

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 MONTEVERDE E LACEDONIA (AV)
LOCALITA' "MASSERIA SAN FELICE"**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "SAN FELICE"

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:

SAFDS_F00R00100_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	02/08/2023	D.Zampa	S.Ulivi	S.Ulivi
01					
02					
03					
04					

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	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.....	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	Modellazione della fondazione superficiale e profonda.....	19
11	Azioni sulla struttura.....	23
12	Modellazione delle azioni.....	24
12.1	Combinazioni delle azioni.....	24
12.2	Coefficienti adottati.....	25
12.3	Modellazione dei carichi applicati.....	27
12.4	Schematizzazione dei casi di carico.....	28
12.5	Definizione delle combinazioni di carico.....	29
13	Metodo di analisi.....	30
14	Criteri di verifica agli stati limite.....	30

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 42

15	Risultati di calcolo	31
15.1	Deformate	31
15.2	Tensioni	32
15.3	Azioni sui pali	33
16	Armatore minime di progetto	34
17	Sintesi delle verifiche di sicurezza.....	39
17.1	Verifiche SLU	39
17.2	Verifiche SLE	41

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	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 “San Felice”, e sito nei Comuni di Monteverde e Lacedonia (AV) (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. 14 aerogeneratori mod. Vestas V150, ciascuno della potenza di 6.0 MW, per una potenza di immissione complessiva dell'impianto eolico pari a 84.0 MW.

Gli aerogeneratori si trovano nel Comune di Monteverde (AV). Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i Comuni di Monteverde e Lacedonia (AV) e sarà allacciato alla futura Stazione Elettrica Terna denominata “Macchialupo”, 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 Monteverde (AV). Il progetto prevede l'installazione di n.14 aerogeneratori Vestas V150 da 6.0 MW (potenza complessiva = 84.0 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]
SF1	Monteverde	544560	4541514
SF2	Monteverde	545505	4541415
SF3	Monteverde	545011	4541920
SF4	Monteverde	545693	4542130
SF5	Monteverde	544295	4542136
SF6	Monteverde	545258	4542557
SF7	Monteverde	545979	4542687
SF8	Monteverde	545589	4543175
SF9	Monteverde	544018	4542934
SF10	Monteverde	544011	4543676
SF11	Monteverde	544537	4543998
SF12	Monteverde	545110	4544009
SF13	Monteverde	545661	4544285
SF14	Monteverde	545957	4543757
S.U.	Lacedonia	540299	4545852

Tabella 1: Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 42

I 14 aerogeneratori si trovano ubicati, al Catasto terreni, ai seguenti Fogli:

WTG	Comune	Foglio	Particella
SF1	Monteverde	8	55
SF2	Monteverde	8	193
SF3	Monteverde	8	37
SF4	Monteverde	5	430
SF5	Monteverde	4	156
SF6	Monteverde	5	230
SF7	Monteverde	5	363
SF8	Monteverde	5	172
SF9	Monteverde	4	25
SF10	Monteverde	2	293
SF11	Monteverde	2	201
SF12	Monteverde	2	210
SF13	Monteverde	2	203
SF14	Monteverde	5	123
SU	Lacedonia	19	14

Tabella 2: Inquadramento catastale aerogeneratori

L'area interessata dal campo eolico, più nello specifico dagli aerogeneratori, è posta a un'altitudine compresa circa fra 245 e 521 metri s.l.m. Il territorio su cui è collocata la Futura Stazione Elettrica Terna "Macchialupo" (AV) è situato a circa 717 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 “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	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.

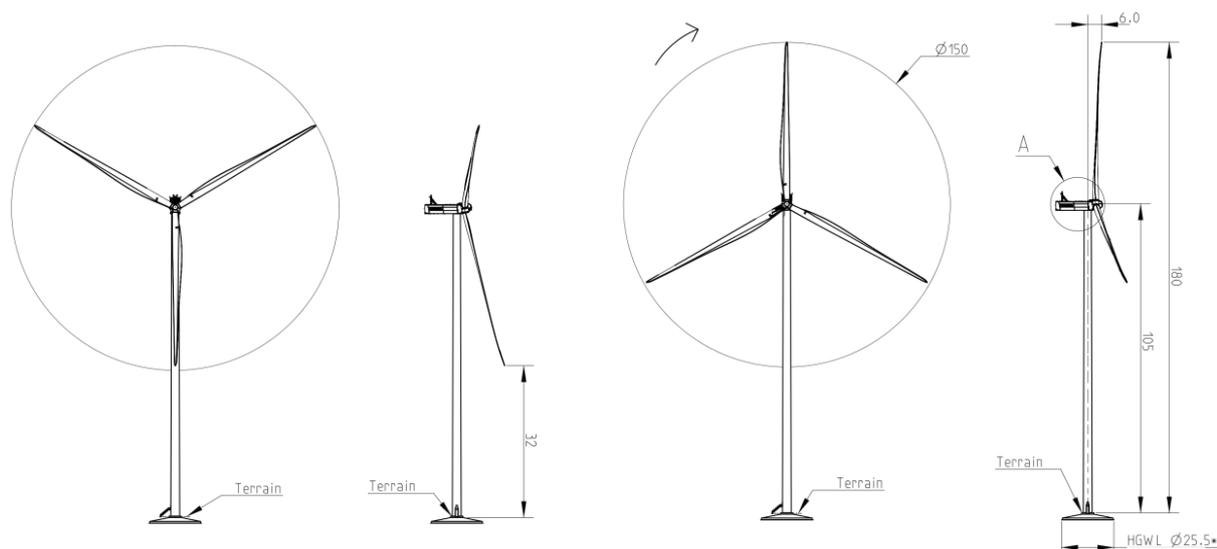


Figura 2: Architettura Aerogeneratore Vestas V150-6.0MW

4 Descrizione generale dell'opera

Il progetto prevede la costruzione di n.14 plinti di fondazione su pali a servizio dell'installazione di n.14 aerogeneratori, identificati nel progetto dell'impianto eolico come “**SF**” 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 "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 6 di 42

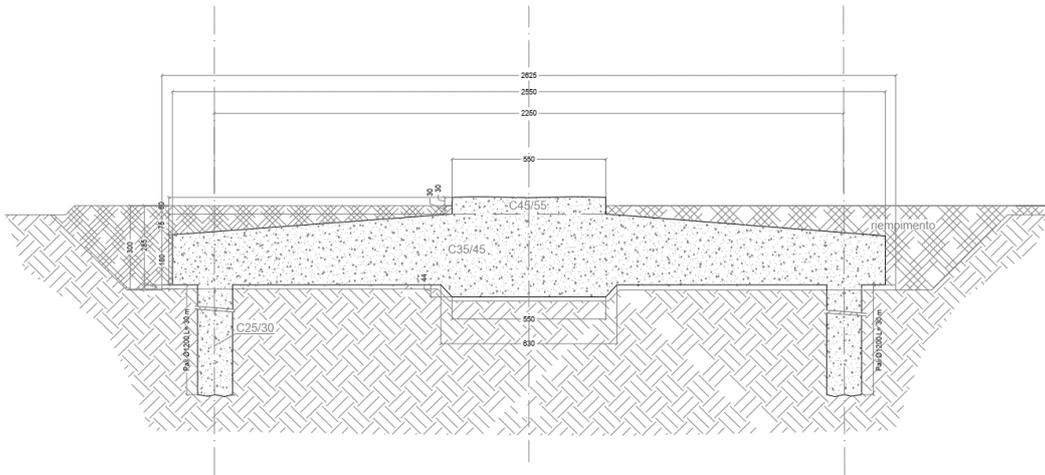


Figura 3: Dettaglio sezione fondazione

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°.

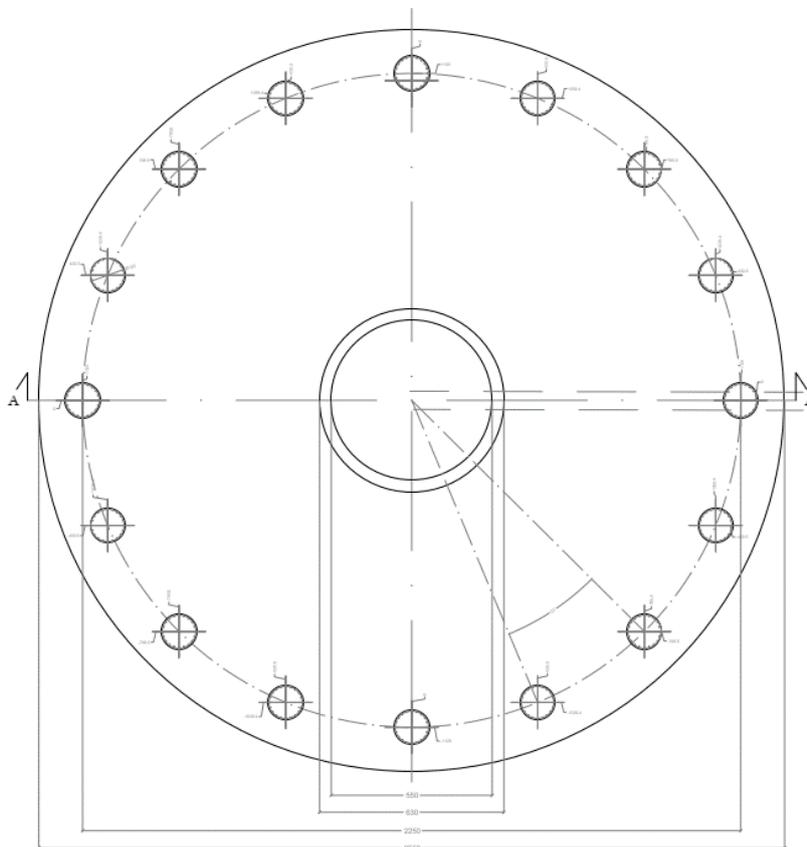


Figura 4: Dettaglio pianta fondazione

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	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: Zone sismicità di base

