

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

AREN ELECTRIC POWER S.p.a.

Sede legale e amministrativa: Via Dell'Arrigoni, 308 – 47522 – Cesena (FC)
Codice Fiscale, P. IVA e numero di iscrizione al Registro delle Imprese di FC: 03803880404

**COMUNI DI CANOSA DI PUGLIA (BT), LAVELLO,
MONTEMILONE e VENOSA (PZ)**

LOCALITA' "LOCONIA"

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "CANOSA"

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:

CANDS_F00R00100_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	21/10/2022	D.Zampa	S.Ulivi	S.Ulivi
01					
02					
03					
04					

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 42

Sommario

1	Premessa.....	3
2	Inquadramento del progetto.....	3
3	Tipologia di intervento.....	5
4	Descrizione generale dell’opera.....	5
5	Normative di riferimento.....	7
6	Caratterizzazione sismica dell’area.....	7
6.1	Periodo di riferimento dell’azione sismica di base.....	8
6.2	Pericolosità sismica di base.....	8
6.3	Azione sismica di base.....	9
6.3.1	Parametri sismici aerogeneratori.....	9
6.4	Risposta Sismica Locale.....	12
6.4.1	Amplificazione Topografica.....	12
6.4.2	Amplificazione Stratigrafica.....	12
7	Materiali Impiegati.....	13
7.1	Calcestruzzo.....	13
7.2	Acciaio per il Calcestruzzo.....	14
8	Caratterizzazione Geotecnica dell’area.....	15
8.1	Parametri geotecnici aerogeneratore G1, G2, G3, G4, G5, G7, G9, G12 e G13.....	15
8.2	Parametri geotecnici aerogeneratore G6, G8, G10 e G14.....	17
8.3	Parametri geotecnici aerogeneratore G11.....	19
9	Metodo di calcolo.....	19
9.1	Modello numero.....	19
10	Modellazione della struttura.....	19
11	Azioni sulla struttura.....	23
12	Modellazione delle azioni.....	24
12.1	Combinazioni delle azioni.....	24
12.2	Coefficienti adottati.....	25
12.3	Modellazione dei carichi applicati.....	27
12.4	Schematizzazione dei casi di carico.....	28
12.5	Definizione delle combinazioni di carico.....	29
13	Metodo di analisi.....	30
14	Criteri di verifica agli stati limite.....	30
15	Risultati di calcolo.....	31
15.1	Deformate.....	31

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 42

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 42

1 Premessa

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Canosa”, e sito nei Comuni di Canosa di Puglia (BT), Venosa (PZ), Lavello (PZ) e Montemilone (PZ). (nel seguito: il **“Progetto”**).

La società proponente è Aren Electric Power spa, con sede in Via dell’Arrigoni 308 – 47522 Cesena (FC), P.IVA 03803880404 (nel seguito: il **“Soggetto proponente”**).

L’impianto è costituito da n. 14 aerogeneratori modello Vestas V150, altezza hub 105 m, ciascuno della potenza di 6 MW per una potenza di immissione complessiva dell’impianto pari a 84 MW.

Gli aerogeneratori si trovano nei Comuni di Canosa di Puglia (BT), Venosa (PZ) e Lavello (PZ). Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i Comuni di Lavello (PZ), Venosa (PZ) e Montemilone (PZ). L’impianto sarà allacciato alla futura Stazione Elettrica Terna Montemilone, 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 nei Comuni di Canosa di Puglia (BT), Venosa (PZ), Lavello (PZ) e Montemilone (PZ). Il progetto prevede l’installazione di n.14 aerogeneratori Vestas modello V150 da 6 MW (potenza complessiva = 84 MW), con altezza al mozzo pari a 105 metri e diametro delle pale di 150m.

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

TURBINA	X	Y
G1	573161	4547506
G2	578600	4555452
G3	577972	4555247
G4	578165	4554673
G5	576011	4553100
G6	578353	4552322
G7	576758	4550923
G8	576870	4550332
G9	576257	4550349
G10	573142	4546791
G11	577379	4541322
G12	578977	4553665
G13	579666	4554051
G14	576897	4541713

Tabella 1: Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 42

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

TURBINA	Comune	Foglio
G1	Venosa	1
G2	Canosa di Puglia	82
G3	Canosa di Puglia	82
G4	Canosa di Puglia	82
G5	Canosa di Puglia	86
G6	Canosa di Puglia	87
G7	Lavello	9
G8	Lavello	16
G9	Lavello	16
G10	Lavello	14
G11	Montemilone	26
G12	Canosa di Puglia	82
G13	Canosa di Puglia	83
G14	Montemilone	26

Tabella 2: Inquadramento catastale aerogeneratori

L'area interessata dal campo eolico, più nello specifico dagli aerogeneratori, è posta a un'altitudine compresa circa fra 120 e 350 metri s.l.m. Il territorio su cui è collocata la futura Stazione Elettrica Terna Montemilone è situato a circa 365 metri s.l.m. Nella seguente figura è riportato un inquadramento territoriale del parco eolico.

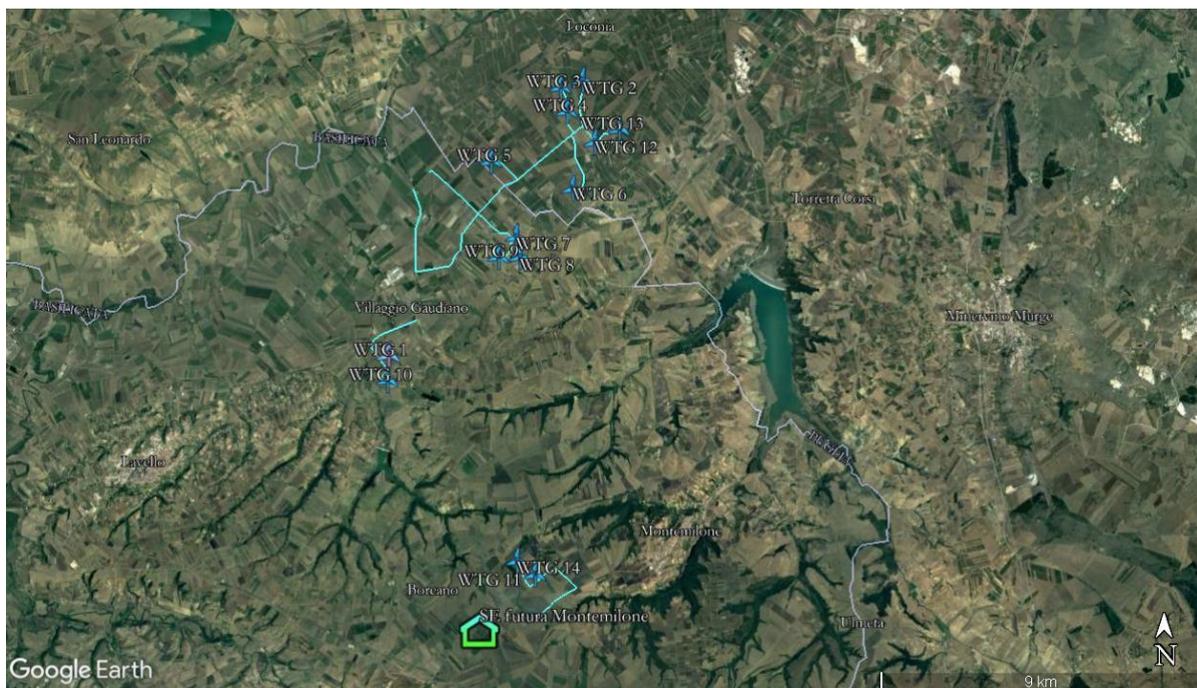


Figura 1: Inquadramento territoriale impianto

AREN Electric Power S.p.A.

Sede legale: Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC), Italia
Ph. +39 0547 415245 - email: areaenergia@legalmail.it

Codice Fiscale, P. IVA e numero di iscrizione al Registro delle Imprese di Forlì – Cesena Part. Iva 03803880404



Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 5 di 42

Precisamente sette aerogeneratori (G2, G3, G4, G5, G6, G12 e G13) sono collocati a sud del Borgo Loconia nel territorio comunale di Canosa (a quote comprese tra 120 e 240 m circa s.l.m.). Gli altri aerogeneratori (G1, G7, G8, G9, G10, G11 e G14) sono posizionate nel territorio comunale di Lavello a quote alquanto diverse, comprese tra 195 e 345 m circa s.l.m.

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.

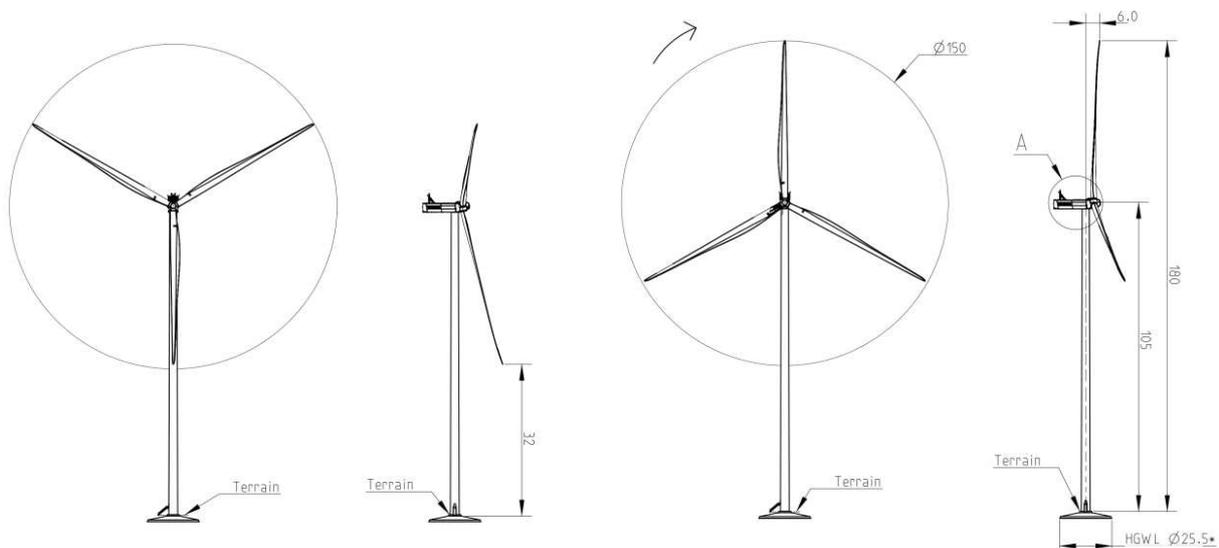


Figura 2: Architettonico Aerogeneratore Vestas 150

4 Descrizione generale dell'opera

Il progetto prevede la costruzione di n.14 plinti di fondazione su pali a servizio dell'installazione di n.14 aerogeneratori, identificati nel progetto dell'impianto eolico come “G” 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 5,5 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 0,6 m 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 Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 6 di 42

