/2018, nella considerazione che il modello recepisce le azioni sismiche delle strutture in elevazione fornite da altro Progettista degli aerogeneratori e le fondazioni sono interrate.

Tipo di analisi strutturale	
Sismica statica lineare	NO
Sismica dinamica lineare	NO
Sismica statica non lineare (prop. masse)	NO
Sismica statica non lineare (prop. modo)	NO
Sismica statica non lineare (triangolare)	NO
Non linearità geometriche (fattore P delta)	NO
Analisi lineare	SI

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 17 di 42

Progetto-verifica degli elementi

Progetto cemento armato	D.M. 17-01-2018
Progetto acciaio	D.M. 17-01-2018
Progetto legno	D.M. 17-01-2018
Progetto muratura	D.M. 17-01-2018
Azione sismica	
Norma applicata per l'azione sismica	D.M. 17-01-2018

Combinazioni dei casi di carico

APPROCCIO PROGETTUALE	Approccio 2
SLU	SI
SLV (SLU con sisma)	NO
SLC	NO
SLD	NO
SLO	NO
SLU GEO A2 (per approccio 1)	NO
SLU EQU	NO
Combinazione caratteristica (rara)	SI
Combinazione frequente	SI
Combinazione quasi permanente (SLE)	SI
SLA (accidentale quale incendio)	NO

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F} \quad \text{dove} \quad \mathbf{K} = \text{matrice di rigidezza}$$

$$\mathbf{u} = \text{vettore spostamenti nodali}$$

$$\mathbf{F} = \text{vettore forze nodali}$$

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso. Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

- Elemento tipo TRUSS (biella-D2)
- Elemento tipo BEAM (trave-D2)
- Elemento tipo MEMBRANE (membrana-D3)
- Elemento tipo PLATE (piastra-guscio-D3)
- Elemento tipo BOUNDARY (molla)
- Elemento tipo SOLAIO (macro-elemento composto da più membrane)

Le azioni sono modellate secondo due modalità:

1. Azioni nodali

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 18 di 42

Sono forze o momenti concentrati nei nodi del modello strutturale (oppure cedimenti impressi). Per ogni carico nodale si riporta il numero del caso di carico a cui è relativo ed i valori delle componenti riferite alla terna globale.

2. Carichi agenti sugli elementi

Si tratta di carichi locali applicati agli elementi (carichi distribuiti lungo l'asse di travi, pressioni agenti perpendicolarmente sulla superficie di setti, variazioni termiche eccetera). I carichi possono essere assegnati anche per zone di carico. Ciò accade quando si carica una lastra per zone; per zona si intende una regione poligonale, convessa o concava, senza vuoti, individuata dai relativi vertici, che possono essere nodi di estremità di travi, oppure nodi appartenenti a setti.

Il programma individua, in modo automatico, le eventuali travi e/o setti, disposte lungo il contorno della poligonale di carico, in modo da ripartire su di esse il peso proprio, il permanente portato ed il carico accidentale, gravanti sulla zona.

La ripartizione dei carichi avviene con il criterio delle aree di influenza: l'area elementare è un quadrilatero avente due lati paralleli alla direzione di orditura della lastra e due lati dati dalle intercette sul contorno della poligonale di carico; il carico gravante sull'areola viene ripartito al 50% tra i due elementi strutturali (travi e/o setti) disposti lungo i due lati non paralleli alla direzione d'orditura del solaio. Qualora in uno solo dei due lati vi sia un elemento trave o setto il carico è riportato al 100% su tale elemento, con l'aggiunta del momento di trasporto. Qualora lungo i due lati non vi siano né travi né setti, non viene effettuato alcun tipo di ripartizione.

10.5 Criteri di verifica agli stati limite indagati

Le verifiche nei confronti degli S.L.U. si sono effettuate in termini di resistenza in campo elastico. Le verifiche nei confronti degli S.L.E. si sono effettuate in termini di deformabilità, di fessurazione e di tensioni in esercizio, in aderenza a quanto descritto nel punto 4.1.2.2 del D.M. del 17/01/2018. Le deformazioni, in accordo al punto 4.1.2.2.2, devono risultare congruenti con le prestazioni richieste dalle strutture in relazione alle rispettive destinazioni d'uso.

10.6 Modellazione della fondazione superficiale e profonda

Il plinto circolare di base è modellato tramite elementi finiti di tipo D3 (Shell) con spessore variabile, coerentemente con la variazione di spessore della struttura. Gli elementi D3 non sono definiti come "Fondazione", in quanto si considera l'interazione con il terreno affidata interamente ai pali, questo per avere un ulteriore margine di sicurezza.

I punti della maglia che compongono il plinto circolare sono posti a quota -230cm, coerentemente con la quota media d'imposta della fondazione rispetto al piano medio di campagna. Agli elementi D3 è assegnato filo di allineamento verticale all'intradosso.

I pali di fondazione sono definiti attraverso elementi tipo "Palo in Mezzo Elastico", ai quali sono assegnati coefficienti "k" di Winkler calcolati in base alla stratigrafia del terreno.

Le azioni esterne dovute ai carichi sugli aerogeneratori vengono assegnate in un punto ideale posto a quota +20cm, come indicato dai fornitori degli aerogeneratori.

Le azioni sono trasmesse alla sottostruttura tramite piastra di materiale infinitamente rigido, modellata sulle dimensioni della flangia di base degli aerogeneratori. La piastra è a sua volta collegata ad una serie circolare di elementi D3 verticali sottili (spessore 5cm) che collegano la piastra superiore al baricentro degli elementi D3 del plinto.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 19 di 42

Nelle seguenti figure vengono riportate rappresentazioni solide del modello agli elementi finiti implementato nel software ProSap.

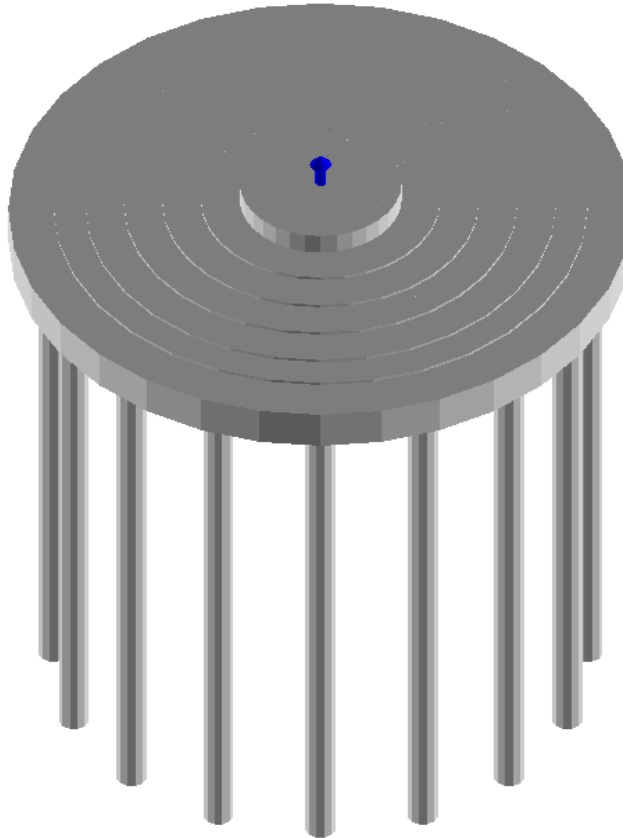


Figura 9: Vista solida elemento di fondazione

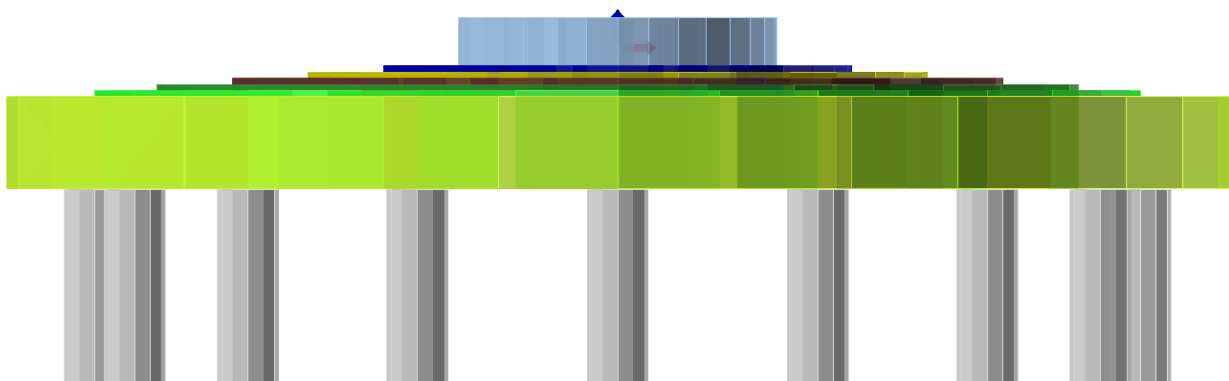


Figura 10: Vista solida laterale

Nella figura precedente e seguente è riportata una distinzione per colori degli spessori di ciascun elemento shell D3.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 20 di 42