Il territorio di Monteverde (AV) è individuato in una Zona Sismica “1” descritta come Zona con Alta Pericolosità Sismica, contrassegnata da un valore di “ a_g ” maggiore o uguale a 0,25 g. Il Comune è definito da un'accelerazione orizzontale di picco PGA compresa tra 0,200 e 0,275 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). In base al DGR Campania n.3573 del 05/12/2003 le strutture in oggetto rientrano nella classe d'uso IV;
- Categoria Topografica **T1**;
- Categoria Stratigrafica;
- Coefficiente d'uso C_u pari a **2**;

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 42

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_g ” 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_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).

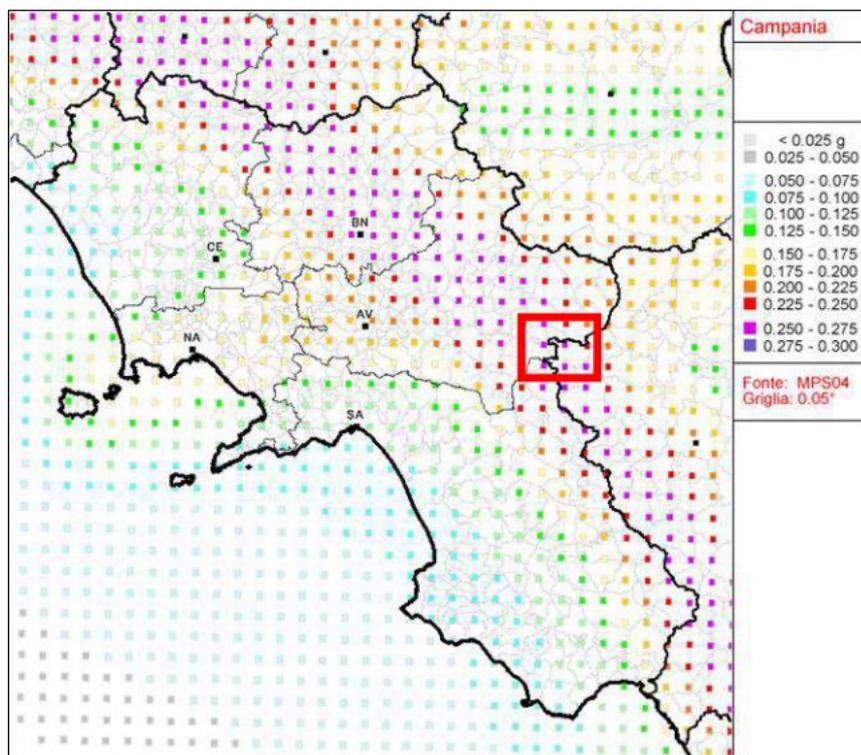


Figura 5: Stralcio mappa Pericolosità sismica Comune di Monteverde (AV)

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 42

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%	60
SLD	63%	101
SLV	10%	949
SLC	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: **SF1**

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente C_u : 2

SF1				
Stato limite	T_R	a_g	F_0	T^*_C
SLO	60	0,073	2,525	0,319
SLD	101	0,097	2,458	0,337
SLV	949	0,285	2,408	0,425
SLC	1950	0,389	2,373	0,442

Tabella 5: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF1

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 42

Aerogeneratore: **SF2**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF2

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,072	2,529	0,319
SLD	101	0,097	2,454	0,337
SLV	949	0,283	2,410	0,425
SLC	1950	0,387	2,374	0,442

Tabella 6: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF2

Aerogeneratore: **SF3**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF3

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,073	2,526	0,319
SLD	101	0,097	2,453	0,337
SLV	949	0,284	2,408	0,425
SLC	1950	0,388	2,372	0,442

Tabella 7: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF3

Aerogeneratore: **SF4**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF4

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,073	2,525	0,319
SLD	101	0,097	2,453	0,337
SLV	949	0,284	2,408	0,425
SLC	1950	0,388	2,371	0,442

Tabella 8: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF4

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 11 di 42

Aerogeneratore: **SF5**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF5

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,073	2,523	0,319
SLD	101	0,097	2,458	0,337
SLV	949	0,285	2,406	0,425
SLC	1950	0,391	2,371	0,442

Tabella 9: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF5

Aerogeneratore: **SF6**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF6

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,072	2,524	0,319
SLD	101	0,097	2,449	0,337
SLV	949	0,283	2,408	0,424
SLC	1950	0,388	2,370	0,441

Tabella 10: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF6

Aerogeneratore: **SF7**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF7

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,072	2,525	0,319
SLD	101	0,097	2,445	0,338
SLV	949	0,282	2,409	0,424
SLC	1950	0,386	2,370	0,441

Tabella 11: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF7

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 12 di 42

Aerogeneratore: **SF8**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF8

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,072	2,523	0,319
SLD	101	0,097	2,445	0,338
SLV	949	0,283	2,408	0,424
SLC	1950	0,388	2,368	0,441

Tabella 12: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF8

Aerogeneratore: **SF9**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF9

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,073	2,520	0,319
SLD	101	0,097	2,455	0,337
SLV	949	0,286	2,405	0,425
SLC	1950	0,391	2,369	0,442

Tabella 13: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF9

Aerogeneratore: **SF10**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF10

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,073	2,519	0,319
SLD	101	0,097	2,451	0,337
SLV	949	0,286	2,404	0,424
SLC	1950	0,392	2,366	0,441

Tabella 14: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF10

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 13 di 42

Aerogeneratore: **SF11**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF11

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,073	2,519	0,319
SLD	101	0,097	2,447	0,337
SLV	949	0,285	2,404	0,424
SLC	1950	0,390	2,366	0,441

Tabella 15: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF11

Aerogeneratore: **SF12**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF12

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,072	2,519	0,319
SLD	101	0,097	2,444	0,338
SLV	949	0,284	2,405	0,424
SLC	1950	0,389	2,366	0,441

Tabella 16: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF12

Aerogeneratore: **SF13**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF13

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,072	2,519	0,319
SLD	101	0,097	2,441	0,338
SLV	949	0,283	2,406	0,423
SLC	1950	0,388	2,365	0,440

Tabella 17: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF13

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 14 di 42

Aerogeneratore: **SF14**
 Categoria sottosuolo: B
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

SF14

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,072	2,521	0,319
SLD	101	0,097	2,441	0,338
SLV	949	0,282	2,407	0,423
SLC	1950	0,387	2,366	0,440

Tabella 18: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore SF14

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, 11, 12, 13 e 14	T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Tabella 19: 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:

AEROGENERATORE	Categoria di suolo	
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14	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 20: Categoria di suolo

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 15 di 42

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}	σ _{c,Rara}	σ _{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 21: 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}	σ _{c,Rara}	σ _{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 22: Caratteristiche meccaniche CLS C25/30

- **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 23: 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:

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 16 di 42

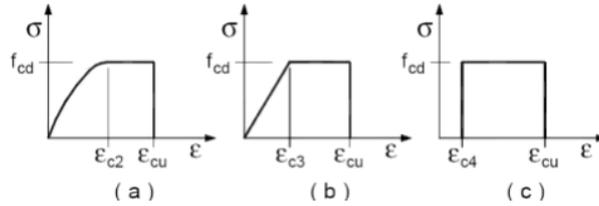


Figura 6: Modello tensione-deformazione per il calcestruzzo

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 24: 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:

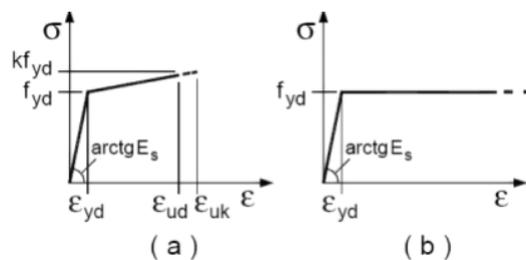


Figura 7: Modello tensione-deformazione per l'acciaio

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 17 di 42

8 Caratterizzazione Geotecnica dell'area

Dalle conoscenze pregresse e dal modello geologico risultante dell'area di studio si è proceduto ad analizzare una serie di indagini eseguite nel corso degli anni in aree limitrofe al sito in esame e su terreni con caratteristiche similari.