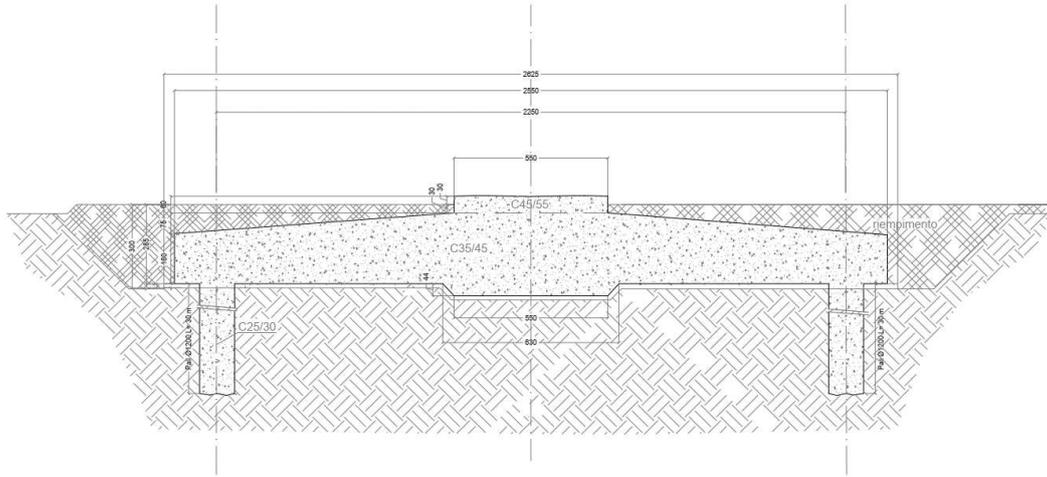


Figura 3: Dettaglio sezione fondazione

Viste le caratteristiche geologiche e gli enti sollecitanti, la fondazione è del tipo indiretto fondata su n.16 pali di diametro 100 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° .

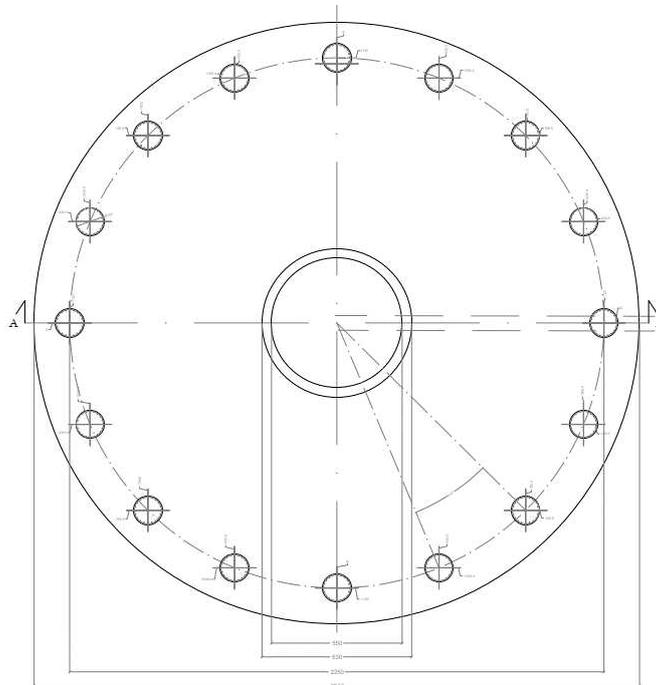


Figura 4: Dettaglio pianta fondazione

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 42

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

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

5 Normative di riferimento

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

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

6 Caratterizzazione sismica dell'area

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

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

Tabella 3: Zone sismicit  di base

Il territorio di Canosa di Puglia   individuato in una Zona Sismica “2” descritta come Zona con Media Pericolosit  Sismica, contrassegnata da un valore di “ a_g ” compreso tra 0,15 g e 0,25 g. Il Comune   definito da un'accelerazione orizzontale di picco PGA pari a 0,221g.

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

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 42

6.1 Periodo di riferimento dell'azione sismica di base

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

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Per cui sostituendo i valori precedenti si ottiene:

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

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 i Comuni dell'impianto in oggetto con probabilità di superamento in 50 anni del 10% (SLV).

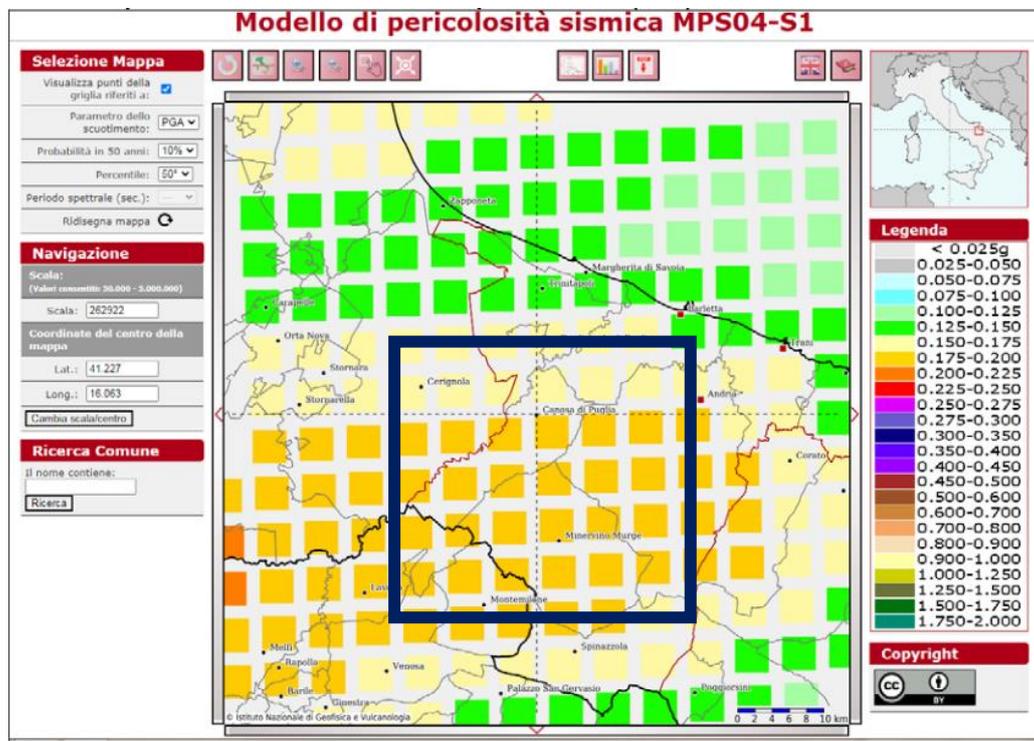


Figura 5: Stralcio mappa Pericolosità sismica Canosa di Puglia

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 42

6.3 Azione sismica di base

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

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

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

Stato Limite	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno
	P_{VR}	T_R
SLO	81%	60
SLD	63%	101
SLV	10%	949
SLC	5%	1950

Tabella 4: Periodo di ritorno per gli stati limite

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

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

6.3.1 Parametri sismici aerogeneratori

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

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
SLO	30	0,045	2,511	0,286
SLD	35	0,049	2,513	0,288
SLV	332	0,162	2,486	0,364
SLC	682	0,231	2,433	0,388

Tabella 5: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G1

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,455	0,308
SLD	101	0,088	2,427	0,334
SLV	949	0,272	2,353	0,405
SLC	1950	0,381	2,299	0,424

Tabella 6: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G2

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 42

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,455	0,308
SLD	101	0,088	2,427	0,334
SLV	949	0,272	2,354	0,405
SLC	1950	0,381	2,300	0,425

Tabella 7: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G3

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,455	0,308
SLD	101	0,088	2,427	0,334
SLV	949	0,272	2,354	0,405
SLC	1950	0,381	2,300	0,425

Tabella 8: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G4

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,455	0,308
SLD	101	0,088	2,427	0,334
SLV	949	0,272	2,355	0,406
SLC	1950	0,382	2,301	0,425

Tabella 9: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G5

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,454	0,308
SLD	101	0,088	2,426	0,334
SLV	949	0,272	2,354	0,405
SLC	1950	0,382	2,300	0,425

Tabella 10: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G6

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,457	0,308
SLD	101	0,088	2,426	0,335
SLV	949	0,272	2,359	0,407
SLC	1950	0,381	2,303	0,426

Tabella 11: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G7

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,457	0,308
SLD	101	0,088	2,426	0,335
SLV	949	0,271	2,359	0,407
SLC	1950	0,380	2,304	0,426

Tabella 12: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G8

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 11 di 42

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,457	0,308
SLD	101	0,089	2,427	0,335
SLV	949	0,271	2,359	0,407
SLC	1950	0,380	2,304	0,426

Tabella 13: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G9

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	30	0,045	2,510	0,286
SLD	35	0,049	2,514	0,288
SLV	332	0,162	2,487	0,364
SLC	682	0,230	2,434	0,388

Tabella 14: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G10

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	30	0,044	2,512	0,285
SLD	35	0,048	2,524	0,287
SLV	332	0,155	2,479	0,378
SLC	682	0,221	2,430	0,401

Tabella 15: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G11

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,067	2,454	0,308
SLD	101	0,088	2,426	0,334
SLV	949	0,272	2,354	0,405
SLC	1950	0,381	2,300	0,425

Tabella 16: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G12

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	60	0,066	2,453	0,307
SLD	101	0,087	2,424	0,333
SLV	949	0,272	2,349	0,404
SLC	1950	0,381	2,297	0,424

Tabella 17: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G13

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
SLO	30	0,044	2,511	0,285
SLD	35	0,048	2,523	0,287
SLV	332	0,156	2,480	0,377
SLC	682	0,222	2,430	0,400

Tabella 18: Parametri pericolosità sismica di base aerogeneratore G14

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 12 di 42

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 S_T e Stratigrafica S_s .