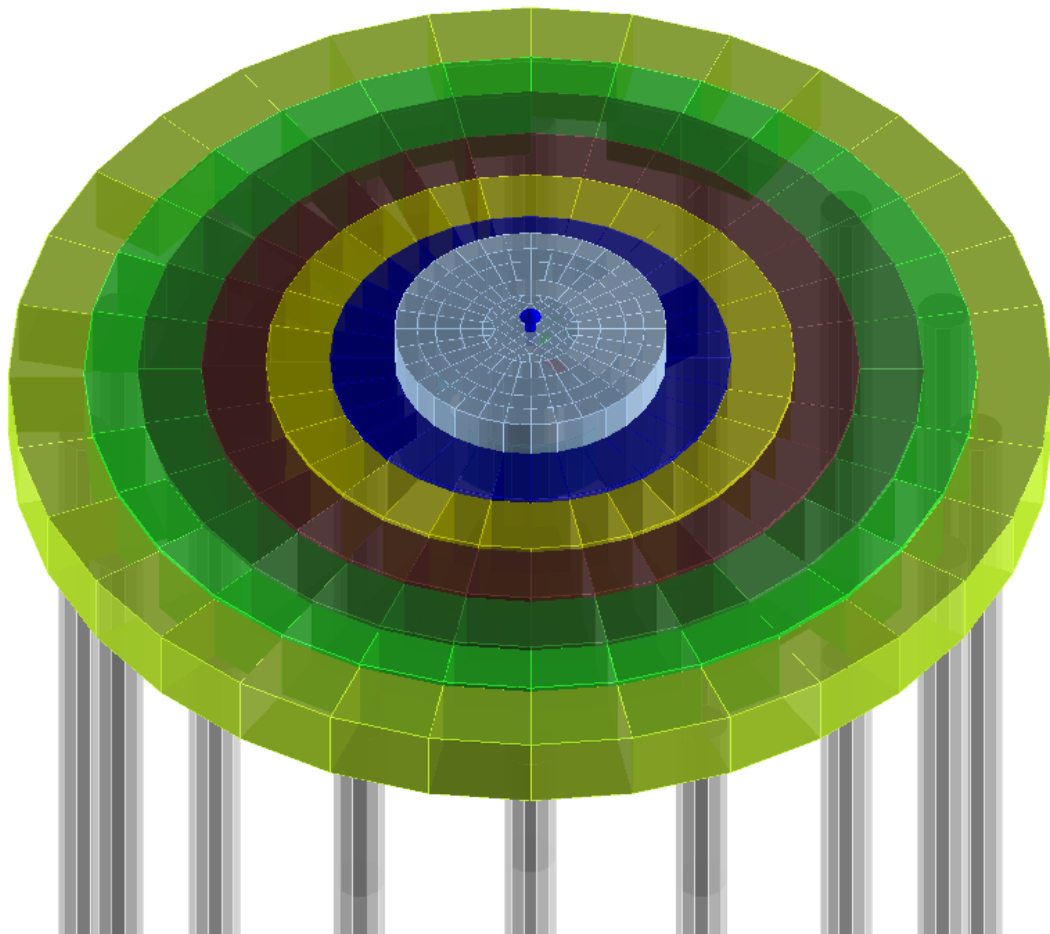


Figura 11: Vista solida. Distinzione degli spessori

La seguente figura riporta invece una rappresentazione in pianta dei nodi di connessione tra gli elementi shell costituenti il modello della fondazione.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 21 di 42

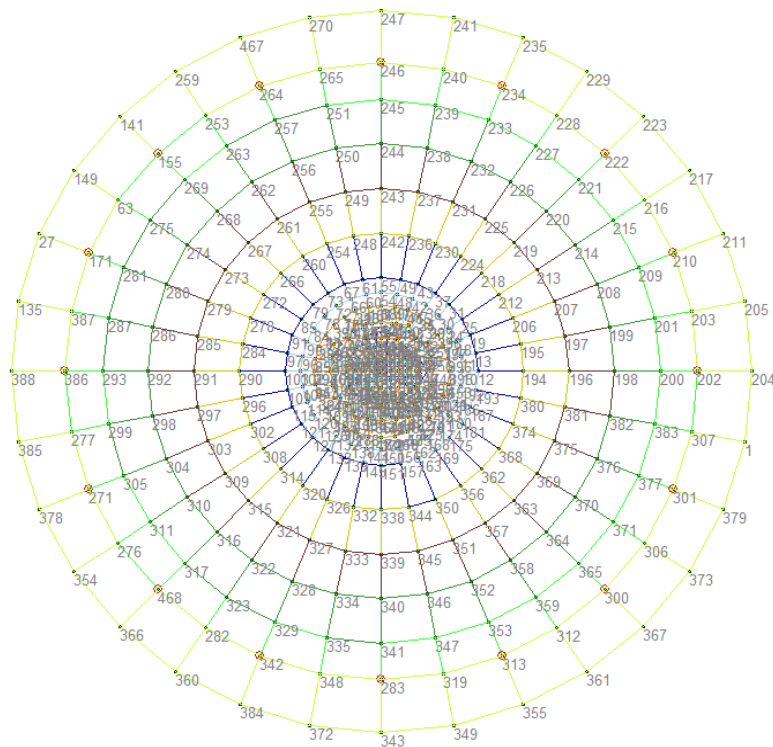


Figura 12: Nodi della struttura

L'implementazione del "Palo in Mezzo Elastico" segue la procedura riportata di seguito.

Palo in mezzo elastico

Stringa identificativa
Palo 100x20m

Palo
 Diametro: 100.0
 Lunghezza: 2000.0
 Modulo elastico: 300000.0
 Peso specifico: 2.5000e-03

Modello matematico palo

P.to	Quota	K orizz...	K verti...
n. 1	-230.00	0.30	0.01
n. 2	-330.00	0.33	0.01
n. 3	-330.00	0.33	0.01
n. 4	-430.00	0.35	0.01
n. 5	-430.00	0.35	0.01
n. 6	-530.00	0.36	0.01
n. 7	-530.00	0.36	0.01

Usa stratigrafia semplificata con coefficienti:
 KDo: 0.0 Kzo: 0.0 Kv (attrito): 0.0

Testa: svincolo flessione
 Piede: vincolo rotazione
 Piede: vincolo traslazione orizzontale
 Piede: vincolo traslazione verticale
 Piede: rigidezza traslazione verticale: 5098.649

Figura 13: Modello elemento tipo "Palo in Mezzo Elastico"

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 22 di 42

10.7 Modellazione dei vincoli interni ed esterni

Per le fondazioni in progetto, gli unici vincoli esistenti sono quelli fra i pali ed il terreno. Le fondazioni, di tipo a platea in c.c.a. gettata in opera, in conformità alle ipotesi di progetto ed in aderenza alle risultanze della Relazione Geologica, sono poggianti esclusivamente su pali senza considerare l'apporto del terreno sottostante l'intradosso delle fondazioni stesse. Le costanti elastiche che simulano il comportamento del terreno sui pali sono determinate automaticamente con il programma di calcolo correlando pressioni sul terreno e deformazioni e verificando i risultati con considerazioni sulle deformazioni attese.

11 Azioni sulla struttura

Le azioni esterne agenti sulle fondazioni derivano dai pesi propri e permanenti della struttura in elevazione, dai carichi variabili agenti sugli aerogeneratori (azione principale = vento; azione della neve = non rilevante) e dall'azione sismica rapportata al sito di riferimento.

Le azioni considerate nella verifica sono state così modellate:

- forze puntuali concentrate per simulare i carichi dovuti all'Aerogeneratore, oltre a quelli indotti dal funzionamento dell'impianto stesso;
- pressioni distribuite per simulare i carichi applicati con impronta a terra su ampia superficie (es. carichi dovuti alla presenza di automezzi e/o manutenzione, carico dovuto al terreno di ricoprimento della fondazione).

I carichi della struttura in elevazione sono forniti dalla società produttrice degli aerogeneratori, calcolati sulla base delle caratteristiche geografiche del sito di riferimento e dei parametri sismici di progetto. In via cautelativa, si considerano come azioni di progetto quelle riferite alle condizioni peggiori di vento, come da scheda tecnica del fornitore degli aerogeneratori. I carichi estremi sono così determinati:

CARICO ESTREMO	
M_{Res} [kNm]	108300
M_Z [kNm]	-11170
F_{Res} [kN]	1034
F_Z [kN]	-5725

Tabella 15: Carichi di progetto fondazione

dove:

- M_{Res} = Momento risultante dato dalla combinazione tra M_X ed M_Y
- F_{Res} = Azione di taglio risultante dalla combinazione tra F_X ed F_Y
- M_Z = Momento torcente
- F_Z = Azione verticale

La convenzione adottata per i carichi applicati è riportata nella seguente figura.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 23 di 42

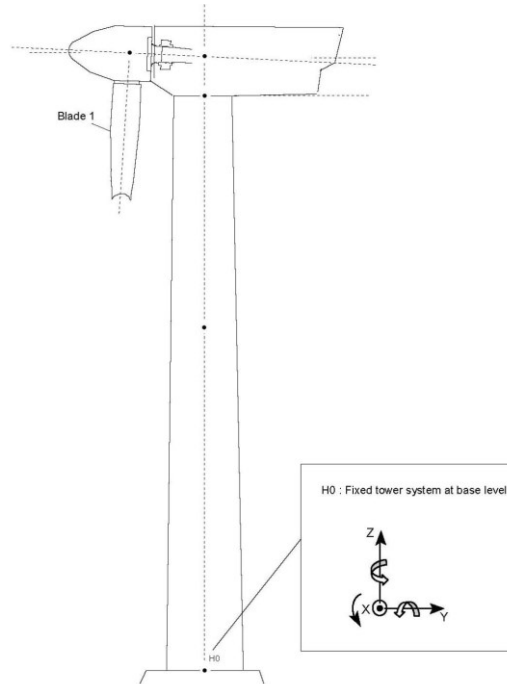


Figura 14: Sistema di riferimento per i carichi applicati

Per il calcolo dei carichi permanenti (peso proprio della fondazione e terreno di ricoprimento) viene utilizzato il seguente schema di calcolo:

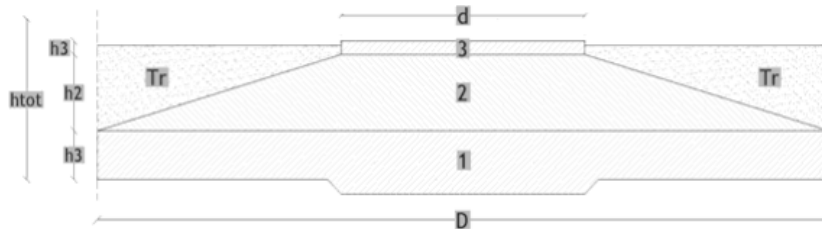


Figura 15: Modello di calcolo fondazione

Il peso proprio degli elementi è rappresentato dai seguenti dati:

- Peso proprio degli elementi strutturali: $G1 = 2500 \text{ kg/m}^3$
- Peso terreno di riempimento considerato in maniera cautelativa pari a: $G2 = 1800 \text{ kg/m}^3$

Il modello riportato in figura è suddiviso in tre solidi di cui il primo è un cilindro (1) con un diametro di 25,50 m e un'altezza di 1,80 m, il secondo (2) è un tronco di cono con diametro di base pari a 25,50 m, diametro superiore di 5,50m ed altezza pari a 0,75 m; il terzo corpo (3) è un cilindro con un diametro di 5,50m ed altezza di 0,60m. Per il terreno di ricoprimento si schematizza un parallelepipedo con peso pari a γ_{sat} del primo strato desunto dalla relazione geologica.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 24 di 42

11.1 Modellazione delle azioni

I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 17 gennaio 2018. Le azioni introdotte direttamente sono combinate con le altre (carichi permanenti, vento e sisma) mediante le combinazioni di carico di seguito descritte; da esse si ottengono i valori probabilistici da impiegare successivamente nelle verifiche.