Unitamente alle indagini geomeccaniche e geosismiche eseguite precedentemente in zona, hanno evidenziato che 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 i siti degli aerogeneratori SF1 e SF5 e relativi cavidotti:
 - Marne Calceree, Marne ed Argille Siltose (M_m)
- Per i siti degli aerogeneratori SF2, SF3, SF4 e SF7, SF6, SF8, SF9, SF10, SF11, SF12 e relativi cavidotti:
 - Arenarie Quarzose grigio-giallastre (M_{sa})
- Per i siti degli aerogeneratori SF13 e SF14 e relativi cavidotti:
 - Terreno Alluvionale Fluvio-Lacustre e Plaghe di alterazione Eluviale (Q)

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:

- **Marne Calceree, Marne ed Argille Siltose (M_m)**

Argilla alterata	
Spessore considerato	h=2.00 – 4.00 m
γ_n = peso di volume	19.00 - 20.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	18.00° - 20.00°
c' = coesione drenata	0.20 – 0.30 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	0.30 – 0.40 kg/cmq
Ed = modulo edometrico	70.00 – 80.00 kg/cmq

Tabella 25: Caratteristiche del terreno M_m (Argilla alterata)

Argilla non alterata	
Spessore considerato	h=2.00 – 4.00 m
γ_n = peso di volume	19.00 - 20.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	22.00° - 26.00°
c' = coesione drenata	0.30 – 0.50 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	1.00 – 1.20 kg/cmq
Ed = modulo edometrico	100.00 – 120.00 kg/cmq

Tabella 26: Caratteristiche del terreno M_m (Argilla non alterata)

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 18 di 42

- **Arenarie Quarzose grigio-giallastre (M_{sa})**

I valori ripostati di seguito sono validi per litotipi oltre i 3 metri e che presentano un buono stato di addensamento.

γ_n = peso di volume	18.00 - 19.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	30.00° - 40.00°
c' = coesione drenata	0.00 – 0.10 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	0.30 – 0.40 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	700.00 – 800.00 kg/cmq

Tabella 27: Caratteristiche del terreno M_{sa}

- **Terreno Alluvionale Fluvio-Lacustre e Plaghe di alterazione Eluviale (Q_t)**

I valori ripostati di seguito sono validi per litotipi oltre i 3 metri e che presentano un buono stato di addensamento.

γ_n = peso di volume	18.00 - 19.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	30.00° - 40.00°
c' = coesione drenata	0.00 – 0.00 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	600.00 – 700.00 kg/cmq

Tabella 28: Caratteristiche del terreno Q_t

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.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 19 di 42

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 Vestas 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 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 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.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 20 di 42

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.