6.4.1 Amplificazione Topografica

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

AEROGENERATORE	CATEGORIA TOPOGRAFICA	DESCRIZIONE
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14	T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Tabella 19: Categoria topografica

6.4.2 Amplificazione Stratigrafica

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

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

G	Categoria di suolo	
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14	B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

Tabella 20: Categoria di suolo

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 13 di 42

7 Materiali Impiegati

7.1 Calcestruzzo

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

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

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

Classe di esposizione: XC4

Copriferro minimo: 5cm (salvo diversamente specificato)

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

Tabella 21: Caratteristiche meccaniche CLS C35/45

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

Classe di esposizione: XC2

Copriferro minimo: 5cm (salvo diversamente specificato)

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

Tabella 22: Caratteristiche meccaniche CLS C25/30

- **Malta speciale C80/95**

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

Tabella 23: Caratteristiche meccaniche CLS C80/95

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 14 di 42

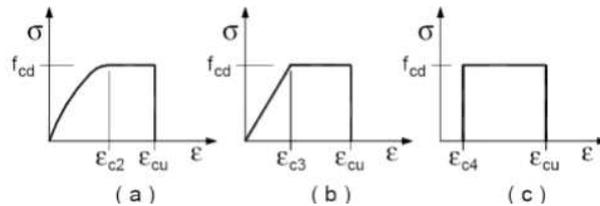


Figura 6: Modello tensione-deformazione per il calcestruzzo

7.2 Acciaio per il Calcestruzzo

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

- **Acciaio in barre: B450C**

Classe acciaio	fyk	γs	ftk	Es	fyd	eyd	euk	(fy/fy,nom)k	eud	k = (ft/fy)k	σs,Rara	Diametro minimo mandrino di piegatura	
	[MPa]		[MPa]	[MPa]	[MPa]					[MPa]	[MPa]	Φ ≤ 16mm	Φ > 16mm
B450C	450,00	1,15	540,00	210.000	391,30	0,00186	0,07500	≤ 1,25	0,06750	1,15 - 1,35	360,00	4Φ	7Φ

Tabella 24: Caratteristiche meccaniche acciaio B450C

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

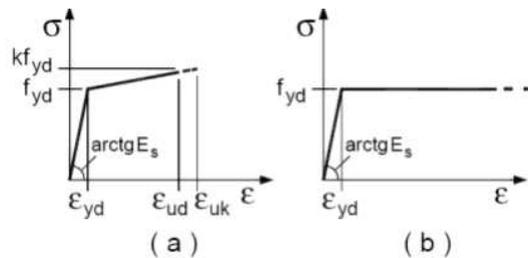


Figura 7: Modello tensione-deformazione per l'acciaio

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 15 di 42

8 Caratterizzazione Geotecnica dell'area

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

Unitamente alle indagini geomeccaniche e geosismiche eseguite precedentemente in zona, hanno evidenziato che le opere progettate (aerogeneratori, relative piazzole di montaggio, strade di accesso alle piazzole e tratti di cavidotto di centrale) riguarderanno i terreni di seguito descritti, in particolare:

- Aerogeneratori G1, G2, G3, G4, G5, G7, G9, G12 e G13 andranno a interessare gli affioramenti di depositi di ambiente continentale, prevalentemente rappresentati da ghiaie e sabbie, denominati anche Terrazzi medi dell'Ofanto e del Carapelle, alti 15 m circa sugli alvei attuali;
- Aerogeneratori G6, G8, G10 e G14 saranno realizzati nell'ambito dei sedimenti, di ambiente marino, costituiti da sabbie calcareo-quarzose e sabbie argillose a volte con livelli arenacei di colore giallastro e, in alto, sottili lenti ciottolose, denominati altresì SABBIE DI MONTE MARANO;
- Aerogeneratore G11 riguarderà depositi di conglomerati poligenici con ciottoli di medie e grandi dimensioni, a volte fortemente cementati e con intercalazioni di sabbie e arenarie, denominati CONGLOMERATI DI IRSINA;

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

8.1 Parametri geotecnici aerogeneratore G1, G2, G3, G4, G5, G7, G9, G12 e G13

Area di affioramento di depositi, prevalentemente rappresentati da ghiaie e sabbie denominati Terrazzi medi dell'Ofanto e del Carapelle, alti 15 m circa.

- 1° Unità litotecnica (da 0,00 m a -1,00 m): Terreno vegetale

Suolo di copertura, costituito di terreno vegetale, limoso-argilloso marrone scuro, di spessore pari 1,00 m. E' considerato suolo coesivo da molle (primi 40-50 cm) a mediamente consistente, da molto compressibile a compressibile, semipermeabile, dotato delle caratteristiche geotecniche riportate in tabella:

Spessore considerato	h=1.00m
γ = peso di volume	16.67 ÷ 17.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	22.50° ÷ 23.00°
c' = coesione drenata	4.00 ÷ 5.00 kN/mq
C_u = coesione non drenata	12.26 ÷ 30.60 kN/mq
M = modulo di compressibilità	2.00 ÷ 3.50 MN/mq
V_{sm} = velocità media onde di taglio MASW	240 m/sec

Tabella 25: Caratteristiche del terreno 1° unità

- 2° Unità litotecnica (da -1,00 m a -15,00 m): Ghiaia a matrice sabbiosa

Materiale alluvionale, costituito da ghiaia arrotondata, poligenica (di piccole e medie dimensioni), ad abbondante matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, beige-giallastra (talora alternata a livelli, decimetrici, di sabbia fine biancastra), per il quale certune analisi granulometriche precedenti, eseguite su campioni di terreno simile, indicano che si tratta solitamente di ghiaia limoso-sabbiosa, debolmente argillosa. Nella porzione mediana alla profondità di 8 e 10 m si possono riscontrano intercalazioni di “sabbia con limo argilloso e/o di limo sabbioso con rari ciottoli”, organizzate sotto forma di livelli e/o lenti (spessore 1,00 - 2,00 m), compatte, di medio-bassa plasticità e compressibilità. E' considerato suolo non coesivo (a

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 16 di 42

grana grossa), da mediamente denso a molto denso in profondità ($N_{SPT} \geq 51$ c/p), poco compressibile, permeabile, al quale possono essere attribuite proprietà geotecniche riportate in tabella:

Spessore considerato	h=14.00m
γ = peso di volume	19.61 ÷ 20.00 kN/mc
γ' = peso di volume immerso ($\gamma_w=9.81$)	19.61 ÷ 20.00 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	(45-49.6)°
c' = coesione drenata	4.00 ÷ 5.00 kN/mq
C_u = coesione non drenata	12.26 ÷ 30.60 kN/mq
E = modulo di compressibilità	50.00 ÷ 50.99 MPa (N_{SPT})
V_{Sm} = velocità media onde di taglio MASW	500 m/sec
K_w = modulo di Winkler	98 ÷ 196 MN/mc (10÷20 kg/cmc)

Tabella 26: Caratteristiche del terreno 2° unità

- **3° Unità litotecnica da -15,00 m a -20,00 m: Limo con argilla sabbiosa**

Orizzonte di limoso-argilloso-sabbioso, giallo-ocra, con intercalati livelletti di sabbia giallastra, a luoghi con rari ciottoli in dispersione, di spessore variabile. E' considerato suolo coesivo (a grana fine) per il quale l'analisi granulometrica eseguita, stabilisce che si tratta di "limo con argilla sabbiosa" al quale possono essere attribuite le seguenti caratteristiche geotecniche:

Spessore considerato	h=5.00m
γ = peso di volume naturale	19.67 ÷ 19.75 kN/mc
γ_{sat} = peso di volume saturo	19.69 ÷ 20.34 kN/mc
γ' = peso di volume immerso ($\gamma_w=9.81$)	9.56 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	22.27° ÷ 23.00°
c' = coesione drenata	18.52 ÷ 18.50 kN/mq
C_u = coesione non drenata	206.51 ÷ 206.00 kN/mq
E_1 = modulo di compressibilità edometrica	7.07 ÷ 7.10 MN/mq ($P'_v=200$ kPa)
E_1 = modulo di compressibilità edometrica	7.76 ÷ 7.70 MN/mq ($P'_v=400$ kPa)
$E_{d_{vo}}$ = modulo di compressibilità edometrica	7.07 ÷ 7.1 MN/mq ($P'_v=244.56$ kPa)
V_{Sm} = velocità media onde di taglio MASW	590 m/sec

Tabella 27: Caratteristiche del terreno 3° unità

- **4° Unità litotecnica (da -20,00 m in poi): Ghiaia a matrice sabbiosa**

Materiale alluvionale, costituito da ghiaia arrotondata, poligenica (di piccole e medie dimensioni), ad abbondante matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, beige-giallastra (alternata a livelli, decimetrici, di sabbia fine biancastra), comprendente inferiormente strato sabbioso. E' considerato suolo non coesivo (a grana grossa), molto denso, poco compressibile, permeabile, al quale possono essere attribuite proprietà geotecniche riportate in tabella:

Spessore considerato	h=24.00m
γ = peso di volume naturale	19.61 ÷ 20.00 kN/mc
γ' = peso di volume immerso ($\gamma_w=9.81$)	9.61 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	45.0° ÷ 49.60°
c' = coesione drenata	4.00 ÷ 5.00 kN/mq

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 17 di 42

E = modulo di compressibilità	54.92 ÷ 58.84 MPa (N _{SPT})
V _{Sm} = velocità media onde di taglio MASW	660 m/sec

Tabella 28: Caratteristiche del terreno 4° unità

Ai sensi delle NTC/2018, il valore della velocità equivalente ($V_{s,eq}$), di propagazione delle onde di taglio ottenuto dall'indagine MASW eseguite in zona, pari a 575 m/sec, consente di attribuire al sottosuolo in esame la categoria B.

8.2 Parametri geotecnici aerogeneratore G6, G8, G10 e G14

Area di affioramento di depositi, prevalentemente costituiti da sabbie calcareo-quarzose e sabbie argillose a volte con livelli arenacei di colore giallastro e, in alto, sottili lenti ciottolose denominate SABBIE DI MONTE MARANO.

