

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 FORENZA E PALAZZO SAN GERVASIO (PZ)
LOCALITA' "TUFAROLI"**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "TUFAROLI"

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:

TUFDS_F00R00100_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	09/11/2023	D.Zampa	S.Ulivi	S.Ulivi
01					
02					
03					
04					

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 46

Sommario

1	Premessa.....	3
2	Inquadramento del progetto.....	3
3	Tipologia di intervento.....	5
4	Descrizione generale dell’opera.....	5
5	Normative di riferimento.....	7
6	Caratterizzazione sismica dell’area.....	7
6.1	Periodo di riferimento dell’azione sismica di base.....	8
6.2	Pericolosità sismica di base.....	8
6.3	Azione sismica di base.....	9
6.3.1	Parametri sismici aerogeneratori.....	10
6.4	Risposta Sismica Locale.....	13
6.4.1	Amplificazione Topografica.....	13
6.4.2	Amplificazione Stratigrafica.....	13
7	Materiali Impiegati.....	14
7.1	Calcestruzzo.....	14
7.2	Acciaio per il Calcestruzzo.....	15
8	Caratterizzazione Geotecnica dell’area.....	16
8.1	Parametri geotecnici.....	17
9	Metodo di calcolo.....	19
9.1	Modello numero.....	19
10	Modellazione della struttura.....	19
10.1	Criteri principali di modellazione.....	19
10.2	Vincoli strutturali.....	20
10.3	Principali combinazioni delle azioni.....	20
10.4	Metodo di analisi.....	20
10.5	Criteri di verifica agli stati limite indagati.....	22
10.6	Modellazione della fondazione superficiale e profonda.....	22
10.7	Modellazione dei vincoli interni ed esterni.....	26
11	Azioni sulla struttura.....	26
11.1	Modellazione delle azioni.....	28
11.2	Combinazioni delle azioni.....	28
11.3	Coefficienti adottati.....	29
11.4	Modellazione dei carichi applicati.....	31

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 46

11.5	Schematizzazione dei casi di carico	31
11.6	Definizione delle combinazioni di carico	33
11.7	Informazioni su copriferro e ricoprimento delle armature	34
12	Metodo di analisi	34
13	Criteri di verifica agli stati limite	34
14	Risultati di calcolo	35
14.1	Deformate	35
14.2	Tensioni	36
14.3	Azioni sui pali	37
15	Armature minime di progetto	38
16	Sintesi delle verifiche di sicurezza	43
16.1	Verifiche SLU	43
16.2	Verifiche SLE	45

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 46

1 Premessa

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Tufaroli”, e sito nei Comuni di Forenza e Palazzo San Gervasio (PZ) (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. Vestas V150, ciascuno della potenza di 6.0 MW, per una potenza di immissione complessiva dell'impianto eolico pari a 60.0 MW.

Gli aerogeneratori si trovano nel Comune di Forenza (PZ). Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i Comuni di Forenza e Palazzo San Gervasio (PZ) e sarà allacciato alla futura Stazione Elettrica Terna denominata “Palazzo San Gervasio”, 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 Forenza (PZ). Il progetto prevede l'installazione di n.10 aerogeneratori Vestas V150 da 6.0 MW (potenza complessiva = 60.0 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]
TU1	Forenza	570500	4526780
TU2	Forenza	570721	4525822
TU3	Forenza	571341	4524997
TU4	Forenza	571774	4525669
TU5	Forenza	572448	4524903
TU6	Forenza	573480	4525559
TU7	Forenza	574158	4525765
TU8	Forenza	574602	4526207
TU9	Forenza	574529	4527132
TU10	Forenza	575084	4527089

Tabella 1: Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 46

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

WTG	Comune	Foglio
TU1	Forenza	5
TU2	Forenza	16
TU3	Forenza	28
TU4	Forenza	28
TU5	Forenza	29
TU6	Forenza	30
TU7	Forenza	22
TU8	Forenza	22
TU9	Forenza	21
TU10	Forenza	21

Tabella 2: Inquadramento catastale aerogeneratori

L'area interessata dal campo eolico, più nello specifico dagli aerogeneratori, è posta a un'altitudine compresa circa fra 500 e 750 metri s.l.m. Nella seguente figura è riportato un inquadramento territoriale del parco eolico.

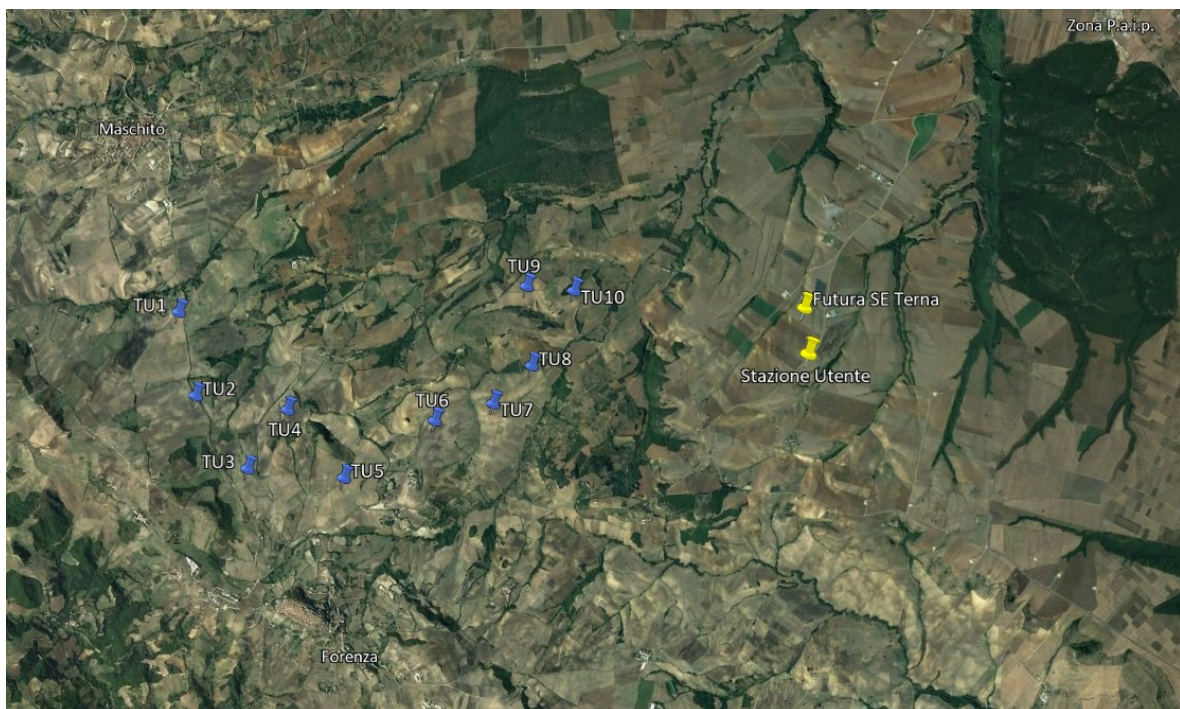


Figura 1: Inquadramento territoriale impianto

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 5 di 46

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.

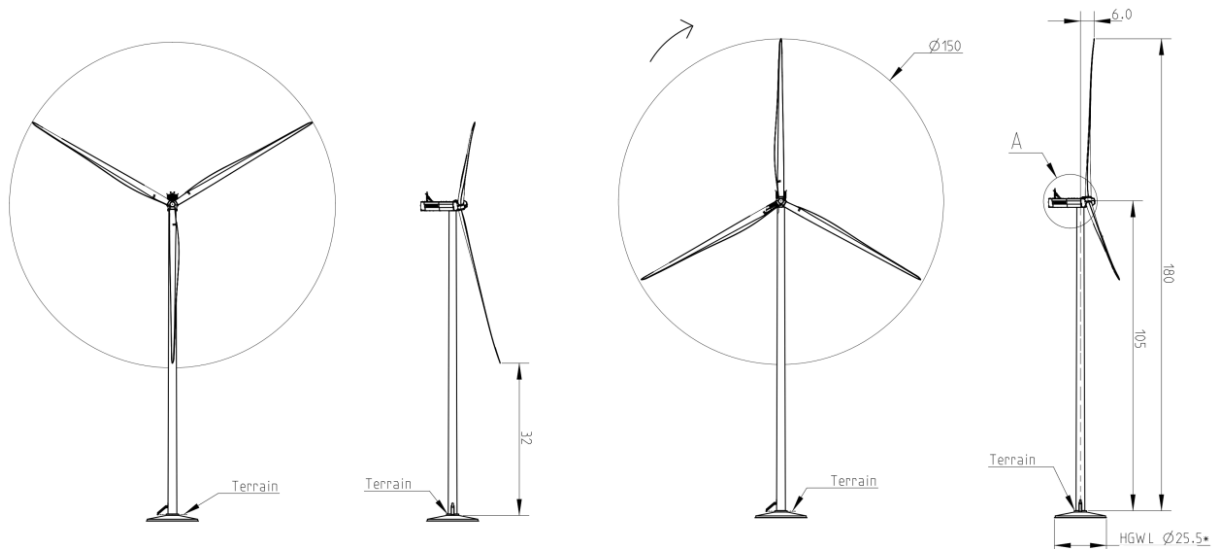


Figura 2: Architettura Aerogeneratore Vestas V150-6.0MW

4 Descrizione generale dell'opera

Il progetto prevede la costruzione di n.10 plinti di fondazione su pali a servizio dell'installazione di n.10 aerogeneratori, identificati nel progetto dell'impianto eolico come “TU” 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 "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 6 di 46

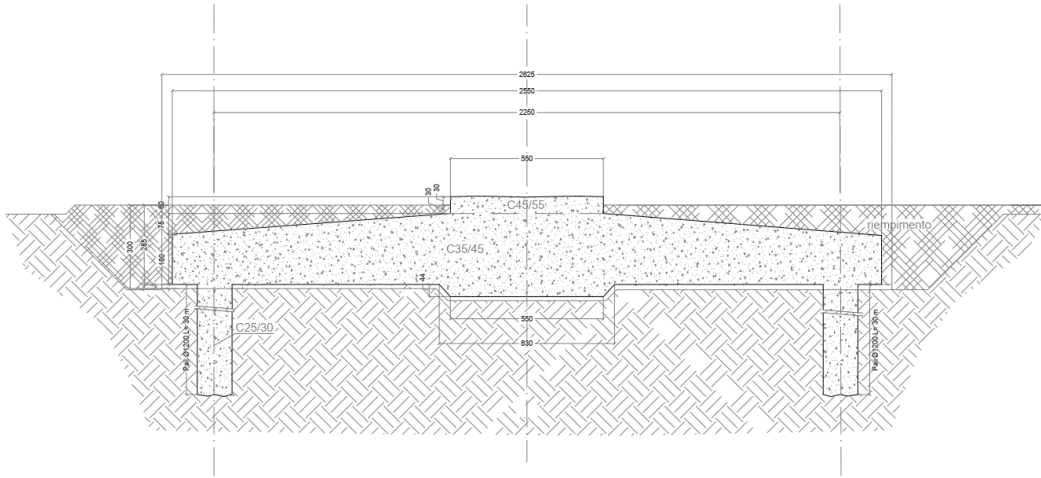


Figura 3: Dettaglio sezione fondazione

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°.