11.2 Combinazioni delle azioni

Le sollecitazioni sono ricavate applicando le combinazioni di carico come da D.M. 17 gennaio 2018 (NTC) al punto 2.5.3.:

- **Combinazione fondamentale SLU**
 $\gamma G_1 \cdot G_1 + \gamma G_2 \cdot G_2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q_1 \cdot Q_{k1} + \gamma Q_2 \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma Q_3 \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- **Combinazione caratteristica (rara) SLE**
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- **Combinazione frequente SLE**
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- **Combinazione quasi permanente SLE**
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$

Dove i coefficienti di combinazione delle azioni variabili sono definiti dalla NTC 2018 Tabella 2.5.I come segue:

Destinazione d'uso/azione	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Categoria A residenziali	0,70	0,50	0,30
Categoria B uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli ≤ 30 kN)	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli > 30 kN)	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota ≤ 1000 m	0,50	0,20	0,00
Neve a quota > 1000 m	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

Tabella 16: Coefficienti di combinazione

Nelle verifiche possono essere adottati in alternativa due diversi approcci progettuali:

- Approccio 1: si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza globale (combinazione 1 con coefficienti A1 e combinazione 2 con coefficienti A2);
- Approccio 2: si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale (con coefficienti A1).

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 25 di 42

I coefficienti sopra citati sono definiti dalla NTC 2018 Tabella 2.6.I:

		Coefficiente γ_f	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali (Non compiutamente definiti)	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Tabella 17: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

11.3 Coefficienti adottati

Per quanto riguarda le azioni esterne fornite dal produttore degli aerogeneratori, si considerano il momento flettente ($M_{Res} = (M_x; M_y)$), momento torcente (M_z) ed il taglio ($F_{Res} = (F_x; F_y)$) come azioni dovute a carichi variabili (vento). L'azione verticale F_z , dovuta principalmente al peso proprio dell'aerogeneratore, si considera come carico permanente. Ne consegue l'attribuzione dei coefficienti parziali delle azioni e, per i carichi variabili, dei coefficienti di combinazione.

Le verifiche allo SLU di tipo geotecnico (GEO) delle fondazioni vengono eseguite, in ottemperanza alle prescrizioni contenute nel par. 6.4.3.1 delle N.T.C. 17/01/2018, secondo la Combinazione (A1+M1+R3) dell'Approccio 2, tenendo conto dei coefficienti parziali come di seguito riportati:

- Coefficienti parziali per azioni:

$$G_1 = 1,3 \text{ sfavorevole}$$

$$G_2 = 0,0 \text{ favorevole (carico del terreno di riempimento=0 quando favorevole)}$$

$$G_2^{(1)} = 1,3 \text{ sfavorevole}$$

$$Q = 1,5 \text{ sfavorevole}$$

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

- Coefficienti di riduzione per materiali:

$$\gamma_c = 1,5 \text{ coefficiente riduttivo per calcestruzzo}$$

- Coefficienti di combinazione delle azioni variabili adottati

Azione per carico accidentale mezzi di manutenzione:

Destinazione d'uso/azione	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Vento	0,60	0,20	0,00

Tabella 18: Valori dei coefficienti di combinazione

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 26 di 42

Si riportano di seguito i coefficienti parziali adottati in maniera più dettagliata per quanto riguarda i carichi degli elementi in elevazione:

		Mx; My	Mz	Fx; Fy	Fz
Coeff. Parziali delle azioni	γ_G	-	-	-	1.3
	γ_Q	1.5	1.5	1.5	-
Coeff. di combinazione	ψ_0	0.6	0.6	0.6	-
	ψ_1	0.2	0.2	0.2	-
	ψ_2	0	0	0	-

Tabella 19: Coefficienti parziali per le azioni degli elementi in elevazione

Nella tabella seguente vengono riportate le differenti combinazioni considerate allo stato limite ultimo SLU ed esercizio SLE:

Fattori di Combinazione delle azioni				
SLU	1.5	1.5	1.5	1.3
SLE r	1	1	1	1
SLE f	0.6	0.6	0.6	1
SLE p	0.2	0.2	0.2	1

Tabella 20: Fattori di combinazione delle azioni allo SLU e SLE

Sulla base dei valori forniti dal produttore degli aerogeneratori, si ottengono le seguenti combinazioni per vento estremo:

Combinazioni Vento estremo				
	M_{Res}	M_Z	F_{Res}	F_Z
	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
BASE	108300	-11170	1034	-5725
SLU	162450	-16755	1551	-7443
SLE r	108300	-11170	1034	-5725
SLE f	64980	-6702	620	-5725
SLE p	21660	-2234	207	-5725

Tabella 21: Combinazioni Vento estremo

Le combinazioni in condizioni sismiche non variano rispetto a quanto riportato nel paragrafo precedente.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 27 di 42

11.4 Modellazione dei carichi applicati

Il programma consente l'uso di diverse tipologie di carico (azioni). Le azioni utilizzate nella modellazione sono individuate da una sigla identificativa ed un codice numerico (gli elementi strutturali richiamano quest'ultimo nella propria descrizione). Per ogni azione applicata alla struttura viene riportato il codice, il tipo e la sigla identificativa. Le tabelle successive dettagliano i valori caratteristici di ogni azione in relazione alla topologia. Le tabelle riportano infatti i seguenti dati in relazione alla tipologia:

1	Carico concentrato nodale 6 dati (forza F_x , F_y , F_z , momento M_x , M_y , M_z)
2	Spostamento nodale impresso 6 dati (spostamento T_x , T_y , T_z , rotazione R_x , R_y , R_z)
3	Carico distribuito globale su elemento tipo trave 7 dati (f_x , f_y , f_z , m_x , m_y , m_z , ascissa di inizio carico) 7 dati (f_x , f_y , f_z , m_x , m_y , m_z , ascissa di fine carico)
4	Carico distribuito locale su elemento tipo trave 7 dati (f_1 , f_2 , f_3 , m_1 , m_2 , m_3 , ascissa di inizio carico) 7 dati (f_1 , f_2 , f_3 , m_1 , m_2 , m_3 , ascissa di fine carico)
5	Carico concentrato globale su elemento tipo trave 7 dati (F_x , F_y , F_z , M_x , M_y , M_z , ascissa di carico)
6	Carico concentrato locale su elemento tipo trave 7 dati (F_1 , F_2 , F_3 , M_1 , M_2 , M_3 , ascissa di carico)
7	Variazione termica applicata ad elemento tipo trave 7 dati (variazioni termiche: uniforme, media e differenza in altezza e larghezza al nodo iniziale e finale)
8	Carico di pressione uniforme su elemento tipo piastra 1 dato (pressione)
9	Carico di pressione variabile su elemento tipo piastra 4 dati (pressione, quota, pressione, quota)
10	Variazione termica applicata ad elemento tipo piastra 2 dati (variazioni termiche: media e differenza nello spessore)
11	Carico variabile generale su elementi tipo trave e piastra 1 dato descrizione della tipologia 4 dati per segmento (posizione, valore, posizione, valore) la tipologia precisa l'ascissa di definizione, la direzione del carico, la modalità di carico e la larghezza d'influenza per gli elementi tipo trave
12	Gruppo di carichi con impronta su piastra 9 dati (numero di ripetizioni in direzione X e Y, valore di ciascun carico, posizione centrale del primo, dimensioni dell'impronta, interasse tra i carichi)

Tabella 22: Tipologia di carico applicato

11.5 Schematizzazione dei casi di carico

Il programma consente l'applicazione di diverse tipologie di casi di carico. Sono previsti i seguenti 12 tipi di casi di carico:

	Sigla	Tipologia	Descrizione
1	Ggk	A	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	NA	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	NA	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	Qsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	Qnk	A	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	Qtk	SA	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	Qvk	NA	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	Esk	SA	caso di carico sismico con analisi statica equivalente

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 28 di 42

10	Edk	SA	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	Etk	NA	caso di carico comprensivo di azioni derivanti dall' incremento di spinta delle terre in condizione sismica
12	Pk	NA	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni

Tabella 23: Tipologie di casi di carico

Dove:

- **A** = automatico, ossia non prevedono l'introduzione di dati da parte dell'utente;
- **SA** = semi-automatico, ossia prevedono una minima introduzione di dati da parte dell'utente;
- **NA** = non automatico, ossia prevedono la diretta applicazione di carichi generici agli elementi strutturali.

Nella tabella successiva vengono riportati i casi di carico agenti sulla struttura, con l'indicazione dei dati relativi al caso di carico stesso:

- Numero Tipologia e Sigla identificativa;
- Valore di riferimento del caso di carico (se previsto).

In successione, per i casi di carico non automatici, viene riportato l'elenco di nodi ed elementi direttamente caricati con la sigla identificativa del carico.