- 1° Unità litotecnica (da 0,00 m a -0,60/1,00 m): Terreno vegetale

Strato di copertura costituito di terreno vegetale sabbioso limoso, marrone-nerastro. Di spessore variabile è considerato suolo coesivo da molto molle/molle a mediamente consistente, da molto compressibile a compressibile, permeabile/semipermeabile (spaccature lavori agricoli), dotato delle caratteristiche geotecniche riportate in tabella:

Spessore considerato	h=1.00m
γ = peso di volume	17.50 ÷ 17.60 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	25.30° ÷ 25.20°
c' = coesione drenata	1.60 ÷ 1.62 kN/mq
Cu = coesione non drenata	30.60 ÷ 30.50 kN/mq
E _{cd} = modulo di compressibilità	5.64 ÷ 5.65 MN/mq
V _{Sm} = velocità media onde di taglio MASW	85 m/sec

Tabella 29: Caratteristiche del terreno 1° unità

- 2° Unità litotecnica da -1,00 m a -5,00 m: “Crostone calcareo-sabbioso” e, inferiormente, “sabbia fine giallastra”

Orizzonte calcareo-sabbioso straterellato, giallastro, di origine evaporitica (con diffusa presenza di carbonato di calcio per precipitazione) al quale è stato associato il sottostante strato di sabbia fine giallastra, a laminazione incrociata, con sottili livelli di areniti e di silt biancastri pulverulenti. Di spessore variabile, le prove penetrometriche dinamiche attuali eseguite (SPT) denotano che si tratta di materiale sabbioso molto compatto (talora potrebbe essere mediamente compatto, come evidenziano le prove penetrometriche dinamiche continue pregresse DPM, eseguite in zona). È considerato suolo non coesivo, molto denso ($D_r=94/96/97\%$), di medio bassa compressibilità/poco compressibile $N_{SPT}=50$. ($(N_1)_{60}=(45/85/89)_{c/p}$), semi-permeabile (per porosità e fratturazione), al quale possono essere attribuite le caratteristiche geotecniche riportate in tabella. L'analisi granulometrica indica che si tratta di sabbia limosa debolmente ghiaiosa argillosa:

Spessore considerato	h=4.00m
γ = peso di volume	17.23 ÷ 17.50 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	27.15°
c' = coesione drenata	0.57 kPa
M = modulo di compressibilità	15.5-5.39-6.86 MN/mq

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 18 di 42

V_{sm} = velocità media onde di taglio MASW	290 m/sec
K_w = modulo di Winkler	78.45 ÷ 147 MN/mc

Tabella 30: Caratteristiche del terreno 2° unità

- **3° Unità litotecnica da -5,00 m a -10,00 m: “Argilla beige-verdastra con rari livelletti sabbiosi”.**
Eventuale orizzonte pelitico intercalato nelle Sabbie di Monte Marano

Materiale limoso-argilloso, verosimilmente organizzato sotto forma di livello e/o lente, per il quale l'analisi granulometrica eseguita sul campione di terreno simile (prelevato tra -6,00 e -6,50 m) stabilisce che si tratta di "argilla con limo" riferibile ad argille inorganiche ad alta plasticità (Carta Casagrande). Molto plastico (IP=50,1), di consistenza solido/solida (IC=1,028) e indice di attività colloidale normale (IA=0,759). È considerato suolo coesivo, duro ($c_u = 342,6$ kPa da TRX-UU), sovraconsolidato (OCR = $\sigma'_p / \sigma'_{vo} = 440$ kPa / $104,78$ kPa = 4, da prova edometrica), poco compressibile ($M_{ed} = 14,19$ MPa = 14900 MPa, $\sigma_v = 392,2$ kPa = $3,999$ kg/cmq da edometrica):

Spessore considerato	h=5.00m
γ = peso di volume naturale	18.88 kN/mc
γ_{sat} = peso di volume saturo	19.43 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	20.11°
c' = coesione drenata	20.50 kN/mq
c_u = coesione non drenata	342.60 kN/mq
M_{ed1} = modulo di compressibilità edometrica	14.19 MN/mq (14190kPa)
M_{ed2} = modulo di compressibilità edometrica	13.50 MN/mq (13500kPa)
M_{ed3} = modulo di compressibilità edometrica	20.69 MN/mq (20690kPa)
V_{sm} = velocità media onde di taglio MASW	305 m/sec

Tabella 31: Caratteristiche del terreno 3° unità

- **4° Unità litotecnica -10,00 m in poi: “Sabbia fine giallastra”**

Sabbia fine giallastra, monogranulare, con livelli decimetrici di silt e rari straterelli di areniti. Si tratta di materiale sabbioso (credibilmente molto compatto in ogni dove dell'area studiata) al quale, a favore della sicurezza, sono state attribuite le stesse caratteristiche geomeccaniche della seconda unità litotecnica, per cui è considerato suolo non coesivo, molto denso ($Dr=94/96/97\%$), di medio bassa compressibilità/poco compressibile ($N_{SPT}=50$, $(N_1)_{60} = (45/85/89)_{c/p}$), semi-permeabile (per porosità), al quale possono essere attribuite le caratteristiche geotecniche riportate in tabella:

Spessore considerato	-
γ = peso di volume naturale	19.50 ÷ 19.70 kN/mc
γ' = peso di volume immerso ($\gamma_w=9.81$)	9.69 ÷ 9.89 kN/mc
ϕ' = angolo di attrito drenato	38.38°
c' = coesione drenata	0.00 kN/mq
$M_{ed1-2-3}$ = modulo di compressibilità edometrica	15.2/5.39/6.86 MN/mq (N_{SPT})
V_{sm} = velocità media onde di taglio MASW	375 m/sec

Tabella 32: Caratteristiche del terreno 4° unità

Ai sensi delle NTC/2018, il valore della velocità equivalente ($V_{s,eq}$), di propagazione delle onde di taglio ottenuto dall'indagine MASW eseguite in zona, pari a 375/530 m/sec, consente di attribuire al sottosuolo in esame la categoria B.

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 19 di 42

8.3 Parametri geotecnici aerogeneratore G11

Area di affioramento di depositi, prevalentemente costituiti da conglomerati poligenici con ciottoli di medie e grandi dimensioni, a volte fortemente cementati e con intercalazioni di sabbie e arenarie, denominati CONGLOMERATI DI IRSINA.

Vista la natura di questo materiale, per il quale è praticamente impossibile prelevare campioni indisturbati ed è assai difficile eseguire “significative” prove penetrometriche dinamiche (tipo SPT) e/o prove penetrometriche dinamiche continue (DPL, DPM, DPH, DSPH) ed è altrettanto problematico effettuare prove penetrometriche statiche (CPT), si potranno prendere in considerazione gli stessi parametri definiti per le aree di affioramento di depositi, rappresentati prevalentemente da ghiaie e sabbie, attribuiti alla formazione dei “Terrazzi medi dell’Ofanto e del Carapelle”.

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 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

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 -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.

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 Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
	Relazione sulle Strutture	Data: 21/10/2022
		Revisione: 00
		Pagina: 20 di 42