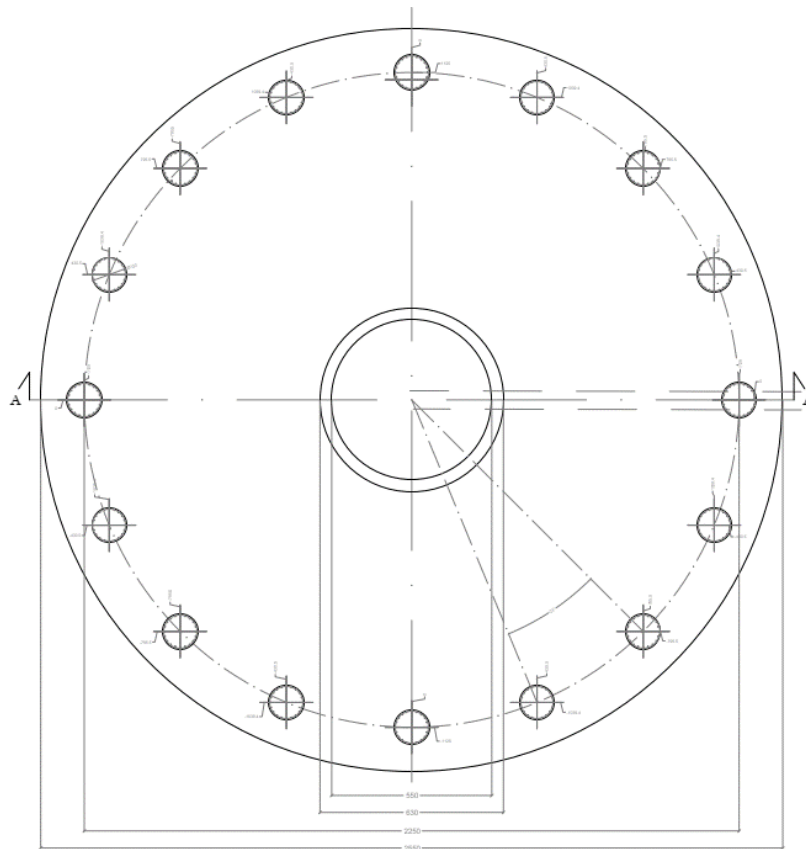


Figura 4: Dettaglio pianta fondazione

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 46

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 " ≥ 0,25 g
Zona Sismica "2"	0,15 g ≤ "a _g " < 0,25 g
Zona Sismica "3"	0,05 g ≤ "a _g " < 0,15 g
Zona Sismica "4"	"a _g " < 0,15 g

Tabella 3: Zona sismicità di base

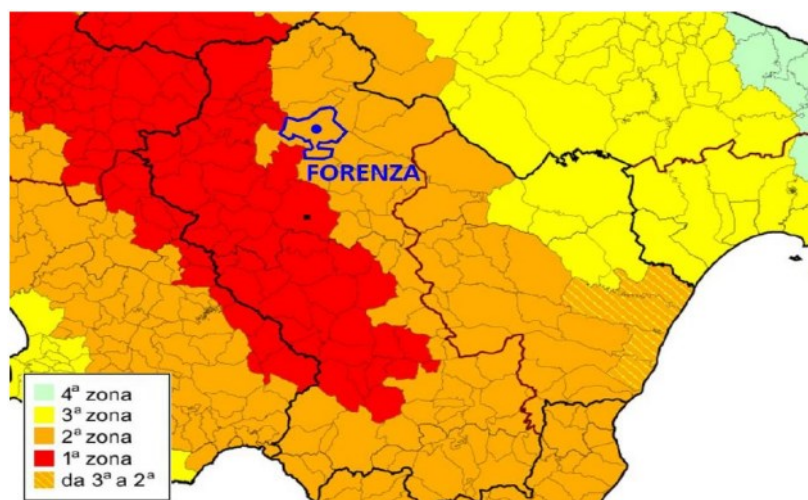


Figura 5: Zona sismicità di base comune di Forenza (PZ)

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 46

Il territorio comunale di Forenza (Provincia di Potenza) 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 0,250 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);
- Categoria Topografica **T1**;
- Categoria Stratigrafica;
- Coefficiente d’uso C_u pari a **2**;

6.1 Periodo di riferimento dell’azione sismica di base

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

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Per cui sostituendo i valori precedenti si ottiene:

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

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).

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 46

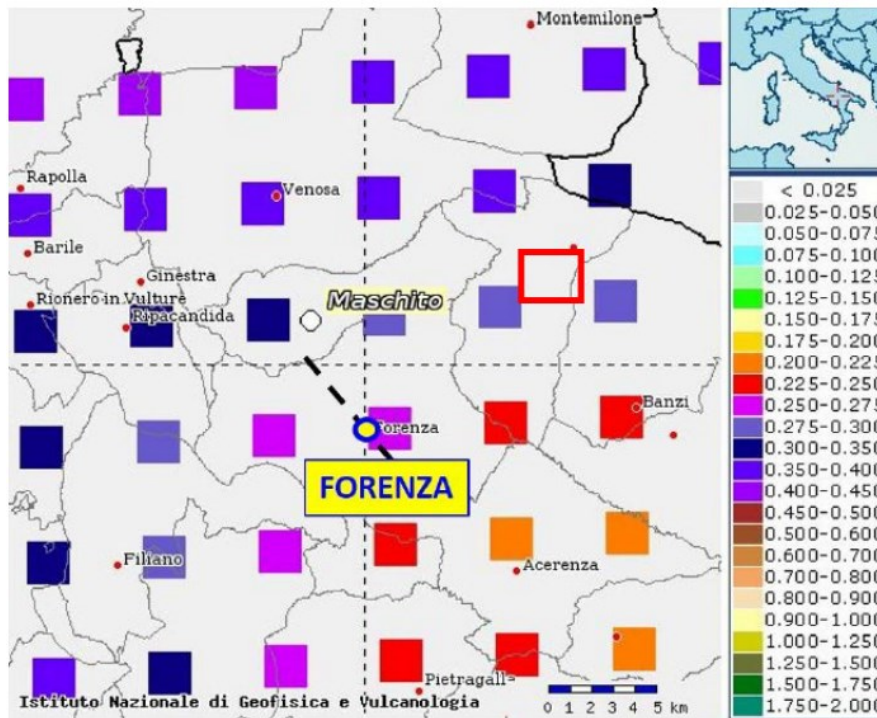


Figura 6: Stralcio mappa Pericolosità sismica Comune di Forenza (PZ)

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.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 46

6.3.1 Parametri sismici aerogeneratori

I parametri necessari alla definizione della pericolosità sismica di base sono riportati nelle seguenti tabelle:

Aerogeneratore: **TU1**

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^*
SLO	60	0,061	2,551	0,327
SLD	101	0,077	2,566	0,350
SLV	949	0,197	2,574	0,470
SLC	1950	0,259	2,567	0,461

Tabella 5: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU1

Aerogeneratore: **TU2**

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^*
SLO	60	0,061	2,546	0,327
SLD	101	0,077	2,577	0,350
SLV	949	0,194	2,582	0,480
SLC	1950	0,253	2,586	0,466

Tabella 6: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU2

Aerogeneratore: **TU3**

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^*
SLO	60	0,061	2,542	0,328
SLD	101	0,076	2,586	0,351
SLV	949	0,190	2,590	0,490
SLC	1950	0,246	2,604	0,470

Tabella 7: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 11 di 46

Aerogeneratore: **TU4**
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,061	2,547	0,327
SLD	101	0,076	2,578	0,351
SLV	949	0,191	2,586	0,483
SLC	1950	0,249	2,591	0,467

Tabella 8: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU4

Aerogeneratore: **TU5**
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,060	2,544	0,328
SLD	101	0,076	2,586	0,351
SLV	949	0,188	2,595	0,492
SLC	1950	0,243	2,608	0,471

Tabella 9: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU5

Aerogeneratore: **TU6**
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,060	2,550	0,327
SLD	101	0,076	2,578	0,351
SLV	949	0,188	2,591	0,485
SLC	1950	0,245	2,596	0,468

Tabella 10: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU6

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 12 di 46

Aerogeneratore: **TU7**
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,060	2,553	0,327
SLD	101	0,075	2,574	0,351
SLV	949	0,188	2,590	0,483
SLC	1950	0,246	2,590	0,470

Tabella 11: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU7

Aerogeneratore: **TU8**
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,060	2,557	0,326
SLD	101	0,076	2,568	0,351
SLV	949	0,189	2,587	0,479
SLC	1950	0,248	2,581	0,468

Tabella 12: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU8

Aerogeneratore: **TU9**
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 100 anni
 Coefficiente Cu: 2

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,060	2,556	0,326
SLD	101	0,076	2,570	0,351
SLV	949	0,189	2,588	0,480
SLC	1950	0,247	2,583	0,469

Tabella 13: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU9

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 13 di 46

Aerogeneratore: **TU10**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente Cu: 2

Stato limite	T _R	a _g	F ₀	T _C *
SLO	60	0,060	2,564	0,325
SLD	101	0,076	2,557	0,350
SLV	949	0,192	2,578	0,468
SLC	1950	0,254	2,560	0,463

Tabella 14: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore TU10

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	T1	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:

AEROGENERATORE	Categoria di suolo	
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	C	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

Tabella 16: Categoria di suolo

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 14 di 46

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 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 _{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 18: 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 19: 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 "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 15 di 46

