

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

**COMUNE DI MANFREDONIA (FG)  
LOCALITA' "BORGO FONTEROSA"**

# **PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "BORGO FONTE ROSA 2"**

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](http://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:

**BFRDS\_F00R00100\_00**

FORMATO:

**A4**

Nr. EL.:

**/**

FASE:

**PROGETTO  
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	11/12/2023	D.Zampa	S.Ulivi	S.Ulivi
01					
02					
03					
04					

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>1 di 45</b>

## 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.....	9
6.4	Risposta Sismica Locale.....	14
6.4.1	Amplificazione Topografica.....	14
6.4.2	Amplificazione Stratigrafica.....	14
7	Materiali Impiegati.....	15
7.1	Calcestruzzo.....	15
7.2	Acciaio per il Calcestruzzo.....	16
8	Caratterizzazione Geotecnica dell’area.....	17
8.1	Parametri geotecnici.....	17
9	Metodo di calcolo.....	18
9.1	Modello numero.....	18
10	Modellazione della struttura.....	18
10.1	Criteri principali di modellazione.....	18
10.2	Vincoli strutturali.....	19
10.3	Principali combinazioni delle azioni.....	19
10.4	Metodo di analisi.....	19
10.5	Criteri di verifica agli stati limite indagati.....	21
10.6	Modellazione della fondazione superficiale e profonda.....	21
10.7	Modellazione dei vincoli interni ed esterni.....	25
11	Azioni sulla struttura.....	25
11.1	Modellazione delle azioni.....	27
11.2	Combinazioni delle azioni.....	27
11.3	Coefficienti adottati.....	28
11.4	Modellazione dei carichi applicati.....	30

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>2 di 45</b>

11.5	Schematizzazione dei casi di carico .....	30
11.6	Definizione delle combinazioni di carico .....	32
11.7	Informazioni su copriferro e ricoprimento delle armature .....	33
12	Metodo di analisi .....	33
13	Criteri di verifica agli stati limite .....	33
14	Risultati di calcolo .....	34
14.1	Deformate .....	34
14.2	Tensioni .....	35
14.3	Azioni sui pali .....	36
15	Armature minime di progetto .....	37
16	Sintesi delle verifiche di sicurezza .....	42
16.1	Verifiche SLU .....	42
16.2	Verifiche SLE .....	44

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>3 di 45</b>

## 1 Premessa

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Borgo Fonte Rosa 2”, e sito nel Comune di Manfredonia (FG) (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. 10 aerogeneratori mod. SG155 4.7 della Siemens Gamesa, ciascuno della potenza di 4.7 MW, per una potenza di immissione complessiva dell'impianto eolico pari a 47.0 MW.

Gli aerogeneratori si trovano nel Comune di Manfredonia (FG). Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione Utente attraversa il medesimo comune e sarà allacciato alla SSE 150 kV della società Develop S.r.l. Tale SSE è a sua volta collegata alla SSE Terna 380 kV di Manfredonia (FG).

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 Manfredonia (FG). Il progetto prevede l'installazione di n.10 aerogeneratori mod. SG155 da 4.7 MW (potenza complessiva = 47.0 MW), con altezza al mozzo pari a 90 metri e diametro delle pale di 155 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]
BR1	Manfredonia	567677	4589843
BR2	Manfredonia	568504	4589863
BR3	Manfredonia	569012	4589515
BR4	Manfredonia	567648	4589125
BR5	Manfredonia	568244	4589312
BR6	Manfredonia	568865	4588914
BR7	Manfredonia	566232	4589107
BR8	Manfredonia	566528	4589527
BR9	Manfredonia	566861	4587966
BR10	Manfredonia	566260	4587871

Tabella 1: Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>4 di 45</b>

I 10 aerogeneratori si trovano ubicati, al Catasto terreni, ai seguenti Fogli:

<b>WTG</b>	<b>Comune</b>	<b>Foglio</b>
<b>BR1</b>	Manfredonia	126
<b>BR2</b>	Manfredonia	125
<b>BR3</b>	Manfredonia	125
<b>BR4</b>	Manfredonia	125
<b>BR5</b>	Manfredonia	125
<b>BR6</b>	Manfredonia	125
<b>BR7</b>	Manfredonia	125
<b>BR8</b>	Manfredonia	125
<b>BR9</b>	Manfredonia	139
<b>BR10</b>	Manfredonia	127

*Tabella 2: Inquadramento catastale aerogeneratori*

L'area interessata dal campo eolico, più nello specifico dagli aerogeneratori, è posta a un'altitudine compresa circa fra 10 e 20 metri s.l.m. Nella seguente figura è riportato un inquadramento territoriale del parco eolico.



*Figura 1: Inquadramento territoriale impianto*

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>5 di 45</b>

### 3 Tipologia di intervento

L'intervento riguarda la nuova costruzione di fondazioni di tipo indiretto (fondazioni su pali) a sostegno di torri eoliche modello Siemens Gamesa SG 4.7 MW – 155. Nella figura seguente è riportata una rappresentazione tecnica dell'elemento al di sopra del terreno di fondazione.

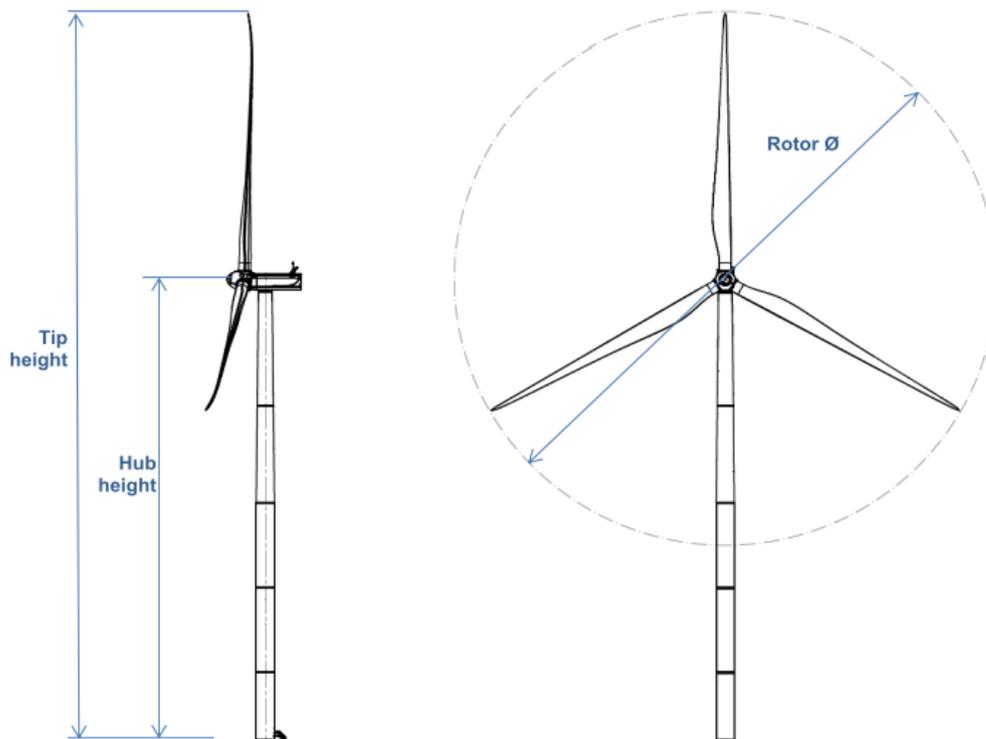


Figura 2: Architettico Aerogeneratore Siemens Gamesa 4.7 MW

### 4 Descrizione generale dell'opera

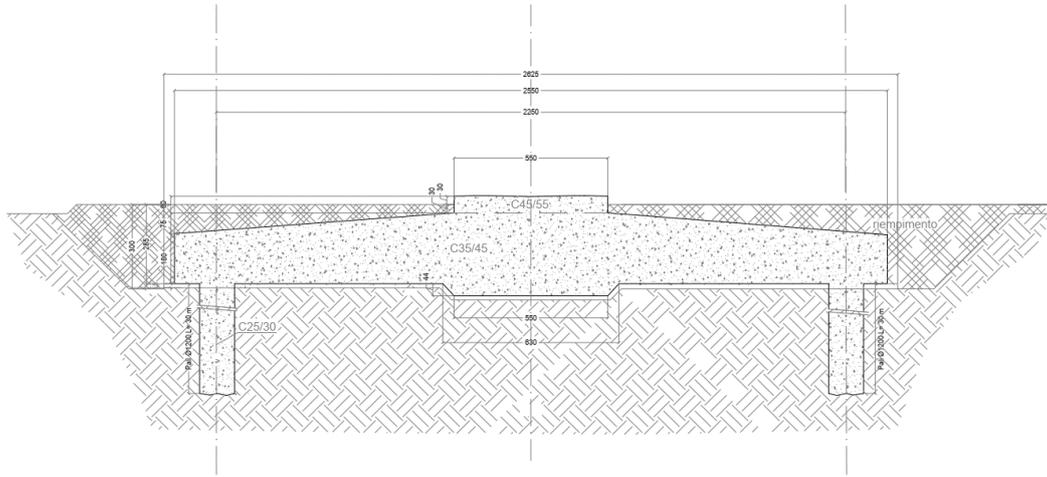
Il progetto prevede la costruzione di n.10 plinti di fondazione su pali a servizio dell'installazione di n.10 aerogeneratori, identificati nel progetto dell'impianto eolico come “**BR**” seguito da numerazione a doppia cifra come “**01**”.

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.