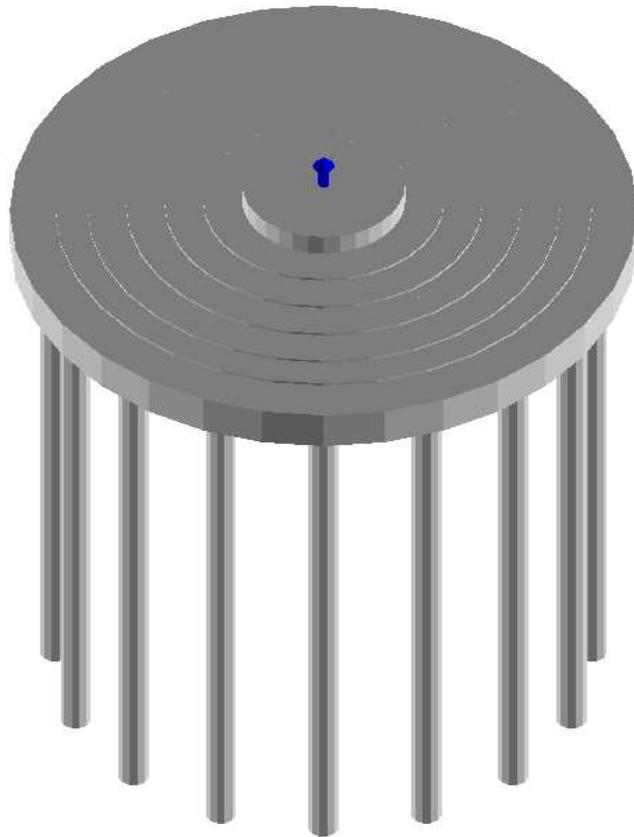


Figura 8: Vista solida elemento di fondazione

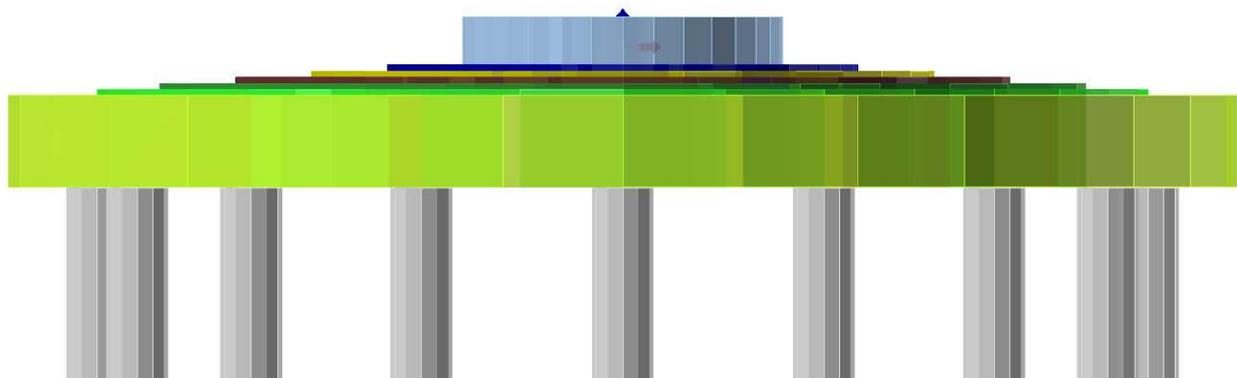


Figura 10: Vista solida laterale

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 21 di 42

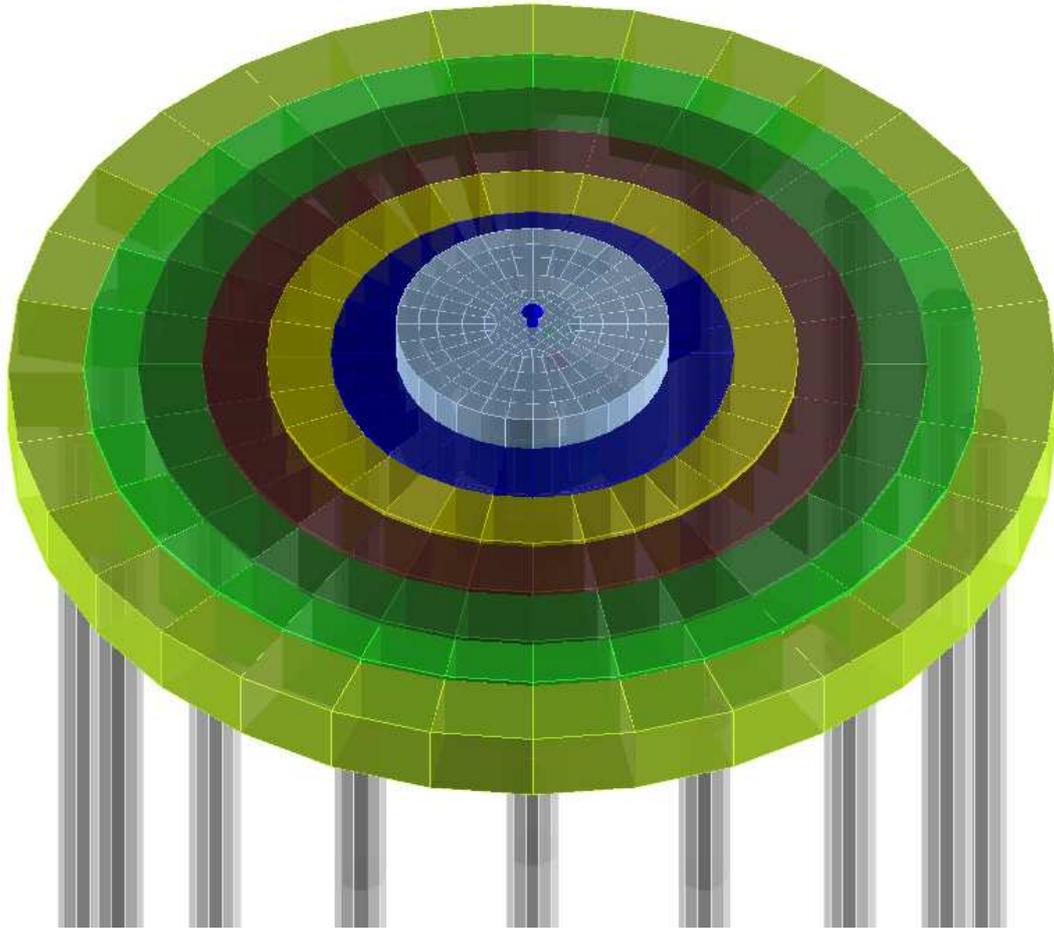


Figura 11: Vista solida. Distinzione degli spessori

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 22 di 42

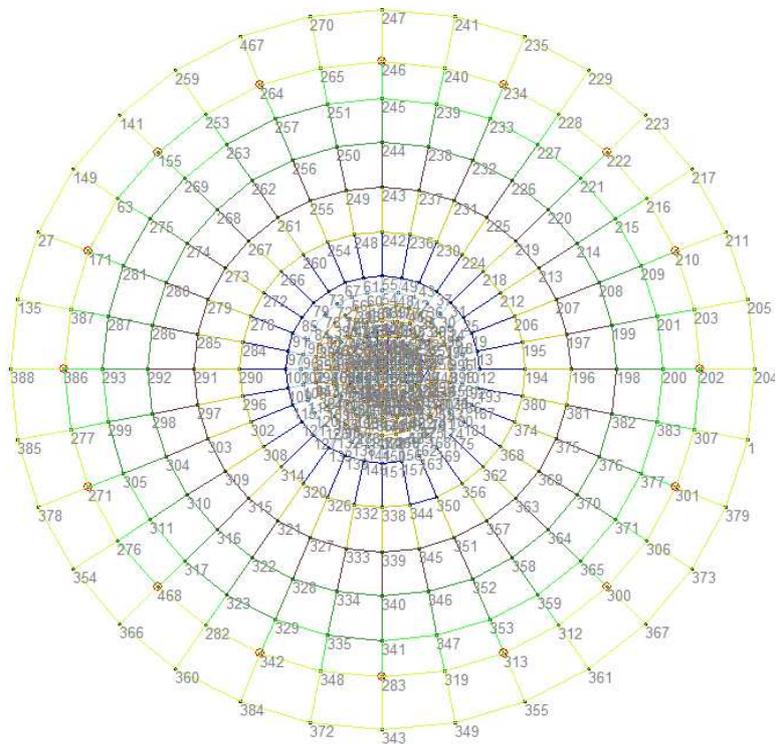


Figura 12: Pianta fondazione. Nodi della struttura

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

inserisci riga rimuovi riga reset

setta rif. assegna rif. assegna a definiti

Usa stratigrafia semplificata con coefficienti:

K0o: 0.0 Kzo: 0.0 Kv (attrito): 0.0

Testa: svincolo flessione

Piede: vincolo rotazione

Piede: vincolo traslazione orizzontale

Piede: vincolo traslazione verticale

Piede: rigidezza traslazione verticale: 5098.649

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 23 di 42

11 Azioni sulla struttura

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

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

I carichi estremi sono così determinati:

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

Tabella 32: 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 .

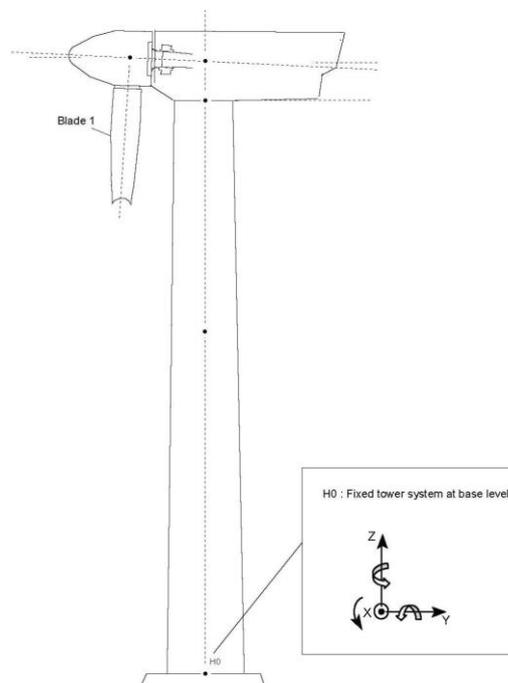


Figura 14: Sistema di riferimento per i carichi applicati

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 24 di 42

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

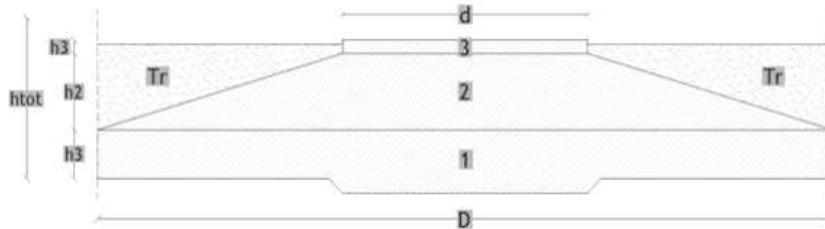


Figura 15: Modello di calcolo fondazione

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.

12 Modellazione delle azioni

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

12.1 Combinazioni delle azioni

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

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 25 di 42

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 $\leq 30\text{kN}$)	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 ≤ 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 33: 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 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 34: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

12.2 Coefficienti adottati

Per quanto riguarda le azioni esterne fornite dal produttore Vestas, si considerano il momento flettente ($(M_{Res} = M_X; M_Y)$), momento torcente (M_Z) ed il taglio ($F_{Res} = F_X; F_Y$) come azioni dovute a carichi variabili (vento). L'azione verticale F_Z , dovuta principalmente al peso proprio dell'aerogeneratore, si considera come carico permanente.

Ne consegue l'attribuzione dei coefficienti parziali delle azioni e, per i carichi variabili, dei coefficienti di combinazione.

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:

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 26 di 42

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

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

$Q = 1,5$ 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:

$\gamma_C = 1,5$ 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 35: 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:

		$M_x; M_y$	M_z	$F_x; F_y$	F_z
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 36: Coefficienti parziali per le azioni degli elementi in elevazione

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 37: Fattori di combinazione delle azioni allo SLU

Sulla base dei valori forniti dalla Vestas, si ottengono le seguenti combinazioni per vento estremo:

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 27 di 42

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 38: Combinazioni Vento estremo

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

12.3 Modellazione dei carichi applicati

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

1	Carico concentrato nodale 6 dati (forza F _x , F _y , F _z , momento M _x , M _y , M _z)
2	Spostamento nodale impresso 6 dati (spostamento T _x , T _y , T _z , rotazione R _x , R _y , R _z)
3	Carico distribuito globale su elemento tipo trave 7 dati (f _x , f _y , f _z , m _x , m _y , m _z , ascissa di inizio carico) 7 dati (f _x , f _y , f _z , m _x , m _y , m _z , ascissa di fine carico)
4	Carico distribuito locale su elemento tipo trave 7 dati (f ₁ , f ₂ , f ₃ , m ₁ , m ₂ , m ₃ , ascissa di inizio carico) 7 dati (f ₁ , f ₂ , f ₃ , m ₁ , m ₂ , m ₃ , ascissa di fine carico)
5	Carico concentrato globale su elemento tipo trave 7 dati (F _x , F _y , F _z , M _x , M _y , M _z , ascissa di carico)
6	Carico concentrato locale su elemento tipo trave 7 dati (F ₁ , F ₂ , F ₃ , M ₁ , M ₂ , M ₃ , ascissa di carico)
7	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 39: Tipologia di carico applicato