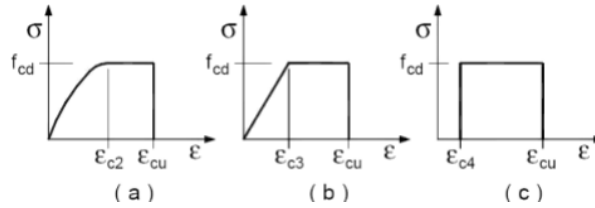


Figura 7: Modello tensione-deformazione per il calcestruzzo

7.2 Acciaio per il Calcestruzzo

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

- **Acciaio in barre: B450C**

Classe acciaio	f_{yk}	γ_s	f_{tk}	E_s	f_{yd}	e_{yd}	e_{uk}	$(f_y/f_{y,nom})_k$	e_{ud}	$k = (f_t/f_y)_k$	$\sigma_s, Rara$	Diametro minimo mandrino di piegatura	
	[MPa]		[MPa]	[MPa]	[MPa]					[MPa]	[MPa]	$\Phi \leq 16mm$	$\Phi > 16mm$
B450C	450,00	1,15	540,00	210.000	391,30	0,00186	0,07500	$\leq 1,25$	0,06750	1,15 - 1,35	360,00	4 Φ	7 Φ

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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..b**:

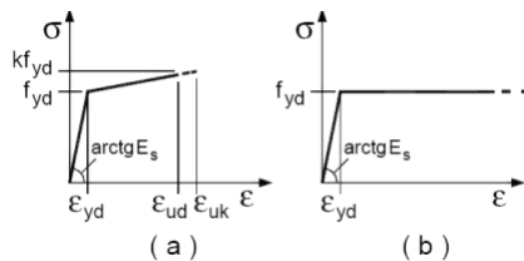


Figura 8: Modello tensione-deformazione per l'acciaio

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 16 di 46

8 Caratterizzazione Geotecnica dell'area

Ai fini della caratterizzazione dei suoli, lo studio si è avvalso dei risultati della campagna di indagine eseguita nel 2009 per la redazione del PUC (Piano Urbanistico Comunale) e dai dati bibliografici. Tali indagini, eseguite in terreni simili in aree limitrofe, 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:

- **Solo per il sito dell'aerogeneratore TU1 (che lambisce a1b)**

• **DEPOSITO DI FRANA ANTICA (Qt)**

Deposito eterogeneo ed eterometrico a struttura caotica con litofacies variabili da argillosa ad ammassi di blocchi con matrice argilloso-sabbiosa.

- **per i siti degli aerogeneratori TU2, TU3 e TU5 e relativi cavidotti:**

• **FLYSCH DI FAETO (FAE)**

Depositi torbiditici costituiti da termini prevalentemente argillosi marnosi, relativamente impermeabili, alternati a materiali più competenti quali calcari più meno marnosi, calcareniti, arenarie e calcilutiti.

- **per il sito dell'aerogeneratore TU4 e relativi cavidotti:**

• **COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE (b2)**

Depositi costituiti da sedimenti fini con clasti di varie dimensioni e forme

- **per i siti degli aerogeneratori TU6, TU8 e relativi cavidotti:**

• **ARGILLE SUBAPPENNINE (ASP)**

Argille, argille siltose e marnose di colore grigio-azzurro con sottili livelli siltosi, di ambiente di piattaforma, passanti superiormente e per eteropia in direzione appenninica a SBC.

- **per i siti degli aerogeneratori TU7 e relativi cavidotti:**

• **FORMAZIONE DI MONTE SAN MARCO (SBC)**

Sabbie da medie a grossolane di colore giallo-ocra, a stratificazione incrociata e piano parallela, con resti di fossili e con intercalazioni verso l'alto di lenti di ghiaia.

- **per i siti degli aerogeneratori T9 e T10 e relativi cavidotti:**

• **SINTEMA DI PALAZZO SAN GERVASIO (GVS)**

Conglomerati clastici a matrice sostenuti, massivi e con stratificazione obliqua e incrociata, con lenti sabbioso-siltose a laminazione incrociata e livelli argilloso-siltosi ricchi di resti di piante.

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 17 di 46

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:

- Deposito di Frana Antica (Q_1)

Frana Antica	
γ_n = peso di volume	18.50 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	15.00°
c' = coesione drenata	0.10 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	0.50 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	100.00 kg/cmq

Tabella 21: Caratteristiche del terreno Q_1

- FLYSCH di Faeto (FAE)

Livelli argillosi marnosi	
γ_n = peso di volume	20.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	22.00°
c' = coesione drenata	0.25 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	0.80 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	200.00 kg/cmq

Livelli calcarei	
γ_n = peso di volume	20.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	31.00°
c' = coesione drenata	0.50 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	400.00 kg/cmq

Tabella 22: Caratteristiche del terreno FAE

- Coltre Eluvio-Colluviale (b_2)

Coltre eluvio-colluviale	
γ_n = peso di volume	18.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	17.00°
c' = coesione drenata	0.13 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	0.60 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	50.00 kg/cmq

Tabella 23: Caratteristiche del terreno b_2

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 18 di 46

- **Argille Subappennine (ASP)**

Argille subappennine	
γ_n = peso di volume	19.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	23.00°
c' = coesione drenata	0.30 kg/cmq
C_u = coesione non drenata	0.80 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	250.00 kg/cmq

Tabella 24: Caratteristiche del terreno ASP

- **Formazione di Monte San Marco (SBC)**

Formazione Monte San Marco	
γ_n = peso di volume	18.50 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	32.00°
c' = coesione drenata	0.00 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	400.00 kg/cmq

Tabella 25: Caratteristiche del terreno SBC

- **Sintema di Palazzo San Gervasio (GVS)**

Formazione Monte San Marco	
γ_n = peso di volume	18.50 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	35.00°
c' = coesione drenata	0.20 kg/cmq
E_d = modulo edometrico	650.00 kg/cmq

Tabella 26: Caratteristiche del terreno GVS

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 19 di 46

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 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.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 20 di 46

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 (Vestas) e le fondazioni sono interrato.

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

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 21 di 46

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} = vettore spostamenti nodali
 \mathbf{F} = 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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 22 di 46

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.