Per i casi di carico di tipo sismico (9-Esk e 10-Edk), viene riportata la tabella di definizione delle masse: per ogni caso di carico partecipante alla definizione delle masse viene indicata la relativa aliquota (partecipazione) considerata. Si precisa che per il caso di carico 5-Qsk e 6-Qnk la partecipazione è prevista localmente per ogni elemento solaio o copertura presente nel modello e pertanto la loro partecipazione è di norma pari a uno.

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	Peso proprio (Fz)	Azioni applicate:
3	Gk	Terreno	Azioni applicate:
			D3: da 2 a 5 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 7 a 10 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 12 a 15 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 17 a 20 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 22 a 25 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 27 a 30 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 32 a 35 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 37 a 55 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 57 a 70 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 72 a 80 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 82 a 85 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 87 a 90 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 92 a 95 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 97 a 100 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 102 a 105 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 107 a 110 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 112 a 115 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 117 a 120 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 122 a 130 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 132 a 135 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 137 a 140 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 142 a 219 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 221 a 230 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 232 a 236 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 239 a 249 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 251 a 254 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 257 a 260 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 262 a 266 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 268 a 296 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 298 a 352 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
4	Qk	CDC=Qk Azione Vento Fres	Azioni applicate:
5	Qk	CDC=Qk Azione Vento Mres	Azioni applicate:

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 29 di 42

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
6	Qk	CDC=Qk Azione Vento Mz	Azioni applicate:
7	Etk	CDC=Etk (inc. sp. Terreno) SLO dir + alfa=0.0	Azioni applicate:
8	Etk	CDC=Etk (inc. sp. Terreno) SLD dir + alfa=0.0	Azioni applicate:
9	Etk	CDC=Etk (inc. sp. Terreno) SLV dir + alfa=0.0	Azioni applicate:
10	Etk	CDC=Etk (inc. sp. Terreno) SLC dir + alfa=0.0	Azioni applicate:

Tabella 24: Casi di carico agenti

11.6 Definizione delle combinazioni di carico

Nelle seguenti tabelle sono riportate le differenti combinazioni di carico agli Stati Limite ed i relativi coefficienti di sicurezza.

Combinazione	Tipo	Sigla Id
1	SLU	SLU 1
2	SLU	SLU 2
3	SLU	SLU 3
4	SLE(r)	SLE r 1
5	SLE(r)	SLE r 2
6	SLE(f)	SLE f 1
7	SLE(f)	SLE f 2
8	SLE(p)	SLE p 1
9	SLE(p)	SLE p 2
10	SLU	SLO 1
11	SLU	SLO 2
12	SLD(sis)	SLD 1
13	SLD(sis)	SLD 2
14	SLU	SLV 1
15	SLU	SLV 2
16	SLU	SLC 1
17	SLU	SLC 2

Tabella 25: Combinazioni di carico agli stati limite

Cmb	CDC 1/15...	CDC 2/16...	CDC 3/17...	CDC 4/18...	CDC 5/19...	CDC 6/20...	CDC 7/21...	CDC 8/22...	CDC 9/23...	CDC 10/24...
1	1.30	1.30	0.0	1.50	1.50	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.30	1.30	1.00	1.50	1.50	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.30	1.30	1.30	1.50	1.50	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.00	1.00	0.0	0.60	0.60	0.60	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1.00	1.00	1.00	0.60	0.60	0.60	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1.00	1.00	0.0	0.20	0.20	0.20	0.0	0.0	0.0	0.0
9	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20	0.0	0.0	0.0	0.0
10	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0
11	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0
12	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0
13	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0
14	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0
15	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0
16	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00
17	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00

Tabella 26: Coefficienti delle combinazioni di carico

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO		Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
			Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE		Revisione: 00
			Pagina: 30 di 42

11.7 Informazioni su copriferro e ricoprimento delle armature

Per le strutture in progetto secondo quanto previsto dalla Tabella C4.1.IV della Circolare n° 7 del 21/01/2019, per elementi a piastra, considerando un ambiente ordinario e un calcestruzzo C35/45, i ricoprimenti di armatura potrebbero essere come minimo 3.50 cm. Trattandosi di opere interrato si ritiene comunque cautelativo considerare in progetto, e quindi inserire nella modellazione, un ricoprimento pari a $c = 5.00$ cm, essendo c lo strato di calcestruzzo di ricoprimento delle armature più esterne (staffe/armature esterne).

Si riporta di seguito la tabella sopra citata.

			Barre da c.a. Elementi a piastra		Barre da c.a. Altri elementi		Cavi da c.a.p. Elementi a piastra		Cavi da c.a.p. Altri elementi	
C_{min}	C_0	ambiente	$C > C_0$	$C_{min} > C > C_0$	$C > C_0$	$C_{min} > C > C_0$	$C > C_0$	$C_{min} > C > C_0$	$C > C_0$	$C_{min} > C > C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	Molto aggressivo	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella 27: C4.1.IV – Copriferri minimi in mm

12 Metodo di analisi

È stata eseguita un'analisi di tipo statico lineare. Le azioni dinamiche, coerentemente con quanto illustrato nei paragrafi precedenti, vengono rappresentate da azioni statiche equivalenti.

13 Criteri di verifica agli stati limite

Nel metodo agli stati limite, la sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi deve essere verificata confrontando la capacità di progetto R_d , in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento della struttura o della membratura strutturale (funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono “ X_d ” e dei valori nominali delle grandezze geometriche interessate “ ad ”), con il corrispondente valore di progetto della domanda E_d , funzione dei valori di progetto delle azioni “ F_d ” e dei valori nominali delle grandezze geometriche della struttura interessate.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) è espressa dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

Il valore di progetto della resistenza di un dato materiale X_d è, a sua volta, funzione del valore caratteristico della resistenza, definito come frattile 5 % della distribuzione statistica della grandezza, attraverso l'espressione:

$$X_d = X_k / \gamma_M,$$

Essendo γ_M il fattore parziale associato alla resistenza del materiale.

Il valore di progetto di ciascuna delle azioni agenti sulla struttura F_d è ottenuto dal suo valore caratteristico F_k , inteso come frattile 95% della distribuzione statistica o come valore caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno, attraverso l'espressione:

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 31 di 42

$$F_d = \gamma_F F_k$$

Essendo γ_F il fattore parziale relativo alle azioni. Nel caso di concomitanza di più azioni variabili di origine diversa si definisce un valore di combinazione $\psi_0 F_k$, ove $\psi_0 \leq 1$ è un opportuno coefficiente di combinazione che tiene conto della ridotta probabilità che più azioni di diversa origine si realizzino simultaneamente con il loro valore caratteristico.

La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (SLE) deve essere verificata confrontando il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato (C_d), con il corrispondente valore di progetto dell'effetto delle azioni (E_d), attraverso la seguente espressione formale:

$$C_d \geq E_d$$

14 Risultati di calcolo

Nelle sezioni seguenti vengono riportati i risultati ritenuti principali al design dell'elemento di fondazione.

14.1 Deformate

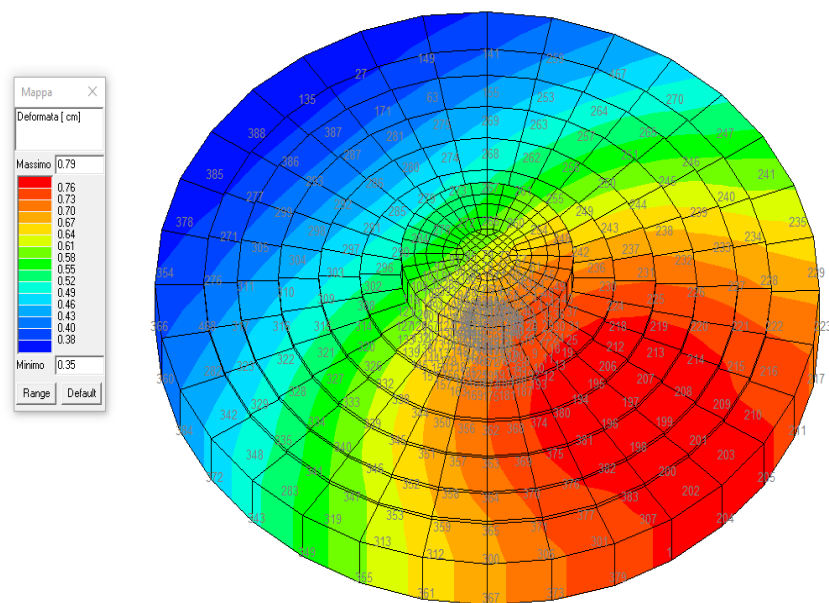


Figura 16: Deformata per Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 32 di 42

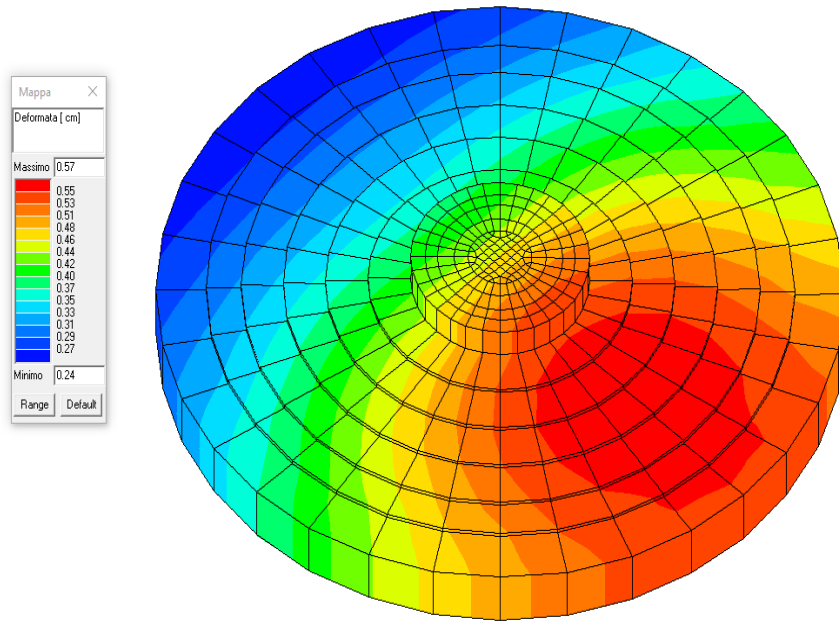


Figura 17: Deformata massima Combinazione SLE

Gli spostamenti agli SLE sono verificati per la destinazione d'uso dell'opera.