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 28 di 42

12.4 Schematizzazione dei casi di carico

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

Dove:

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

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

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

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

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

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	Peso proprio (Fz)	Azioni applicate:
3	Gk	Terreno	Azioni applicate:
			D3: da 2 a 5 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 7 a 10 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 12 a 15 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 17 a 20 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 22 a 25 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 27 a 30 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 32 a 35 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 37 a 55 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 57 a 70 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 72 a 80 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 82 a 85 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 87 a 90 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 92 a 95 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico "CANOSA"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 29 di 42

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
			D3: da 97 a 100 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 102 a 105 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 107 a 110 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 112 a 115 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 117 a 120 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 122 a 130 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 132 a 135 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 137 a 140 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 142 a 219 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 221 a 230 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 232 a 236 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 239 a 249 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 251 a 254 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 257 a 260 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 262 a 266 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 268 a 296 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
			D3: da 298 a 352 Azione: Pressione terreno- QV: var R - Qz - Pres.
4	Qk	CDC=Qk Azione Vento Pres	Azioni applicate:
5	Qk	CDC=Qk Azione Vento Mres	Azioni applicate:
6	Qk	CDC=Qk Azione Vento Mz	Azioni applicate:
7	Etk	CDC=Etk (inc. sp. Terreno) SLO dir + alfa=0.0	Azioni applicate:
8	Etk	CDC=Etk (inc. sp. Terreno) SLD dir + alfa=0.0	Azioni applicate:
9	Etk	CDC=Etk (inc. sp. Terreno) SLV dir + alfa=0.0	Azioni applicate:
10	Etk	CDC=Etk (inc. sp. Terreno) SLC dir + alfa=0.0	Azioni applicate:

Tabella 41: 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 42: Combinazioni di carico agli stati limite

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 30 di 42

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

Tabella 43: 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 γ_M il fattore parziale associato alla resistenza del materiale.

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

$$F_d = \gamma_F F_k$$

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

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 31 di 42

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

$$C_d \geq E_d$$

15 Risultati di calcolo

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

15.1 Deformate

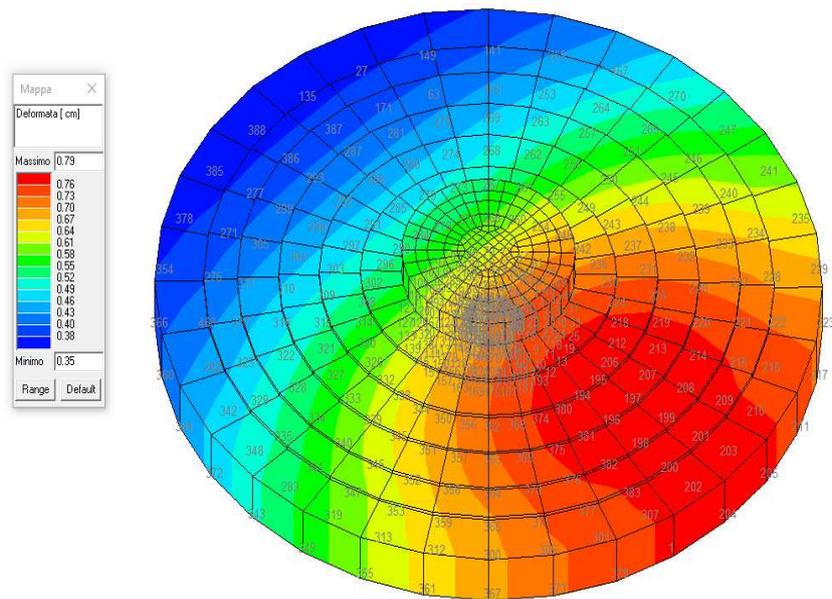


Figura 16: Deformata per Combinazione SLU 3

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 32 di 42

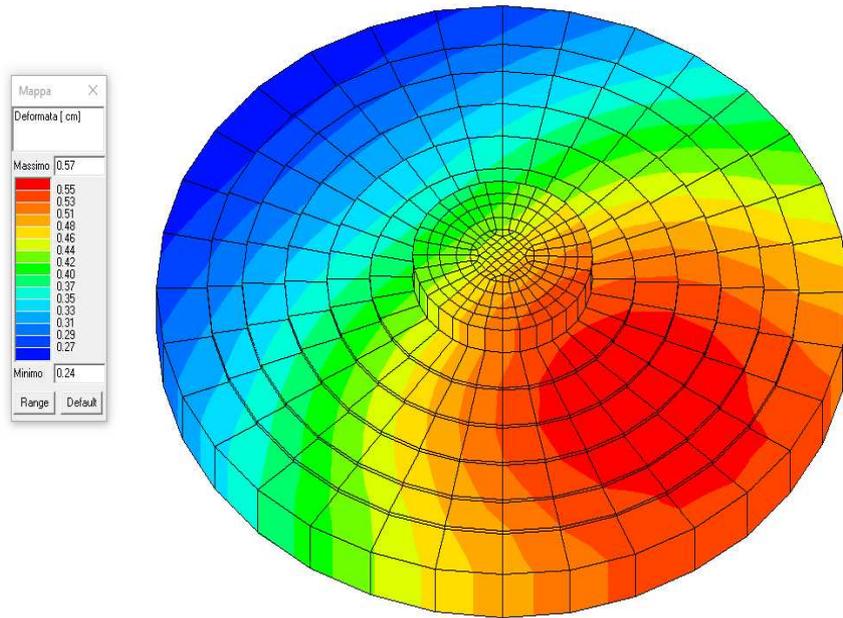


Figura 17: Deformata massima Combinazione SLE

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

15.2 Tensioni

Tensioni totali secondo Von Mises.

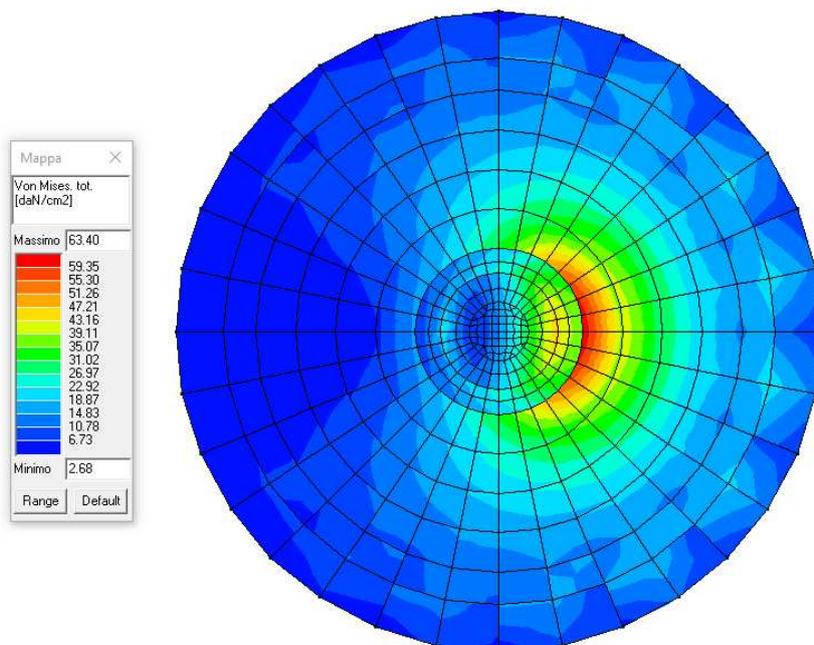


Figura 18: Tensioni totali Combinazione SLU 3

AREN Electric Power S.p.A.

Sede legale: Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC), Italia

Ph. +39 0547 415245 - email: areacenergia@legalmail.it

Codice Fiscale, P. IVA e numero di iscrizione al Registro delle Imprese di Forlì – Cesena Part. Iva 03803880404



Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 33 di 42

15.3 Azioni sui pali

Massime azioni agenti sui vincoli allo stato limite ultimo SLU.