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 23 di 46

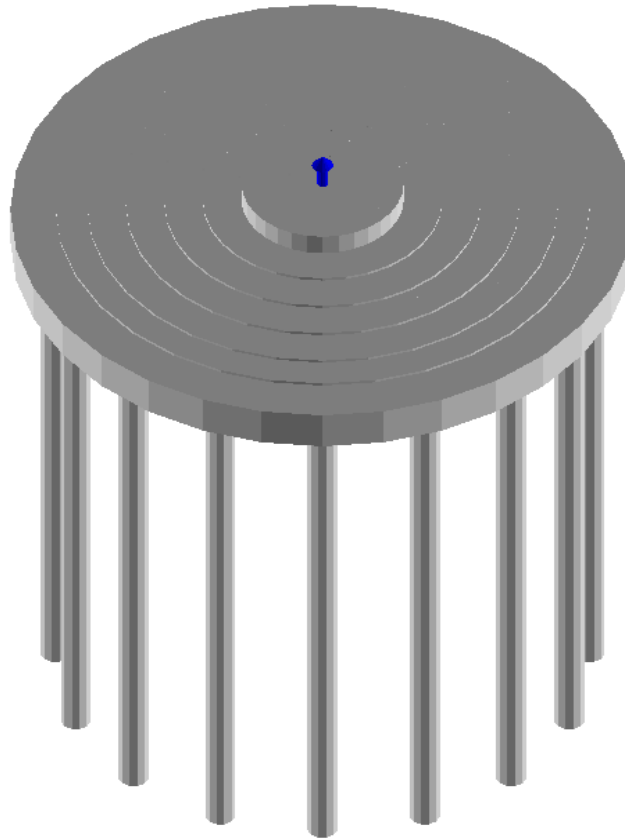


Figura 9: Vista solida elemento di fondazione

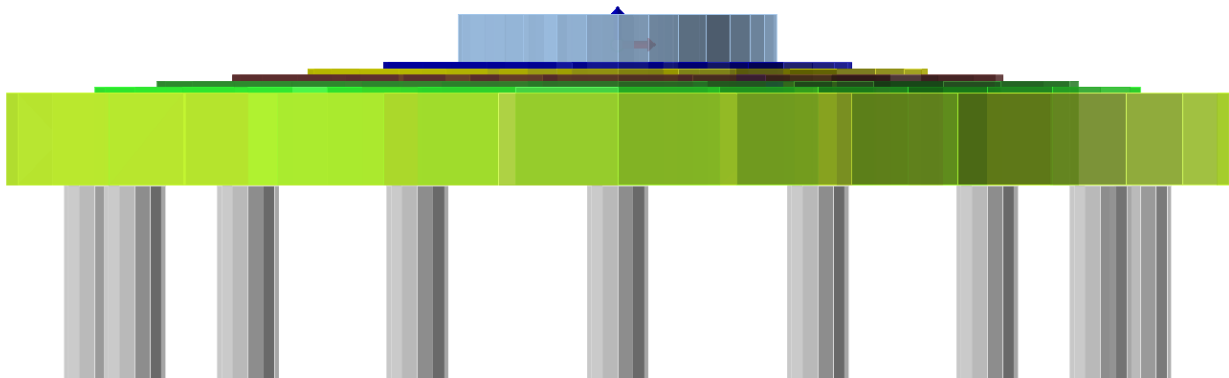


Figura 10: Vista solida laterale

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 24 di 46

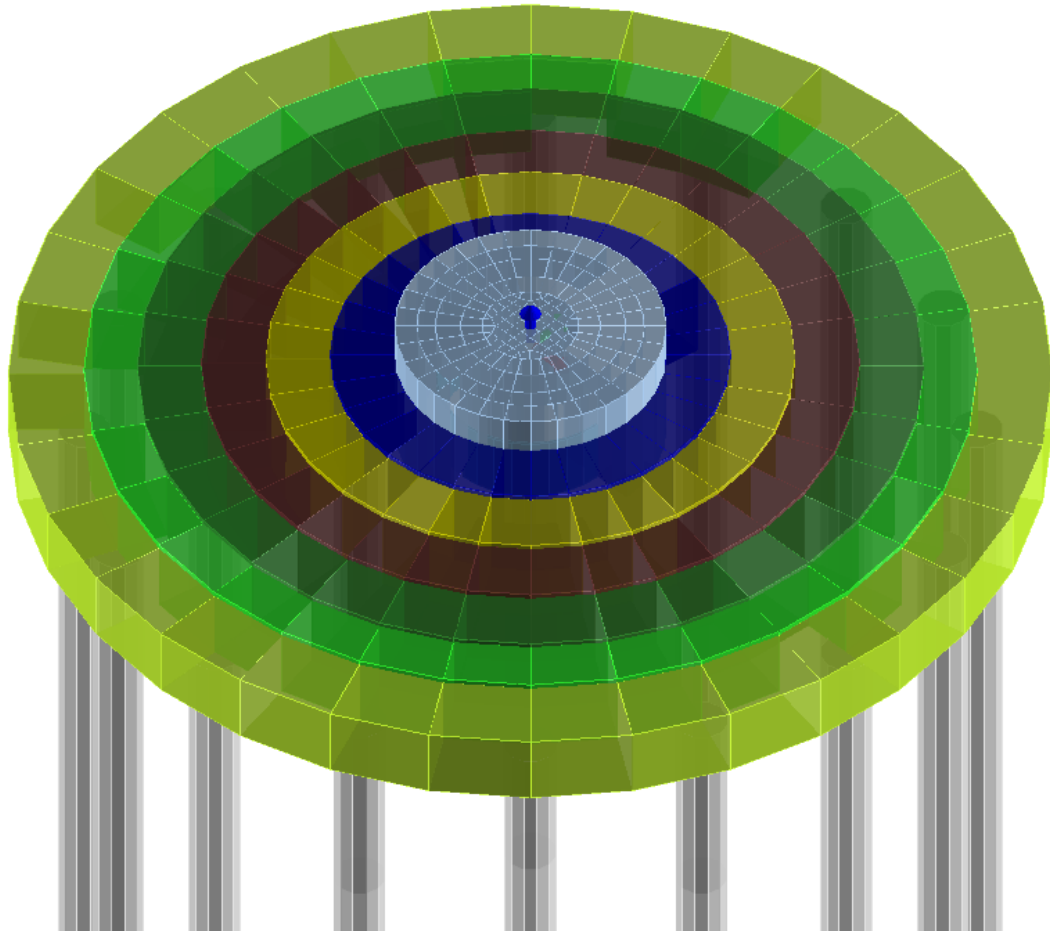


Figura 11: Vista solida. Distinzione degli spessori

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 25 di 46

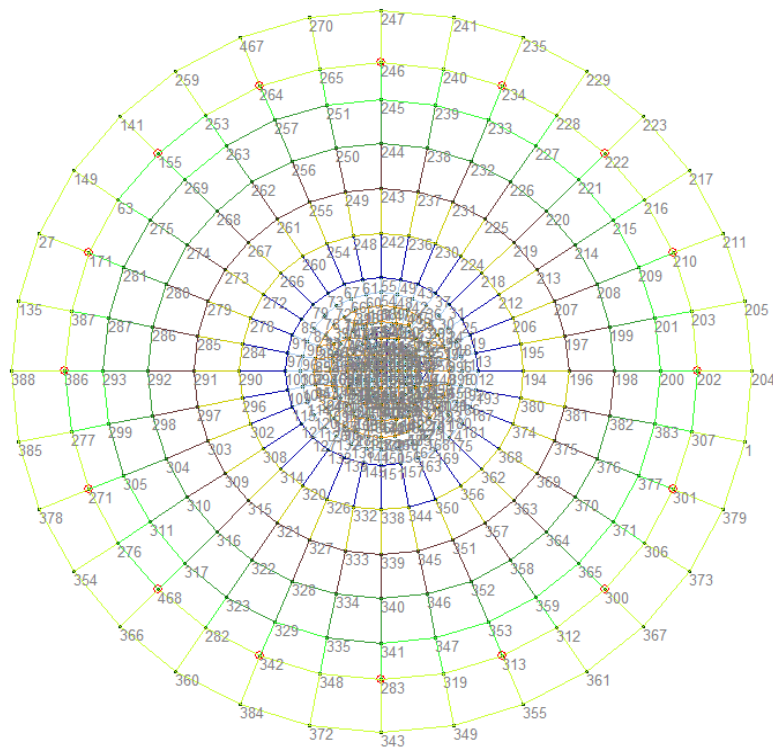


Figura 12: Nodi della struttura

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

Palo in mezzo elastico

Stringa identificativa
Palo 100x20m

Palo

Diametro: 100.0

Lunghezza: 2000.0

Modulo elastico: 300000.0

Peso specifico: 2.5000e-03

Modello matematico palo

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

inserisci riga rimuovi riga reset

setta rif. assegna rif. assegna a definiti

Usa stratigrafia semplificata con coefficienti:

K_{0a}: 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 13: Modello elemento tipo "Palo in Mezzo Elastico"

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 26 di 46

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:

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

Tabella 27: 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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 27 di 46

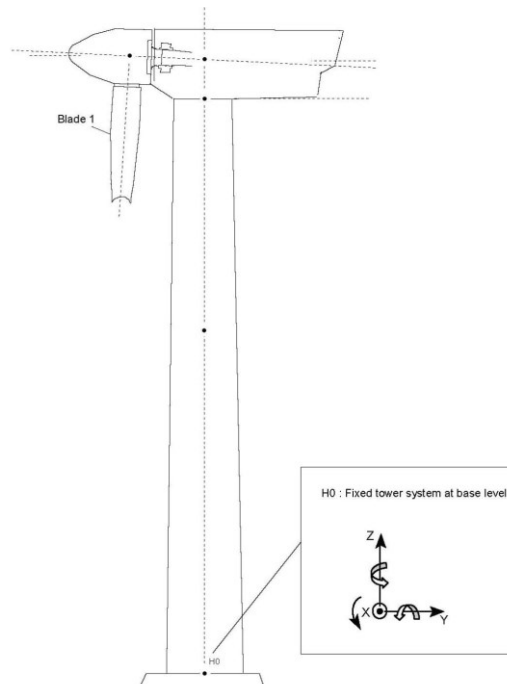


Figura 14: Sistema di riferimento per i carichi applicati

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

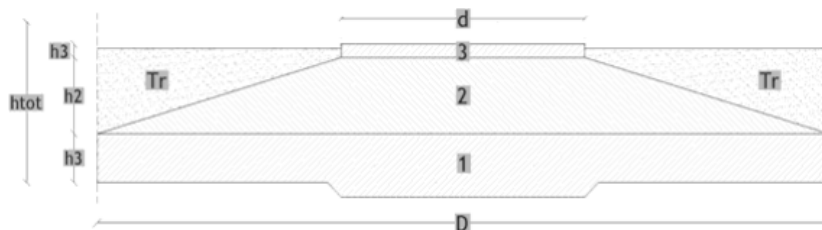


Figura 15: Modello di calcolo fondazione

Il peso proprio degli elementi è rappresentato dai seguenti dati:

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

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 28 di 46

11.1 Modellazione delle azioni

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

11.2 Combinazioni delle azioni

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

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

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

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

Tabella 28: Coefficienti di combinazione

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

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 29 di 46

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

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

Tabella 29: 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 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.

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

- Coefficienti parziali per azioni:

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

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

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

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

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

- Coefficienti di riduzione per materiali:

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

- Coefficienti di combinazione delle azioni variabili adottati

Azione per carico accidentale mezzi di manutenzione:

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

Tabella 30: Valori dei coefficienti di combinazione

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 30 di 46

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 31: 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 32: Fattori di combinazione delle azioni allo SLU e SLE

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

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

Tabella 33: Combinazioni Vento estremo

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 31 di 46

11.4 Modellazione dei carichi applicati

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

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

Tabella 34: Tipologia di carico applicato

11.5 Schematizzazione dei casi di carico

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

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 32 di 46

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 35: Tipologie di casi di carico

Dove:

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

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

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

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

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

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 33 di 46

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 36: 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 37: 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 38: Coefficienti delle combinazioni di carico

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO		Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
			Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE		Revisione: 00
			Pagina: 34 di 46

11.7 Informazioni su copriferro e ricoprimento delle armature

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

Si riporta di seguito la tabella sopra citata.

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

Tabella 39: C4.1.IV – Copriferrini minimi in mm

12 Metodo di analisi

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

13 Criteri di verifica agli stati limite

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

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

$$R_d \geq E_d$$

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

$$X_d = X_k / \gamma_M,$$

Essendo γ_M il fattore parziale associato alla resistenza del materiale.

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

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 35 di 46

$$F_d = \gamma_F F_k$$

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

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

$$C_d \geq E_d$$

14 Risultati di calcolo

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

14.1 Deformate

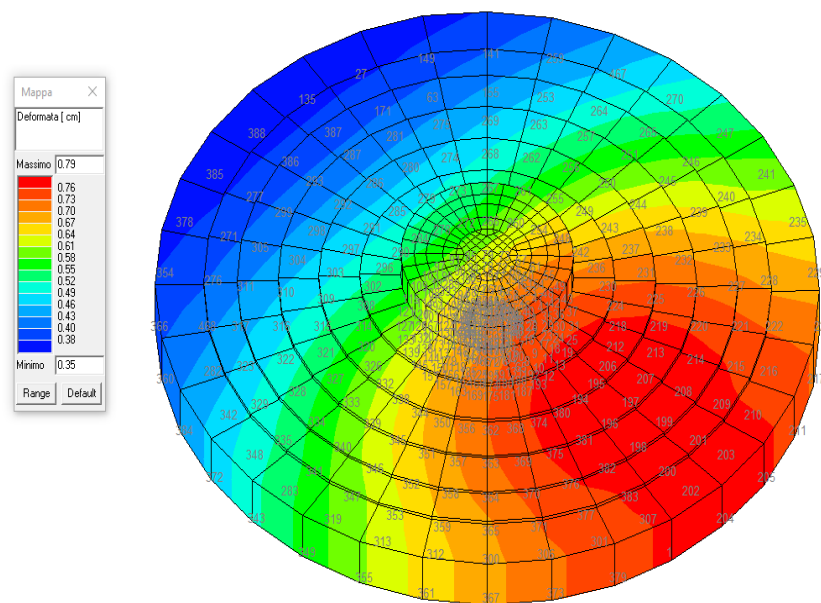


Figura 16: Deformata per Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 36 di 46

