



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di FOGGIA



COMUNE di FOGGIA



Progetto Uno

Progetto Uno s.r.l. via Napoli, 116 - cap. 95127 Catania (CT)  
amm.: Oliver Lutz - cod. fisc. 0585151074 Tel.:3386386396

## PROGETTO DEFINITIVO

### Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato "Wind 1" della potenza nominale di 54,4 MW nel Comune di Foggia loc. Cantone

Decreto Legislativo 29 dicembre 2003 n° 387- Attuazione della direttiva 2001/77/CE  
Promozione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità'

ELABORATO

## Relazione sulle Strutture di Fondazione

FORMATO	SCALA	CODICE DOCUMENTO					NOME FILE
A4	/	SOC.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	PRO-PROG-REL-013
		PRO	PROG	REL	013		

Coordinamento e Progettazione	 <p><b>Studio Tecnico Associato</b> ing. Giovanni Bruno - arch. G.Farinola Viale Europa, 62/a Foggia (FG) Tel. 0881373998 - 3356013949 E-mail: ingbruno@fiscali.it</p>	Studio Archeologico	 <p><b>Dott. Antonio Mesisca</b> Via Aldo Moro B/5 82021 Apice (BN) Tel. 3271616306 E-mail: mesisca.antonio@virgilio.it</p>
Studio Geologico e consulenza ambientale	<p><b>Geol. Francesco Ferrante</b> Studio di Geologia Tecnica e Ambientale Via Attilio Benvenuto, 76 - Foggia (FG) Tel. 0881742216 - 3385654577 E-mail: ferrantegeo@gmail.com</p>	Studio Agronomico	<p><b>Dott. Antonio Totaro</b> Viale L. Da Vinci, 1 Manfredonia (FG) Tel. 3486403829 E-mail: atotaro033@gmail.com</p>
Studio Paesaggistico	<p><b>Arch. Giuseppe Farinola</b> Viale Europa, 62/a Foggia (FG) Tel. 0881373998 - 3387535391 E-mail: agfarinola@virgilio.it</p>	Studio Elettrico	 <p><b>Sciacca &amp; Partners S.r.l.</b> C.so Vittorio Emanuele III, 51 96015 Francofonte (SR) CF e P.IVA: 01871700892 E-mail: noi@sciaccapartners.it</p>
Rilievo Topografico	 <p><b>Studio Tecnico</b> <b>Dott. Agr. Rocco Iacullo</b> Via Padre Antonio da Olivadi, 89 - Foggia Tel. 0881665592 - 3930051965 E-mail: studioiacullo@gmail.com</p>	Studio Acustico	<p><b>Ing. Michele Russo</b> Via Mascagni, 1 - Margherita di Savoia (BT) Tel. 3495343724 E-mail: russomicheleing@gmail.com</p>

Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
		Data: <b>27/01/2023</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>2</b>

## Sommario

1	Premessa.....	3
2	Inquadramento del progetto.....	3
3	Tipologia di intervento.....	5
4	Descrizione generale dell'opera .....	5
5	Normative di riferimento.....	7
6	Caratterizzazione sismica dell'area .....	7
6.1	Periodo di riferimento dell'azione sismica di base.....	8
6.2	Pericolosità sismica di base.....	8
6.3	Azione sismica di base .....	9
6.3.1	Parametri sismici aerogeneratori.....	9
6.4	Risposta Sismica Locale.....	11
6.4.1	Amplificazione Topografica.....	11
6.4.2	Amplificazione Stratigrafica .....	11
7	Materiali Impiegati .....	12
7.1	Calcestruzzo .....	12
7.2	Acciaio per il Calcestruzzo.....	13
8	Caratterizzazione Geotecnica dell'area.....	14
8.1	Parametri Geotecnici Depositi Alluvionali Attuali (b) .....	14
8.2	Parametri Geotecnici Sintema di Foggia .....	15
9	Metodo di calcolo.....	16
9.1	Modello numerico .....	16
10	Modellazione della struttura .....	16
11	Azioni sulla struttura .....	20
12	Modellazione delle azioni .....	21
12.1	Combinazioni delle azioni.....	21
12.2	Coefficienti adottati .....	23
12.3	Modellazione dei carichi applicati. ....	25
12.4	Schematizzazione dei casi di carico.....	26
12.5	Definizione delle combinazioni di carico .....	27
13	Metodo di analisi.....	28
14	Criteri di verifica agli stati limite .....	28
15	Risultati di calcolo.....	29
15.1	Deformate .....	29
15.2	Tensioni .....	30
15.3	Azioni sui pali.....	31
16	Armature minime di progetto .....	32
17	Sintesi delle verifiche di sicurezza.....	37
17.1	Verifiche SLU .....	37
17.2	Verifiche SLE .....	39

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
		Data: <b>27/01/2023</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>3</b>

## 1 Premessa

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato "WIND1", e sito nel Comune di Foggia (FG) (nel seguito: il "**Progetto**").

La società proponente è la PROGETTO UNO s.r.l., con sede in Via Napoli, 116 – 95127 Catania (CT), P.IVA 0585151074 (nel seguito: il "**Soggetto proponente**").

L'impianto è costituito da n. 8 aerogeneratori (modello VESTAS V172 – SO/SO3; diametro 172 m; altezza hub 114 m) localizzati nel Comune di Foggia, ciascuno della potenza di 6,8 MW, per una potenza di immissione complessiva dell'impianto pari a 54,4 MW.

Gli aerogeneratori sono ubicati all'interno del Comune di Foggia (FG), mentre le opere di connessione alla Stazione Utente si sviluppano nei territori comunali di Foggia e Lucera. L'impianto sarà allacciato alla Stazione Elettrica Terna "Lucera", 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 Foggia (FG). Il progetto prevede l'installazione di n. 8 aerogeneratori modello VESTAS V172 – SO/SO3 (potenza complessiva = 54,4 MW), con altezza al mozzo pari a 114 metri e diametro delle pale di 172 m.

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

Aerogeneratori	Coordinate – EPSG32633 UTM 33 WGS84		Coordinate geografiche - EPSG4326 Lat Long	
	<b>A1</b>	545815	4600130	41,551523207
<b>A2</b>	546243	4600428	41,554182646	15,554516802
<b>A3</b>	546671	4600726	41,556841849	15,559672027
<b>A4</b>	547098	4601332	41,562275008	15,564839839
<b>A5</b>	547908	4601213	41,561155058	15,574544098
<b>A6</b>	547798	4600558	41,555262116	15,573172840
<b>A7</b>	547302	4600392	41,553796459	15,567212234
<b>A8</b>	545778	4599308	41,544121600	15,548855734

Tabella 1: Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

Gli 8 aerogeneratori si trovano ubicati, al Catasto terreni del Comune di Foggia, ai seguenti Fogli:

Aerogeneratori	Foglio	Particella
A1	26	181
A2	26	152
A3	26	153
A4	3	258
A5	10	14
A6	10	455/33
A7	10	21/280
A8	26	171

Tabella 2: Inquadramento catastale aerogeneratori

L'area interessata dal campo eolico, più nello specifico dagli aerogeneratori, è posta a circa 35/45 metri s.l.m. Il territorio su cui è collocata la Stazione Elettrica Terna "Lucera" è situato a circa 34 metri s.l.m. Nelle seguenti figure è riportato un inquadramento territoriale del parco eolico.

Layout su base IGM

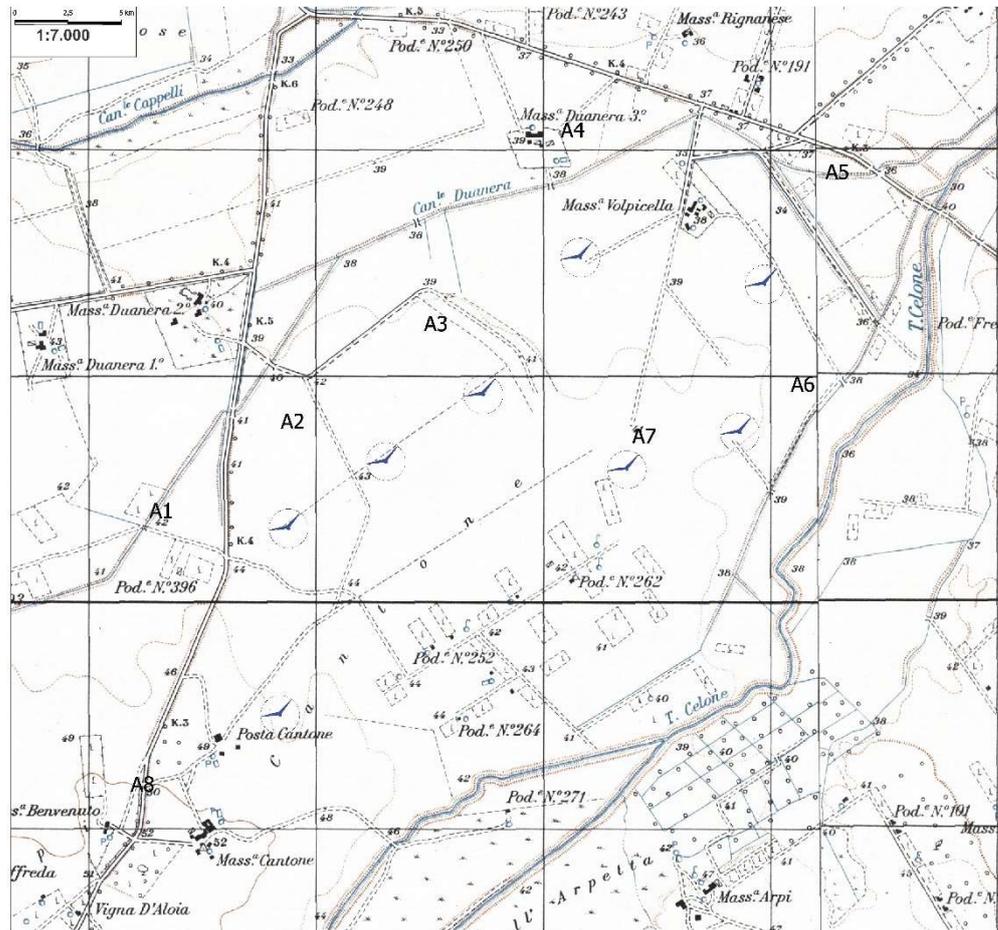


Figura 1: Inquadramento territoriale impianto

### 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 V172 – SO/SO3 da 6.8 MW. In Figura 2 è riportata una rappresentazione tecnica dell'elemento al di sopra del terreno di fondazione.