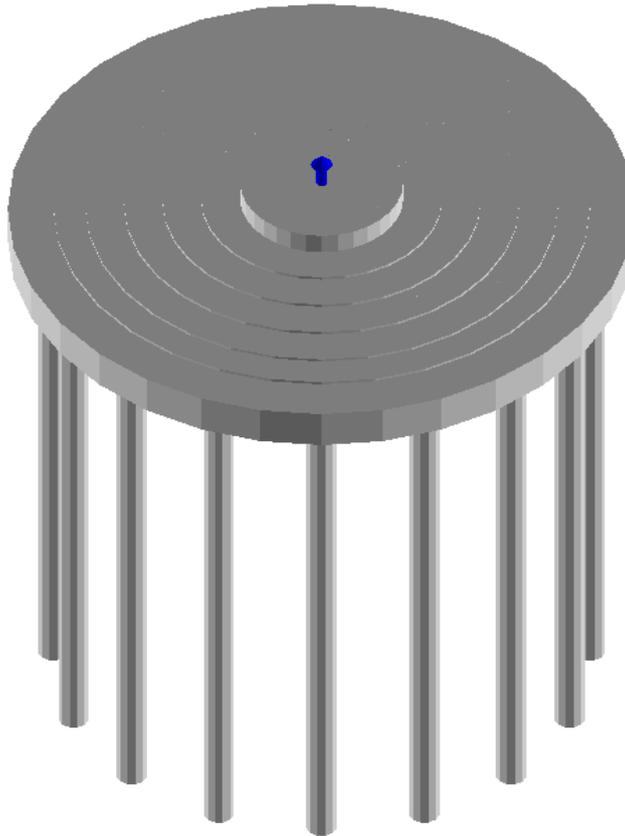


Figura 8: Vista solida elemento di fondazione

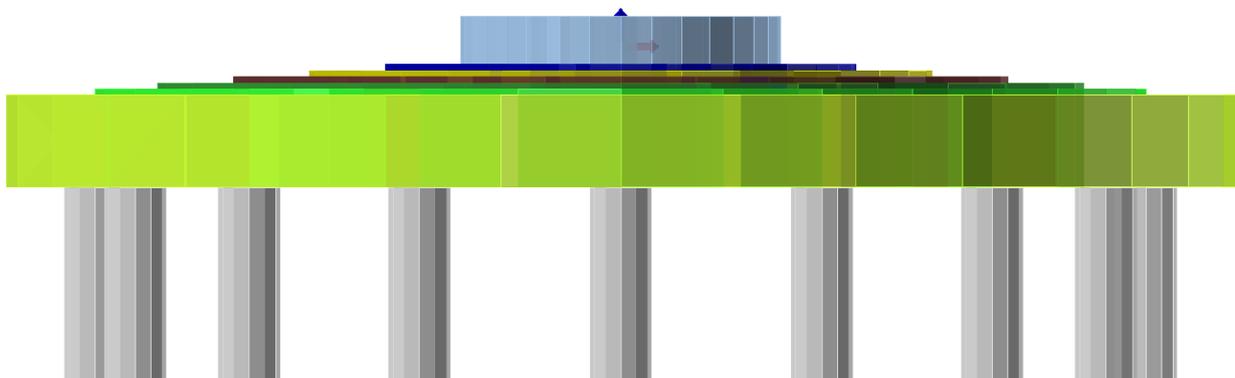


Figura 9: Vista solida laterale

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 21 di 42

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

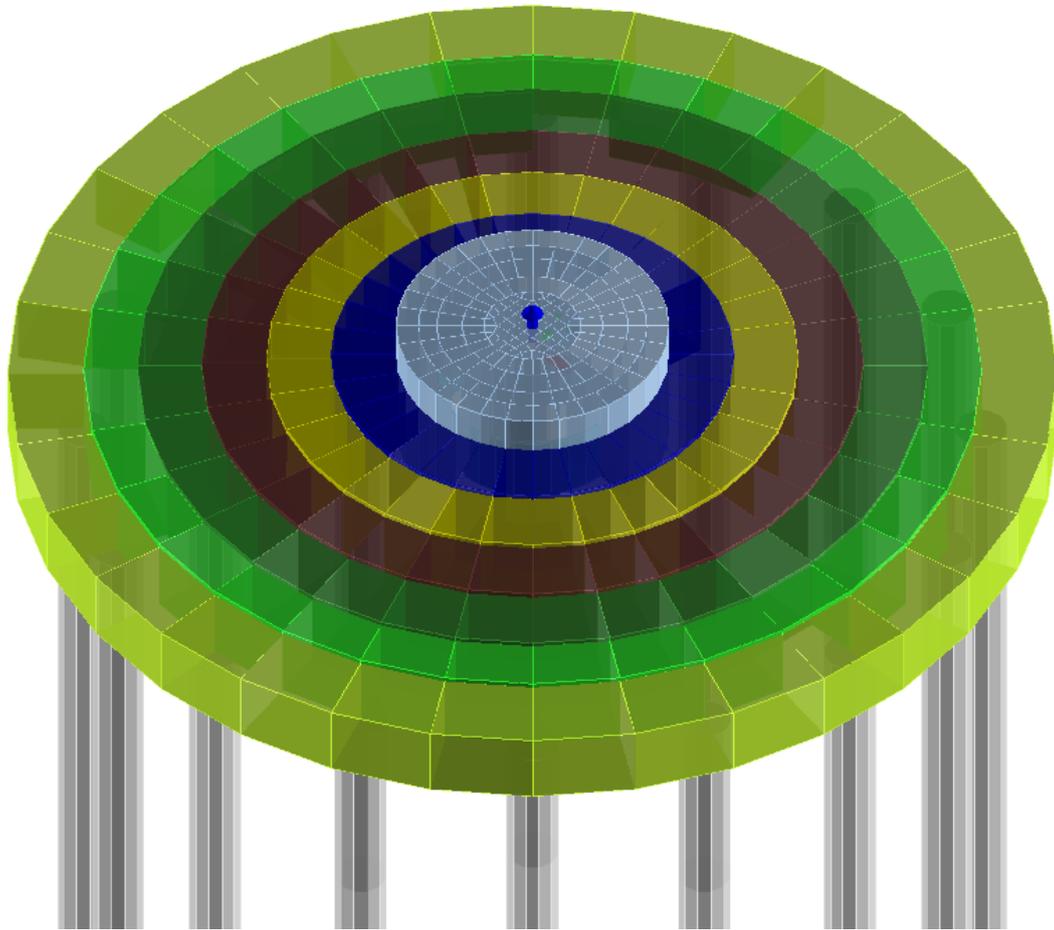


Figura 10: Vista solida. Distinzione degli spessori

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 22 di 42

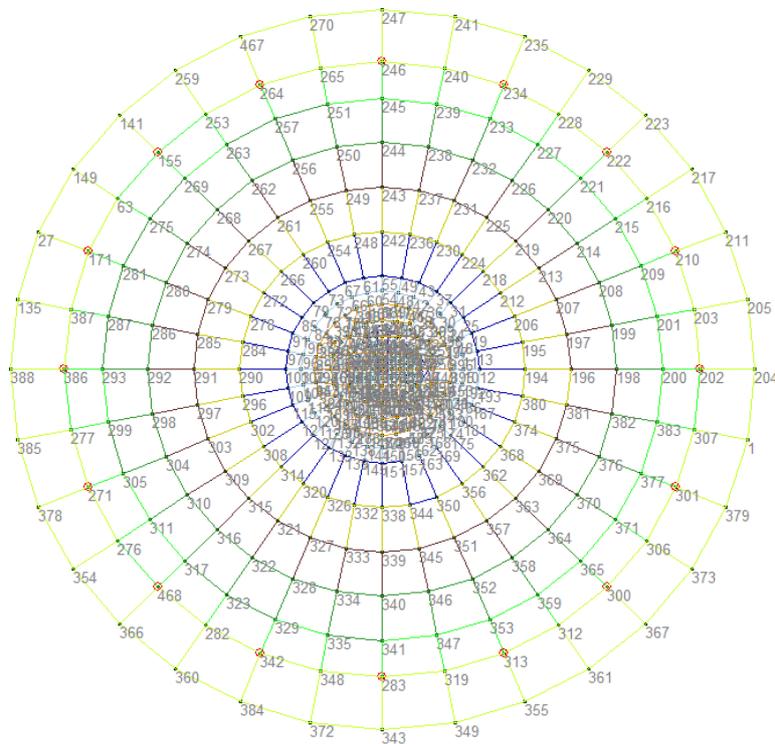


Figura 11: Nodi della struttura

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_{Do}: 0.0 K_{zo}: 0.0 K_v (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"

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 23 di 42

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.

I carichi della struttura in elevazione sono forniti dalla società produttrice degli aerogeneratori Vestas, calcolati sulla base delle caratteristiche geografiche del sito di riferimento e dei parametri sismici di progetto.

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 29: 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 in Figura .

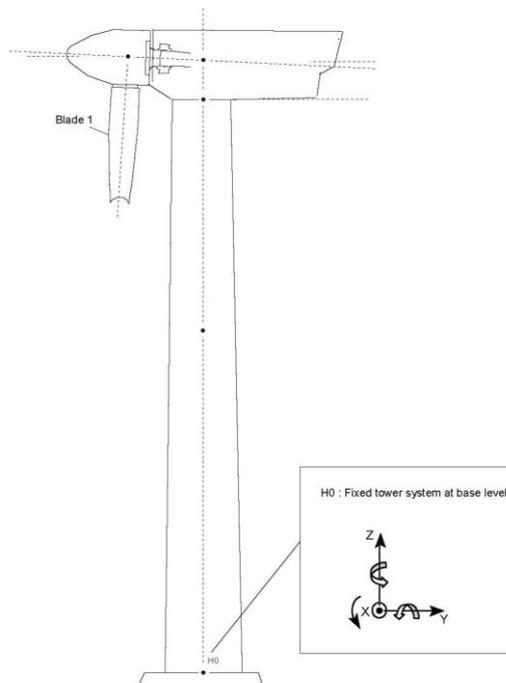


Figura 13: Sistema di riferimento per i carichi applicati

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 24 di 42

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

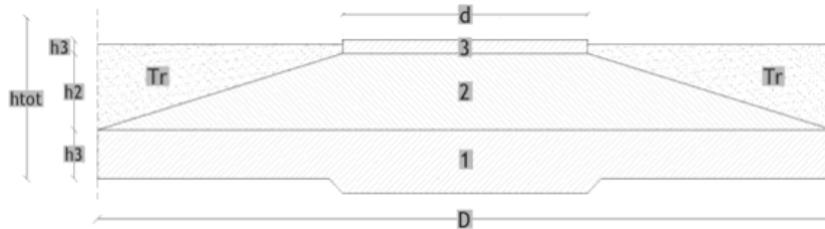


Figura 14: Modello di calcolo fondazione

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 γ_{sat} del primo strato desunto dalla relazione geologica.

12 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.

12.1 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**
 $\gamma G1 \cdot G1 + \gamma G2 \cdot G2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q1 \cdot Qk1 + \gamma Q2 \cdot \psi 02 \cdot Qk2 + \gamma Q3 \cdot \psi 03 \cdot Qk3 + \dots$
- **Combinazione caratteristica (rara) SLE**
 $G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \cdot Qk2 + \psi 03 \cdot Qk3 + \dots$
- **Combinazione frequente SLE**
 $G1 + G2 + P + \psi 11 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \psi 23 \cdot Qk3 + \dots$
- **Combinazione quasi permanente SLE**
 $G1 + G2 + P + \psi 21 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \psi 23 \cdot Qk3 + \dots$
- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 25 di 42

$$E + G1 + G2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

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 30: 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).

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

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_f			
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 31: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

12.2 Coefficienti adottati

Per quanto riguarda le azioni esterne fornite dal produttore Vestas, 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.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 26 di 42

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:

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

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

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

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

⁽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 32: Valori dei coefficienti di combinazione

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 33: 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 34: Fattori di combinazione delle azioni allo SLU e SLE

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 27 di 42

Sulla base dei valori forniti dalla Vestas, 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 35: Combinazioni Vento estremo

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

12.3 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	Variatione 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	Variatione 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, interesse tra i carichi)

Tabella 36: Tipologia di carico applicato

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 28 di 42

12.4 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:

	<i>Sigla</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Descrizione</i>
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
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 37: 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.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 29 di 42

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
			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 Pres	Azioni applicate:
5	Qk	CDC=Qk Azione Vento Mres	Azioni applicate:
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 38: Casi di carico agenti

12.5 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 39: Combinazioni di carico agli stati limite

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 30 di 42

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 40: Coefficienti delle combinazioni di carico

13 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.

14 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:

$$F_d = \gamma_F F_k$$

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.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 31 di 42

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:

$$C_d \geq E_d$$

15 Risultati di calcolo

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

15.1 Deformate

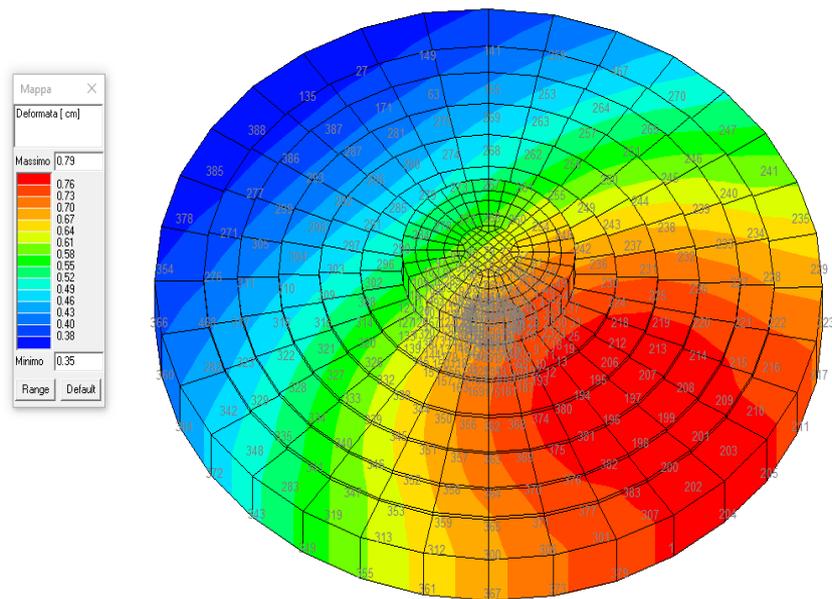


Figura 15: Deformata per Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 32 di 42

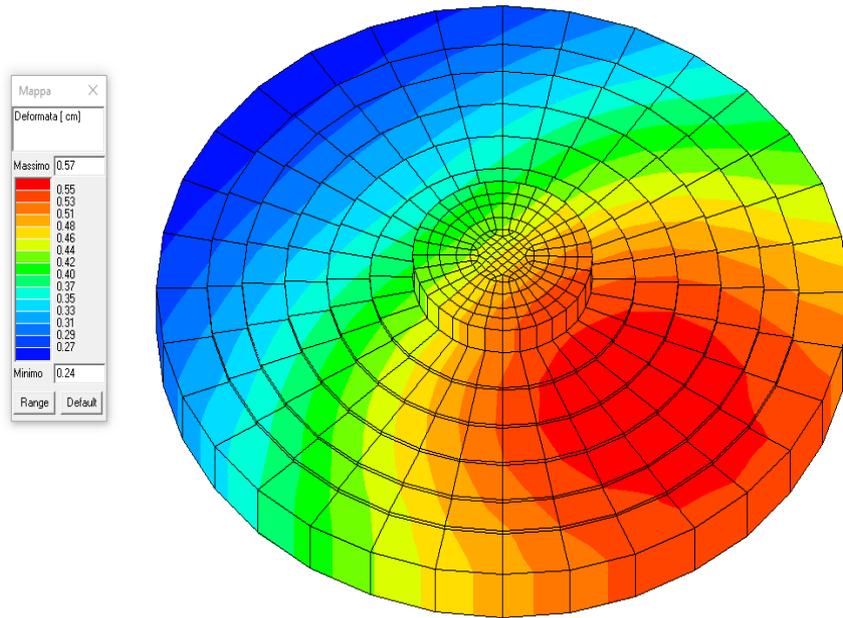


Figura 16: Deformata massima Combinazione SLE

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

15.2 Tensioni

Tensioni totali secondo Von Mises.