14.2 Tensioni

Tensioni totali secondo Von Mises.

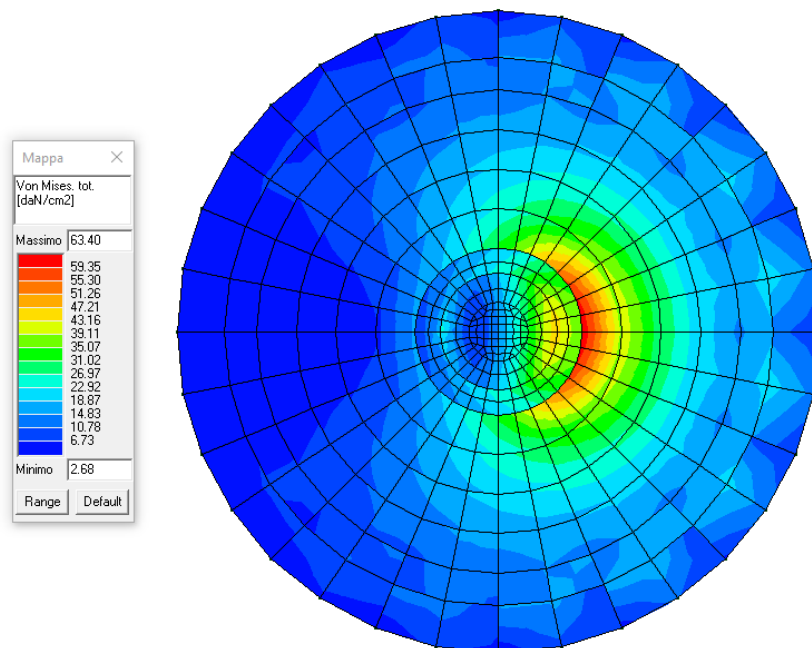


Figura 18: Tensioni totali Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 33 di 42

14.3 Azioni sui pali

Massime azioni agenti sui vincoli allo stato limite ultimo SLU.

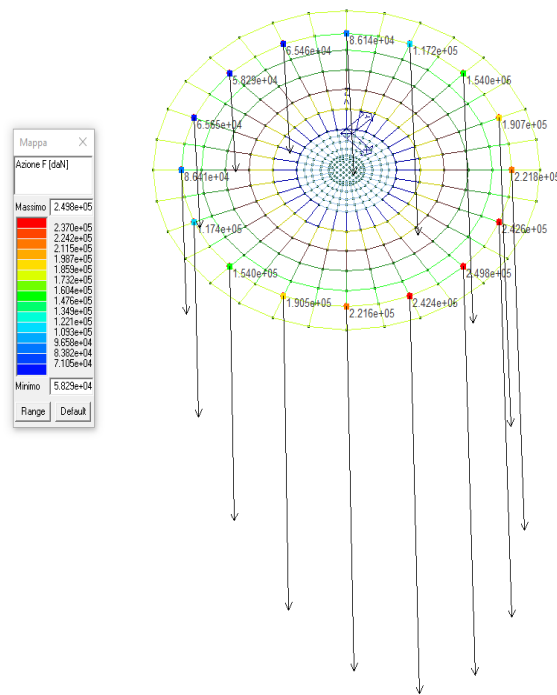


Figura 19: Azioni F massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

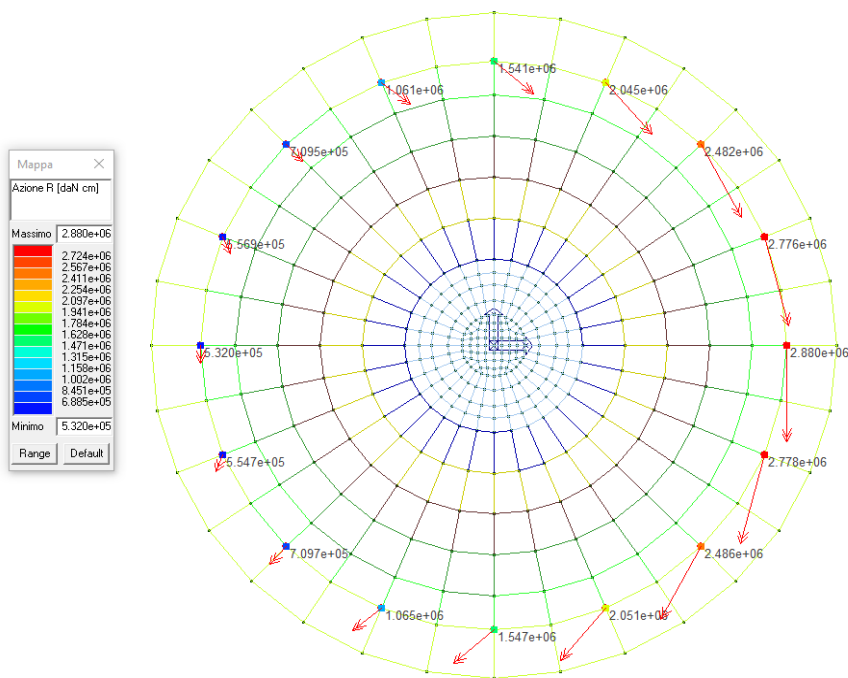


Figura 20: Azioni R massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 34 di 42

15 Armature minime di progetto

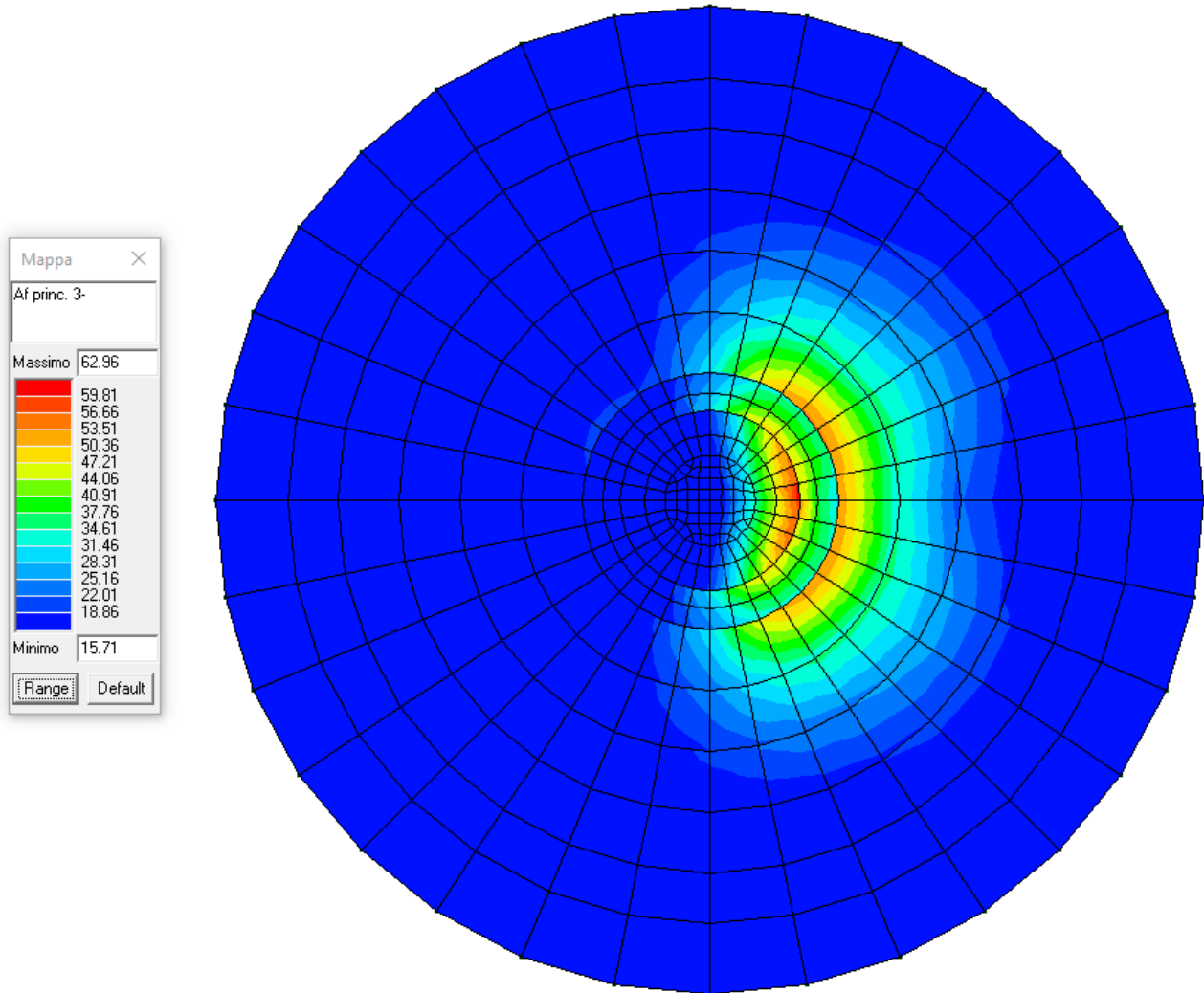


Figura 21: Armatura principale su plinto lato inferiore. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 35 di 42