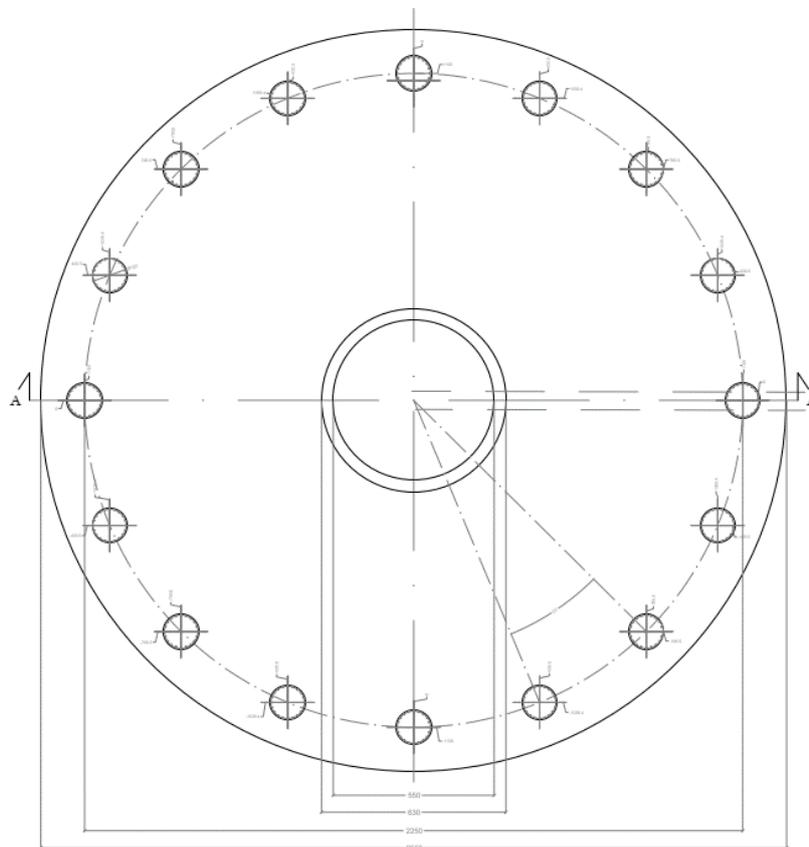
Nella figura seguente è riportata una sezione di dettaglio della fondazione superficiale.

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>6 di 45</b>



*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*

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>7 di 45</b>

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

Il territorio comunale di Manfredonia (Provincia di Foggia) 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 0,150 e 0,175 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 **IV** (rischio rilevante);
- Categoria Topografica **T1**;
- Categoria Stratigrafica;
- Coefficiente d’uso  $C_u$  pari a **2**;

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>8 di 45</b>

## 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:

$$V_R = 50 * 2 = 100 \text{ anni}$$

## 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<sub>g</sub>” e dei parametri che permettono di definire 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<sub>R</sub> 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).

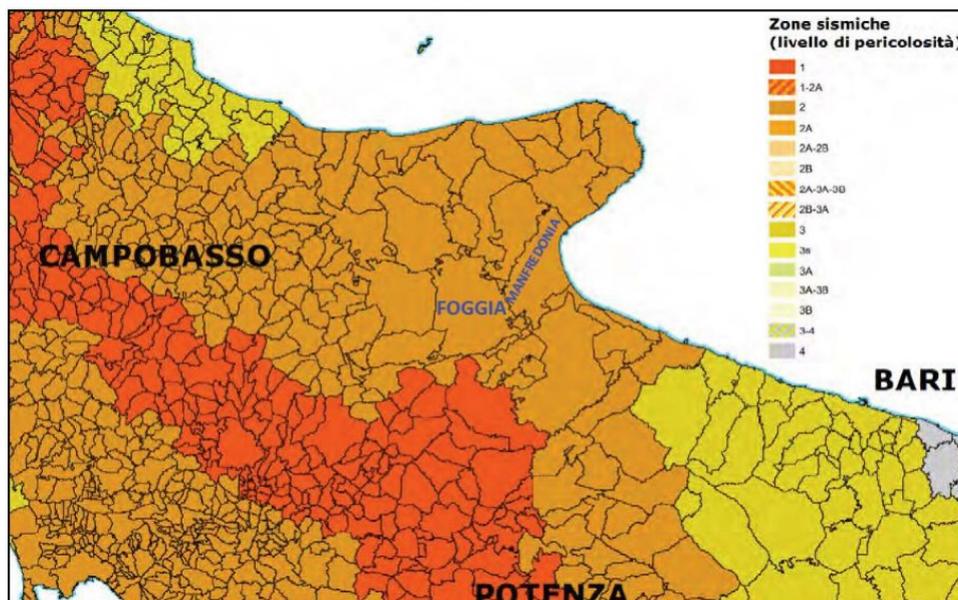


Figura 5: Stralcio mappa Pericolosità sismica Comune di Manfredonia (FG)

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>9 di 45</b>

### 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
	<b><math>P_{VR}</math></b>	<b><math>T_R</math></b>
<b>SLO</b>	81%	60
<b>SLD</b>	63%	101
<b>SLV</b>	10%	949
<b>SLC</b>	5%	1950

Tabella 4: Periodo di ritorno per gli stati limite

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 nelle seguenti tabelle:

Aerogeneratore: **BR01**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente  $C_u$ : 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,06	2,537	0,33
<b>SLD</b>	101	0,076	2,571	0,346
<b>SLV</b>	949	0,169	2,605	0,438
<b>SLC</b>	1950	0,213	2,6	0,457

Tabella 5: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR01

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>10 di 45</b>

Aerogeneratore: **BR02**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,061	2,532	0,329
<b>SLD</b>	101	0,076	2,575	0,344
<b>SLV</b>	949	0,169	2,601	0,436
<b>SLC</b>	1950	0,214	2,598	0,451

*Tabella 6: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR02*

Aerogeneratore: **BR03**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,061	2,534	0,329
<b>SLD</b>	101	0,076	2,573	0,344
<b>SLV</b>	949	0,169	2,601	0,436
<b>SLC</b>	1950	0,213	2,596	0,452

*Tabella 7: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR03*

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>11 di 45</b>

Aerogeneratore: **BR04**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,06	2,54	0,331
<b>SLD</b>	101	0,076	2,57	0,347
<b>SLV</b>	949	0,168	2,607	0,44
<b>SLC</b>	1950	0,213	2,6	0,461

*Tabella 8: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR04*

Aerogeneratore: **BR05**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,06	2,537	0,33
<b>SLD</b>	101	0,076	2,572	0,346
<b>SLV</b>	949	0,169	2,604	0,438
<b>SLC</b>	1950	0,213	2,599	0,457

*Tabella 9: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR05*

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>12 di 45</b>

Aerogeneratore: **BR06**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,06	2,54	0,329
<b>SLD</b>	101	0,076	2,57	0,345
<b>SLV</b>	949	0,168	2,603	0,438
<b>SLC</b>	1950	0,213	2,596	0,458

*Tabella 10: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR06*

Aerogeneratore: **BR07**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,06	2,543	0,331
<b>SLD</b>	101	0,076	2,568	0,348
<b>SLV</b>	949	0,168	2,609	0,441
<b>SLC</b>	1950	0,212	2,601	0,464

*Tabella 11: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR07*

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>13 di 45</b>

Aerogeneratore: **BR08**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,06	2,541	0,331
<b>SLD</b>	101	0,076	2,569	0,347
<b>SLV</b>	949	0,168	2,608	0,44
<b>SLC</b>	1950	0,213	2,601	0,462

*Tabella 12: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR08*

Aerogeneratore: **BR09**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,06	2,547	0,332
<b>SLD</b>	101	0,076	2,565	0,349
<b>SLV</b>	949	0,168	2,611	0,442
<b>SLC</b>	1950	0,212	2,602	0,468

*Tabella 13: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR09*

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>14 di 45</b>

Aerogeneratore: **BR10**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
<b>SLO</b>	60	0,06	2,548	0,332
<b>SLD</b>	101	0,076	2,565	0,349
<b>SLV</b>	949	0,168	2,612	0,443
<b>SLC</b>	1950	0,212	2,602	0,469

Tabella 14: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore BR10

## 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, 6, 7, 8, 9, 10	<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Tabella 15: Categoria topografica

### 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:

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>15 di 45</b>

AEROGENERATORE	Categoria di suolo	
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	<b>C</b>	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 16: 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 <sub>ck</sub>	α <sub>cc</sub>	γ <sub>cls</sub>	E <sub>cm</sub>	f <sub>cd</sub>	f <sub>ctm</sub>	f <sub>ctk</sub>	f <sub>ctd</sub>	f <sub>cfm</sub>	f <sub>bk</sub>	f <sub>bd</sub>	ε <sub>c2</sub>	ε <sub>cu</sub>	σ <sub>c,Rara</sub>	σ <sub>c,QP</sub>
	[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 17: Caratteristiche meccaniche CLS C35/45

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

Classe di esposizione: XC2

Copriferro minimo: 5cm (salvo diversamente specificato)

Classe	f <sub>ck</sub>	α <sub>cc</sub>	γ <sub>cls</sub>	E <sub>cm</sub>	f <sub>cd</sub>	f <sub>ctm</sub>	f <sub>ctk</sub>	f <sub>ctd</sub>	f <sub>cfm</sub>	f <sub>bk</sub>	f <sub>bd</sub>	ε <sub>c2</sub>	ε <sub>cu</sub>	σ <sub>c,Rara</sub>	σ <sub>c,QP</sub>
	[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 18: Caratteristiche meccaniche CLS C25/30

- **Malta speciale C80/95**

Classe	f <sub>ck</sub>	α <sub>cc</sub>	γ <sub>cls</sub>	E <sub>cm</sub>	f <sub>cd</sub>	f <sub>ctm</sub>	f <sub>ctk</sub>	f <sub>ctd</sub>	f <sub>cfm</sub>	f <sub>bk</sub>	f <sub>bd</sub>	ε <sub>c2</sub>	ε <sub>cu</sub>	σ <sub>c,Rara</sub>	σ <sub>c,QP</sub>
	[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 19: Caratteristiche meccaniche CLS C80/95

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>16 di 45</b>

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:

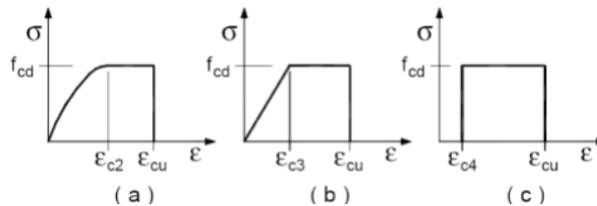


Figura 6: Modello tensione-deformazione per il calcestruzzo

## 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	fyk	γs	ftk	Es	fyd	eyd	euk	(fy/fy,nom)k	eud	k = (ft/fy)k	σs,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 20: 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 in figura (b) seguente:

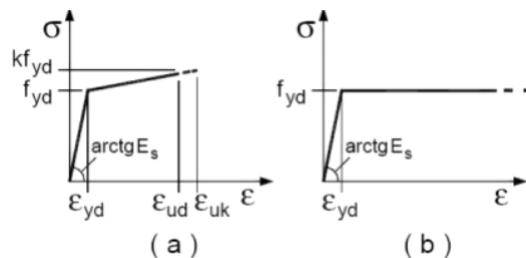


Figura 7: Modello tensione-deformazione per l'acciaio

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>17 di 45</b>

## 8 Caratterizzazione Geotecnica dell'area

Per avere un quadro più dettagliato dei terreni di fondazione, sono stati visionati diversi sondaggi messi a disposizione da ISPRA sul suo portale cartografico e dal Ministero dell'Interno sul portale di Valutazione di Impatto Ambientale relativamente a progetti di impianti eolici realizzati in zone limitrofe e che ricadono su terreni simili. Tali indagini sono sufficienti a dare un'indicazione di massima sia delle stratigrafie che delle caratteristiche geo-meccaniche dei suoli, fermo restando la necessità di integrare lo studio con una campagna di indagine specifica nelle aree oggetto di intervento, nella fase esecutiva.