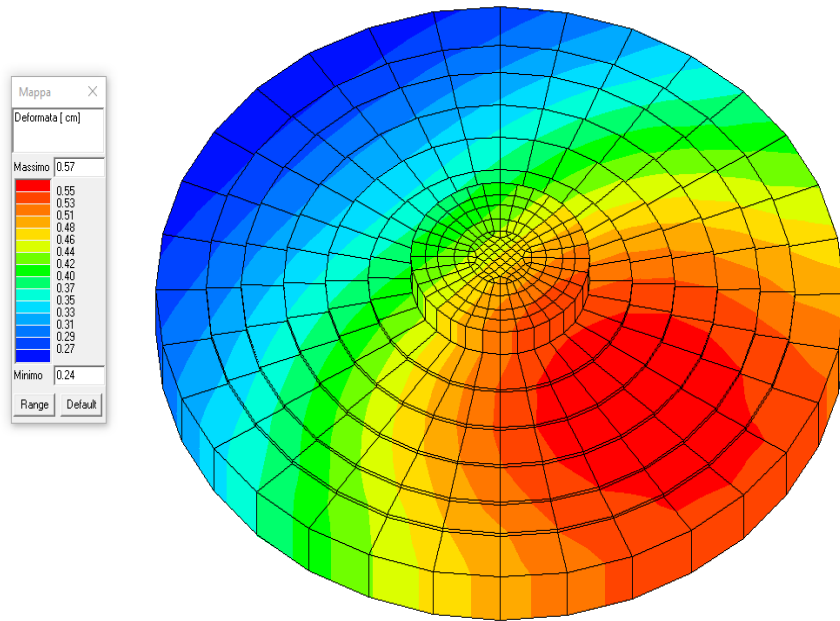


Figura 17: Deformata massima Combinazione SLE

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

14.2 Tensioni

Tensioni totali secondo Von Mises.

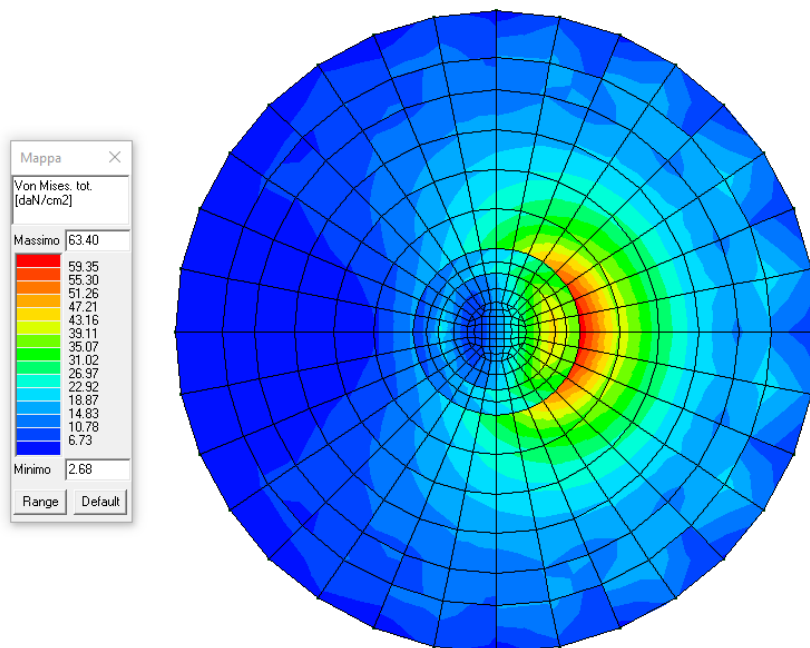


Figura 18: Tensioni totali Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 37 di 46

14.3 Azioni sui pali

Massime azioni agenti sui vincoli allo stato limite ultimo SLU.

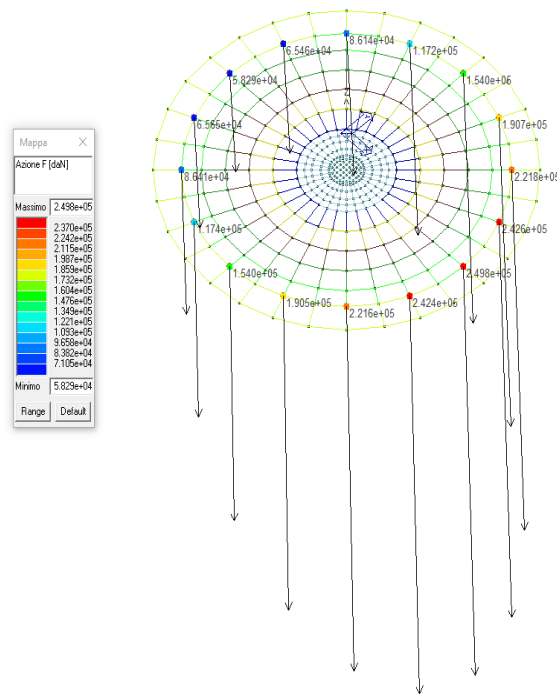


Figura 19: Azioni F massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

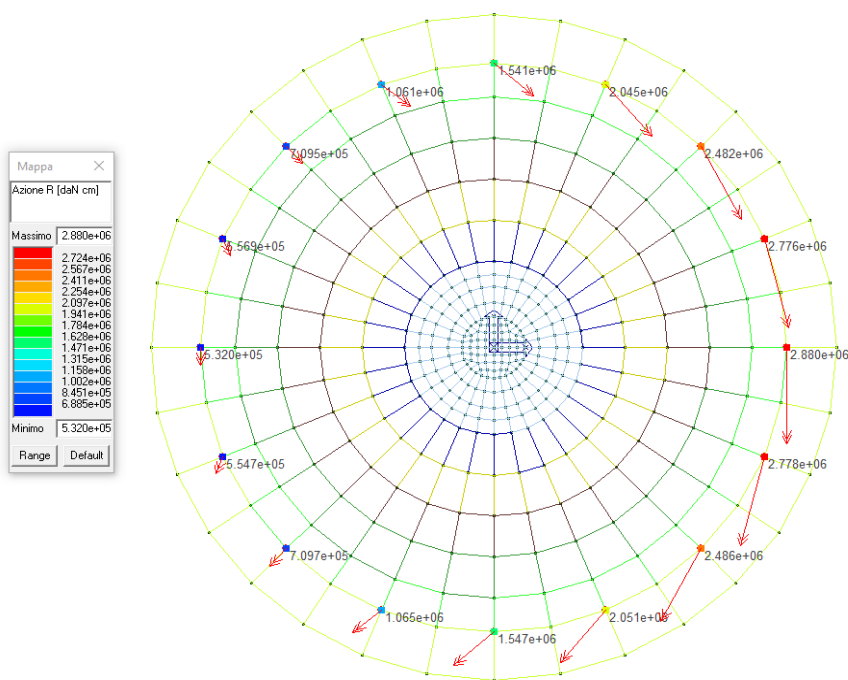


Figura 20: Azioni R massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 38 di 46

15 Armature minime di progetto

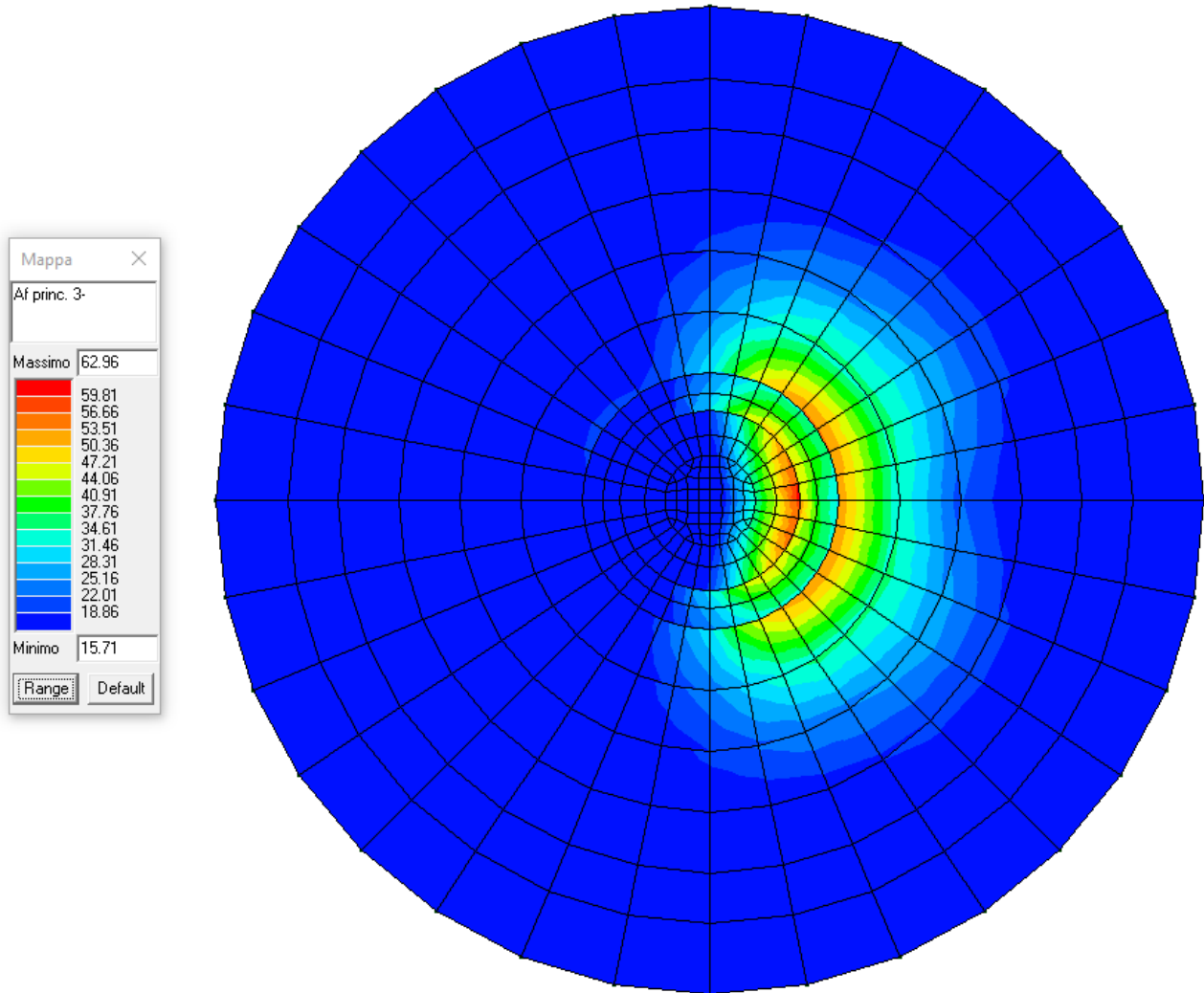


Figura 21: Armatura principale su plinto lato inferiore. Valori in cm² per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 39 di 46