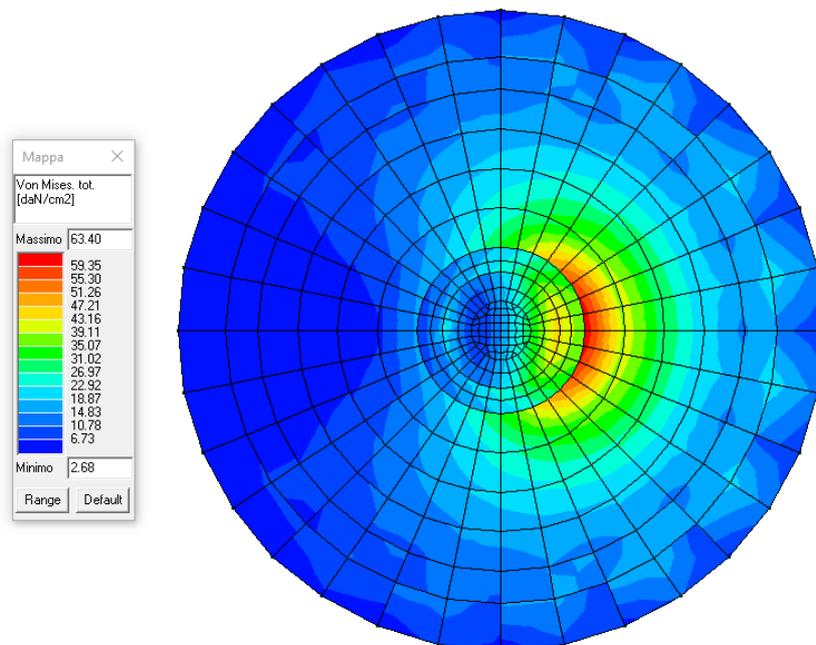


Figura 17: Tensioni totali Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 33 di 42

15.3 Azioni sui pali

Massime azioni agenti sui vincoli allo stato limite ultimo SLU.

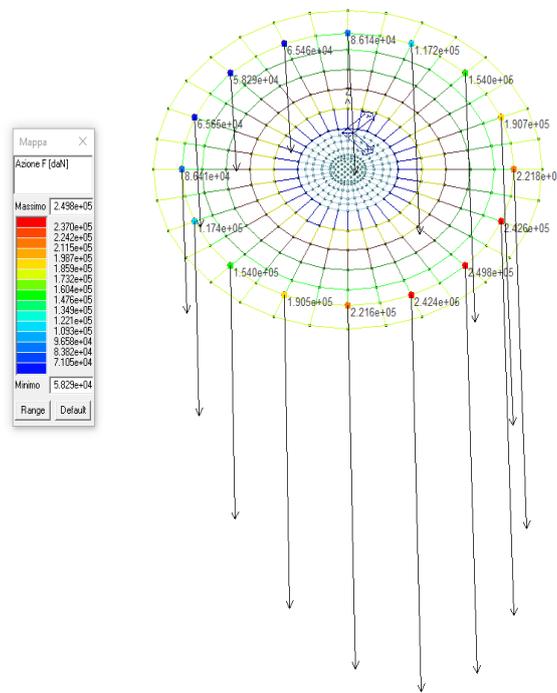


Figura 18: Azioni F massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

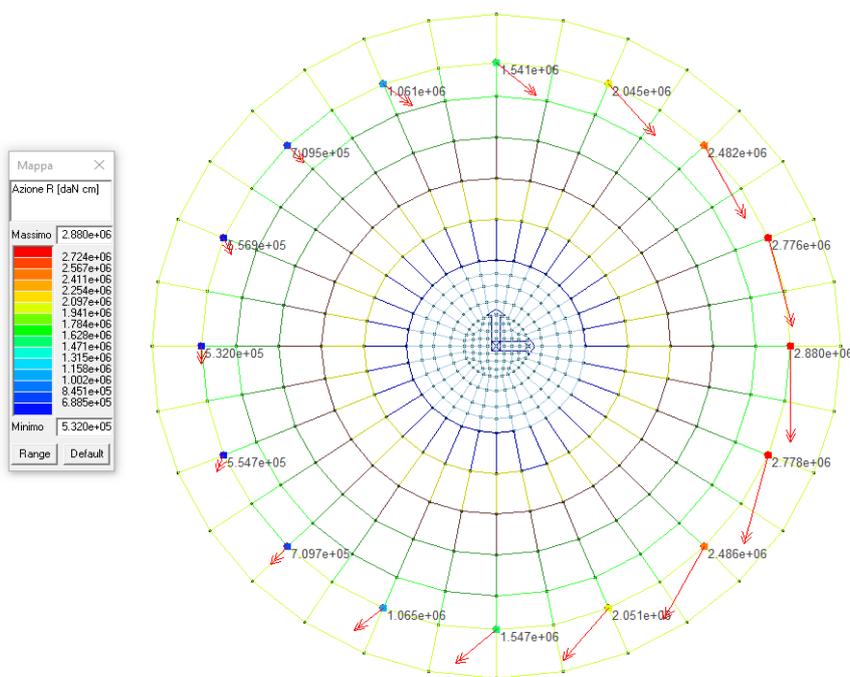


Figura 20: Azioni R massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 34 di 42

16 Armature minime di progetto

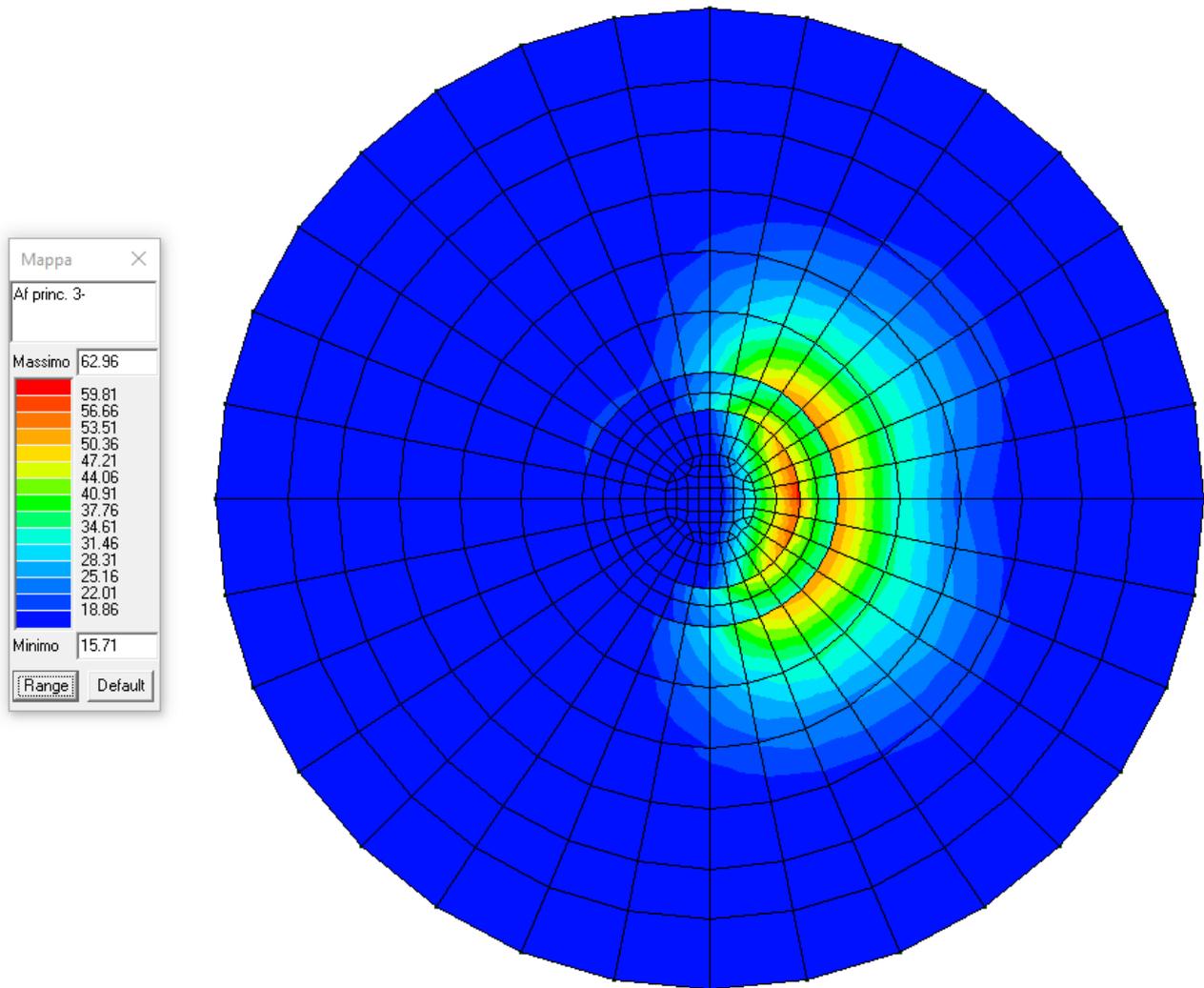


Figura 19: Armatura principale su plinto lato inferiore. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 36 di 42