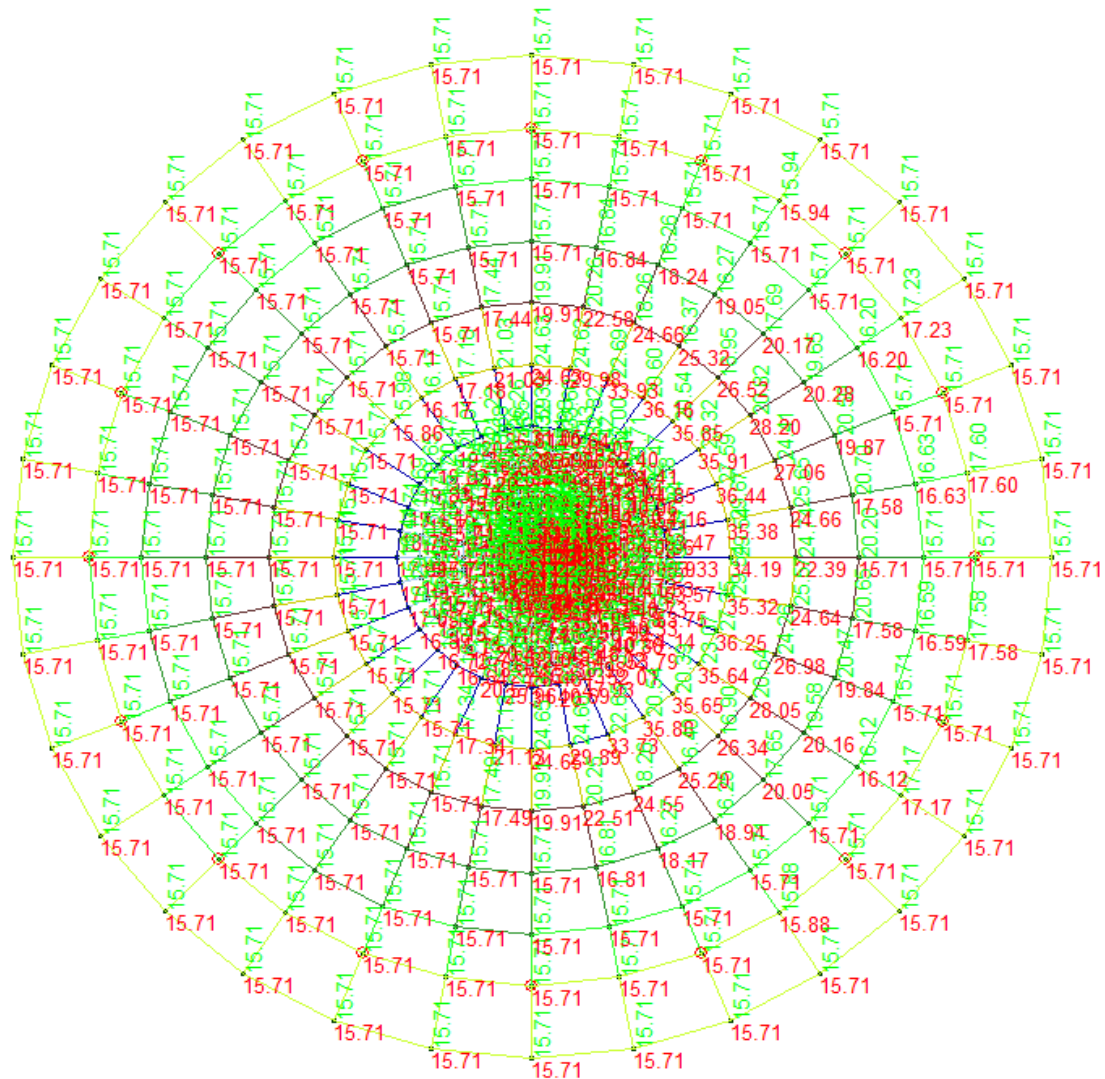


Figura 22: Dettaglio armatura su lato inferiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 36 di 42

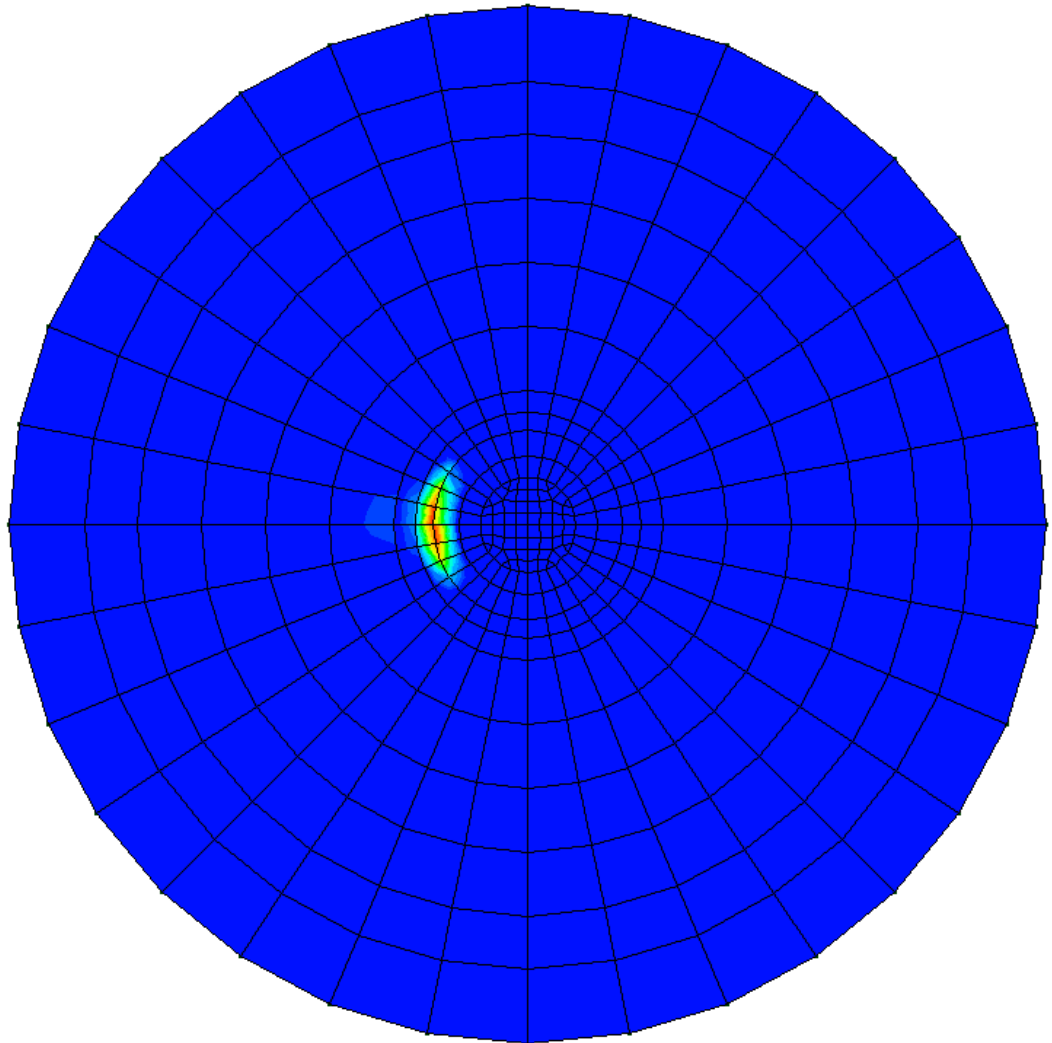
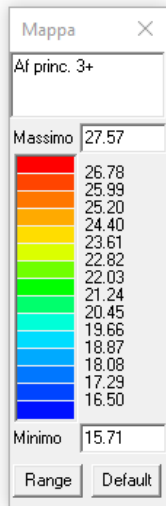


Figura 23: Armatura su plinto lato superiore. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 37 di 42

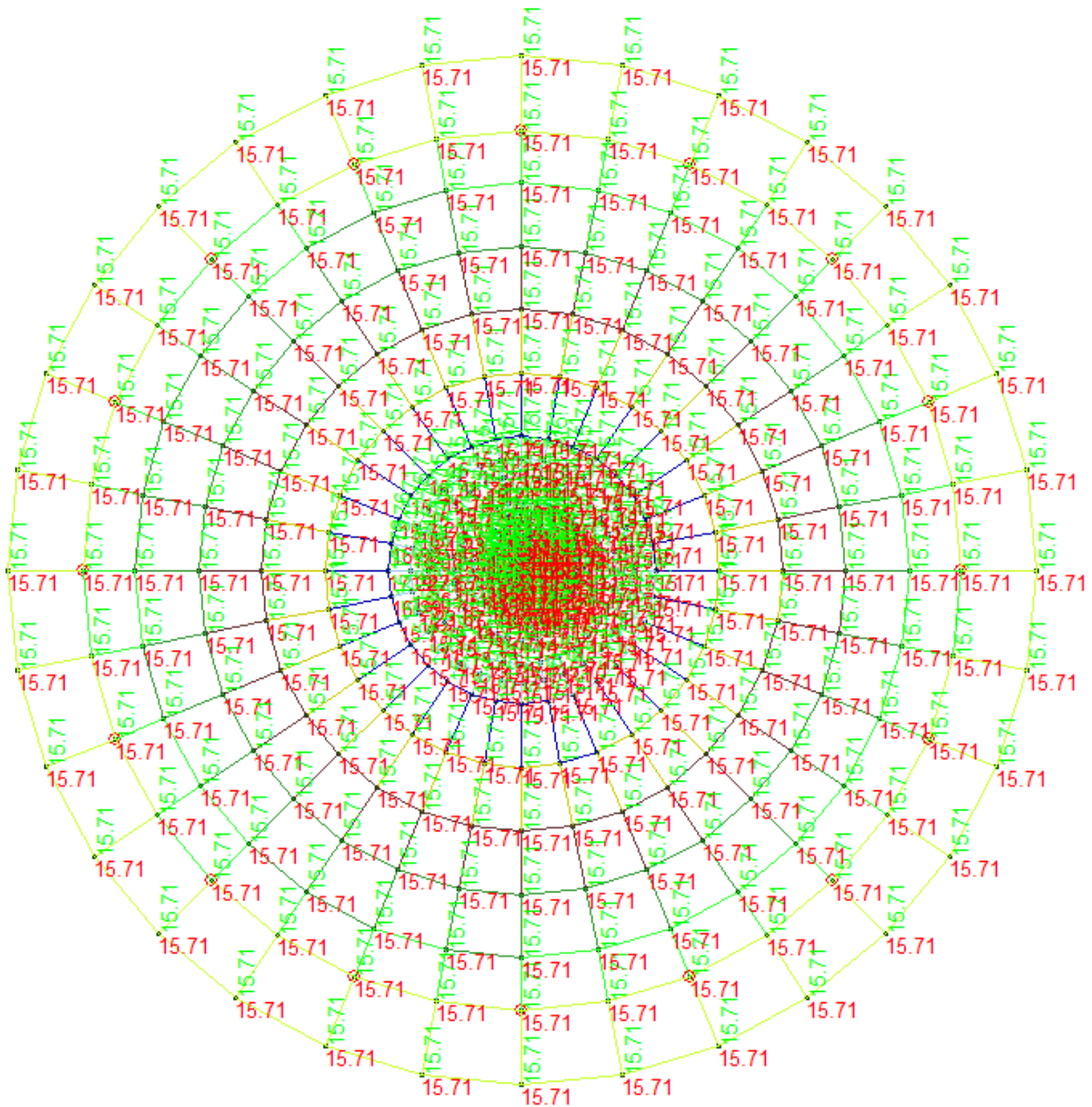


Figura 24: Dettaglio armatura su lato superiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 38 di 42