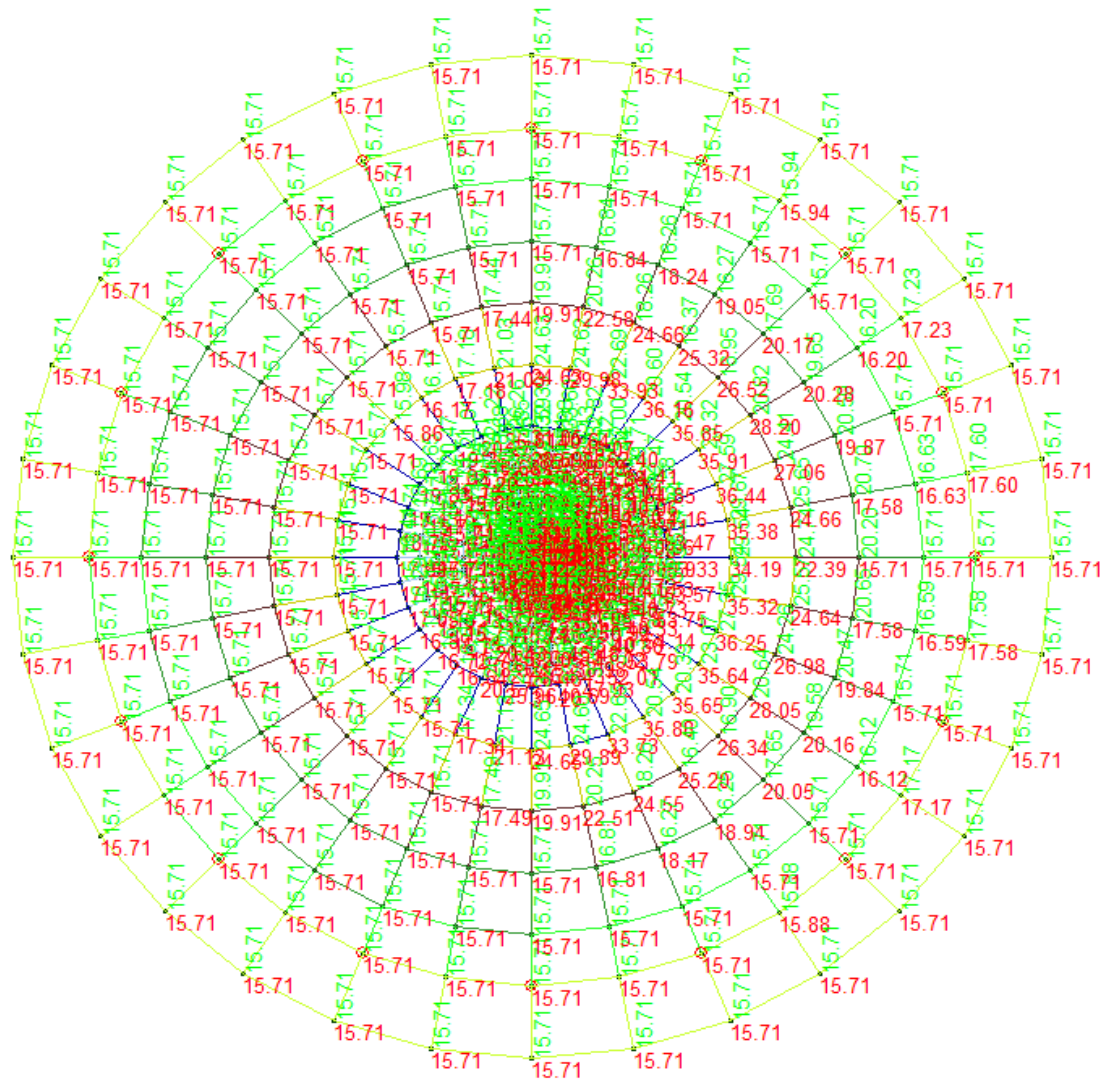


Figura 22: Dettaglio armatura su lato inferiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 40 di 46

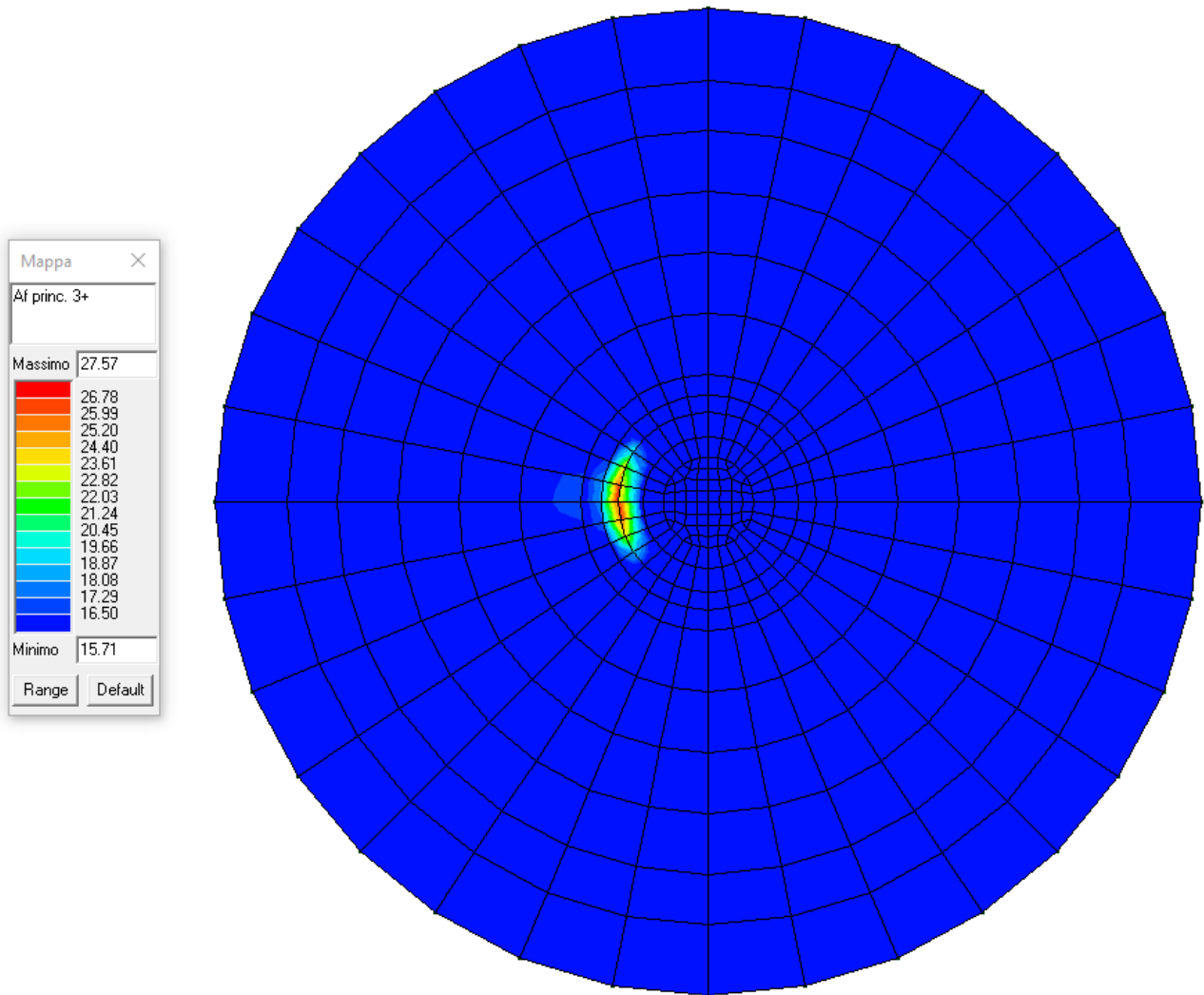


Figura 23: Armatura su plinto lato superiore. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 41 di 46