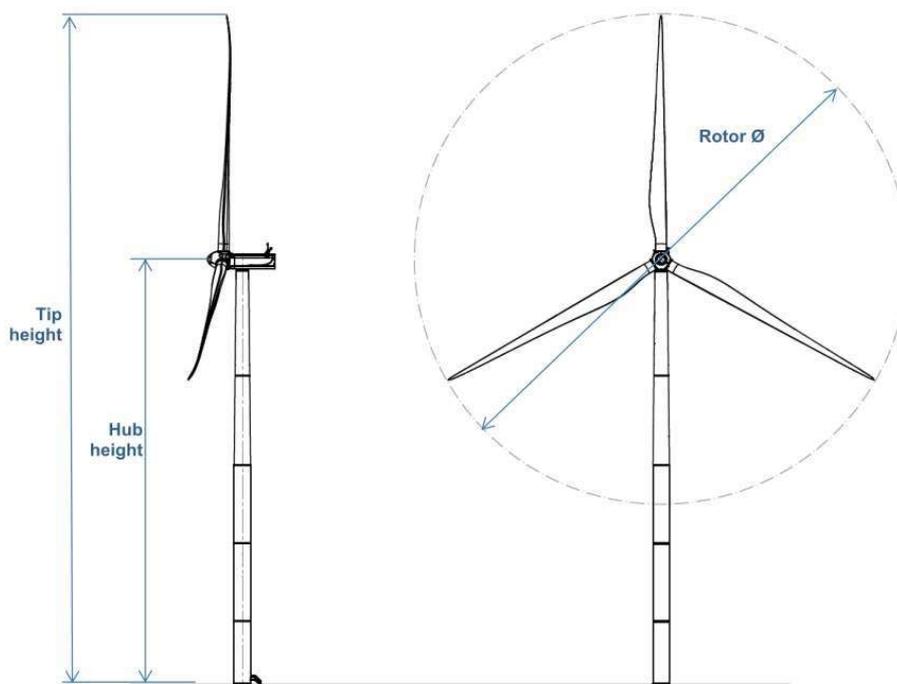


Figura 2: Aerogeneratore Vestas V172 – SO3

### 4 Descrizione generale dell'opera

Il progetto prevede la costruzione di n. 8 plinti di fondazione su pali a servizio dell'installazione di n. 8 aerogeneratori, identificati nel progetto dell'impianto eolico come "A" seguito da numerazione a unica cifra come "1".

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 25.0 m e base minore avente diametro pari a 7,20 m, con quota d'imposta a circa - 3,20 m rispetto al piano medio di campagna. L'altezza massima della fondazione misurata al centro della stessa (sul colletto) è di 3,50 m, mentre l'altezza minima misurata sull'estremità è di 0,75 m. Al centro della fondazione viene realizzato un accrescimento di 1,0 m al fine di consentire l'alloggio dell'anchor cage per l'installazione della torre eolica.

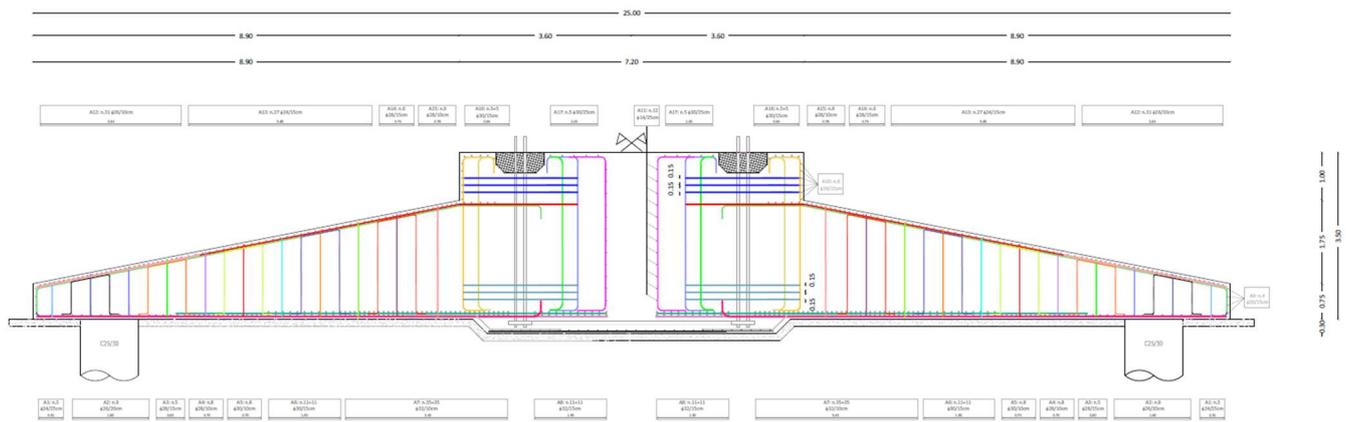


Figura 3: Dettaglio sezione fondazione

Viste le caratteristiche geologiche e gli enti sollecitanti, la fondazione è del tipo indiretto fondata su n.20 pali di diametro 120 cm e lunghezza indicativa pari a 20,00 m, disposti radialmente ad una distanza dal centro pari a circa 11,00 m. Le due congiungenti degli assi di due generici pali contigui con il centro della fondazione formano un angolo al centro pari a 18.00°.

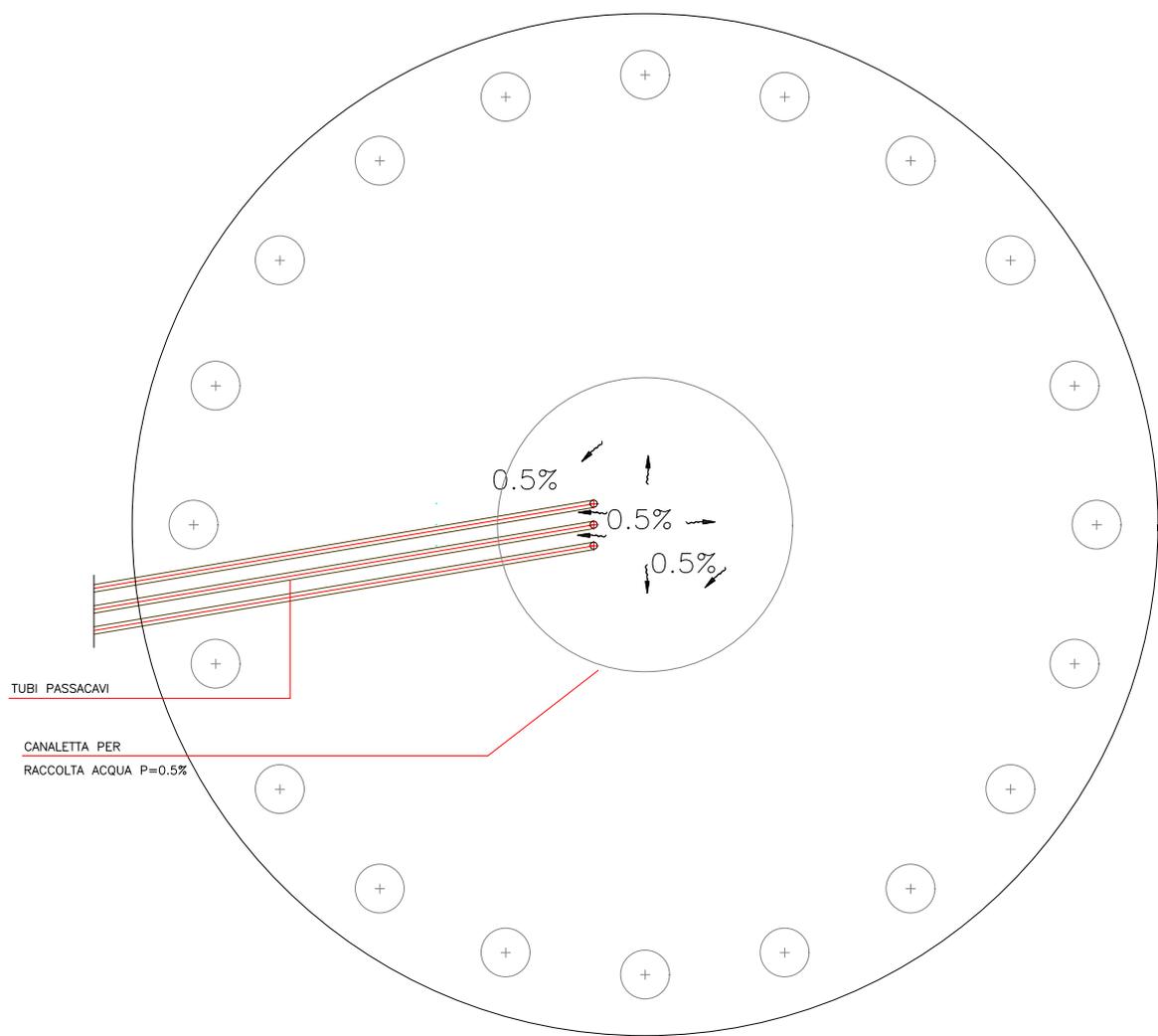


Figura 4: Dettaglio pianta fondazione

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
		Data: <b>27/01/2023</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>7</b>

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

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

## 5 Normative di riferimento

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

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

## 6 Caratterizzazione sismica dell'area

La Mappa di Pericolosità Sismica suddivide il territorio nazionale in zone sismiche ognuna contrassegnata da un diverso valore di "ag" (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 <sub>g</sub> " ≥ 0,25 g
Zona Sismica "2"	0,15 g ≤ "a <sub>g</sub> " < 0,25 g
Zona Sismica "3"	0,05 g ≤ "a <sub>g</sub> " < 0,15 g
Zona Sismica "4"	"a <sub>g</sub> " < 0,15 g

Tabella 3: Zone sismicità di base

Il territorio comunale di Foggia (FG) è individuato in una Zona Sismica "2" descritta come Zona con Media Pericolosità Sismica, contrassegnata da un valore di "ag" compreso tra 0,15 g e 0,25 g. Il Comune è definito da una accelerazione orizzontale di picco PGA pari a 0,221 g.

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

- Vita nominale VN pari a **50 anni**;
- Classe d'uso **IV** (rischio rilevante);
- Categoria Topografica (T1);
- Categoria Stratigrafica;
- Coefficiente d'uso Cu pari a 2;

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato:	PRO-PROG-REL-013
		Data:	27/01/2023
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Revisione:	00
		Pagina:	8

### 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:

$$V_R = 100 \text{ anni}$$

### 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 "ag" 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 TR 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 di Foggia (FG) con probabilità di superamento in 50 anni del 10% (SLV).

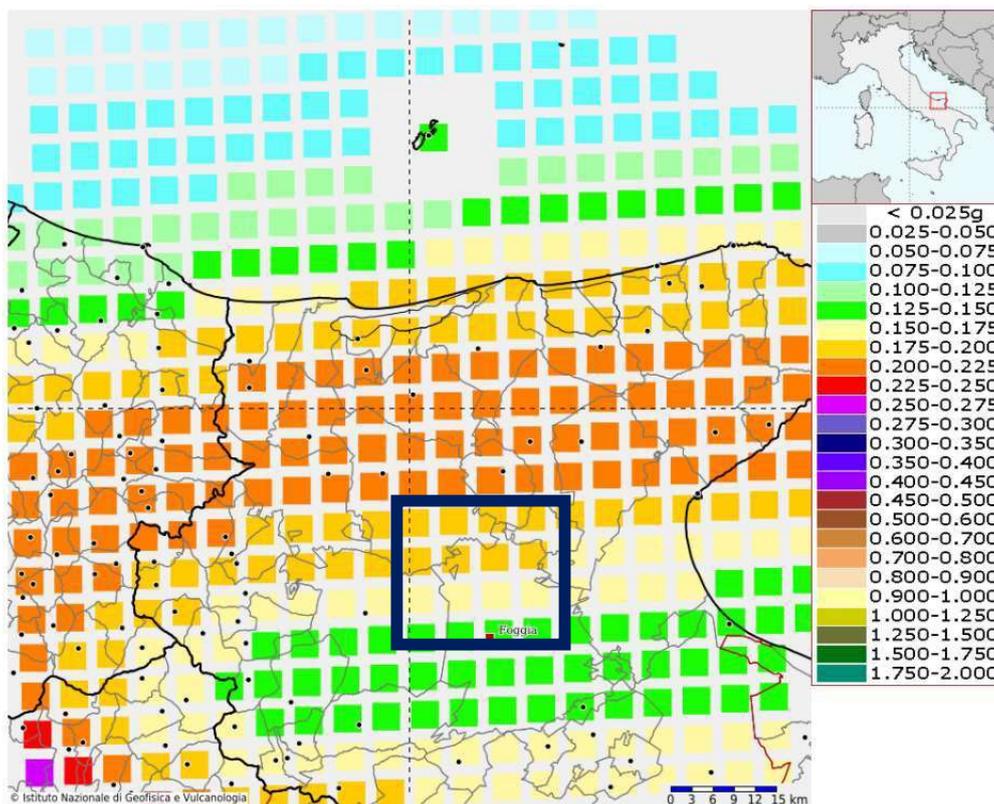


Figura 5: Reticolo di riferimento sismicità di base (INGV)

### 6.3 Azione sismica di base

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

- Accelerazione orizzontale massima del terreno ag;
- Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione orizzontale F0;
- Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale T\* C.