Le opere progettate (aerogeneratori, relative piazzole di montaggio, strade di accesso alle piazzole e tratti di cavidotto di centrale) riguarderanno i terreni di seguito descritti, in particolare:

- **per il sito dell'aerogeneratore BR1, BR2, BR4, BR5, BR7, BR8, BR9, BR10 e i cavidotti**

- **SINTEMA DI MASSERIA INACQUATA NAQ - (OLOCENE)**

Depositi alluvionali costituiti prevalentemente da argille, sabbie e silt di colore dal bruno scuro, al grigio, al giallastro, spesso con lamine da piano-parallele ad ondulate, presenti soprattutto nei livelli sabbiosi e limosi

- **per i siti degli aerogeneratori BR3 BR6 e relativi cavidotti:**

- **SUBSINTEMA DELL'INCORONATA (RPL1)**

Silt argillosi, silt, sabbie siltose e lenti di ghiaie poligeniche; a luoghi livelli di limi nerastri con coperture decimetriche di sabbie con gradazione diretta, laminate e con al tetto sottili livelli argillosi (RPL1).

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:

- **Sintema di Masseria Inacquata (NAQ)**

Frana Antica	
$\gamma_n$ = peso di volume	19.00 kN/mc
$\phi'$ = angolo di attrito drenato	22.00°
$c'$ = coesione drenata	0.10 kg/cmq
$C_u$ = coesione non drenata	0.64 kg/cmq
$E_d$ = modulo edometrico	75.00 kg/cmq

Tabella 21: Caratteristiche del terreno NAQ

- **Subsintema dell'Incoronata (RPL1)**

Livelli argillosi marnosi	
$\gamma_n$ = peso di volume	19.00 kN/mc
$\phi'$ = angolo di attrito drenato	23.00°
$c'$ = coesione drenata	0.15 kg/cmq
$C_u$ = coesione non drenata	0.80 kg/cmq
$E_d$ = modulo edometrico	90.00 kg/cmq

Tabella 22: Caratteristiche del terreno RPL1

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>18 di 45</b>

## 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.

La determinazione della rigidezza 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.

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>19 di 45</b>

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 (fornitore degli aerogeneratori) e le fondazioni sono interrato.

<b>Tipo di analisi strutturale</b>	
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

<b>Progetto-verifica degli elementi</b>	
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
<b>Azione sismica</b>	
Norma applicata per l'azione sismica	D.M. 17-01-2018

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>20 di 45</b>

#### 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  
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

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>21 di 45</b>

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 e' 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 e' riportato al 100% su tale elemento, con l'aggiunta del momento di trasporto. Qualora lungo i due lati non vi siano ne' travi ne' 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.

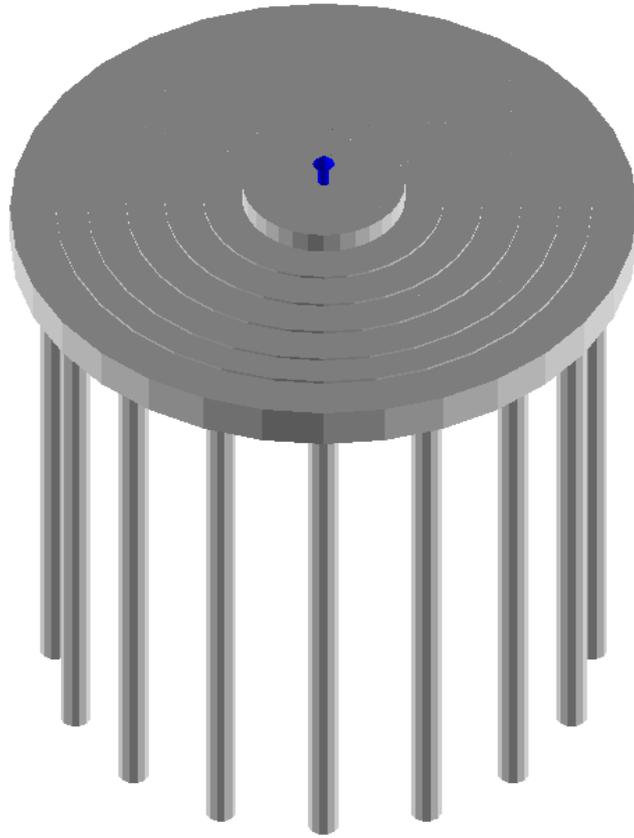
I pali di fondazione sono definiti attraverso elementi tipo “Palo in Mezzo Elastico”, ai quali sono assegnati coefficienti “k” di Winkler calcolati in base alla stratigrafia del terreno.

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

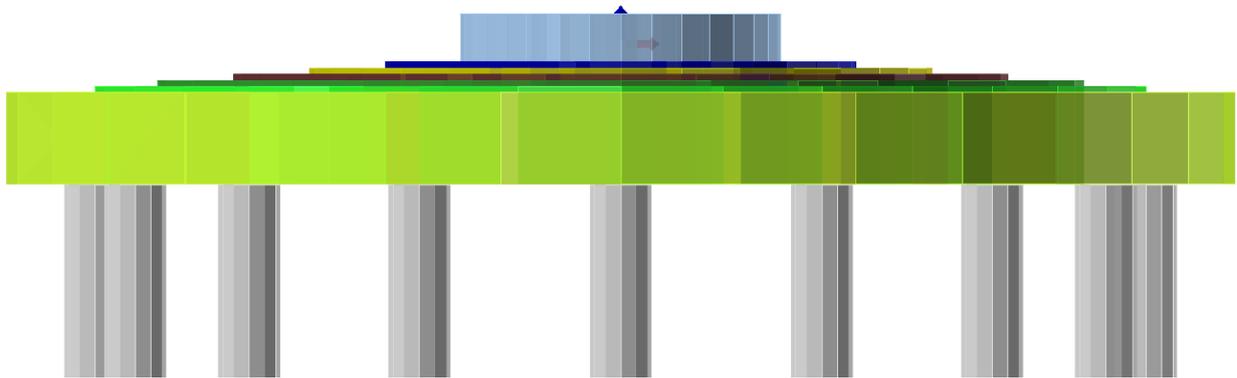
Le azioni sono trasmesse alla sottostruttura tramite piastra di materiale infinitamente rigido, modellata sulle dimensioni della flangia di base degli aerogeneratori. La piastra è a sua volta collegata ad una serie circolare di elementi D3 verticali sottili (spessore 5cm) che collegano la piastra superiore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

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

<b>AREN Green S.r.l.</b> Impianto Eolico “Borgo Fonte Rosa 2”	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>22 di 45</b>



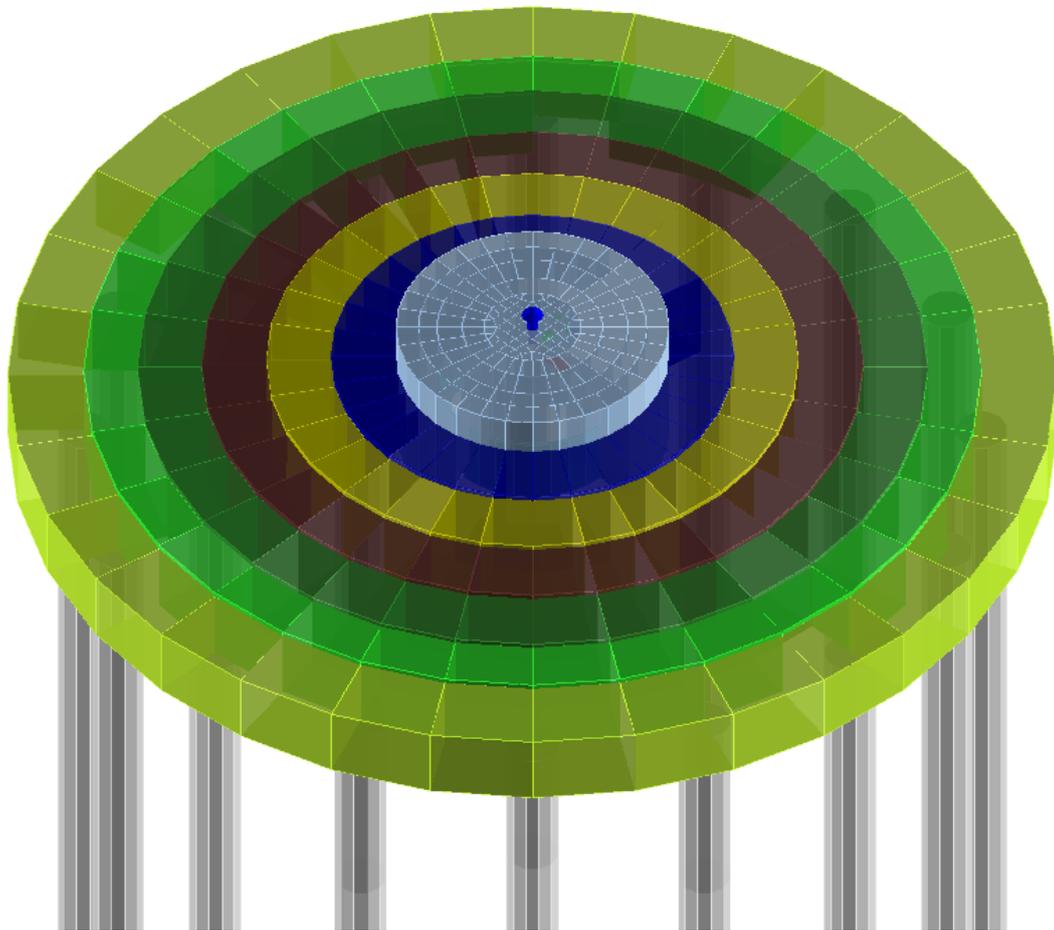
*Figura 8: Vista solida elemento di fondazione*



*Figura 9: Vista solida laterale*

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

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>23 di 45</b>



*Figura 10: 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.