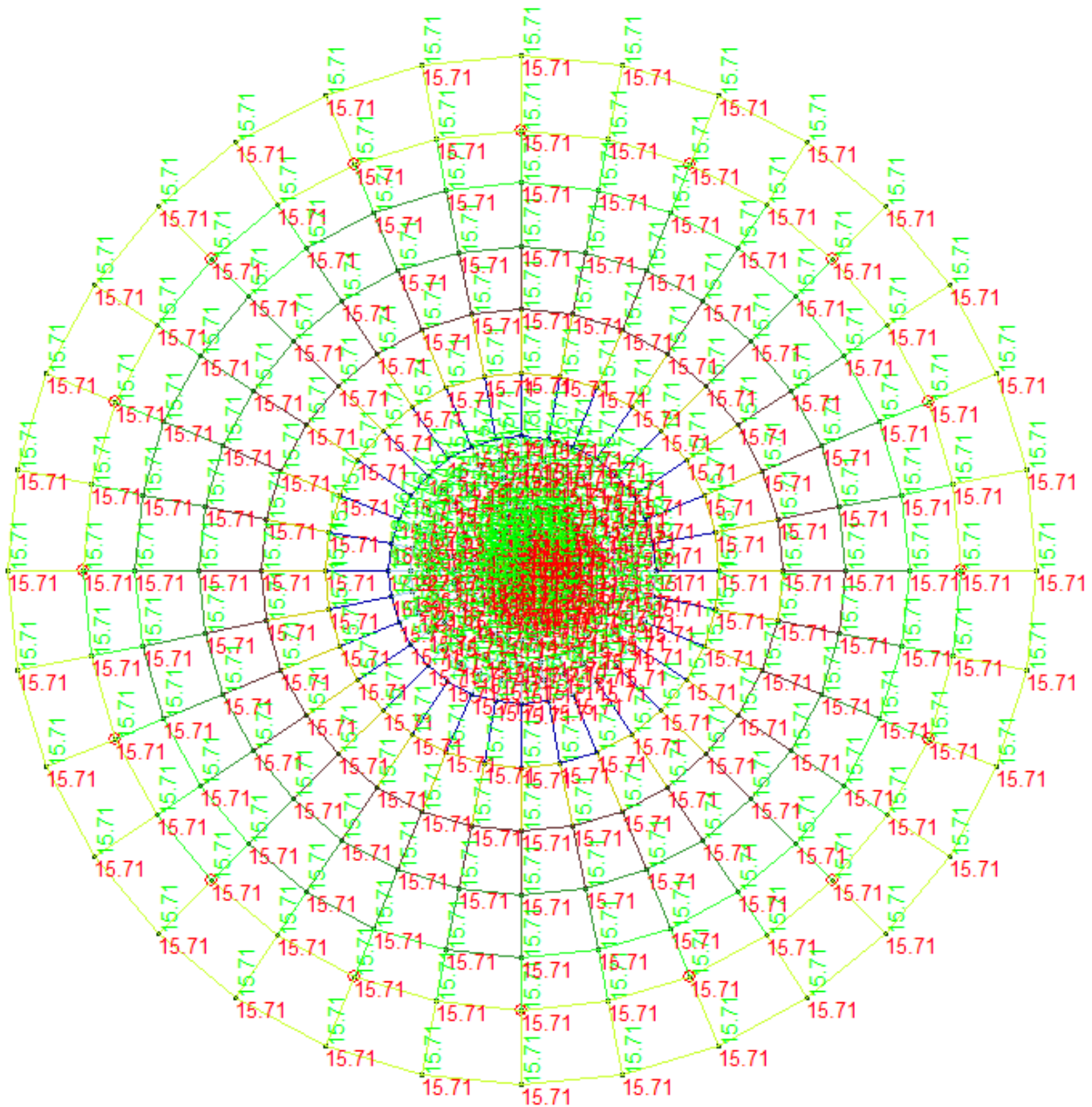


Figura 24: Dettaglio armatura su lato superiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in cm^2 per metro lineare

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 42 di 46

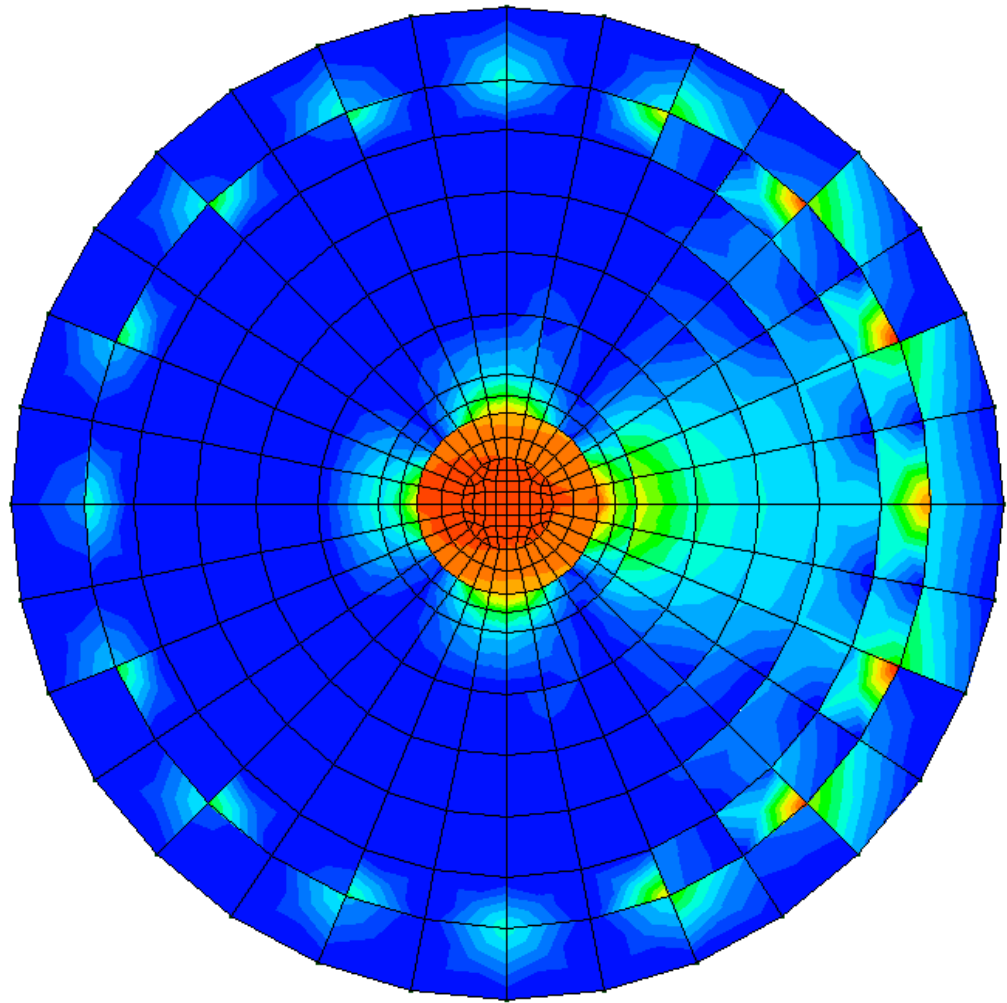
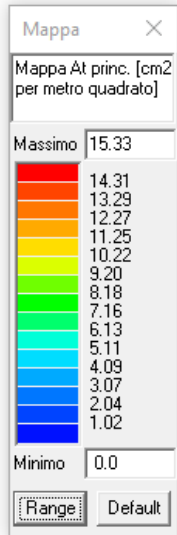


Figura 25: Armatura a taglio. Valori in cm² per metro quadro

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 43 di 46

16 Sintesi delle verifiche di sicurezza

16.1 Verifiche SLU

In azzurro sono rappresentati gli elementi verificati.

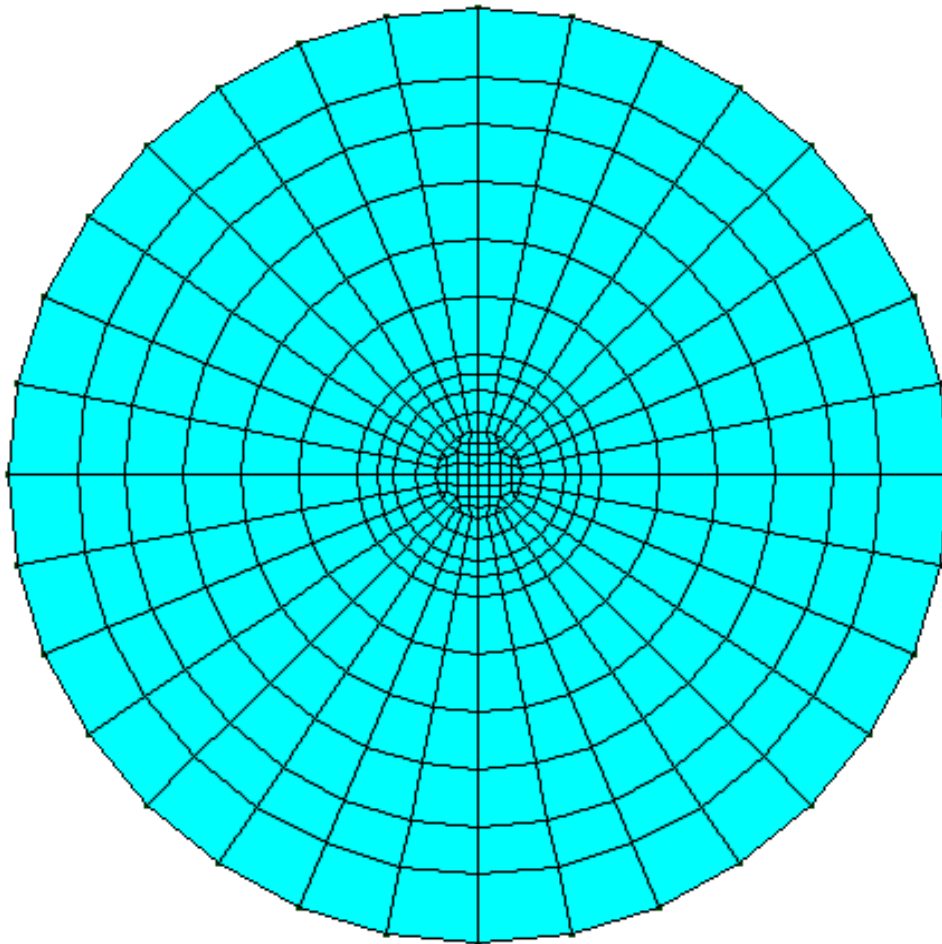


Figura 26: Verifica SLU. In azzurro gli elementi verificati

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 44 di 46

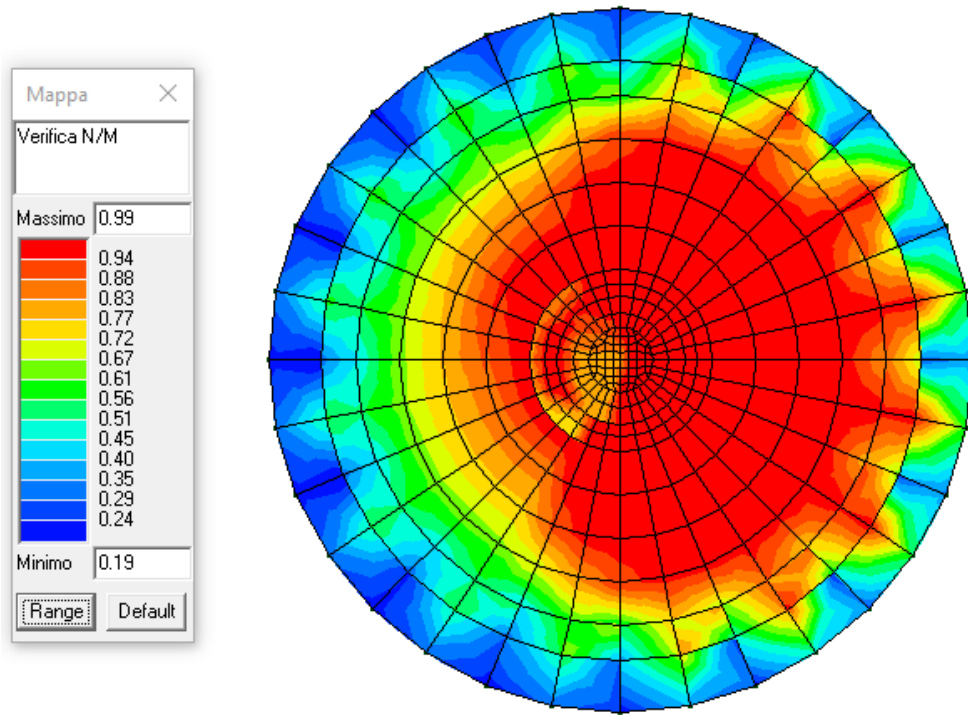


Figura 27: Verifica a pressoflessione N-M SLU (Verificato per valori <1)