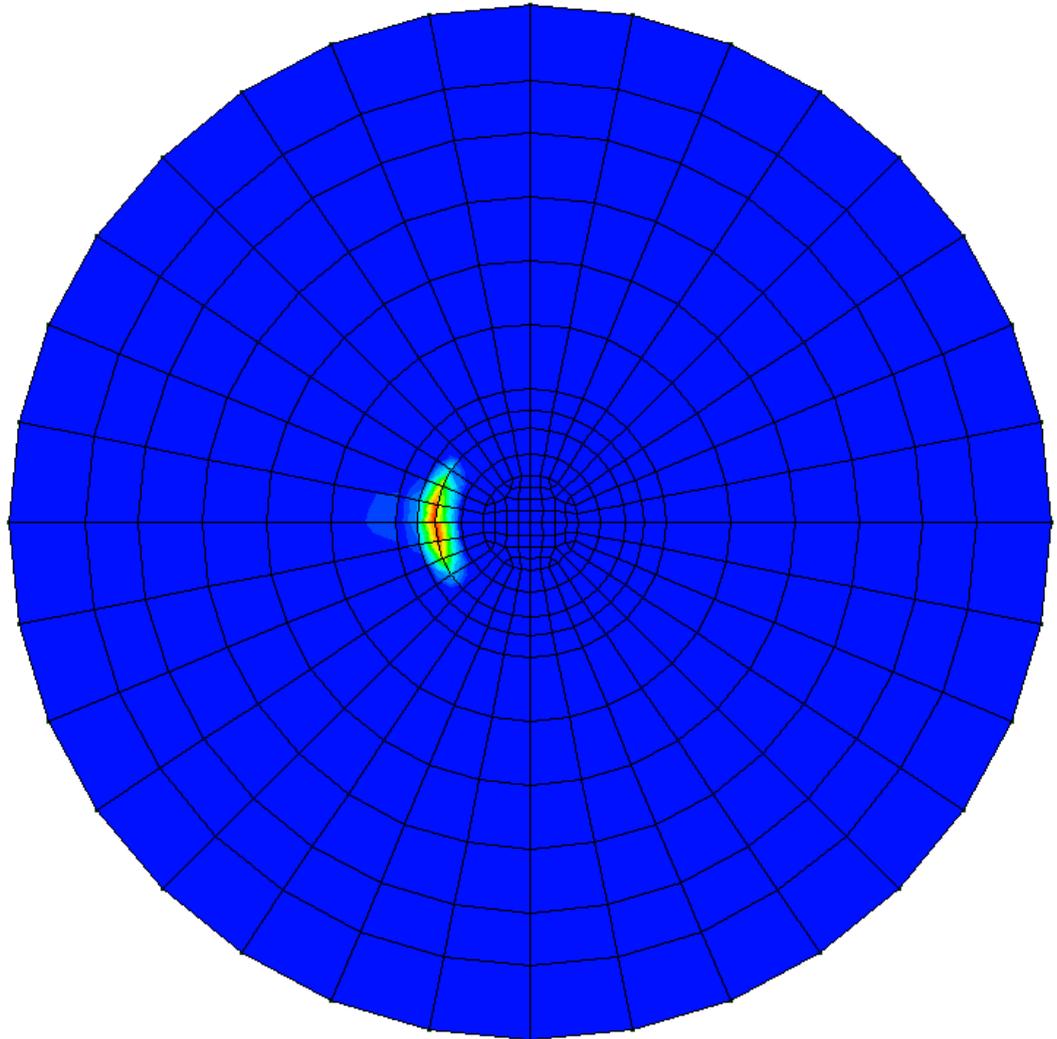
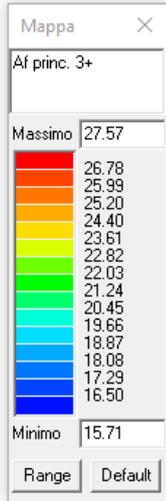


Figura 21: Armatura su plinto lato superiore. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 37 di 42

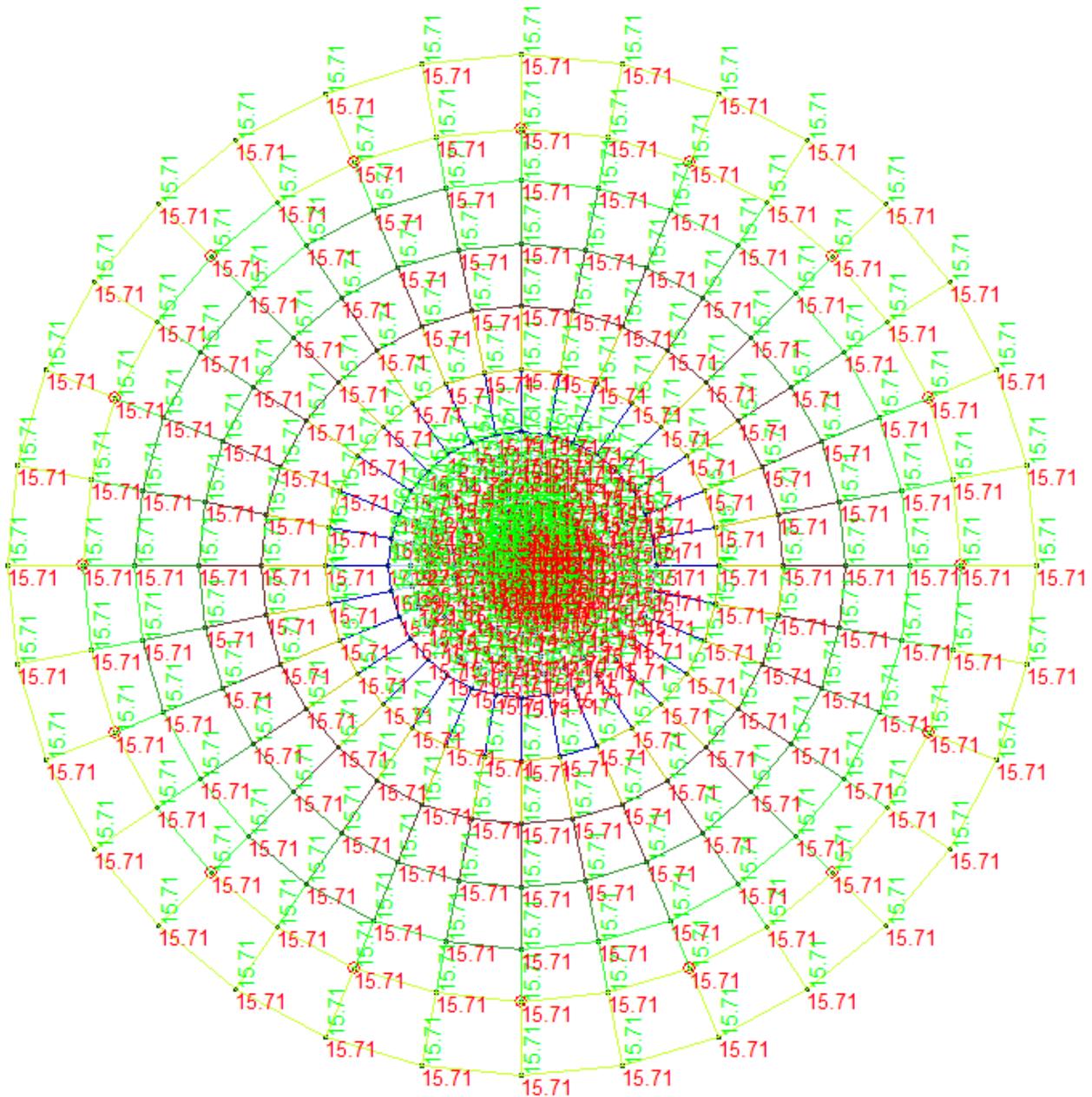


Figura 22: Dettaglio armatura su lato superiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 38 di 42