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>24 di 45</b>

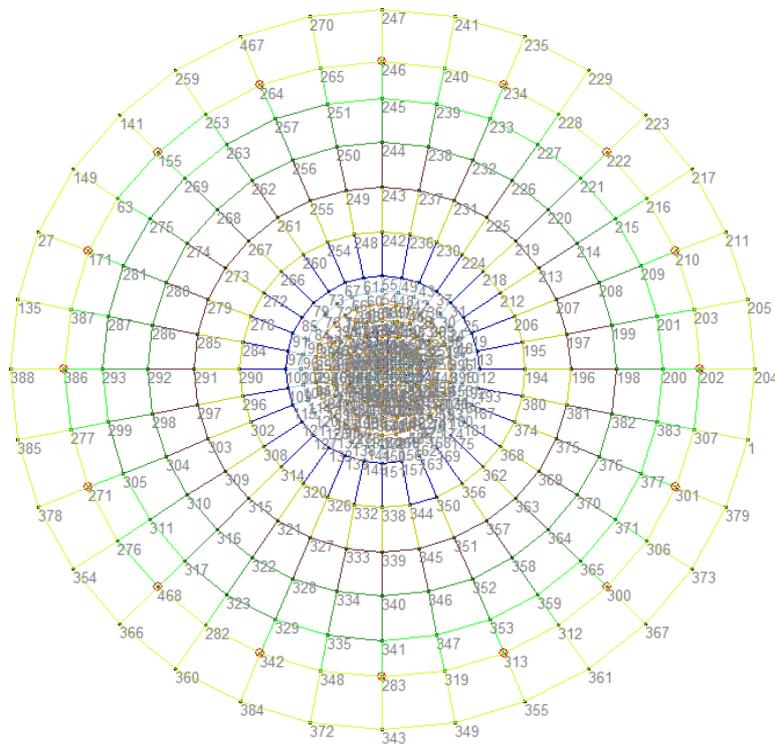


Figura 11: Nodi della struttura

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

inserisci riga   rimuovi riga   reset

setta rif.   assegna rif.   assegna a definiti

Usa stratigrafia semplificata con coefficienti:

K<sub>0a</sub>: 0.0   K<sub>zo</sub>: 0.0   K<sub>v</sub> (attrito): 0.0

Testa: svincolo flessione

Piede: vincolo rotazione

Piede: vincolo traslazione orizzontale

Piede: vincolo traslazione verticale

Piede: rigidezza traslazione verticale: 5098.649

Figura 12: Modello elemento tipo “Palo in Mezzo Elastico”

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>25 di 45</b>

## 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 ricopimento 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:

<b>CARICO ESTREMO</b>	
$M_{Res}$ [kNm]	108300
$M_Z$ [kNm]	-11170
$F_{Res}$ [kN]	1034
$F_Z$ [kN]	-5725

*Tabella 23: 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.

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>26 di 45</b>

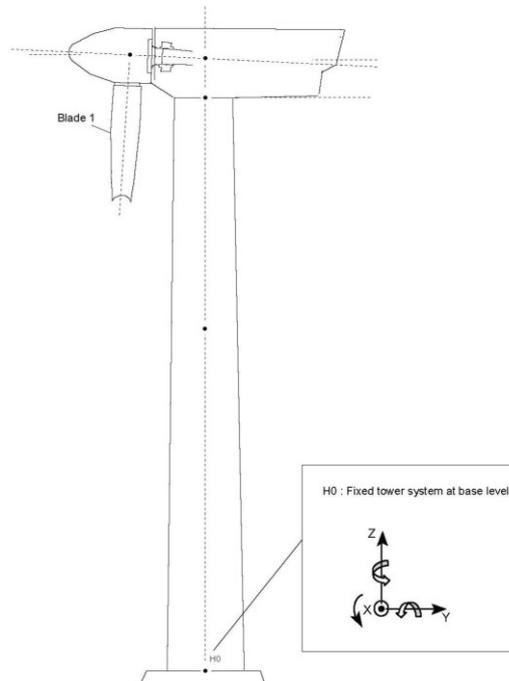


Figura 13: Sistema di riferimento per i carichi applicati

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

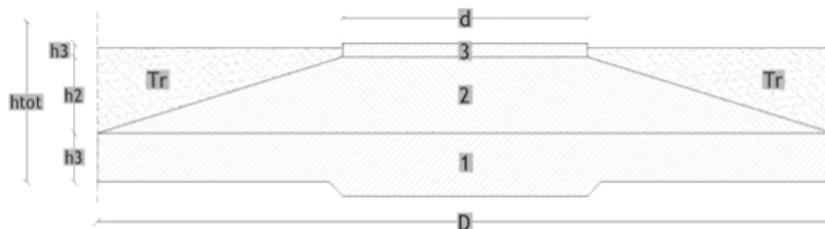


Figura 14: Modello di calcolo fondazione

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  $\gamma_{\text{sat}}$  del primo strato desunto dalla relazione geologica.

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>27 di 45</b>

### 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	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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 $\leq 30$ 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 $\leq 1000$ 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 24: 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).

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>28 di 45</b>

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

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

Tabella 25: 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:

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

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

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

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

<sup>(1)</sup> 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	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Vento	0,60	0,20	0,00

Tabella 26: Valori dei coefficienti di combinazione

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>29 di 45</b>

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

		<b>M<sub>x</sub>; M<sub>y</sub></b>	<b>M<sub>z</sub></b>	<b>F<sub>x</sub>;F<sub>y</sub></b>	<b>F<sub>z</sub></b>
Coeff. Parziali delle azioni	$\gamma_G$	-	-	-	1.3
	$\gamma_Q$	1.5	1.5	1.5	-
Coeff. di combinazione	$\psi_0$	0.6	0.6	0.6	-
	$\psi_1$	0.2	0.2	0.2	-
	$\psi_2$	0	0	0	-

*Tabella 27: 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:

<b>Fattori di Combinazione delle azioni</b>				
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 28: 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:

<b>Combinazioni Vento estremo</b>				
	<b>M<sub>Res</sub></b>	<b>M<sub>Z</sub></b>	<b>F<sub>Res</sub></b>	<b>F<sub>Z</sub></b>
	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
<b>BASE</b>	108300	-11170	1034	-5725
<b>SLU</b>	162450	-16755	1551	-7443
<b>SLE r</b>	108300	-11170	1034	-5725
<b>SLE f</b>	64980	-6702	620	-5725
<b>SLE p</b>	21660	-2234	207	-5725

*Tabella 29: Combinazioni Vento estremo*

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

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>30 di 45</b>

#### 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	<b>Carico concentrato nodale</b> 6 dati (forza $F_x$ , $F_y$ , $F_z$ , momento $M_x$ , $M_y$ , $M_z$ )
2	<b>Spostamento nodale impresso</b> 6 dati (spostamento $T_x$ , $T_y$ , $T_z$ , rotazione $R_x$ , $R_y$ , $R_z$ )
3	<b>Carico distribuito globale su elemento tipo trave</b> 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	<b>Carico distribuito locale su elemento tipo trave</b> 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	<b>Carico concentrato globale su elemento tipo trave</b> 7 dati ( $F_x$ , $F_y$ , $F_z$ , $M_x$ , $M_y$ , $M_z$ , ascissa di carico)
6	<b>Carico concentrato locale su elemento tipo trave</b> 7 dati ( $F_1$ , $F_2$ , $F_3$ , $M_1$ , $M_2$ , $M_3$ , ascissa di carico)
7	<b>Variazione termica applicata ad elemento tipo trave</b> 7 dati (variazioni termiche: uniforme, media e differenza in altezza e larghezza al nodo iniziale e finale)
8	<b>Carico di pressione uniforme su elemento tipo piastra</b> 1 dato (pressione)
9	<b>Carico di pressione variabile su elemento tipo piastra</b> 4 dati (pressione, quota, pressione, quota)
10	<b>Variazione termica applicata ad elemento tipo piastra</b> 2 dati (variazioni termiche: media e differenza nello spessore)
11	<b>Carico variabile generale su elementi tipo trave e piastra</b> 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	<b>Gruppo di carichi con impronta su piastra</b> 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 30: 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:

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

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>31 di 45</b>

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

*Tabella 31: 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:

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>32 di 45</b>

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 32: 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 33: 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 34: Coefficienti delle combinazioni di carico*

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
			Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>		Revisione: <b>00</b>
			Pagina: <b>33 di 45</b>

### 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
<b>C35/45</b>	<b>C45/55</b>	<b>Molto aggressivo</b>	35	<b>40</b>	40	45	45	50	50	50

Tabella 35: 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  $\gamma_M$  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:

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>34 di 45</b>

$$F_d = \gamma_F F_k$$

Essendo  $\gamma_F$  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

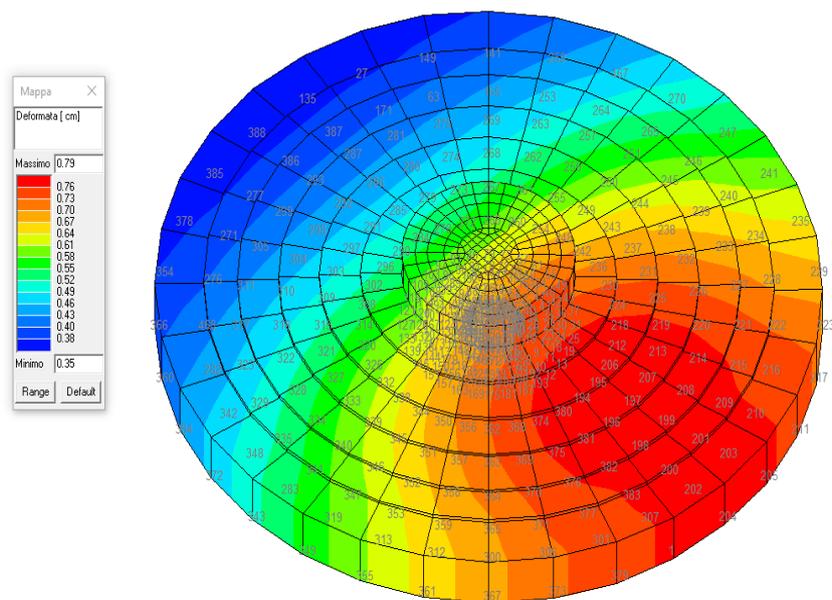


Figura 15: Deformata per Combinazione SLU 3

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>35 di 45</b>

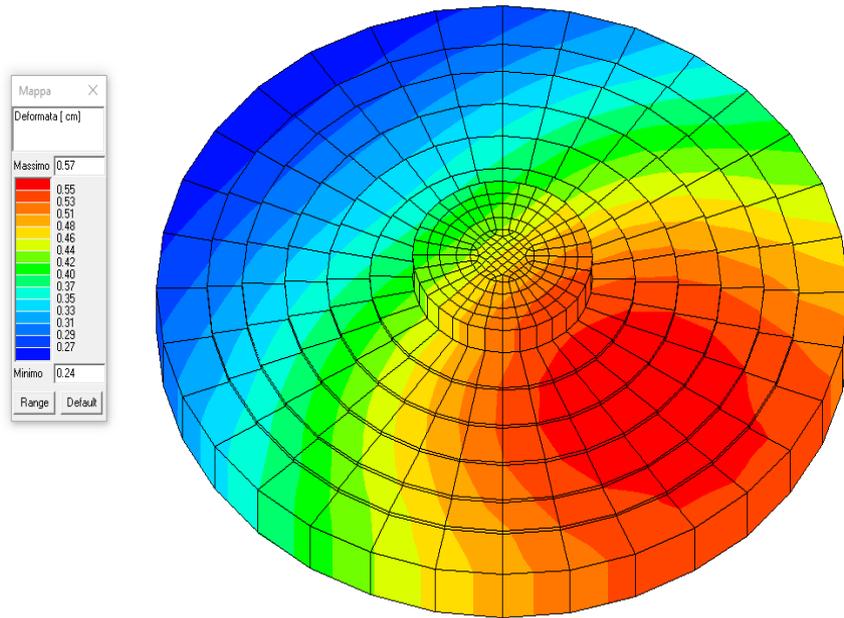


Figura 16: Deformata massima Combinazione SLE

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

## 14.2 Tensioni

Tensioni totali secondo Von Mises.

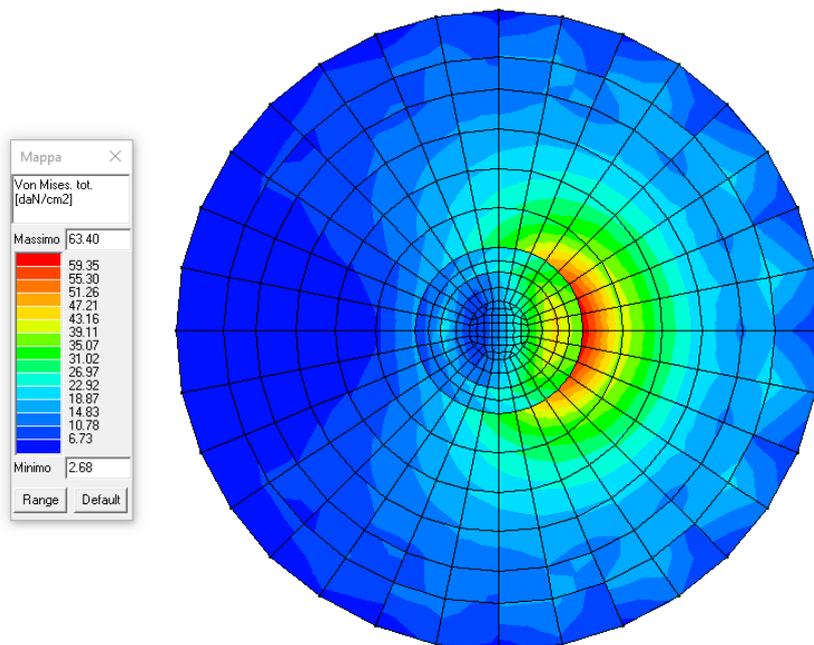


Figura 17: Tensioni totali Combinazione SLU 3

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>36 di 45</b>

### 14.3 Azioni sui pali

Massime azioni agenti sui vincoli allo stato limite ultimo SLU.

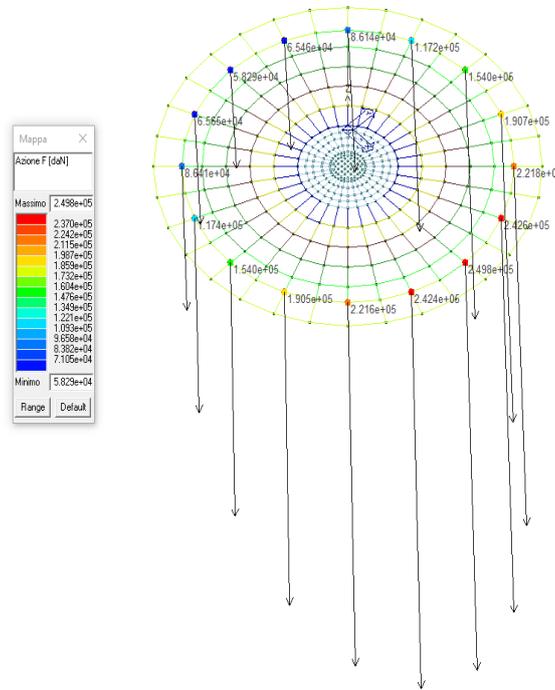


Figura 18: Azioni F massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

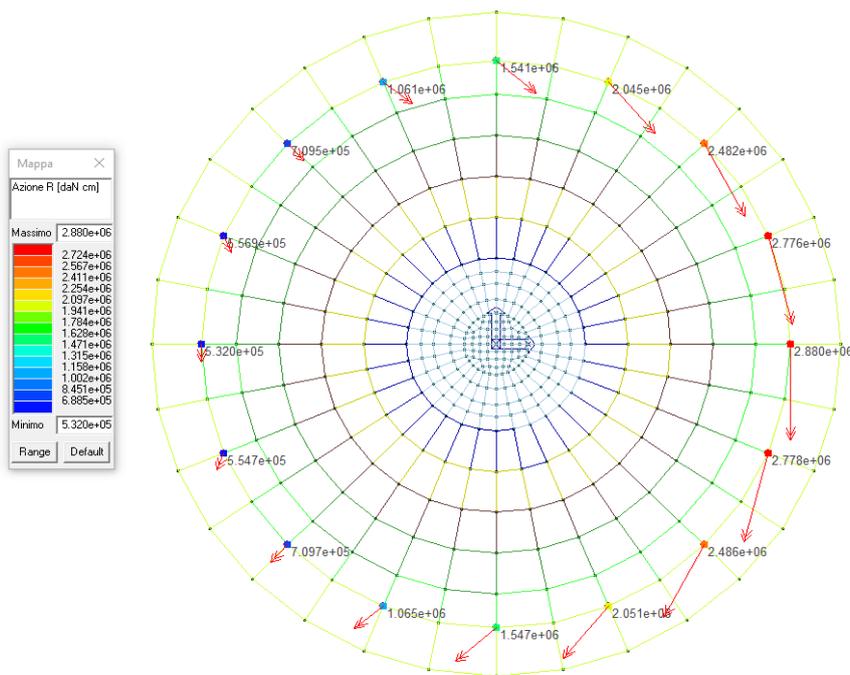


Figura 19: Azioni R massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

<b>AREN Green S.r.l.</b> Impianto Eolico “Borgo Fonte Rosa 2”	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>37 di 45</b>

## 15 Armature minime di progetto

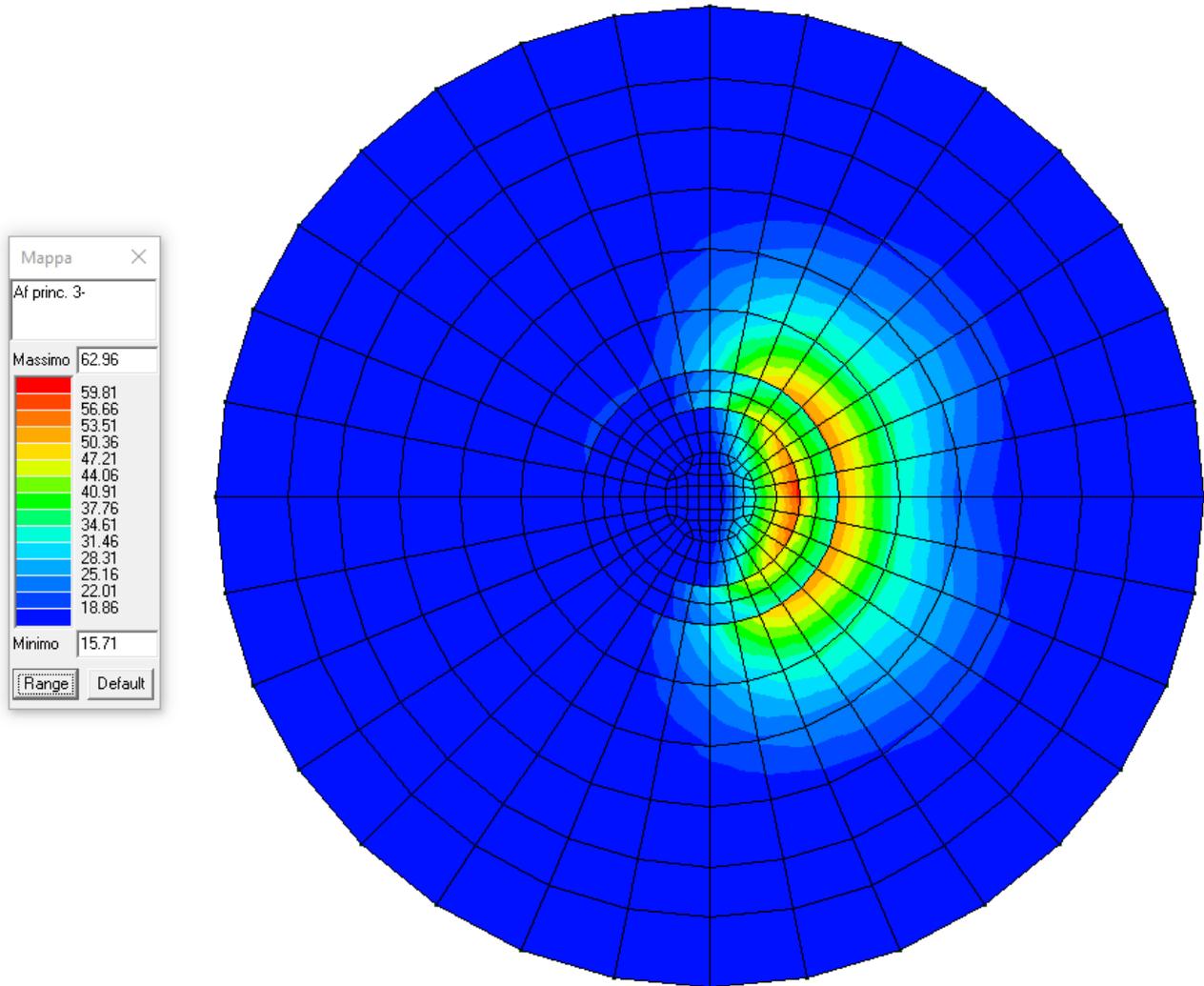


Figura 20: Armatura principale su plinto lato inferiore. Valori in cm<sup>2</sup> per metro lineare