Detti parametri sismici dipendono dal periodo di ritorno TR, espresso in anni, e dalla posizione geografica

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
		Data: <b>27/01/2023</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>9</b>

del sito. Il periodo di ritorno per ciascun stato 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 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:

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$	$T_c^*$ [s]
SLO	60	0,081	2,493	0,294
SLD	101	0,104	2,514	0,298
SLV	949	0,269	2,432	0,341
SLC	1950	0,349	2,427	0,353

Tabella 5: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore

## 6.4 Risposta Sismica Locale

L'azione sismica di base individuata nella precedente sezione viene successivamente variata, nei modi precisati dalle NTC, 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 ST e Stratigrafica SS.

### 6.4.1 Amplificazione Topografica

Di seguito sono riportate le categorie topografiche dell'area in esame:

AEROGENERATORE	CATEGORIA TOPOGRAFICA	DESCRIZIONE
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Tabella 6: 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:

G	Categoria di suolo	
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	<b>B</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 7: Categoria di suolo

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Data: <b>27/01/2023</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>10</b>

## 7 Materiali Impiegati

### 7.1 Calcestruzzo

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

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

- **Calcestruzzo per plinti di fondazione: C35/45**  
 Classe di esposizione: XC4  
 Copriferro minimo: 5cm (salvo diversamente specificato)

Classe	f <sub>ck</sub>	α <sub>cc</sub>	γ <sub>cls</sub>	E <sub>cm</sub>	f <sub>cd</sub>	f <sub>ctm</sub>	f <sub>ctk</sub>	f <sub>ctd</sub>	f <sub>cfm</sub>	f <sub>bk</sub>	f <sub>bd</sub>	ε <sub>c2</sub>	ε <sub>cu</sub>	σ <sub>c,Rara</sub>	σ <sub>c,QP</sub>
	[MPa]			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]			[MPa]	[MPa]
C35/45	35,00	0,85	1,50	34.077	19,83	3,21	2,25	1,50	3,86	5,06	3,37	0,00200	0,00350	21,00	15,75

Tabella 8: Caratteristiche meccaniche CLS C35/45

- **Calcestruzzo per pali di fondazione: C25/30**  
 Classe di esposizione: XC2  
 Copriferro minimo: 5cm (salvo diversamente specificato)

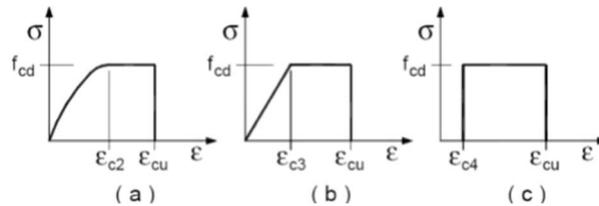
Classe	f <sub>ck</sub>	α <sub>cc</sub>	γ <sub>cls</sub>	E <sub>cm</sub>	f <sub>cd</sub>	f <sub>ctm</sub>	f <sub>ctk</sub>	f <sub>ctd</sub>	f <sub>cfm</sub>	f <sub>bk</sub>	f <sub>bd</sub>	ε <sub>c2</sub>	ε <sub>cu</sub>	σ <sub>c,Rara</sub>	σ <sub>c,QP</sub>
	[MPa]			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]			[MPa]	[MPa]
C25/30	25,00	0,85	1,50	31.476	14,17	2,57	1,80	1,20	3,08	4,04	2,70	0,00200	0,00350	15,00	11,25

Tabella 9: Caratteristiche meccaniche CLS C25/30

- **Malta speciale C80/95**

Classe	f <sub>ck</sub>	α <sub>cc</sub>	γ <sub>cls</sub>	E <sub>cm</sub>	f <sub>cd</sub>	f <sub>ctm</sub>	f <sub>ctk</sub>	f <sub>ctd</sub>	f <sub>cfm</sub>	f <sub>bk</sub>	f <sub>bd</sub>	ε <sub>c2</sub>	ε <sub>cu</sub>	σ <sub>c,Rara</sub>	σ <sub>c,QP</sub>
	[MPa]			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]			[MPa]	[MPa]
C80/95	80,00	0,85	1,50	42'244	45,33	4,84	3,39	2,26	5,81	7,62	5,08	0,00252	0,00260	48,00	36,00

Tabella 10: Caratteristiche meccaniche CLS C80/95



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

Figura 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 11: Caratteristiche meccaniche acciaio B450C

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in Figura 7:

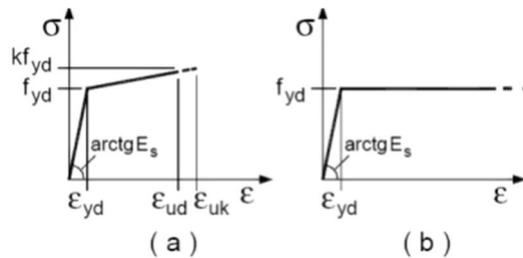


Figura 7: Modello tensione-deformazione per l'acciaio

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
		Data: <b>27/01/2023</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>12</b>

## 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. In particolare, sono stati presi in considerazione i risultati ottenuti dall'escavazione dei pozzi per acqua più vicini al sito oggetto di analisi.

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:

- **Depositi Alluvionali Attuali (b):** si tratta di ghiaie e sabbie degli alvei attuali. Nelle aree di esondazione si ritrovano strati decimetrici di sabbie a gradazione diretta, laminate e con al tetto sottili livelli argillosi. L'Età è riferibile al Pleistocene Superiore – Olocene.
- **Formazione del Sintema di Foggia:** si tratta di depositi argilloso-siltoso-conglomeratici il cui spessore varia da circa 10-15 m nelle porzioni più occidentali, fino a 40 m al massimo nella porzione centrale della piana di Foggia. A diverse altezze stratigrafiche sono inoltre presenti lenti di conglomerati, di regola debolmente cementati, spesse da qualche metro a 10-15 m. Le aree di affioramento dei depositi sabbioso-siltosi ed argilloso-siltosi si estendono in corrispondenza di una estesa superficie attorno a quota 50 m s.l.m., profondamente incisa (20-30 metri) dal Torrente Celone. Gli orizzonti lenticolari di argille siltose sottilmente laminate o massive, con intercalazioni di sabbie siltose laminate e gradate, riferibili a decantazione con debole trazione in seguito ad episodi di tracimazione o di piena calante; a luoghi in questi orizzonti sono stati rinvenuti frammenti di gasteropodi continentali. Questi depositi sono coperti da orizzonti discontinui di "crosta" che si sono sviluppati in prevalenza nelle aree di affioramento dei sedimenti a granulometria più fine. Nel loro complesso l'ambiente deposizionale dei sedimenti riferiti al sintema di Foggia è riconducibile ad una piana alluvionale interessata episodicamente da piene. L'Età: Pleistocene medio - Pleistocene superiore

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

### 8.1 Parametri Geotecnici Depositi Alluvionali Attuali (b)

- **Caratteri litologici e stratigrafici**  
Si tratta di ghiaia (elementi arrotondati e appiattiti di calcari marnosi, arenarie) in matrice sabbioso-limosa, più o meno cementati, con livelli di conglomerati, talvolta con livelli di sabbie e di argille verdastre, presentano localmente un arrossamento della parte più superficiale, spessore medio prevedibile ~ 15 m.
- **Caratteri geotecnici**  
Suolo non coesivo, o granulare per il quale è difficile prelevare campioni indisturbati ed è altrettanto improbabile eseguire qualunque tipo di prova penetrometrica, per cui si è fatto riferimento solo ai risultati delle SPT eseguite in sabbia e/o a prove geotecniche di laboratorio compiute su campioni (a componente sabbiosa) prelevati nell'ambito di tale unità. Il materiale ghiaioso a matrice sabbiosa è solitamente ben assortito, denso, di bassa compressibilità, permeabile / mediamente permeabile, così come lo sono i livelli sabbiosi.

$\gamma$ = peso di volume	1,9 t/mc ÷ 2,0 t/mc
$\phi'$ = angolo di attrito drenato	30,00° ÷ 35,00°
$c'$ = coesione drenata	0,5 t/mq ÷ 0,7 t/mq
$C_u$ = coesione non drenata	-
$E_d$ = modulo edometrico	4000 t/mq ÷ 6000 t/mq
$K_w$ = modulo di Winkler	20 kg/cmc ÷ 25 kg/cmc

Tabella 12: Parametri geotecnici Depositi Alluvionali Attuali

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
		Data: <b>27/01/2023</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>13</b>

## 8.2 Parametri Geotecnici Sintema di Foggia

### - Caratteri litologici e stratigrafici

Poggiano in erosione sulle argille subappennine. Sono costituite da sabbie quarzose giallastre che si presentano generalmente in grossi banchi, con livelli lentiformi di conglomerati e intercalazioni d'arenarie cementate e argille biancastre e verde chiaro. Lo spessore della formazione è normalmente di 30 metri.

### - Caratteri geotecnici

Suolo non coesivo, riferibile a sabbia medio-fine, da mediamente densa a densa, permeabile, di medio-bassa compressibilità.

$\gamma$ = peso di volume	1,8 t/mc ÷ 1,9 t/mc
$\phi'$ = angolo di attrito drenato	17,00° ÷ 30,00°
$c'$ = coesione drenata	0,15 t/mq ÷ 1,2 t/mq
$C_u$ = coesione non drenata	20,00 t/mq ÷ 36,00 t/mq
$E_d$ = modulo edometrico	500 t/mq ÷ 600 t/mq
$K_w$ = modulo di Winkler	10 kg/cmc ÷ 15 kg/cmc

Tabella 13: Parametri geotecnici Sintema di Foggia

## 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 (NTC2018). 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 numerico

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

## 10 Modellazione della struttura

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.

I punti della maglia che compongono il plinto circolare sono posti a quota -280 cm, 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.

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".