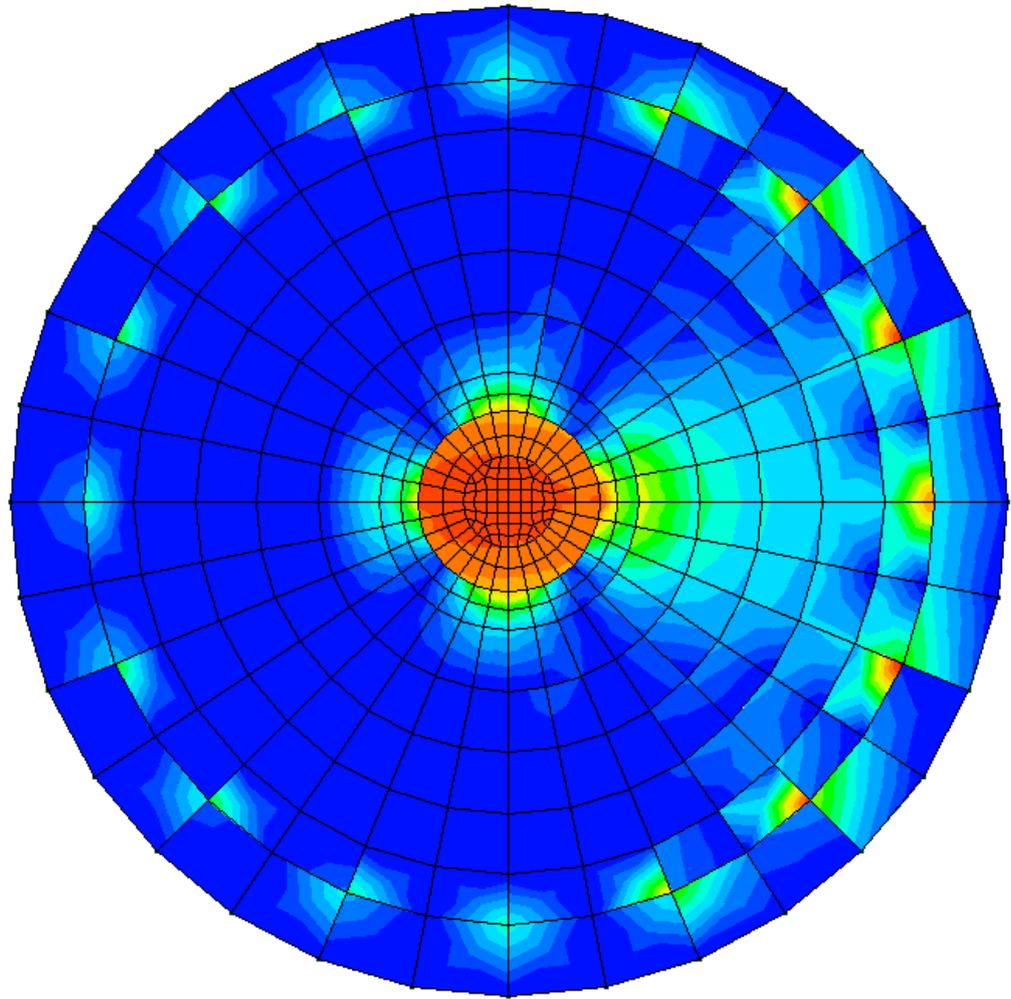
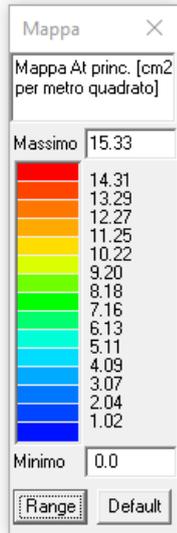


Figura 23: Armatura a taglio. Valori in cm² per metro quadro

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 39 di 42

17 Sintesi delle verifiche di sicurezza

17.1 Verifiche SLU

In azzurro sono rappresentati gli elementi verificati.

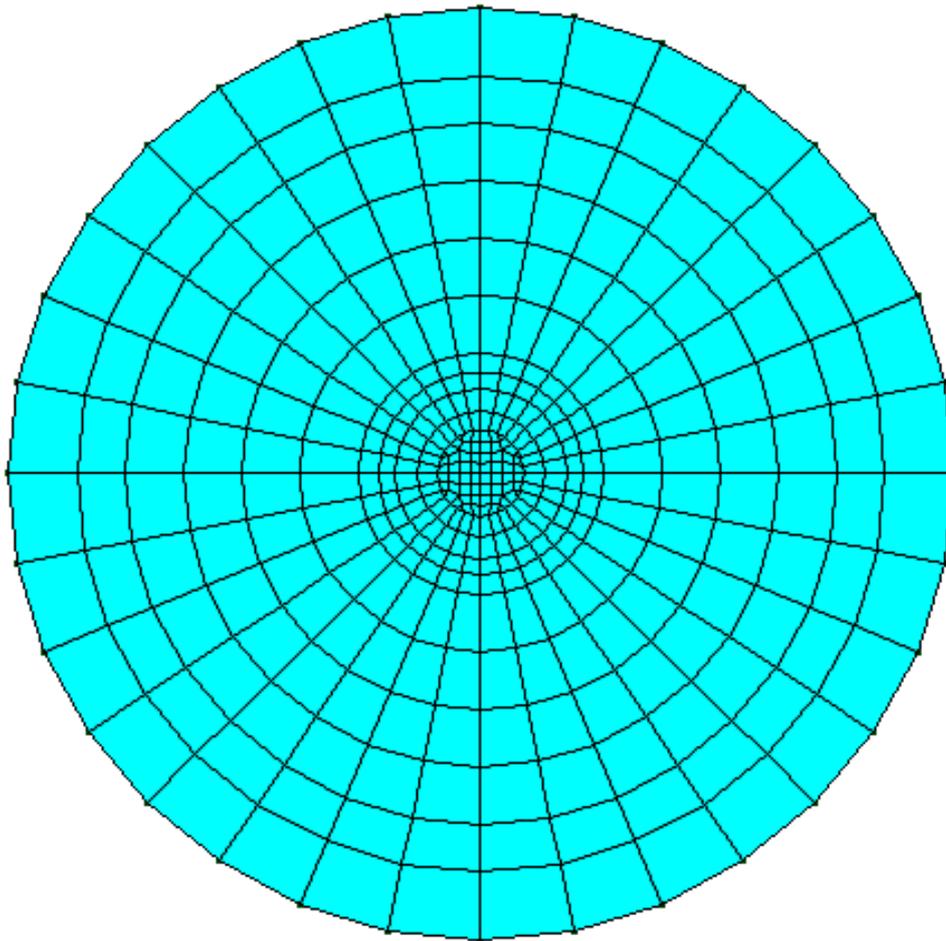


Figura 24: Verifica SLU. In azzurro gli elementi verificati

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
		Data: 02/08/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 40 di 42

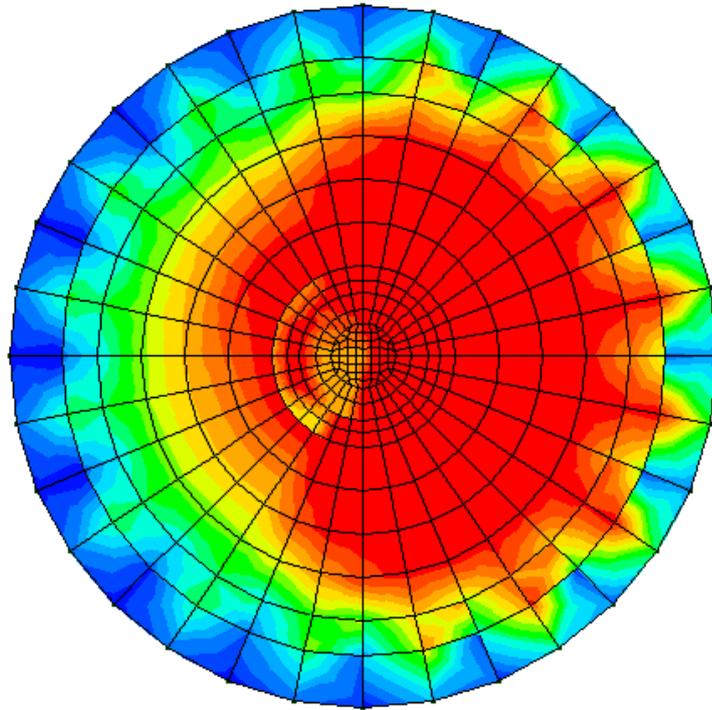
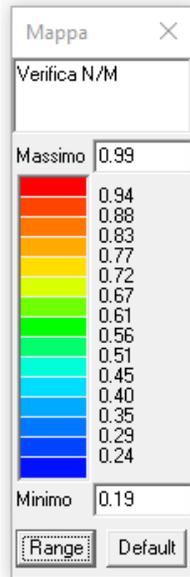


Figura 25: Verifica a pressoflessione N-M SLU (Verificato per valori <1)