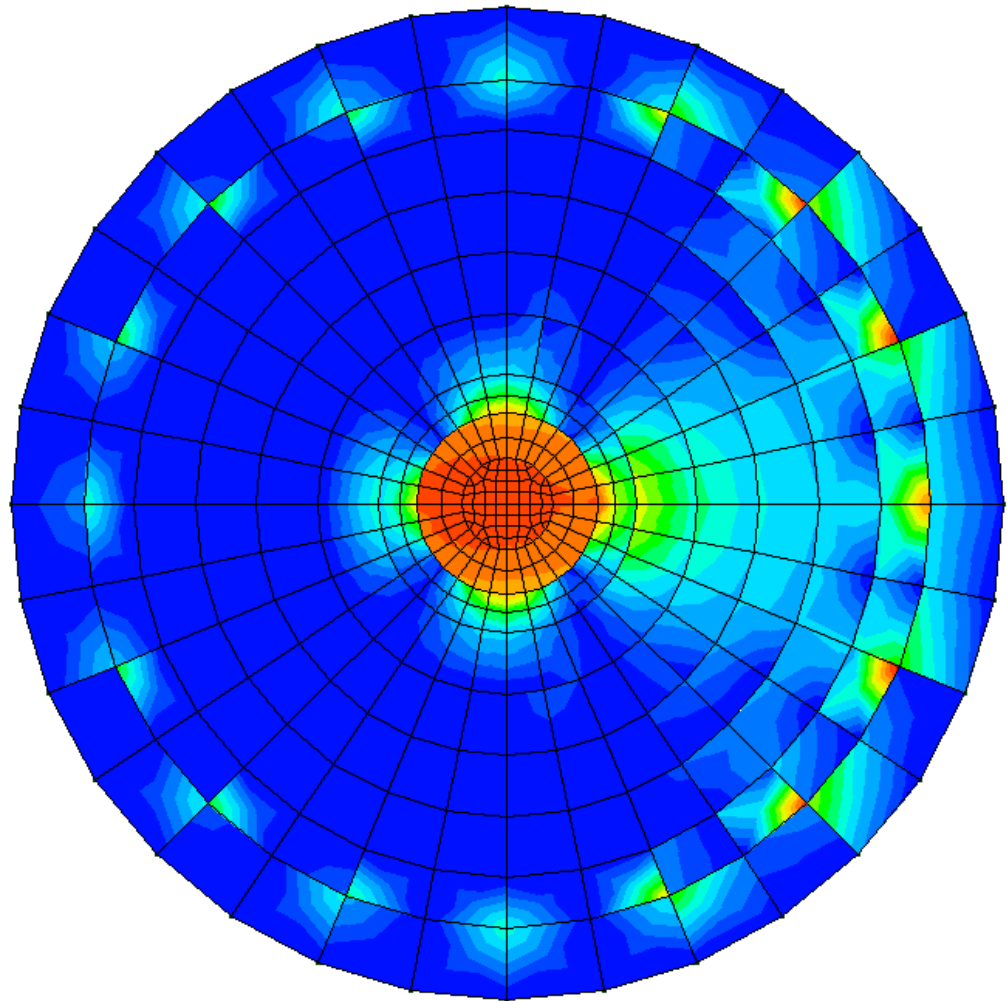
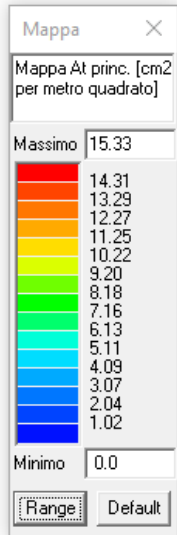


Figura 25: Armatura a taglio. Valori in cm^2 per metro quadro

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 39 di 42

16 Sintesi delle verifiche di sicurezza

16.1 Verifiche SLU

In azzurro sono rappresentati gli elementi verificati.

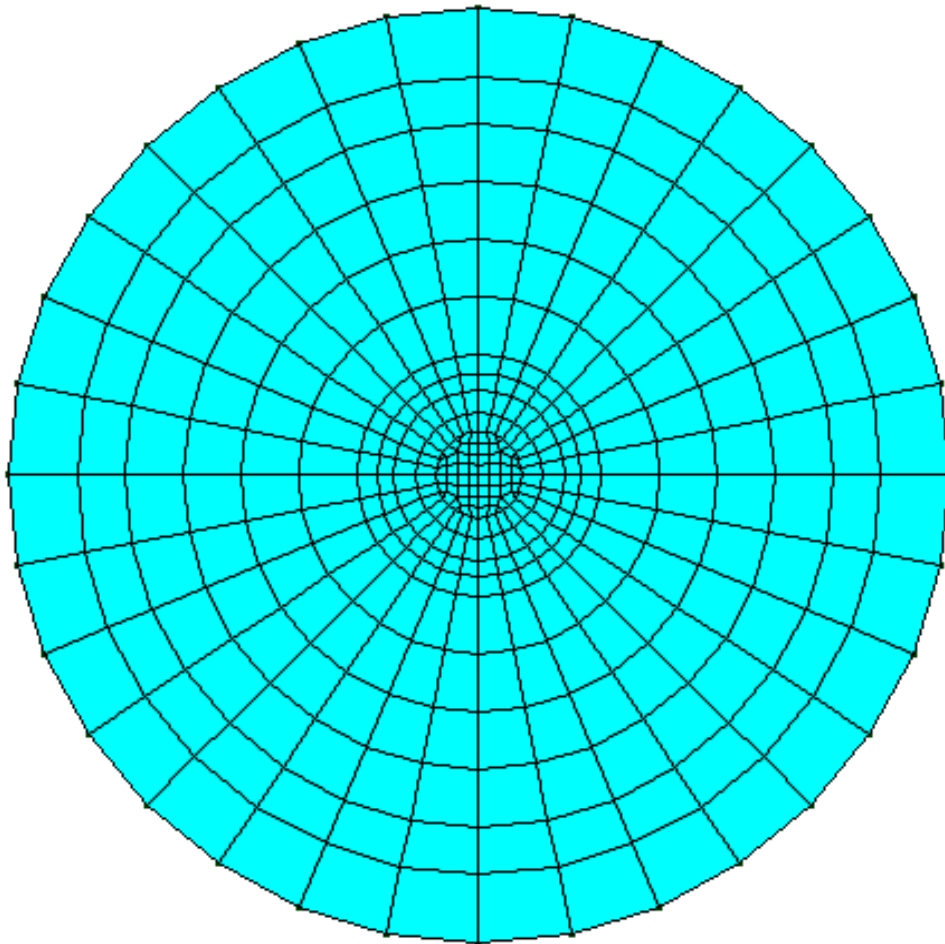


Figura 26: Verifica SLU. In azzurro gli elementi verificati

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 40 di 42

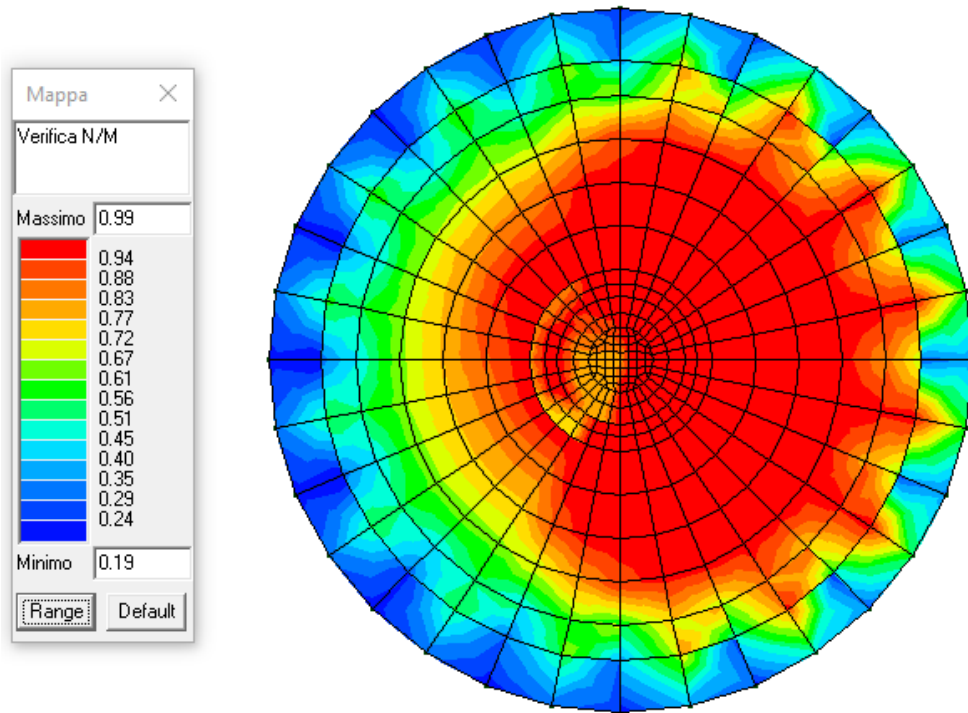


Figura 27: Verifica a pressoflessione N-M SLU (Verificato per valori <1)