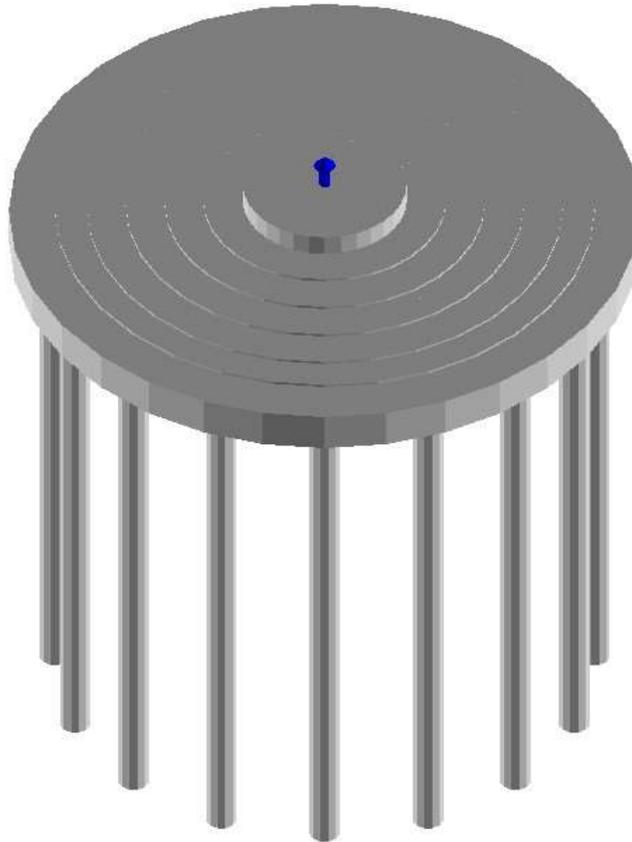


Figura 8: Vista solida elemento di fondazione

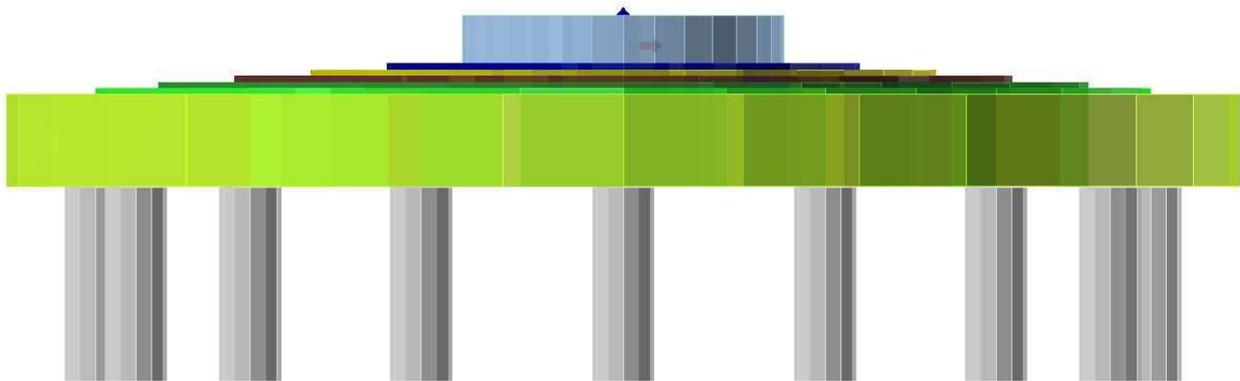


Figura 9: Vista solida laterale

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

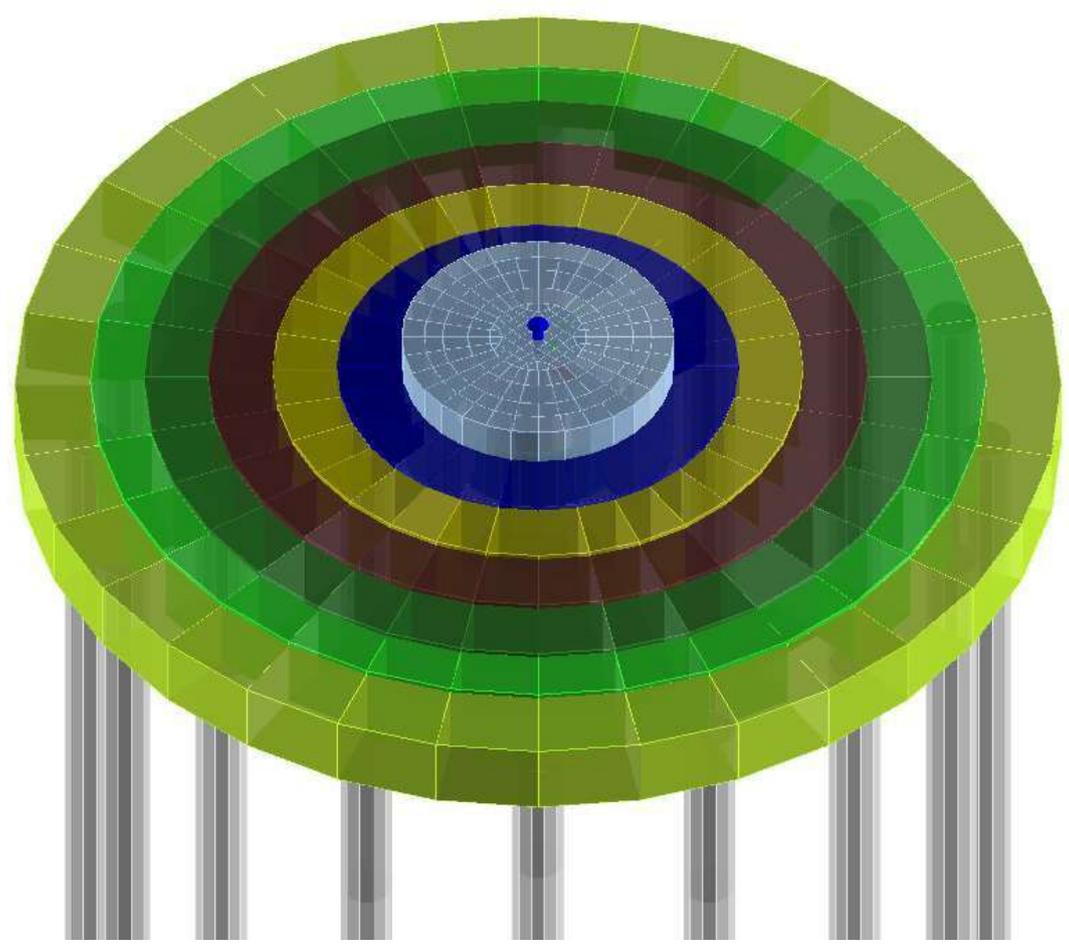


Figura 10: Vista solida. Distinzione degli spessori

Figura riportata invece una rappresentazione in pianta dei nodi di connessione tra gli elementi shell costituenti il modello della fondazione.

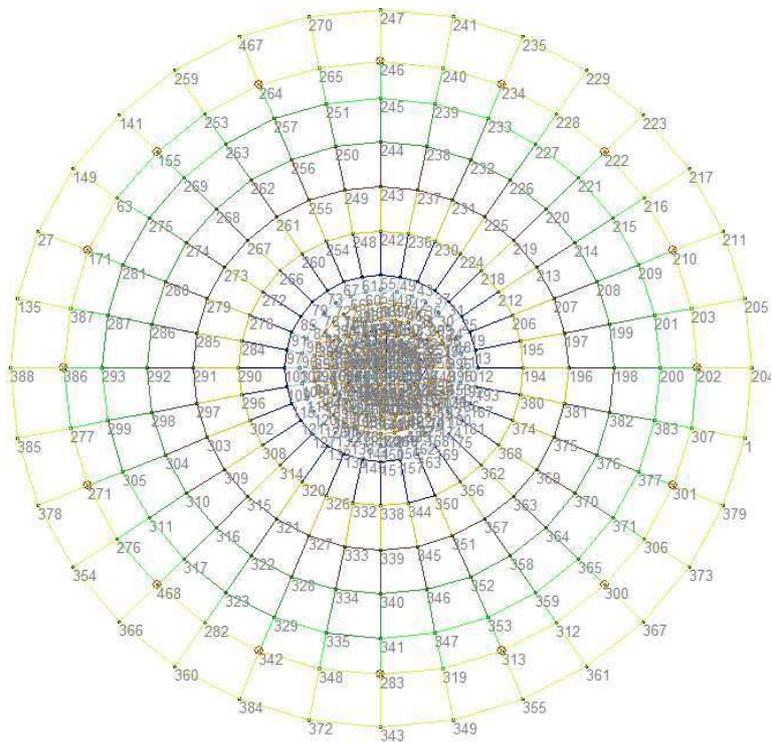


Figura 11: Pianta fondazione. Nodi della struttura

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

insersici riga    rimuovi riga    reset

setta rif.    assegna rif.    assegna a definiti

Usa stratigrafia semplificata con coefficienti:  
K0o    Kzo    Kv (attrito)  
0.0    0.0    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"

## 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 Gamesa Renewable Energy, 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]	151200
$M_Z$ [kNm]	-18613
$F_{Res}$ [kN]	1271
$F_Z$ [kN]	-6708

Tabella 14: 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 .

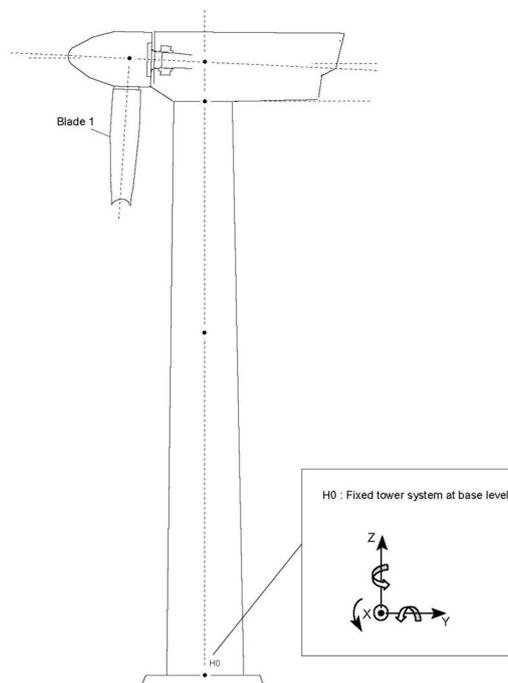


Figura 13: Sistema di riferimento per i carichi applicati

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

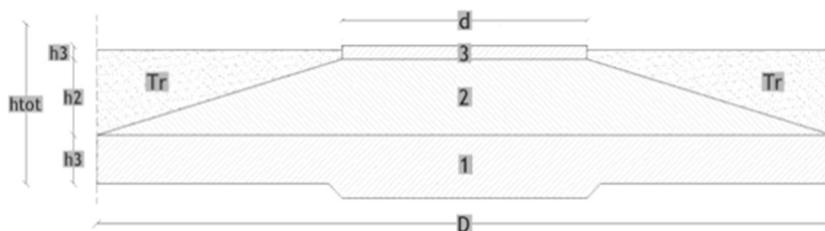


Figura 14: Modello di calcolo fondazione

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 25,00 m e un'altezza di 0,75 m, il secondo (2) è un tronco di cono con diametro di base pari a 25,00 m, diametro superiore di 7,20 m ed altezza pari a 1,75 m; il terzo corpo (3) è un cilindro con un diametro di 7,20 m ed altezza di 1,00 m. Per il terreno di ricoprimento si schematizza un parallelepipedo con peso pari a  $\gamma_{\text{sat}}$  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**  
 $G1 + G2 + P + \psi 21 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \psi 23 \cdot Qk3 + \dots$

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Data: <b>27/01/2023</b>
Revisione: <b>00</b>		
Pagina: <b>19</b>		

- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

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

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

Destinazione d'uso/azione	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Categoria A residenziali	0,70	0,50	0,30
Categoria B uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli $\leq 30\text{kN}$ )	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli $> 30\text{kN}$ )	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota $\leq 1000$ m	0,50	0,20	0,00
Neve a quota $> 1000$ m	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

Tabella 15: Valori dei 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 $\gamma_f$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali (Non compiutamente definiti)	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Tabella 16: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
		Data: <b>27/01/2023</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>20</b>

## 12.2 Coefficienti adottati

Per quanto riguarda le azioni esterne fornite dal produttore Vestas, si considerano il momento flettente ((MRes = MX; MY), momento torcente (MZ) ed il taglio (FRes= FX; FY) come azioni dovute a carichi variabili (vento). L'azione verticale FZ, 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:

$G_1 = 1,3$  sfavorevole

$G_2 = 0,0$  favorevole (carico del terreno di riempimento=0 quando favorevole)

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

$Q = 1,5$  sfavorevole

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

- Coefficienti di riduzione per materiali:

$\gamma_c = 1,5$  coefficiente riduttivo per calcestruzzo

- Coefficienti di combinazione delle azioni variabili adottati

Azione per carico accidentale mezzi di manutenzione:

Destinazione d'uso/azione	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Vento	0,60	0,20	0,00

Tabella 17: 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:

		<b>Mx; My</b>	<b>Mz</b>	<b>Fx;Fy</b>	<b>Fz</b>
Coeff. Parziali delle azioni	$\gamma_G$	-	-	-	1.3
	$\gamma_Q$	1.5	1.5	1.5	-
Coeff. di combinazione	$\psi_0$	0.6	0.6	0.6	-
	$\psi_1$	0.2	0.2	0.2	-
	$\psi_2$	0	0	0	-

Tabella 18: Coefficienti parziali per le azioni degli elementi in elevazione

Progetto Uno	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
	Relaz. sulle Strutture di Fondazione	Data: <b>27/01/2023</b>
Revisione: <b>00</b>		
Pagina: <b>21</b>		

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

	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 19: Fattori di combinazione delle azioni allo SLU

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	151200	-18613	1271	-6708
SLU	226800	-27920	1905	-8720
SLE r	151200	-18613	1271	-6708
SLE f	90720	-11168	763	-6708
SLE p	30240	-3723	254	-6708

Tabella 20: Combinazioni Vento estremo

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

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Data: <b>27/01/2023</b>
		Revisione: <b>00</b>
		Pagina: <b>22</b>

### 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:

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

*Tabella 21: Tipologia di carico applicato*

	<b>Progetto Definitivo</b>	Codice Elaborato: <b>PRO-PROG-REL-013</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	Data: <b>27/01/2023</b>
Revisione: <b>00</b>		
Pagina: <b>23</b>		

## 12.4 Schematizzazione dei casi di carico

Il programma consente l'applicazione di diverse tipologie di casi di carico. Sono previsti i seguenti 11 tipi di casi di carico:

	<b>Sigla</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Descrizione</b>
1	<b>Ggk</b>	A	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	<b>Gk</b>	NA	caso di carico con azioni permanenti
3	<b>Qk</b>	NA	caso di carico con azioni variabili
4	<b>Gsk</b>	A	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	<b>Qsk</b>	A	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	<b>Qnk</b>	A	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	<b>Qtk</b>	SA	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	<b>Qvk</b>	NA	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	<b>Esk</b>	SA	caso di carico sismico con analisi statica equivalente
10	<b>Edk</b>	SA	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	<b>Etk</b>	NA	caso di carico comprensivo di azioni derivanti dall' incremento di spinta delle terre in condizione sismica
12	<b>Pk</b>	NA	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni

*Tabella 22: 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.

	<b>Progetto Definitivo</b>	<b>Codice Elaborato:</b>	<b>PRO-PROG-REL-013</b>
	<b>Relaz. sulle Strutture di Fondazione</b>	<b>Data:</b>	<b>27/01/2023</b>
		<b>Revisione:</b>	<b>00</b>
		<b>Pagina:</b>	<b>24</b>

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
			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:
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 23: 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 24: 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 25: 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 “ $a_d$ ”), con il corrispondente valore di progetto della domanda  $E_d$ , funzione dei valori di progetto delle azioni “ $F_d$ ” e dei valori nominali delle grandezze geometriche della struttura interessate.

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

$$R_d \geq E_d$$

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

$$X_d = X_k / \gamma_M,$$

Essendo  $\gamma_M$  il fattore parziale associato alla resistenza del materiale.

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

$$F_d = \gamma_F F_k$$

Essendo  $\gamma_F$  il fattore parziale relativo alle azioni. Nel caso di concomitanza di più azioni variabili di origine diversa si definisce un valore di combinazione  $\psi_0 F_k$ , ove  $\psi_0 \leq 1$  è un opportuno coefficiente di combinazione che

tiene conto della ridotta probabilità che più azioni di diversa origine si realizzino simultaneamente con il loro valore caratteristico.

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

$$C_d \geq E_d$$

## 15 Risultati di calcolo

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

### 15.1 Deformate

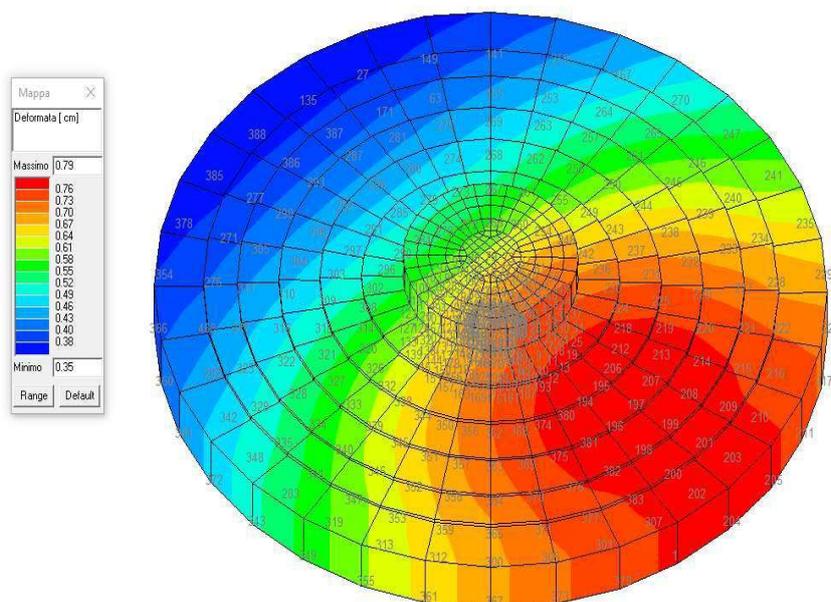


Figura 15: Deformata per Combinazione SLU 3

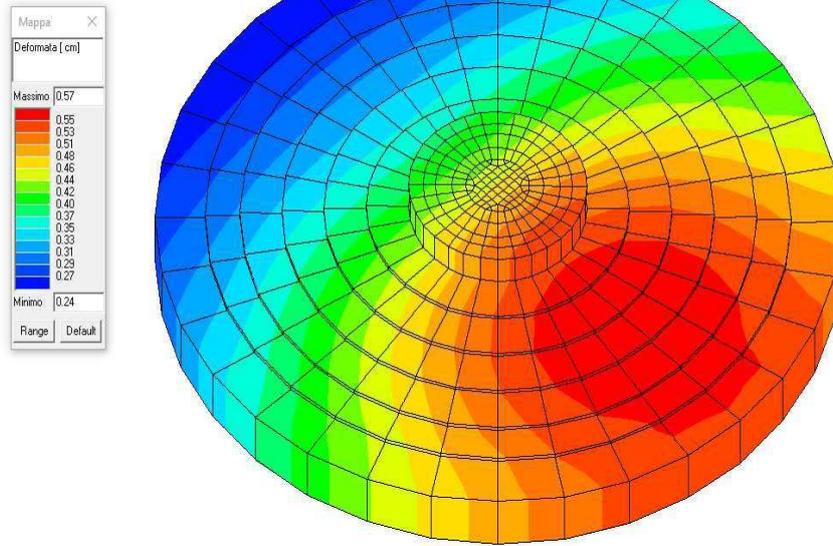


Figura 16: Deformata massima Combinazione SLE

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

### 15.2 Tensioni

Tensioni totali secondo Von Mises.

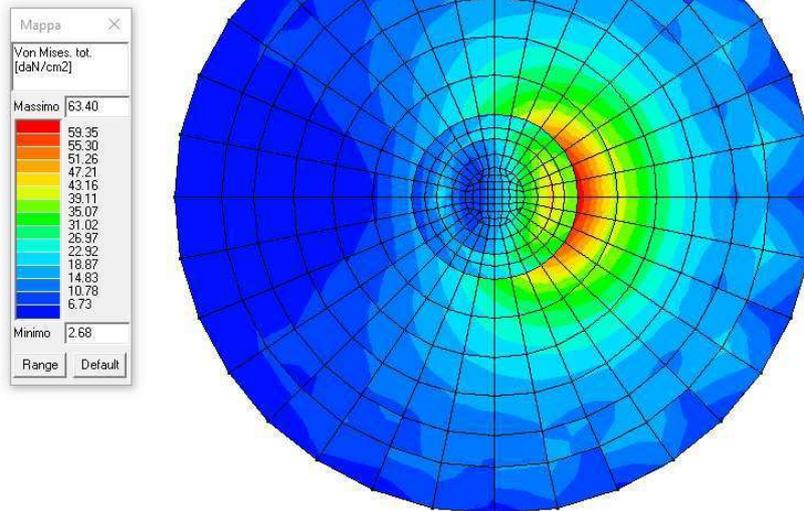


Figura 17: Tensioni totali Combinazione SLU 3

### 15.3 Azioni sui pali

Massime azioni agenti sui vincoli allo stato limite ultimo SLU.