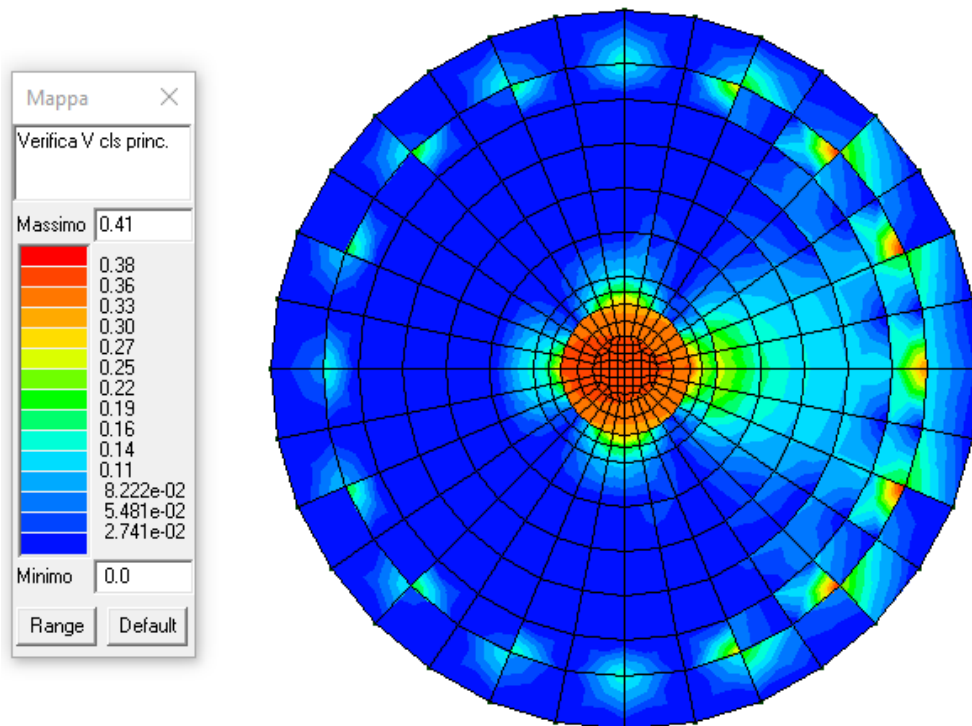


Figura 28: Verifica V CLS principale (verifica per valori <1)

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico “Tufaroli”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Data: 09/11/20223
		Revisione: 00
		Pagina: 45 di 46

16.2 Verifiche SLE

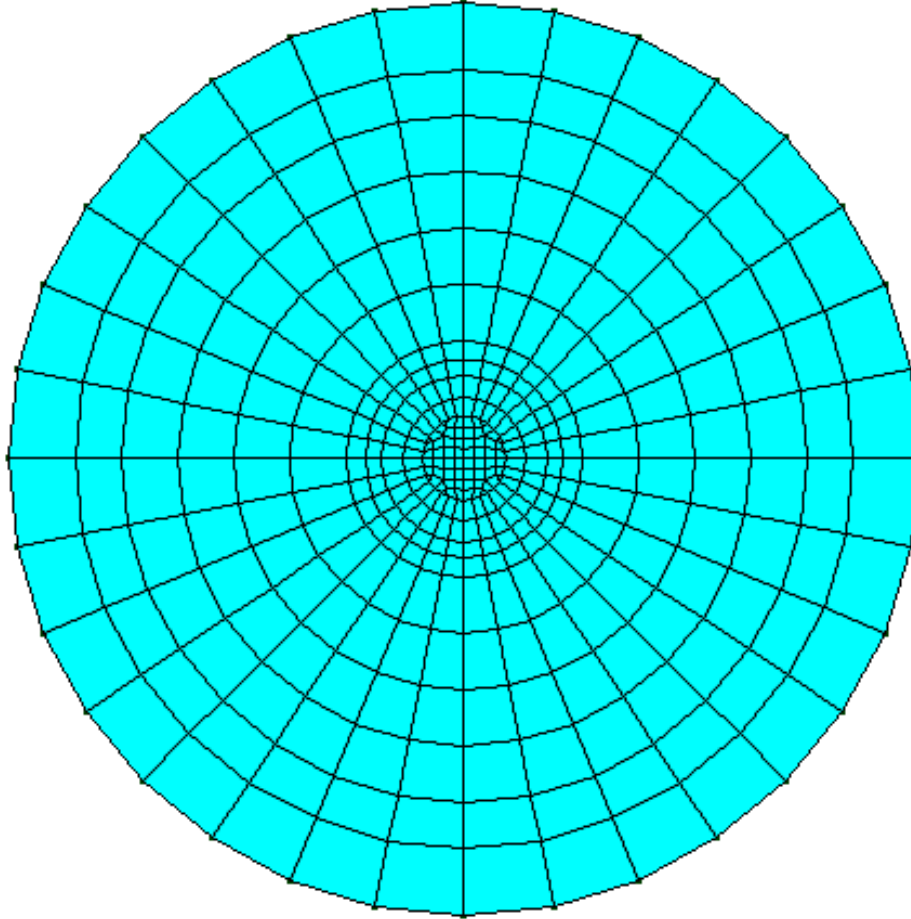


Figura 29: Verifica SLE. In azzurro gli elementi verificati

AREN Green S.r.l. Impianto Eolico "Tufaroli"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: TUFDS_F00R00100_00
		Data: 09/11/20223
	RELAZIONE SULLE STRUTTURE	Revisione: 00
		Pagina: 46 di 46

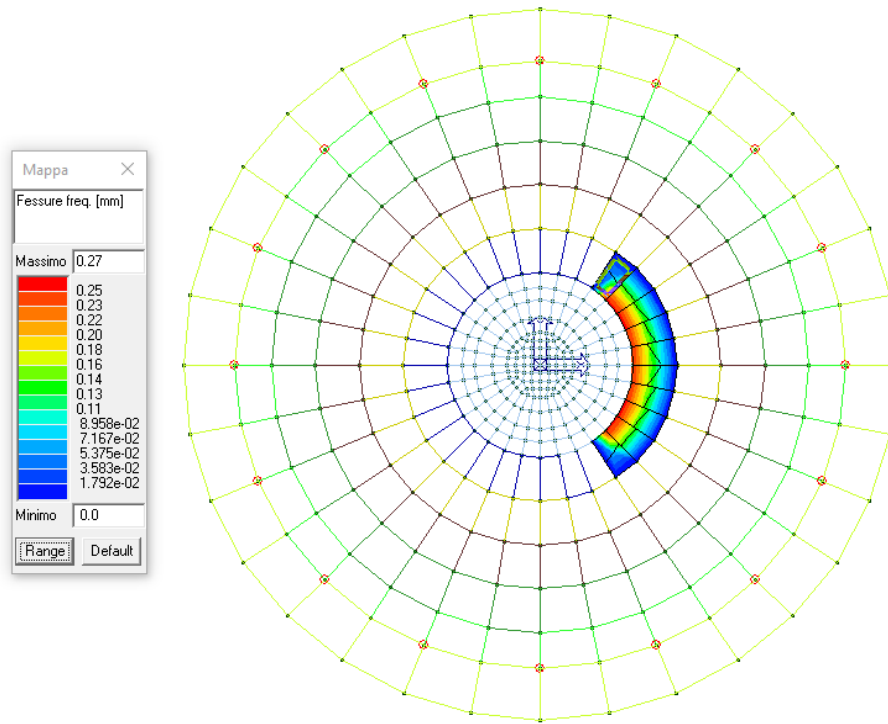


Figura 30: Fessure SLE frequenti. Ampiezza fessure <0,3 mm - Verifica soddisfatta

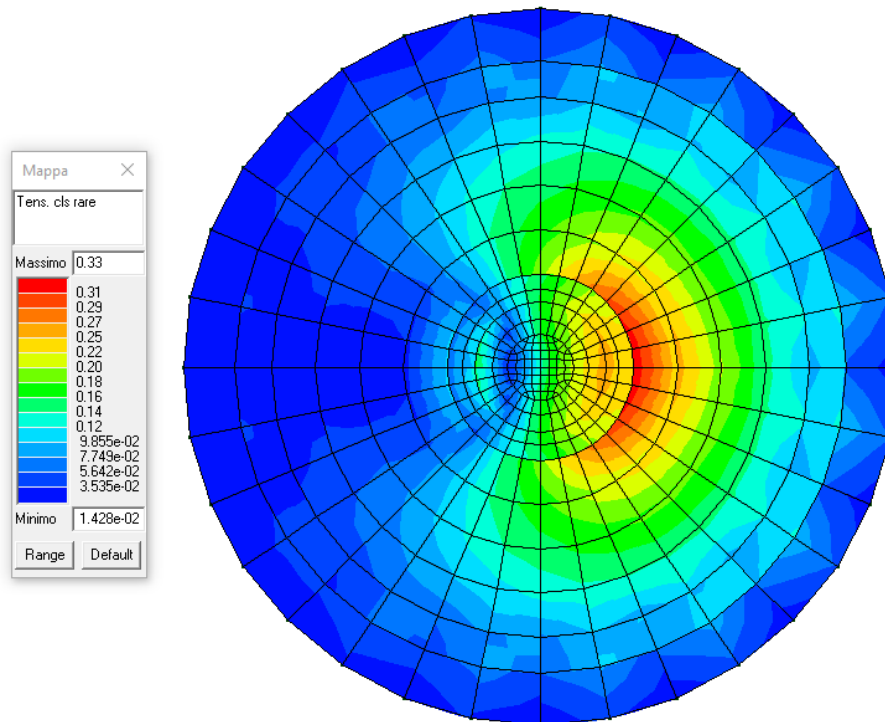


Figura 31: Tensioni CLS SLE rare (verificato per valori <1)