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
		Data: <b>11/12/20223</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>38 di 45</b>

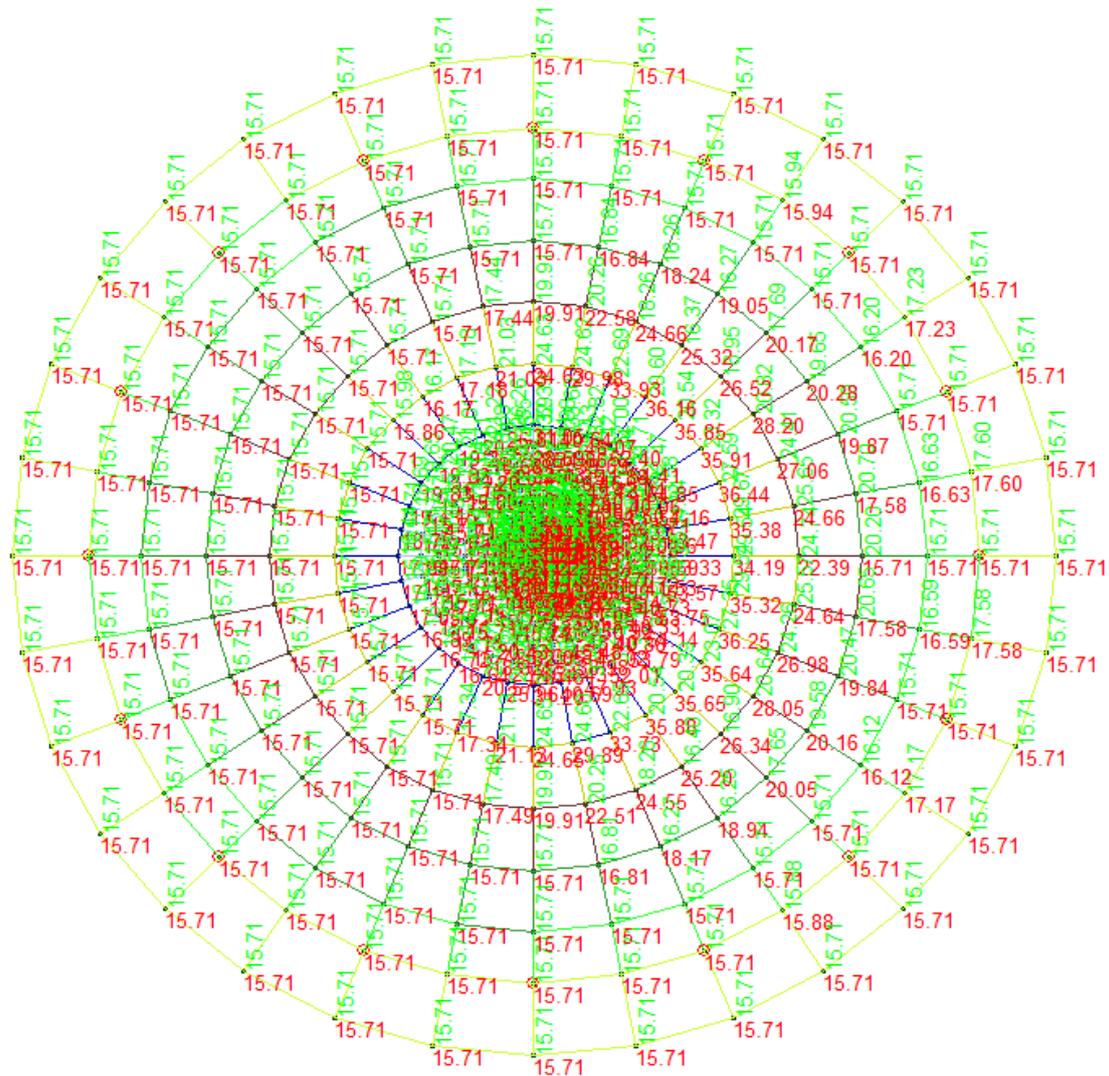


Figura 21: Dettaglio armatura su lato inferiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in cm<sup>2</sup> per metro lineare

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>39 di 45</b>

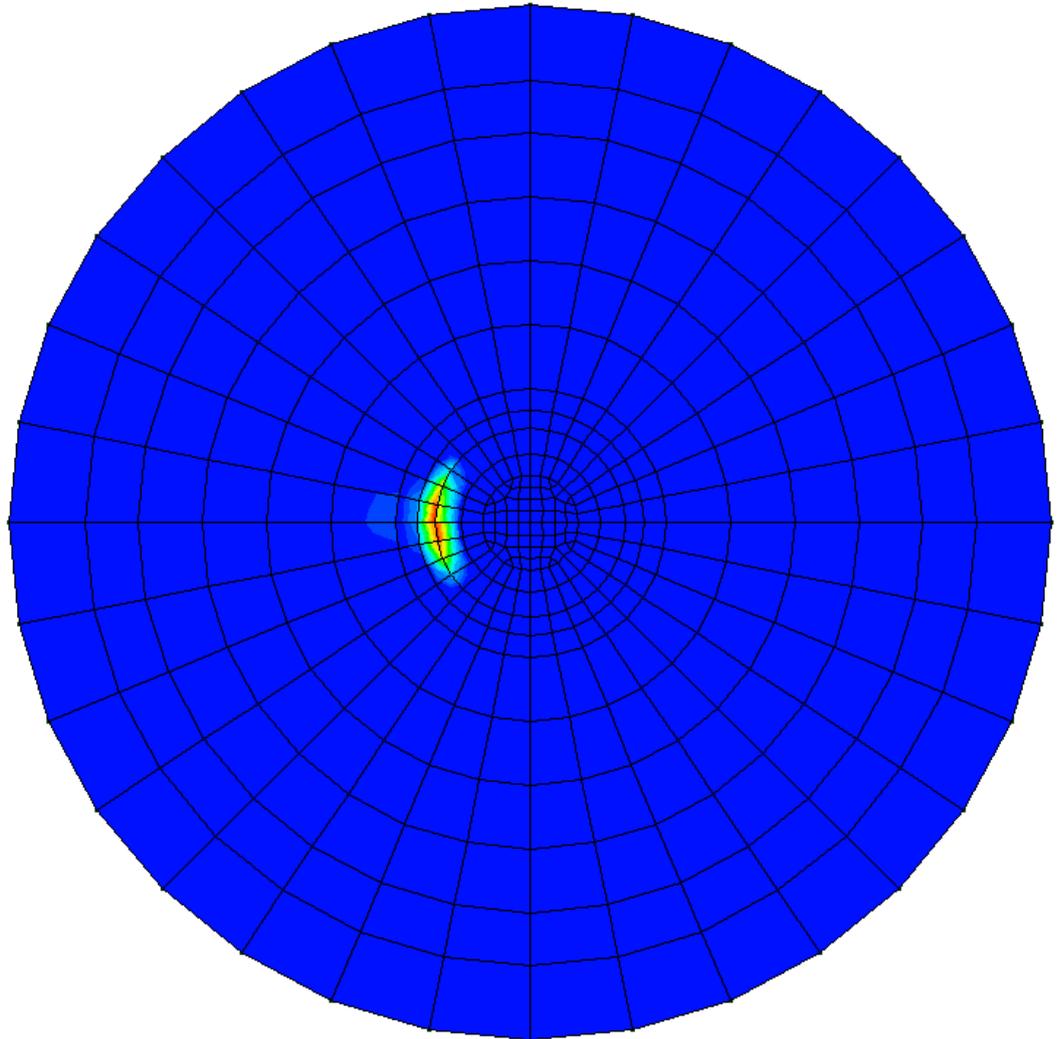
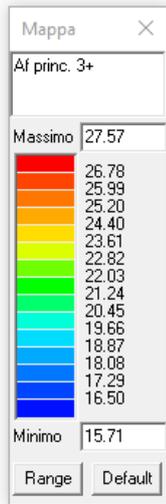


Figura 22: Armatura su plinto lato superiore. Valori in  $cm^2$  per metro lineare

<b>AREN Green S.r.l.</b> Impianto Eolico “Borgo Fonte Rosa 2”	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>40 di 45</b>