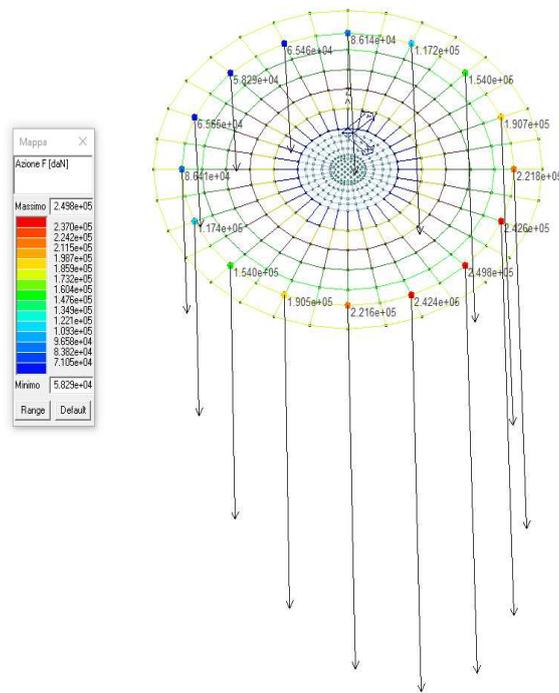


Figura 19: Azioni F massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

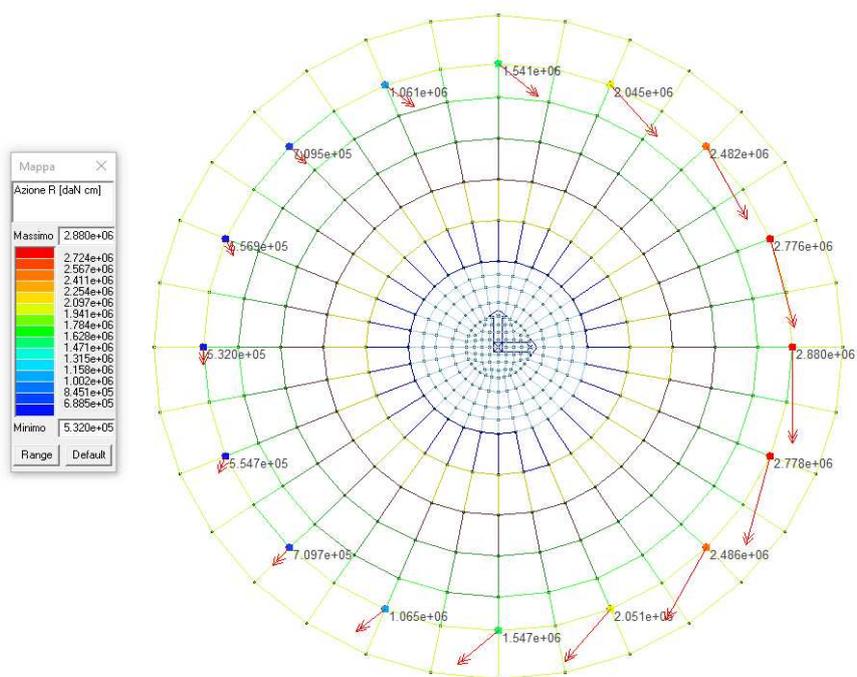


Figura 20: Azioni R massime sui vincoli, Combinazione SLU 3

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 34 di 42

16 Armature minime di progetto

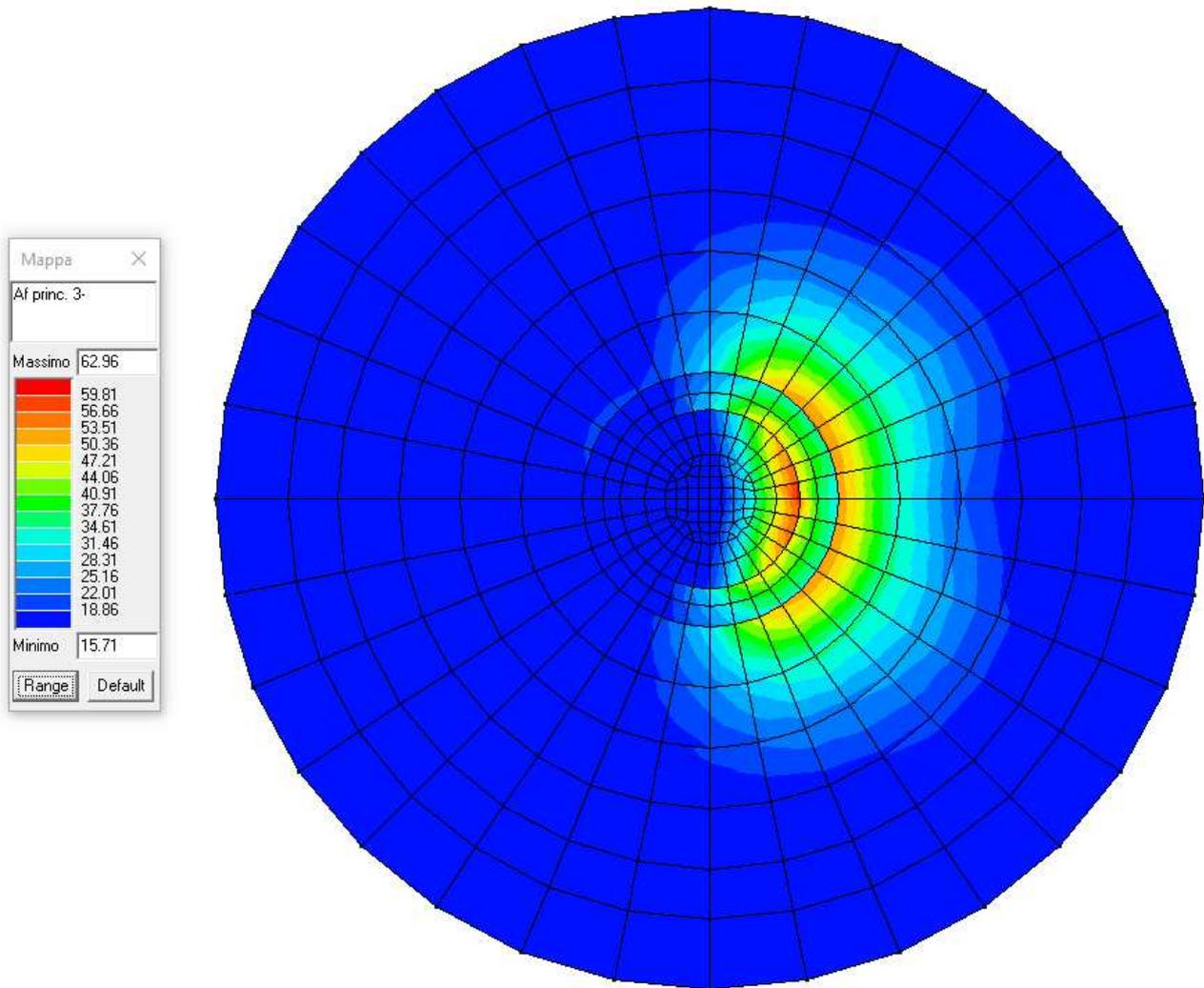


Figura 21: Armatura principale su plinto lato inferiore. Valori in cm^2 per metro lineare

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 35 di 42

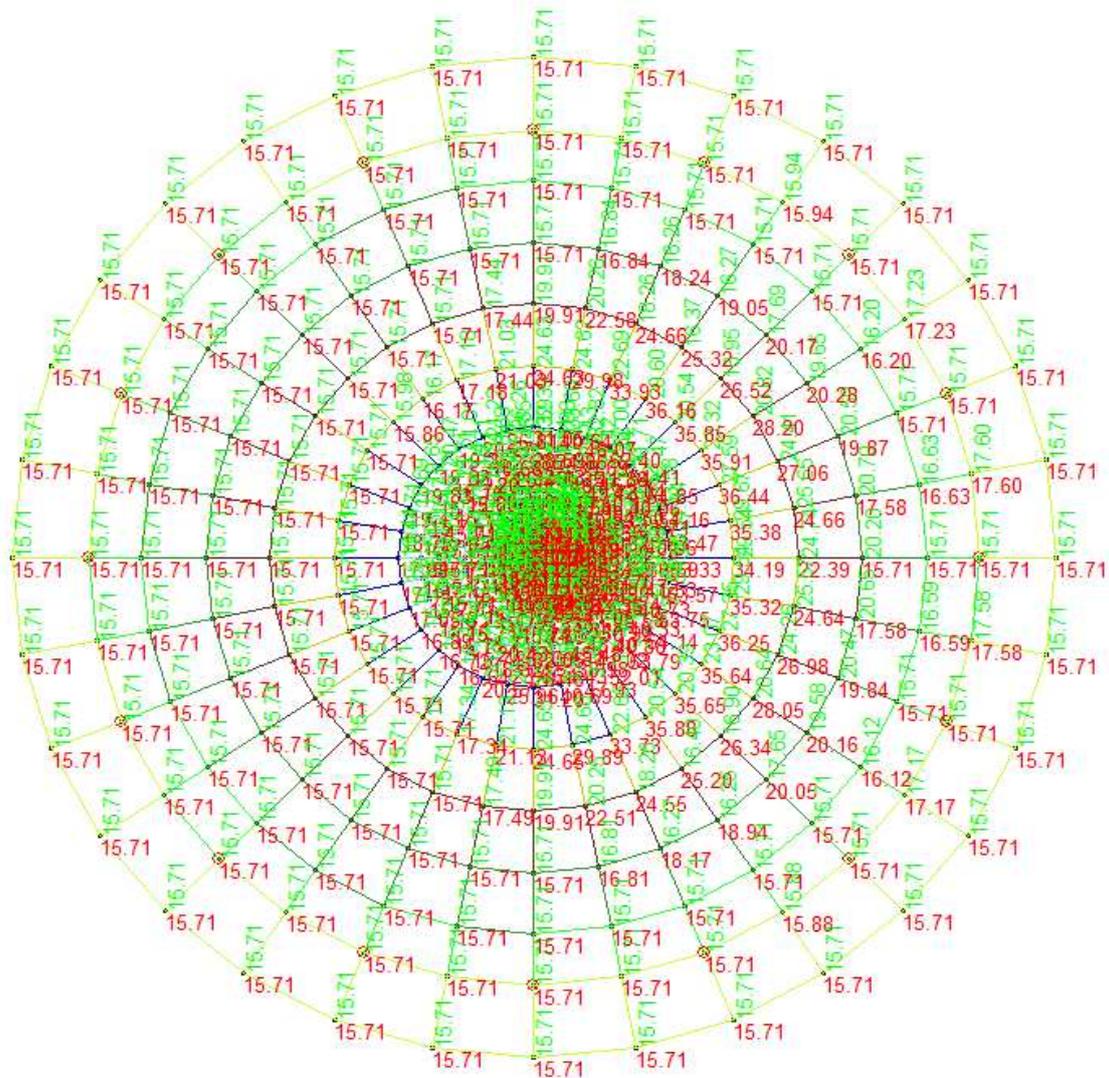


Figura 22: Dettaglio armatura su lato inferiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in cm^2 per metro lineare