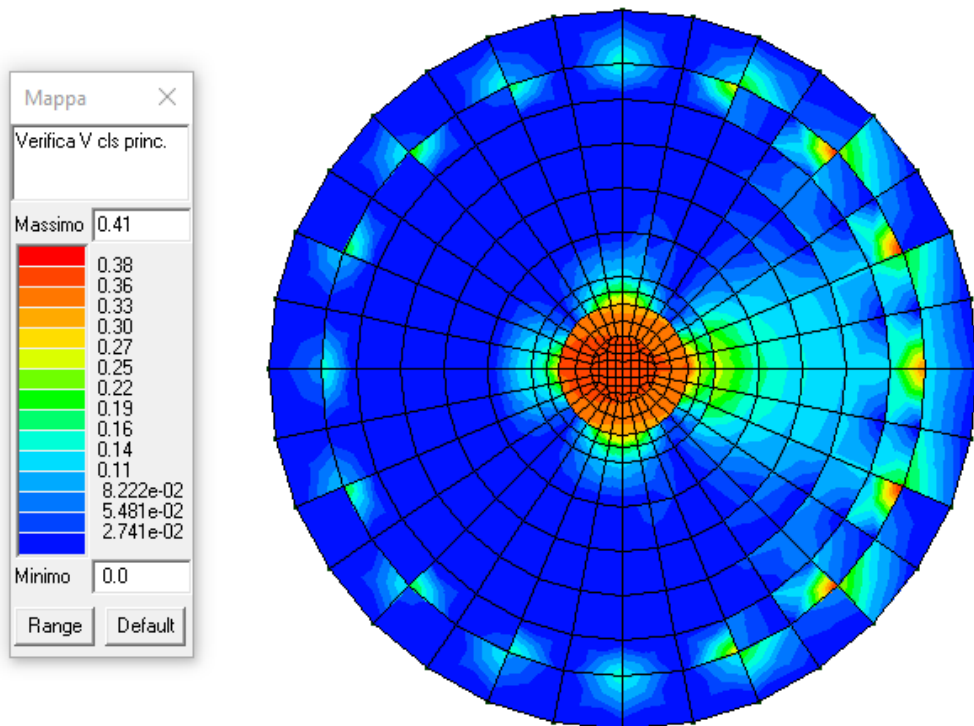


Figura 28: Verifica V CLS principale (verifica per valori <1)

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 12/02/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 41 di 42

16.2 Verifiche SLE

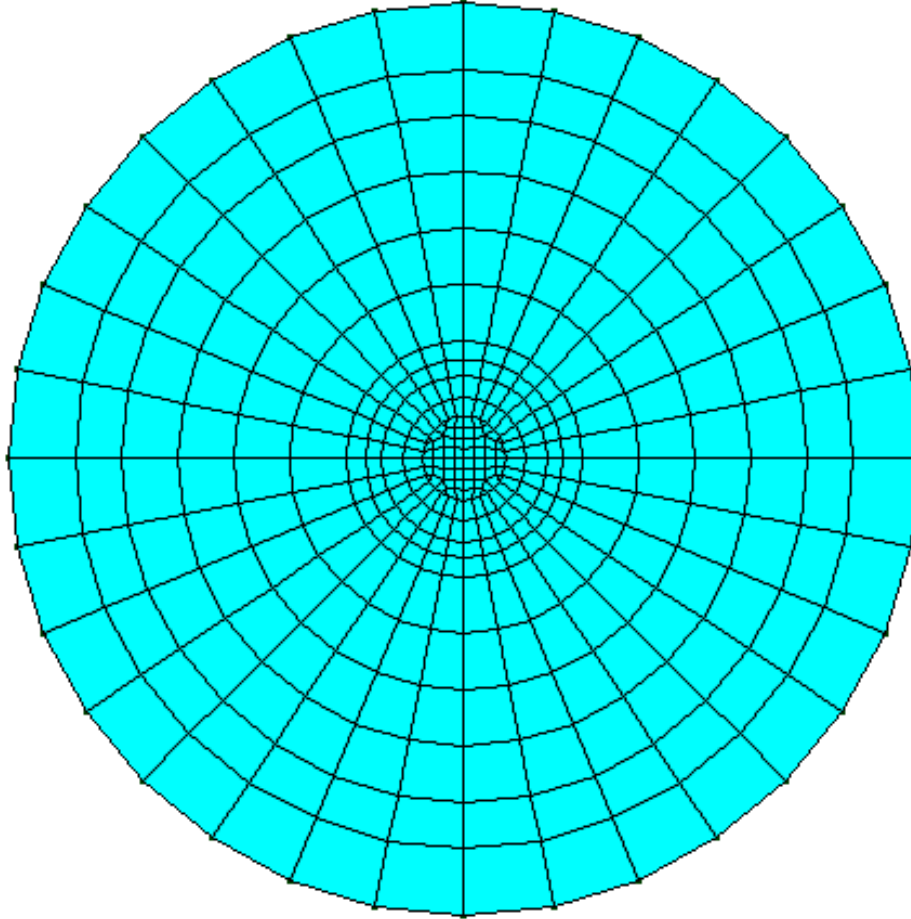


Figura 29: Verifica SLE. In azzurro gli elementi verificati

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDS_F00R00100_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 42 di 42

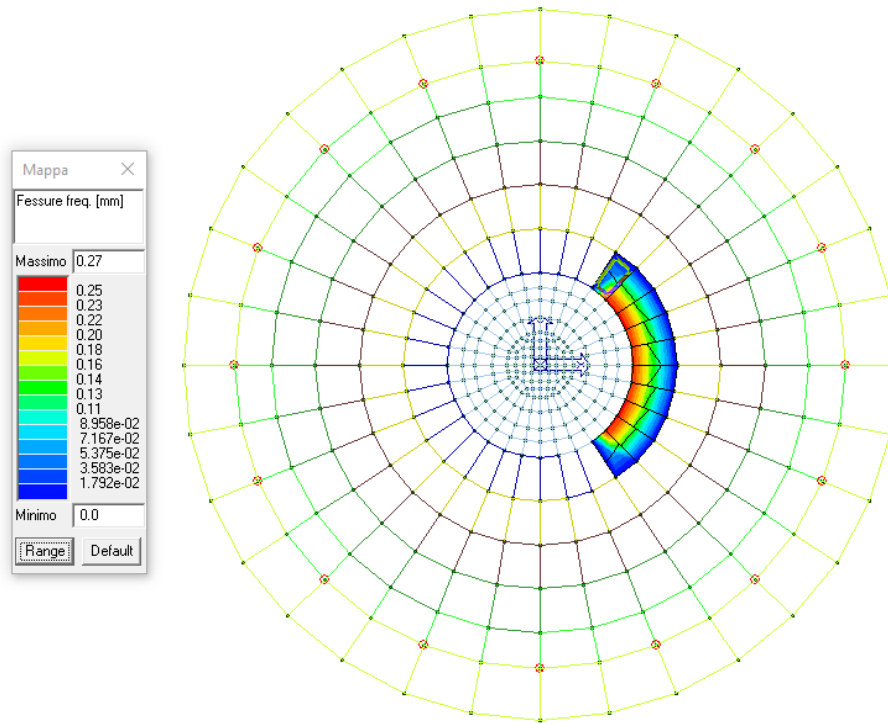


Figura 30: Fessure SLE frequenti. Ampiezza fessure <0,3 mm - Verifica soddisfatta

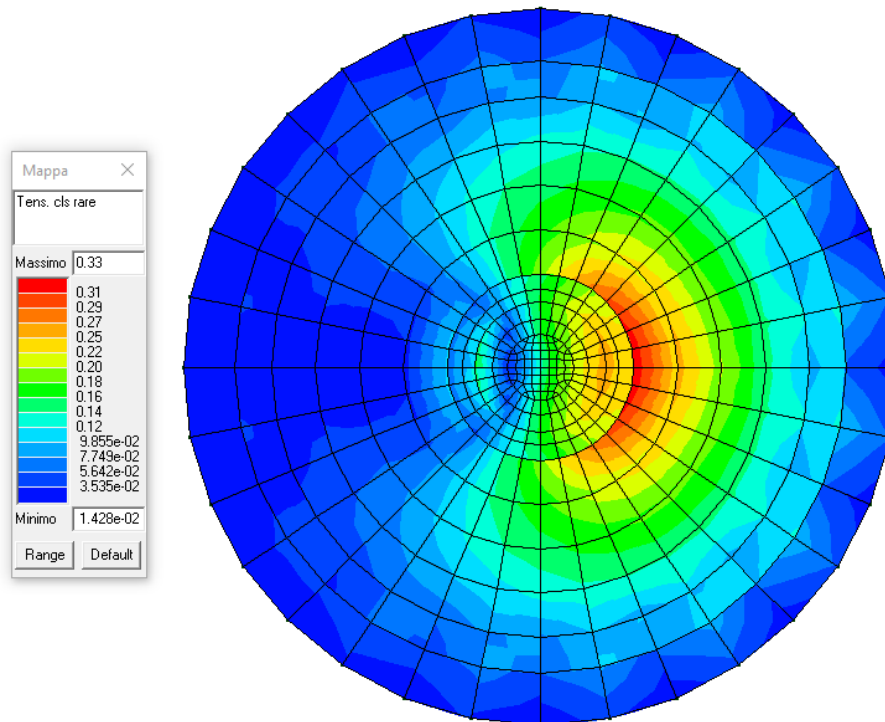


Figura 31: Tensioni CLS SLE rare (verificato per valori <1)