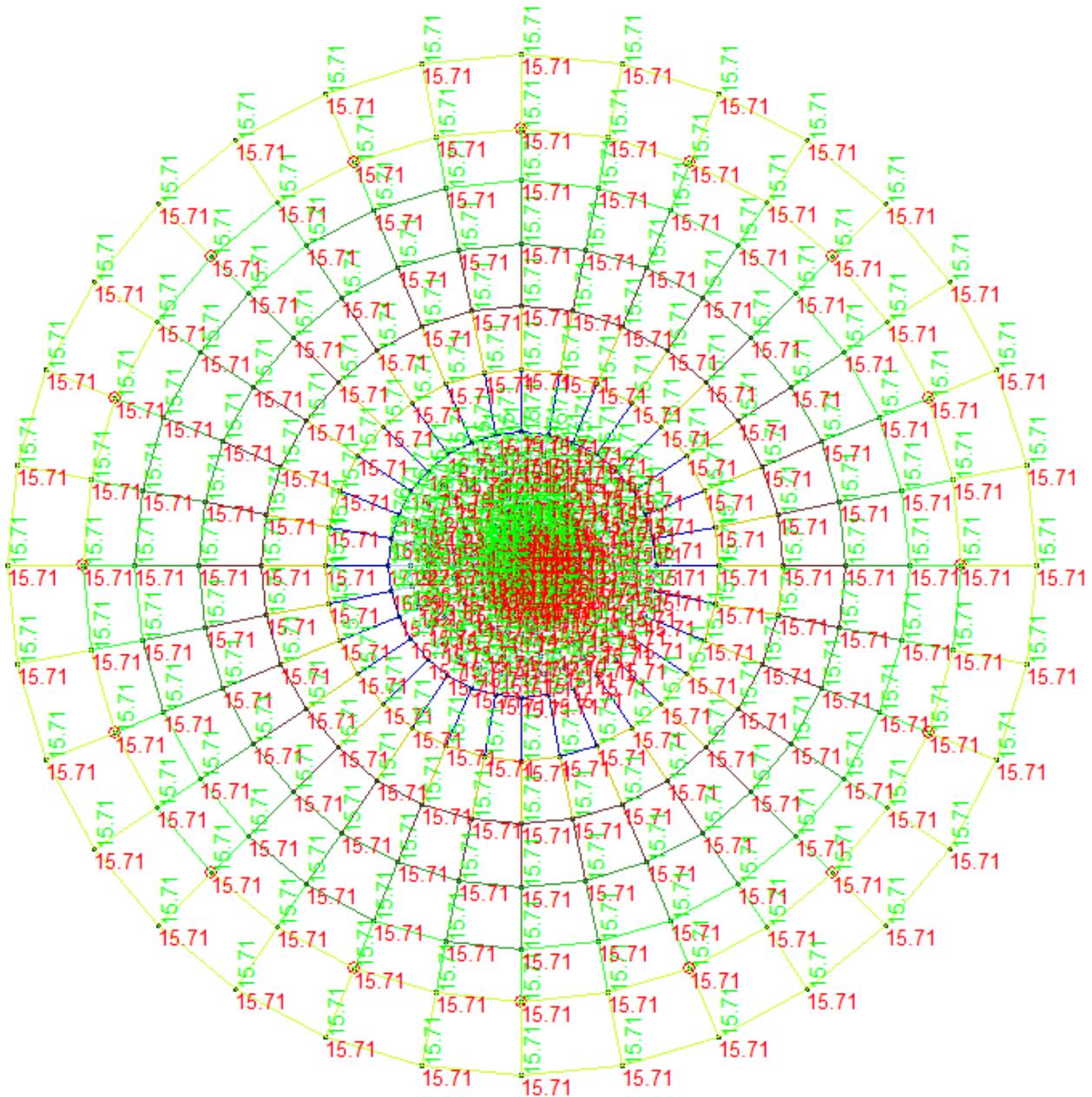


Figura 23: Dettaglio armatura su lato superiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in  $cm^2$  per metro lineare

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>41 di 45</b>

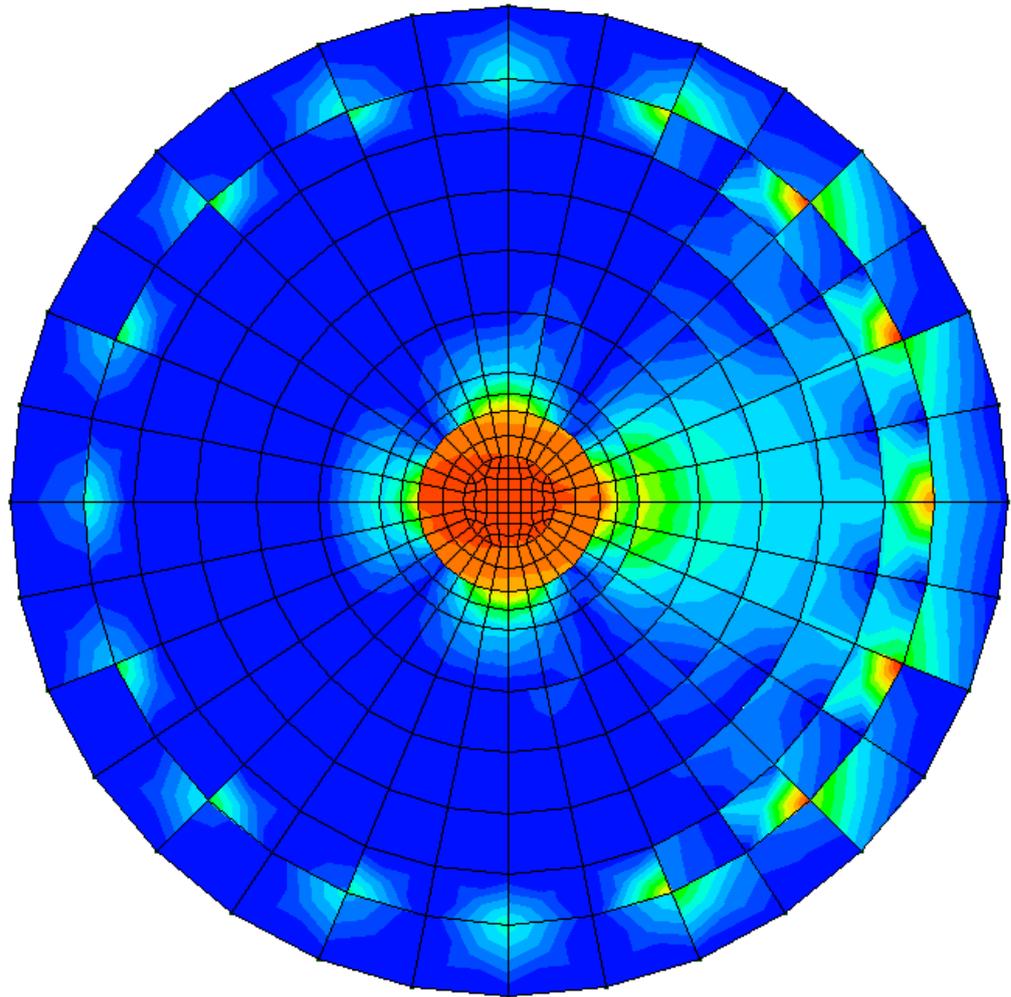
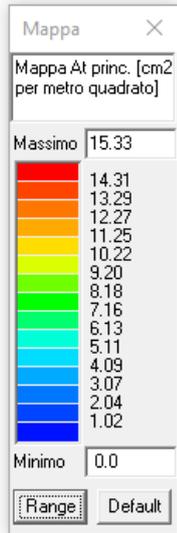


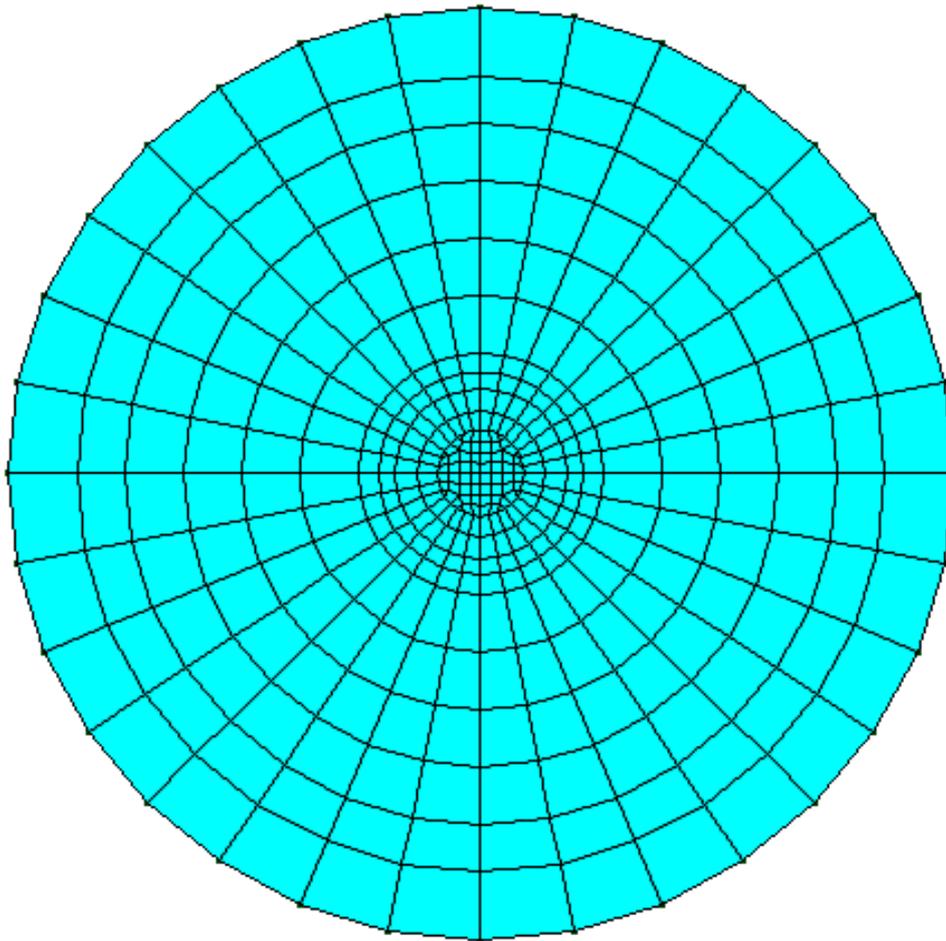
Figura 24: Armatura a taglio. Valori in cm<sup>2</sup> per metro quadro

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>42 di 45</b>

## 16 Sintesi delle verifiche di sicurezza

### 16.1 Verifiche SLU

In azzurro sono rappresentati gli elementi verificati.



*Figura 25: Verifica SLU. In azzurro gli elementi verificati*

<b>AREN Green S.r.l.</b> Impianto Eolico "Borgo Fonte Rosa 2"	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>43 di 45</b>

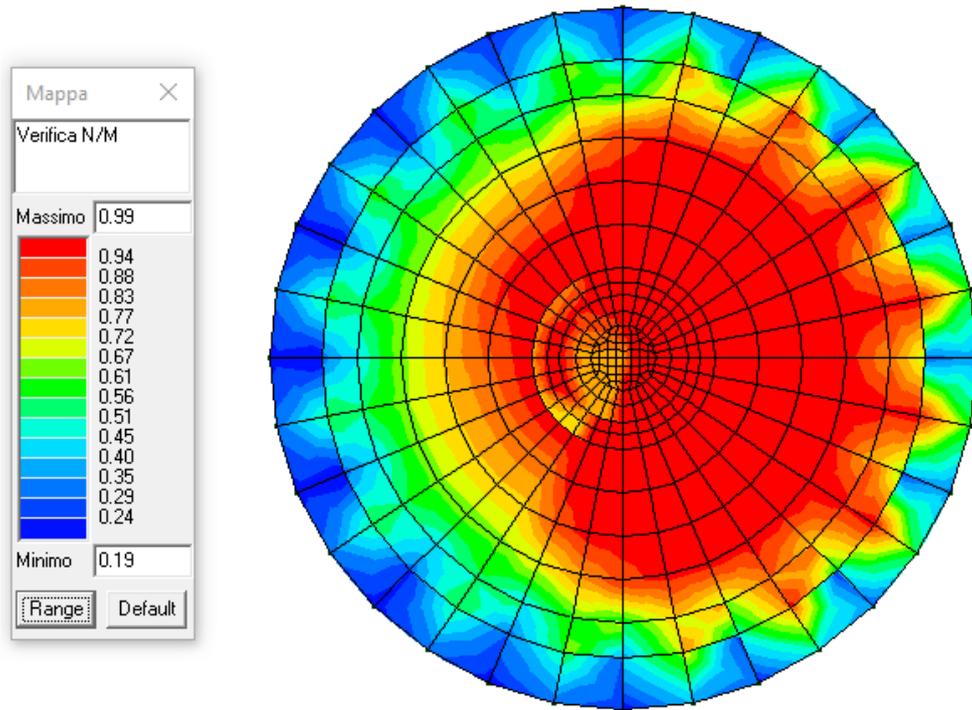


Figura 26: Verifica a pressoflessione N-M SLU (Verificato per valori <1)