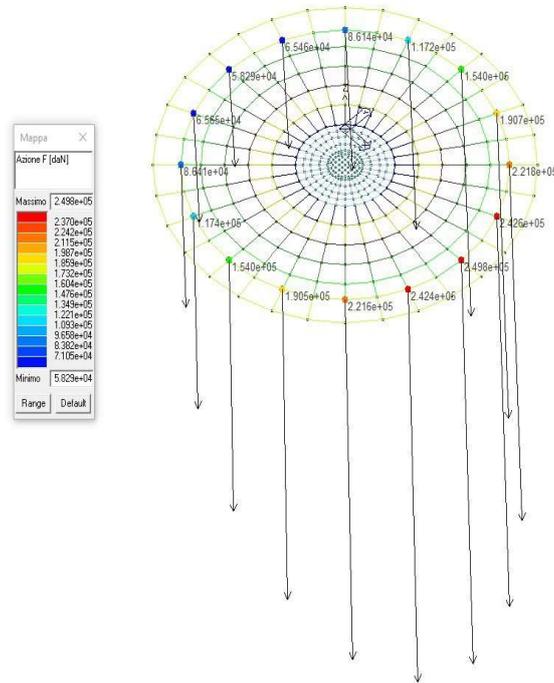


Figura 18: Azioni F massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

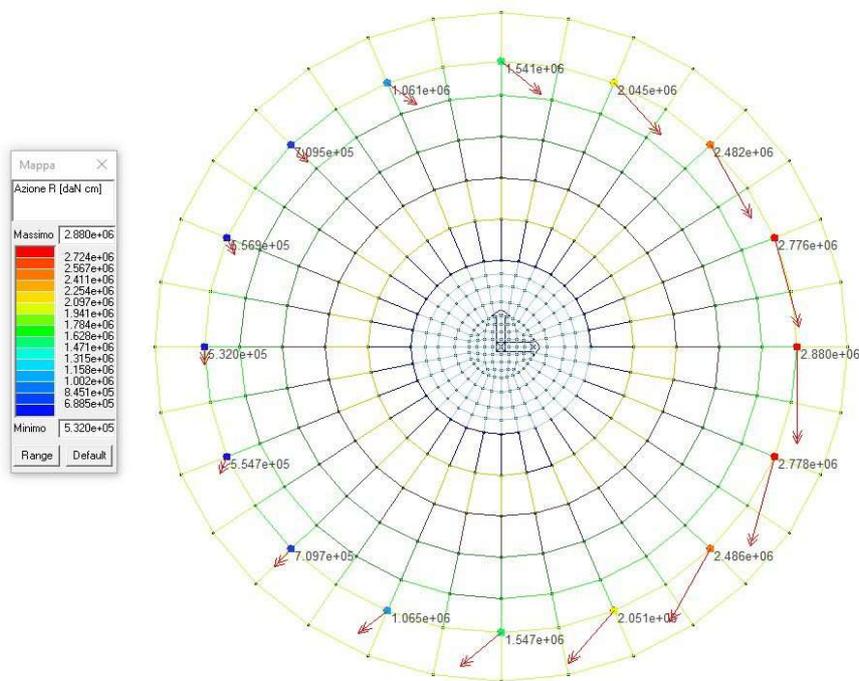


Figura 19: Azioni R massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

## 16 Armature minime di progetto

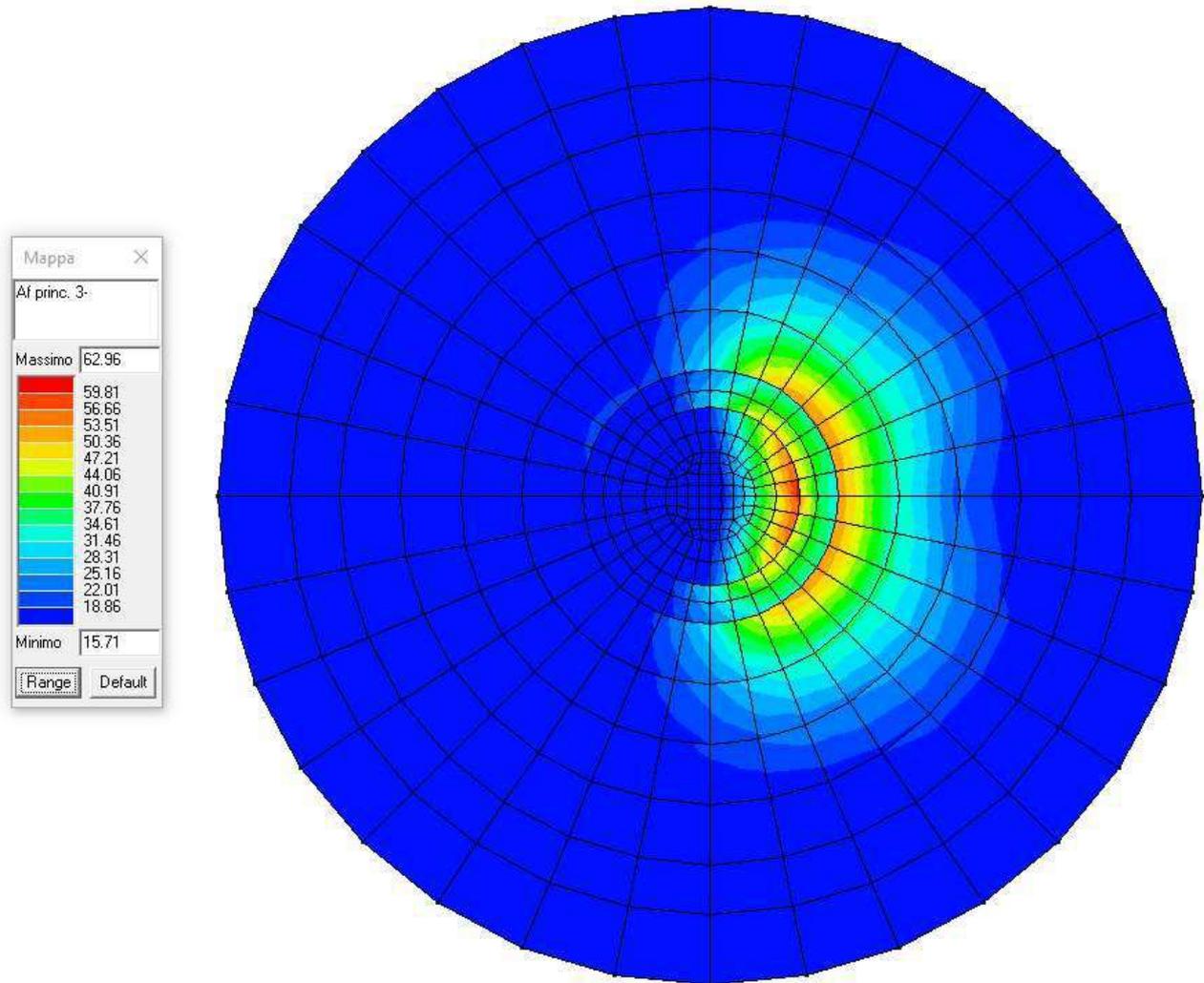


Figura 20: Armatura principale su plinto lato inferiore. Valori in cm<sup>2</sup> per metro lineare

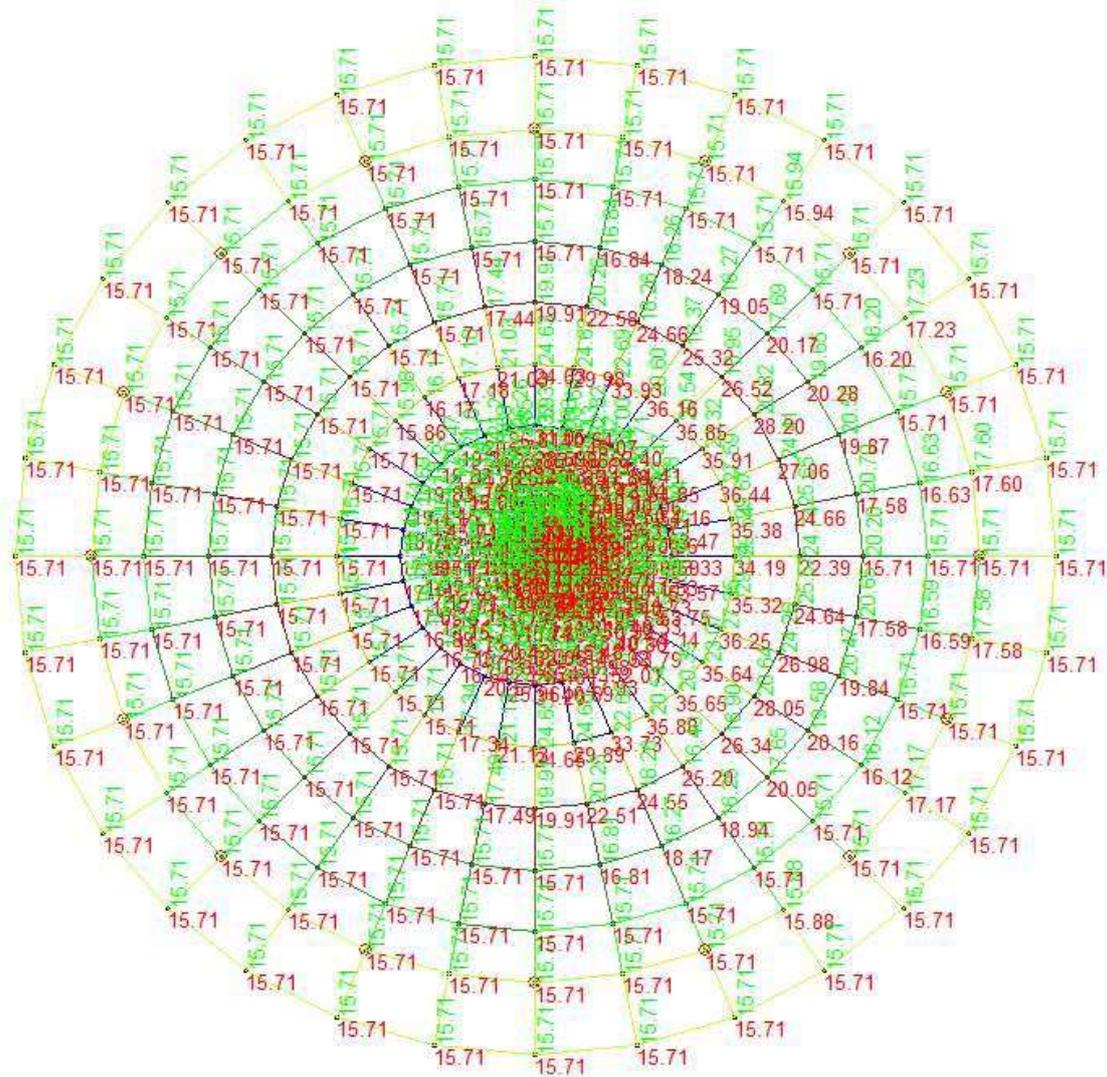


Figura 21: Dettaglio armatura su lato inferiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in  $\text{cm}^2$  per metro lineare

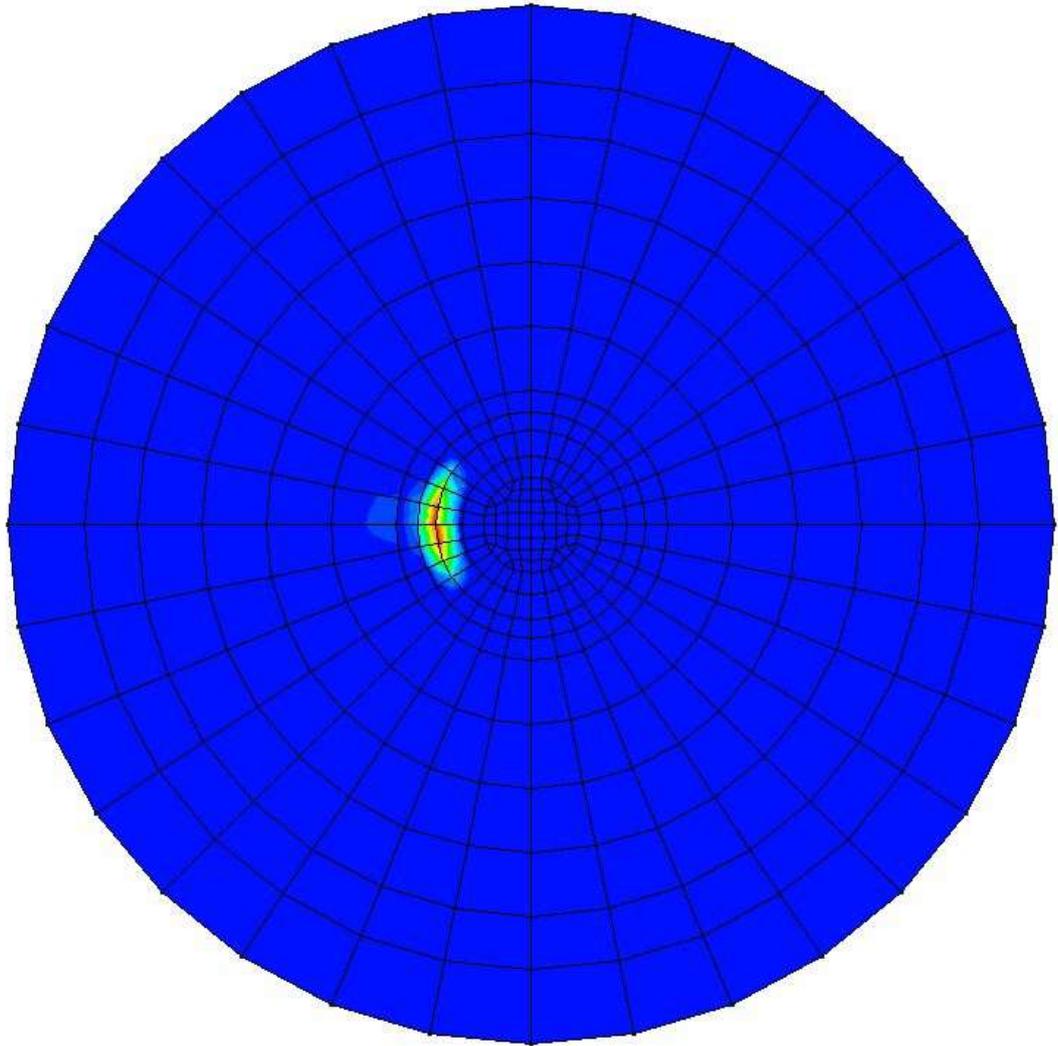
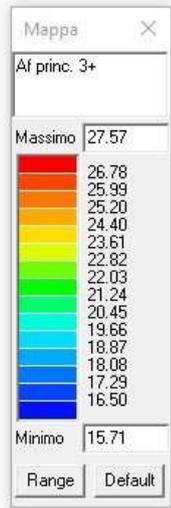