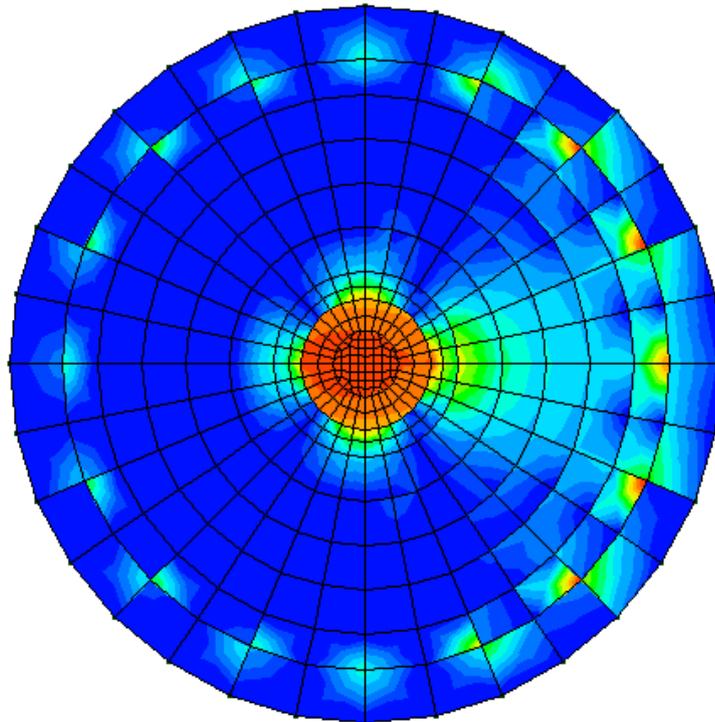
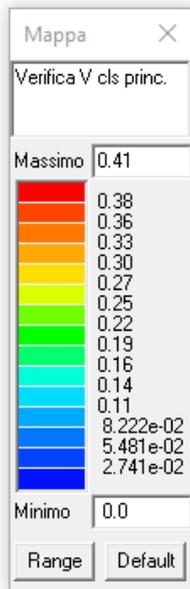


Figura 26: Verifica V CLS principale (verifica per valori <1)

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “San Felice”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 41 di 42

17.2 Verifiche SLE

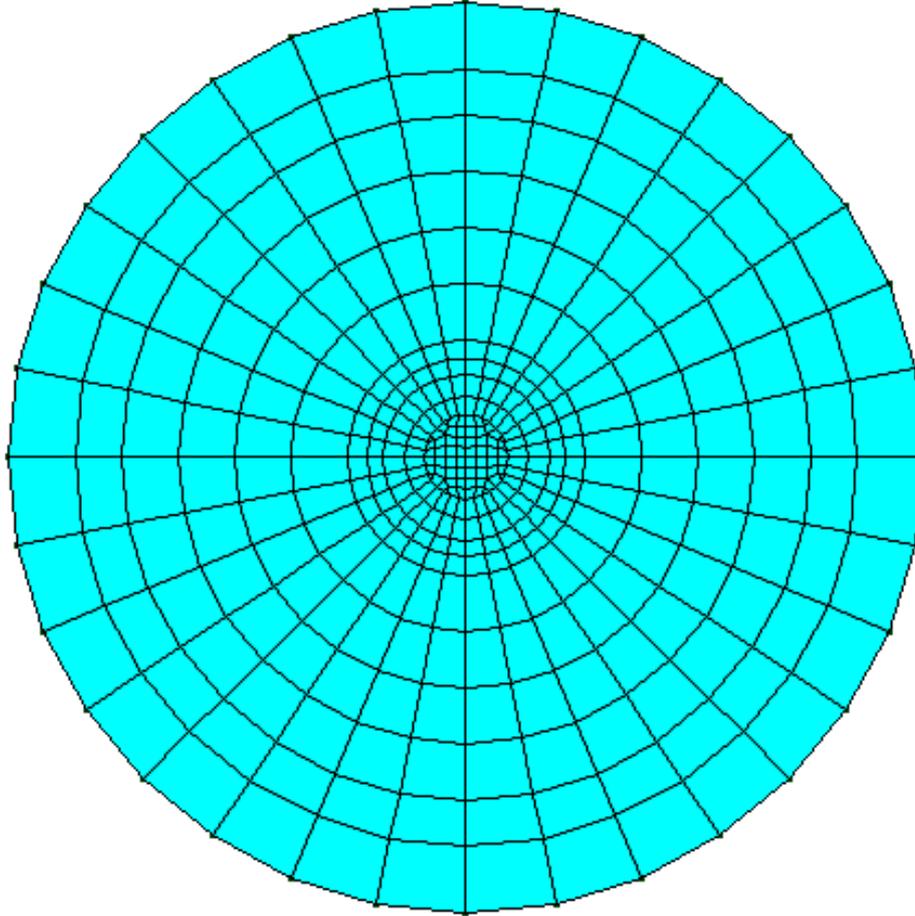


Figura 27: Verifica SLE. In azzurro gli elementi verificati

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "San Felice"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: SAFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 02/08/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 42 di 42

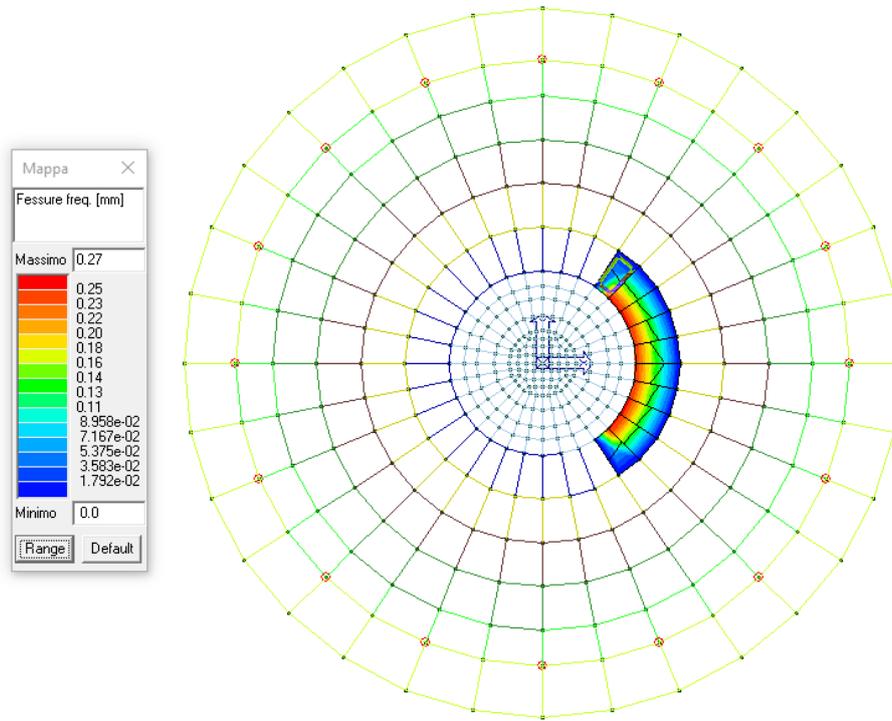


Figura 28: Fessure SLE frequenti. Ampiezza fessure <0,3 mm - Verifica soddisfatta

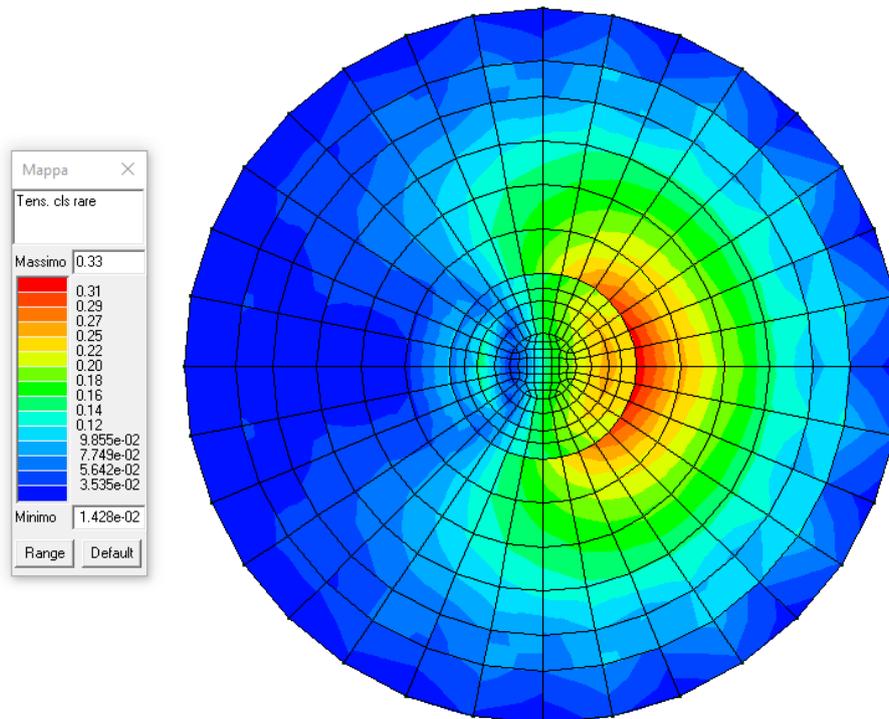


Figura 29: Tensioni CLS SLE rare (verificato per valori <1)