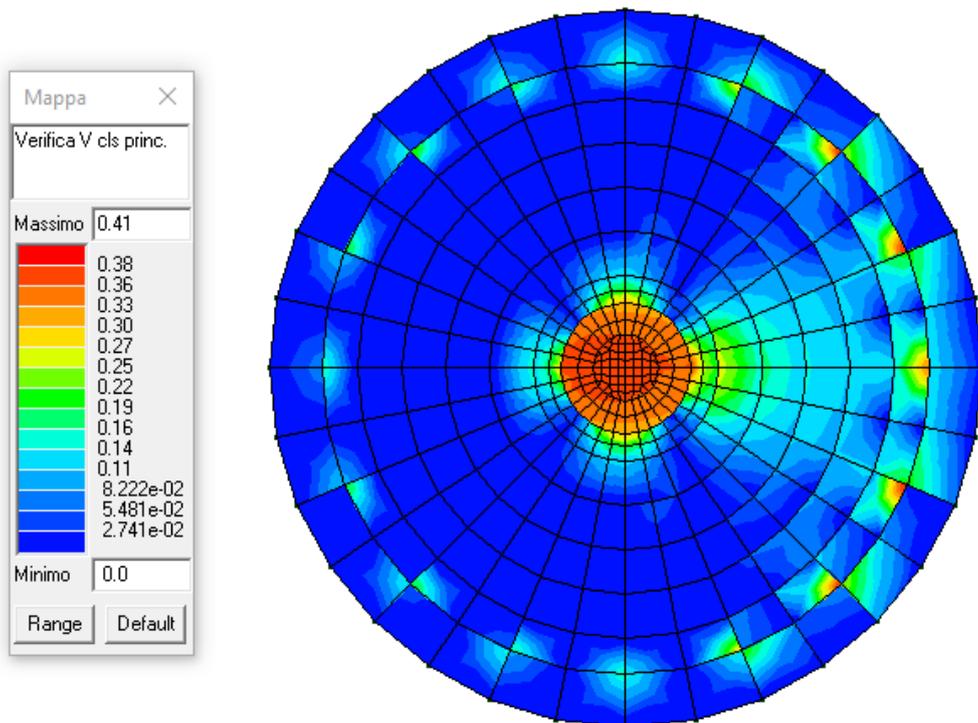
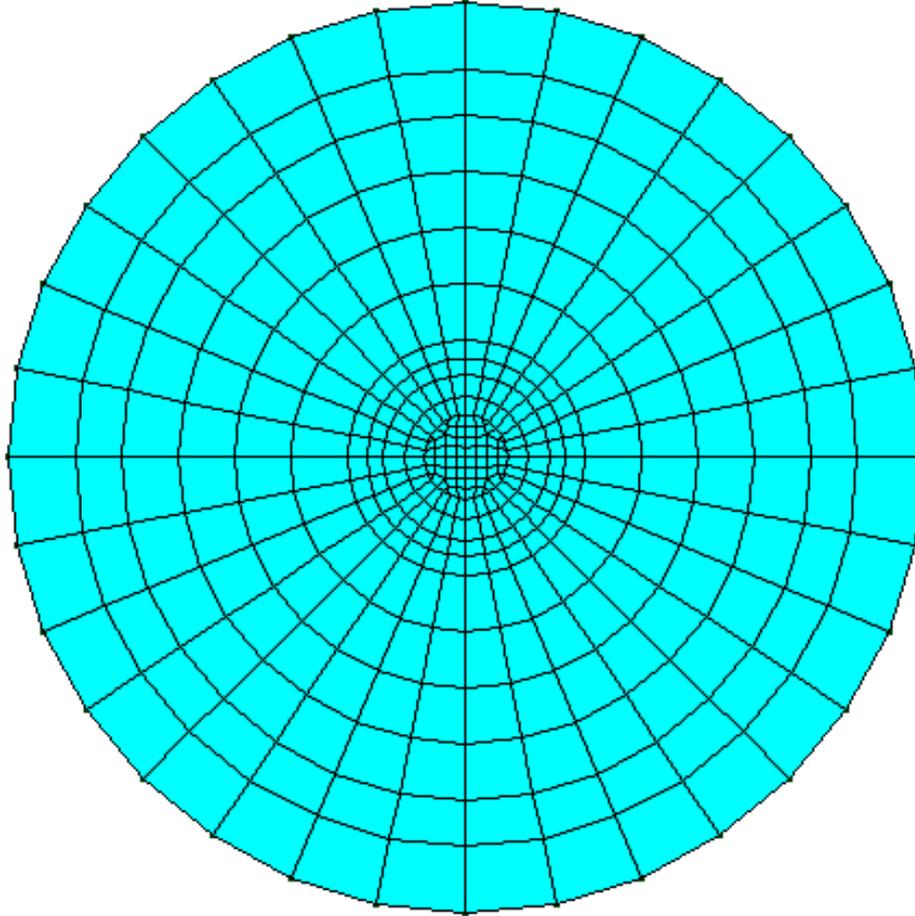


Figura 27: Verifica V CLS principale (verifica per valori <1)

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE</b> <b>STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>44 di 45</b>

## 16.2 Verifiche SLE



*Figura 28: Verifica SLE. In azzurro gli elementi verificati*

<b>AREN Green S.r.l.</b> <b>Impianto Eolico</b> <b>“Borgo Fonte Rosa 2”</b>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Codice Elaborato: <b>BFRDS_F00R00100_00</b>
	<b>RELAZIONE SULLE STRUTTURE</b>	Data: <b>11/12/20223</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>45 di 45</b>

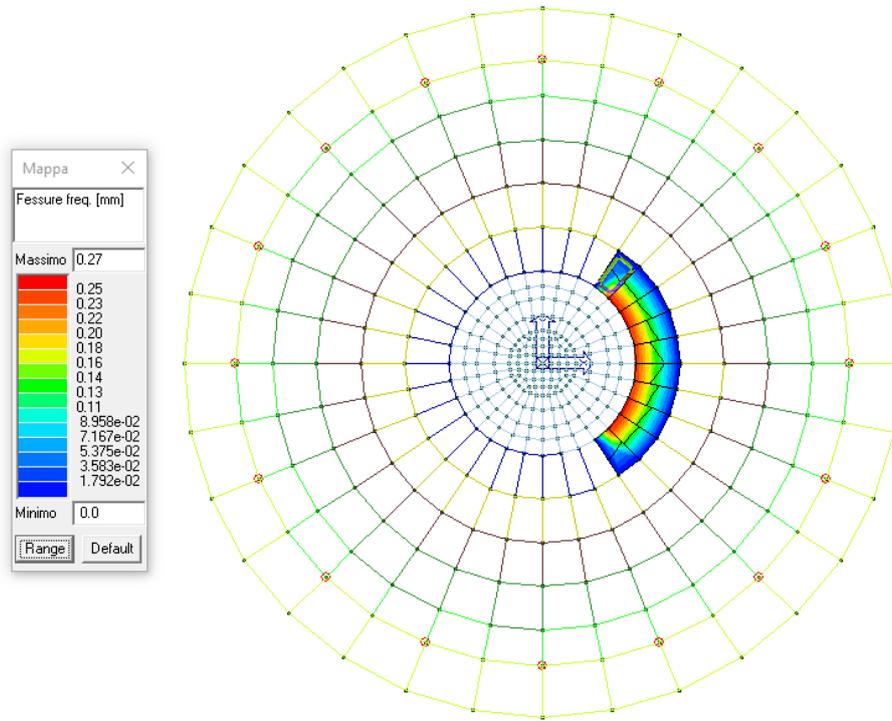


Figura 29: Fessure SLE frequenti. Ampiezza fessure <0,3 mm - Verifica soddisfatta

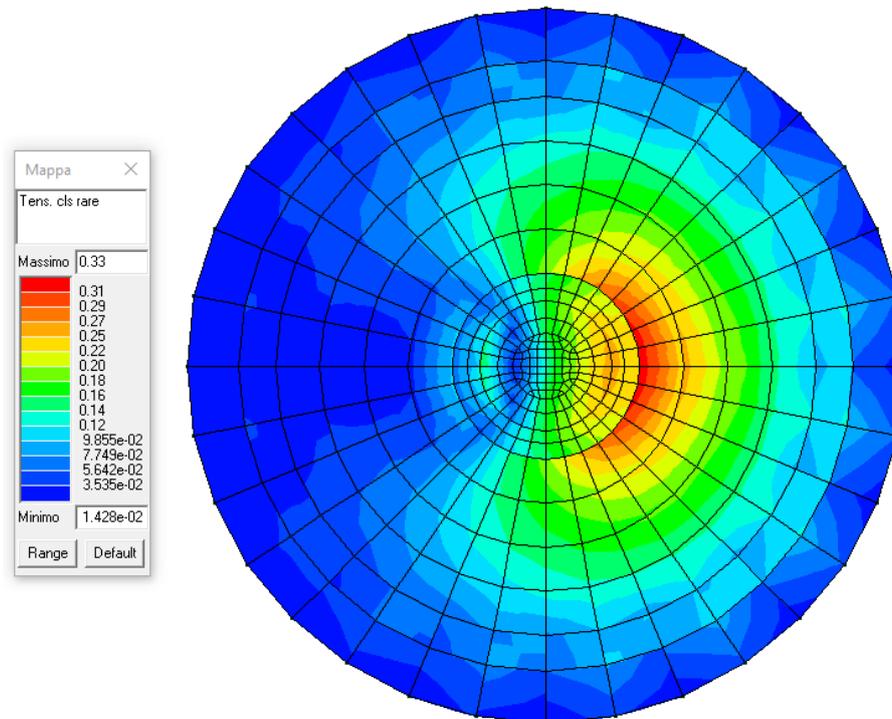


Figura 30: Tensioni CLS SLE rare (verificato per valori <1)