Figura 22: Armatura su plinto lato superiore. Valori in  $cm^2$  per metro lineare

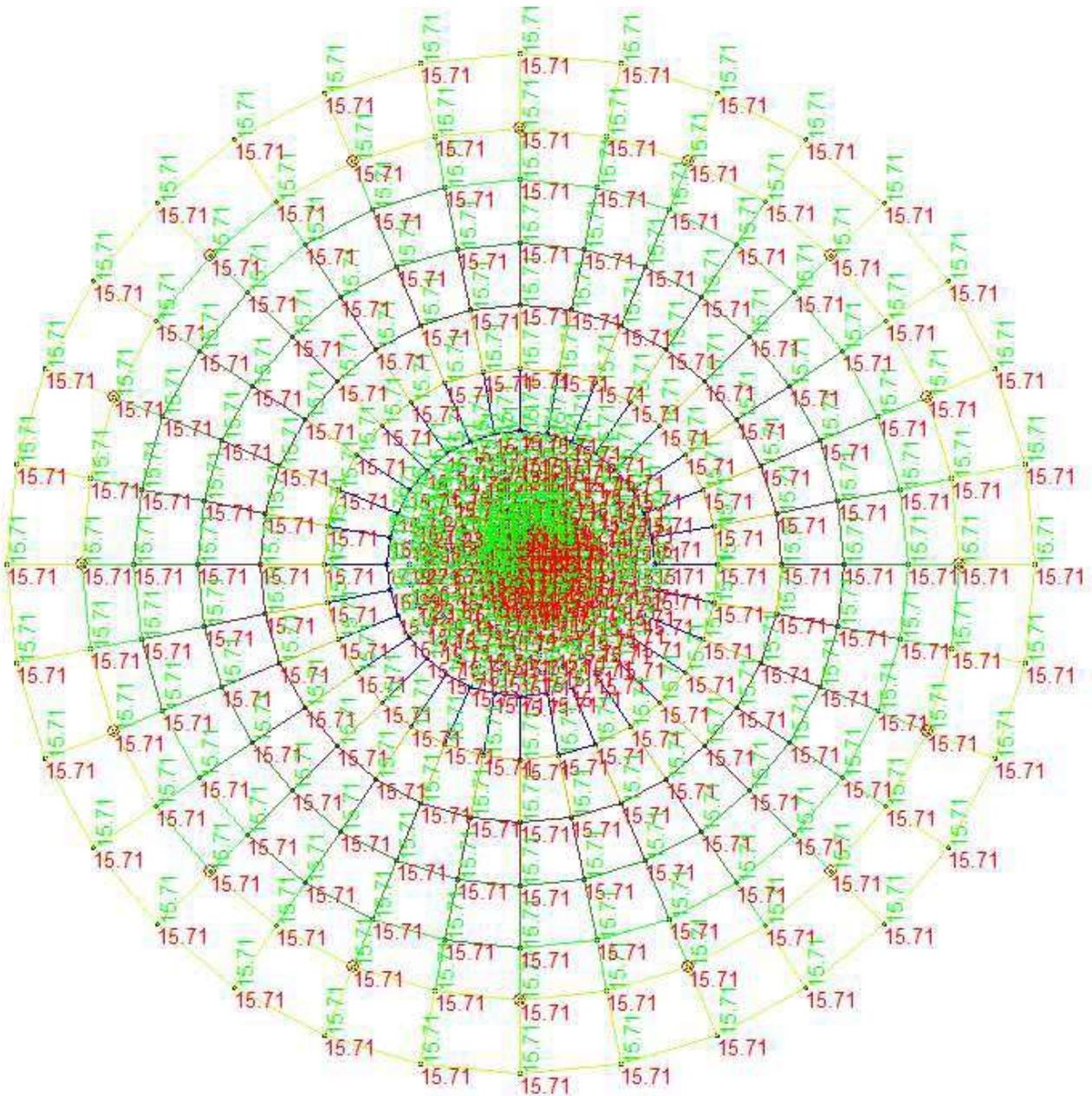


Figura 23: Dettaglio armatura su lato superiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in  $\text{cm}^2$  per metro lineare

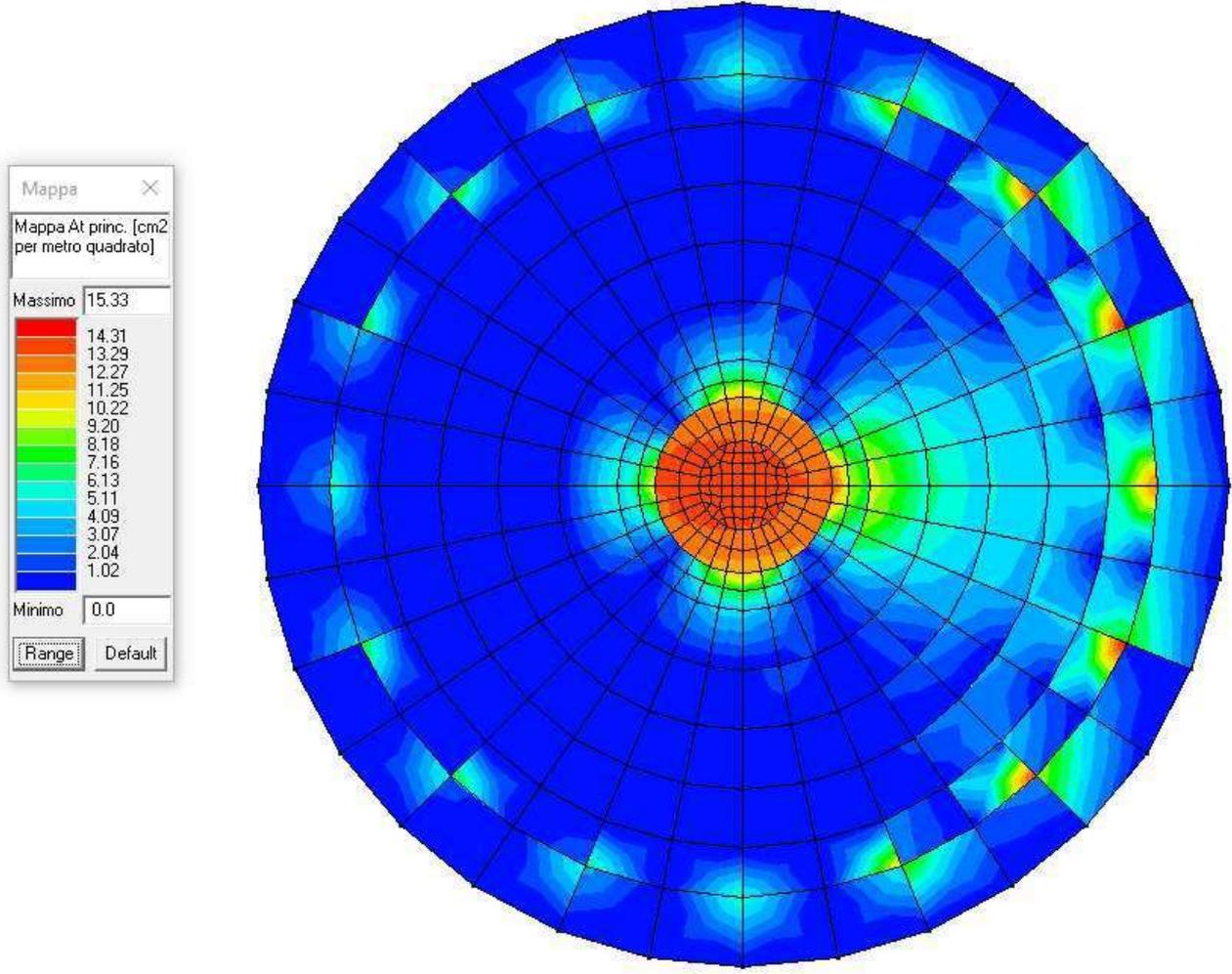


Figura 24: Armatura a taglio. Valori in cm<sup>2</sup> per metro quadro

## 17 Sintesi delle verifiche di sicurezza

### 17.1 Verifiche SLU

In azzurro sono rappresentati gli elementi verificati.

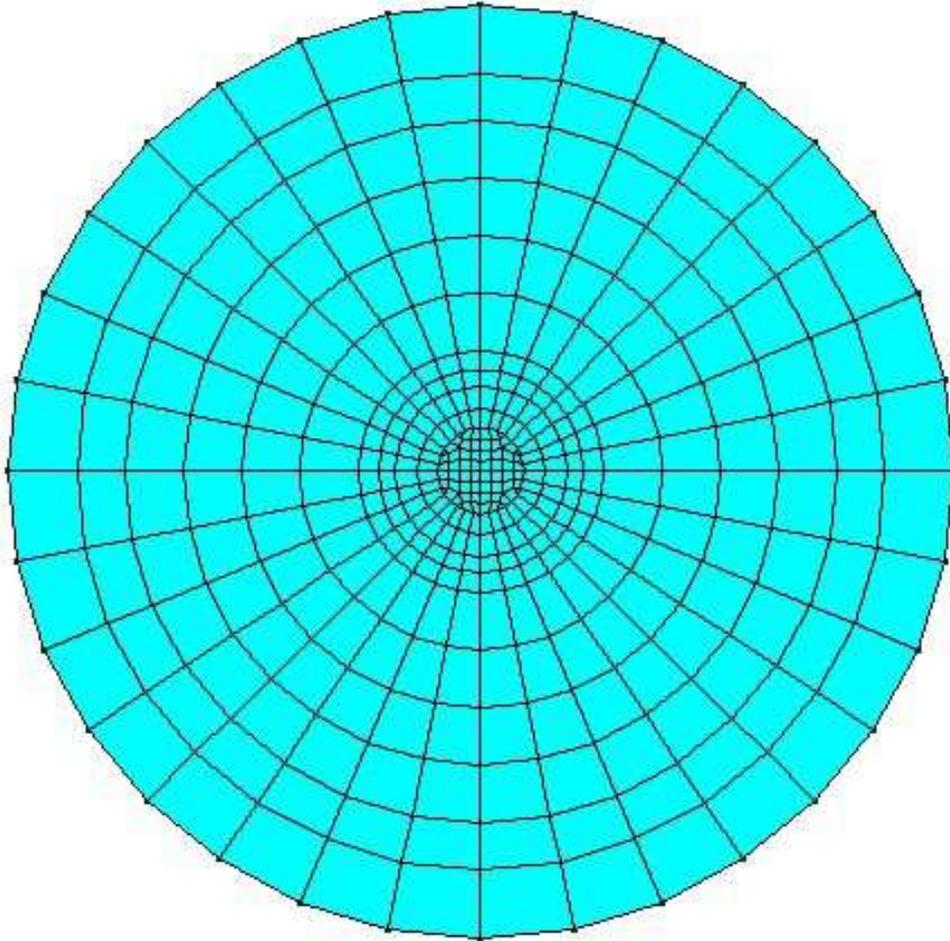


Figura 25: Verifica SLU. In azzurro gli elementi verificati

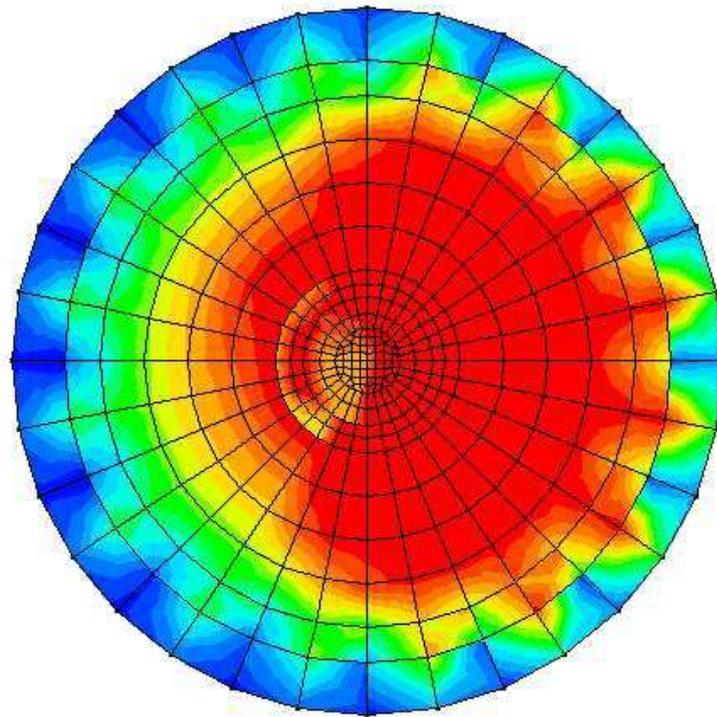
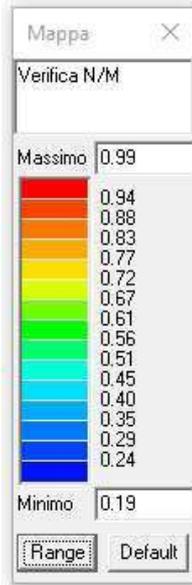


Figura 26: Verifica a pressoflessione N-M SLU (Verificato per valori <1)

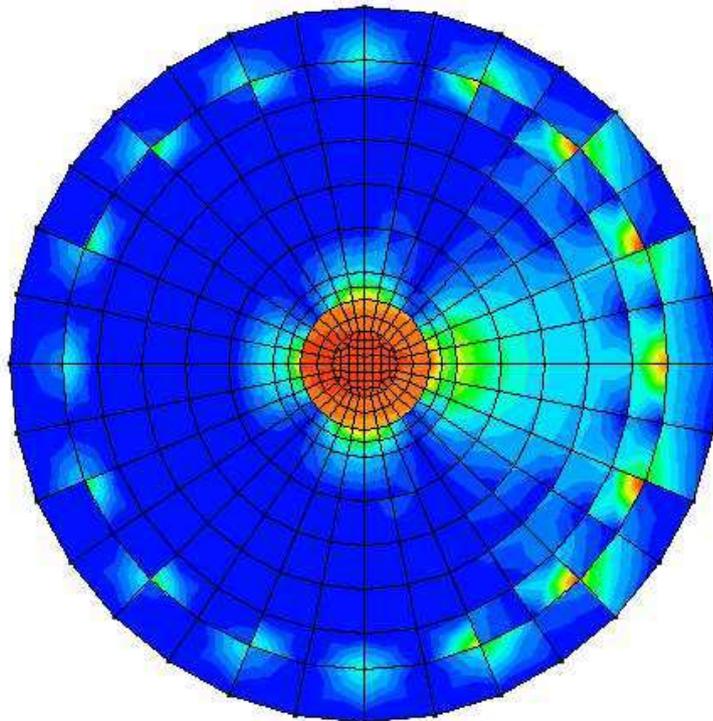
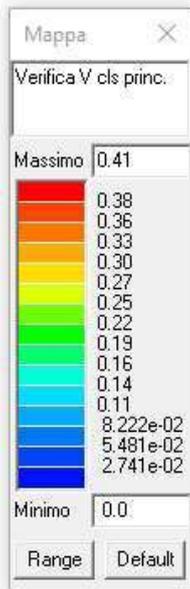


Figura 27: Verifica V CLS principale (verifica per valori <1)

### 17.2 Verifiche SLE

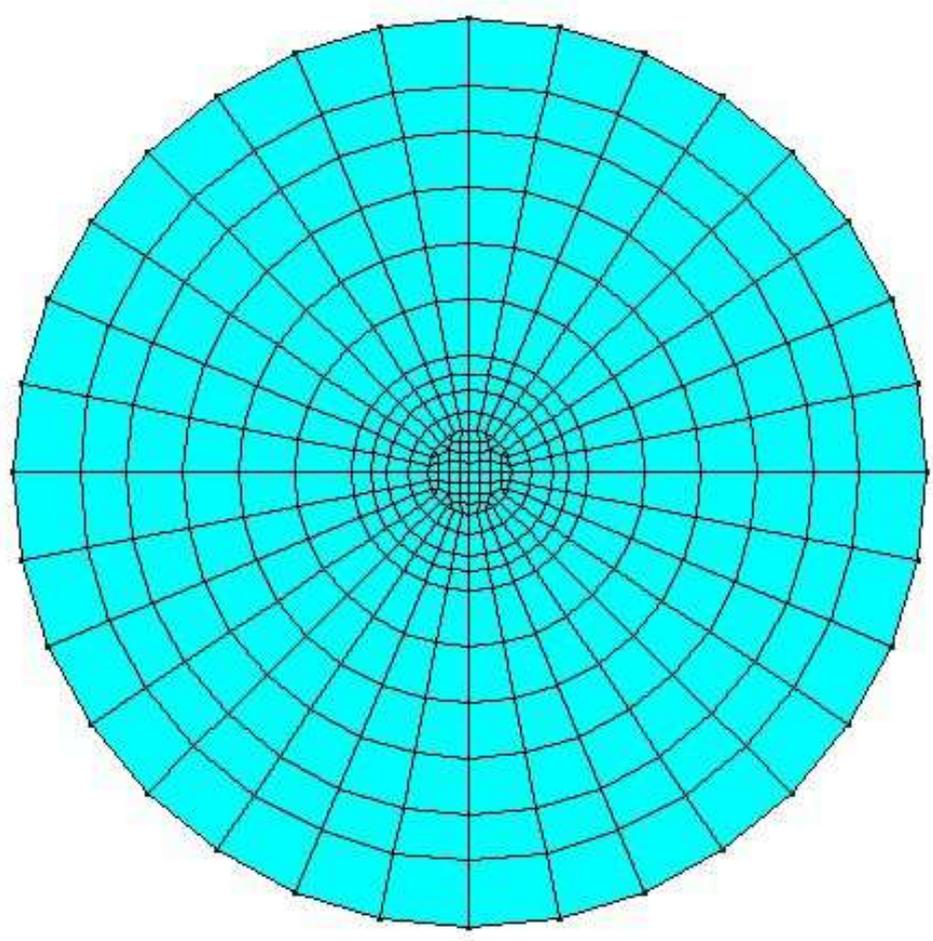


Figura 28: Verifica SLE. In azzurro gli elementi verificati

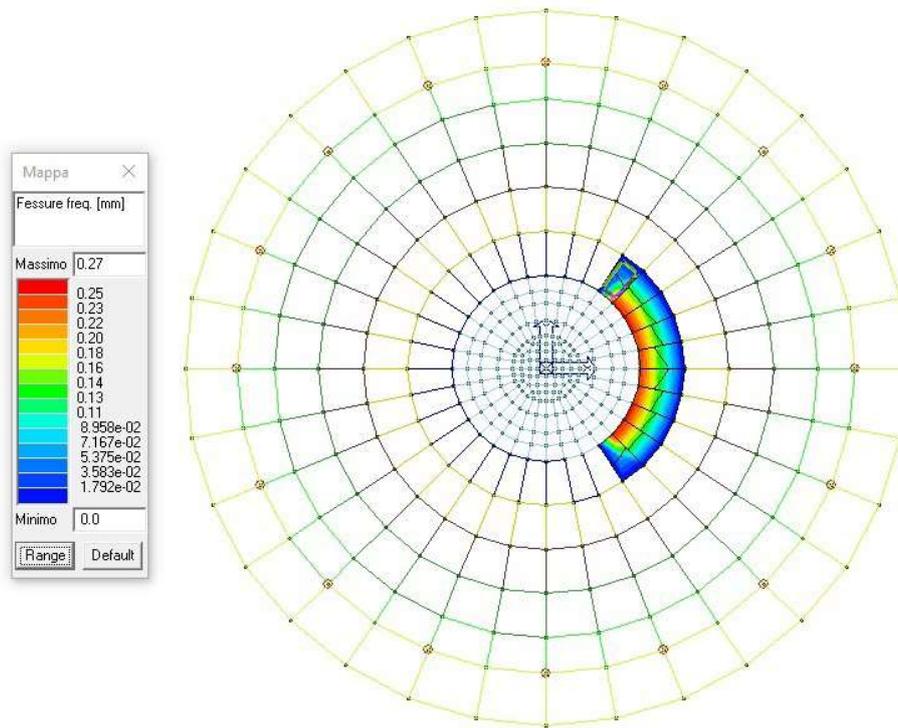


Figura 29: Fessure SLE frequenti. Ampiezza fessure <0,3 mm - Verifica soddisfatta

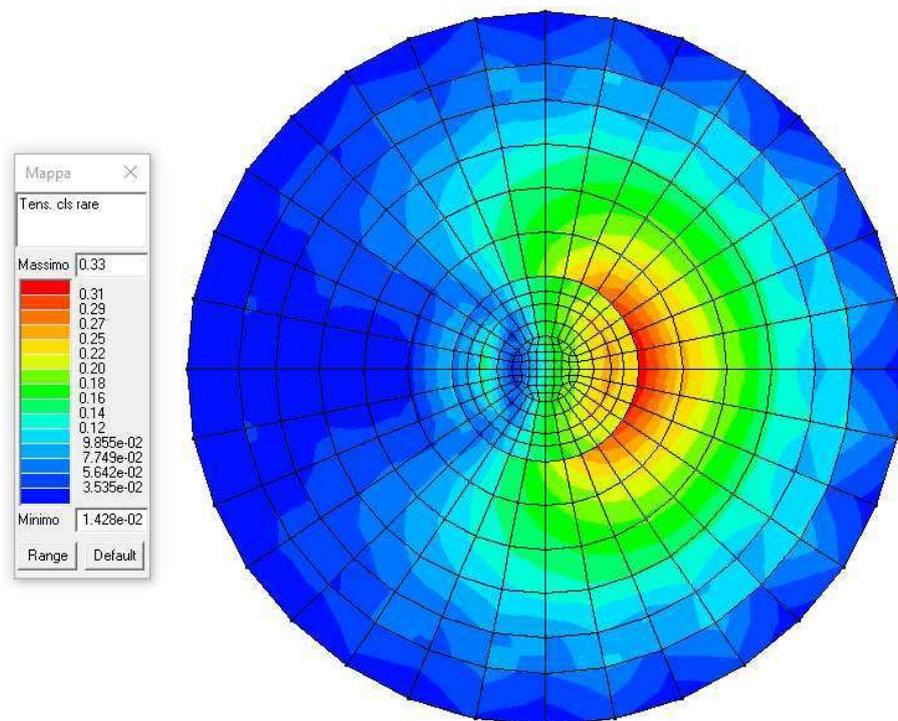


Figura 30: Tensioni CLS SLE rare (verificato per valori <1)