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 36 di 42

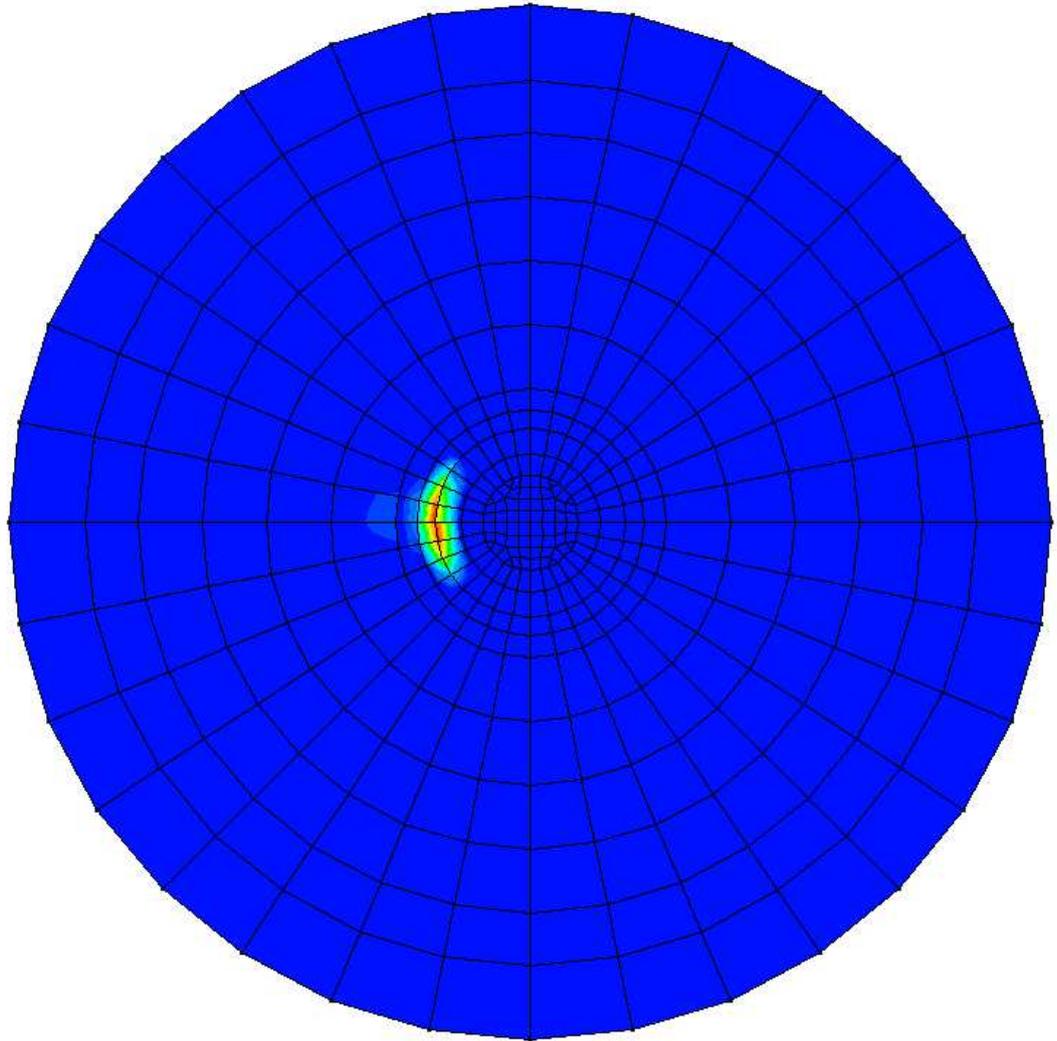
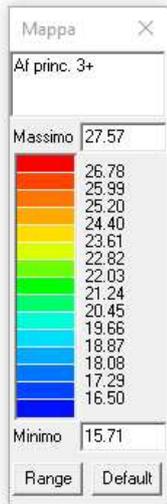


Figura 23: Armatura su plinto lato superiore. Valori in cm^2 per metro lineare

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 37 di 42

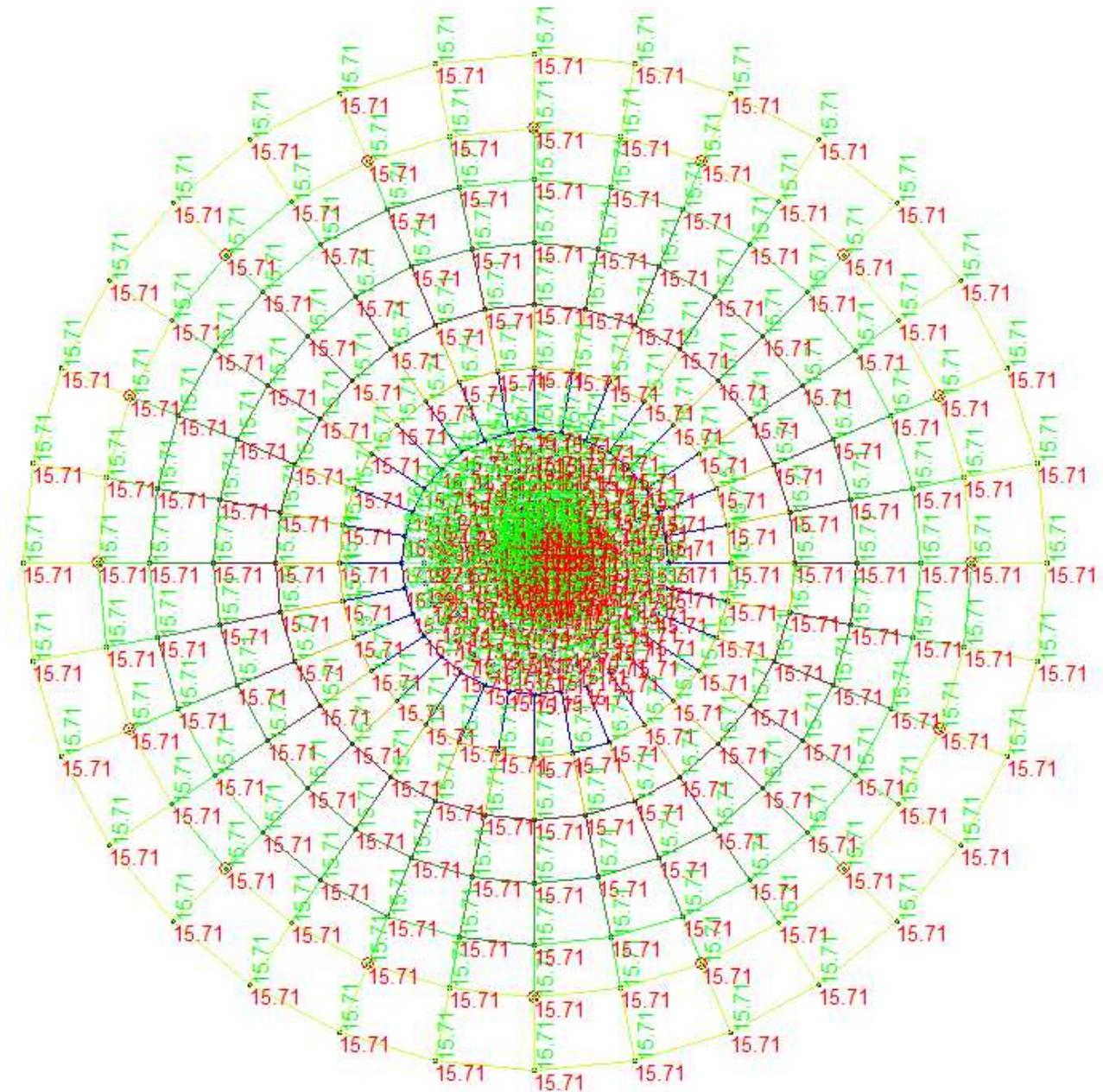


Figura 24: Dettaglio armatura su lato superiore. In rosso armatura principale, in verde armatura secondaria. Valori in cm^2 per metro lineare

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 38 di 42

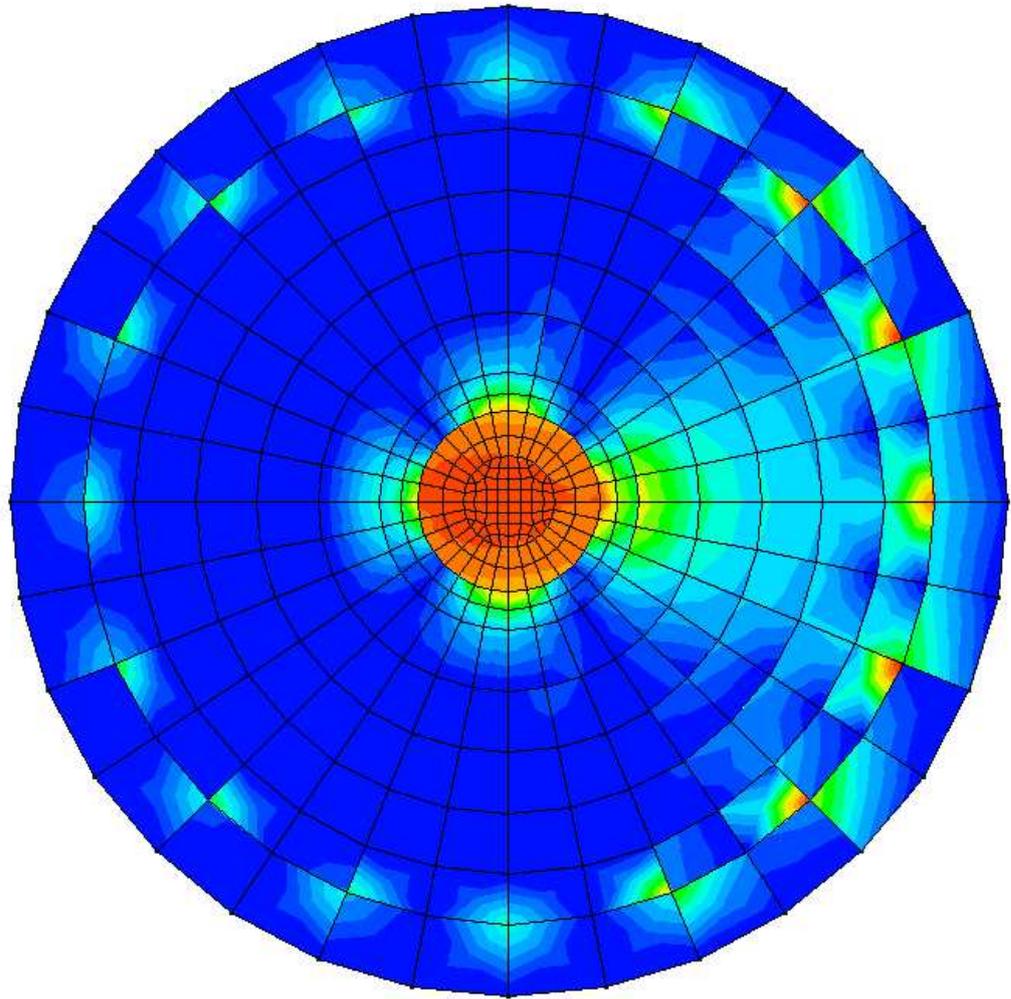
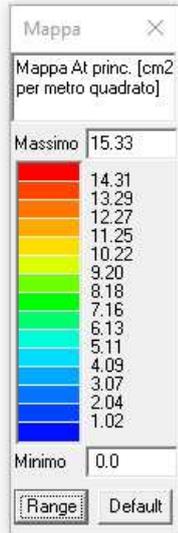


Figura 25: Armatura a taglio. Valori in cm² per metro quadro

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 39 di 42

17 Sintesi delle verifiche di sicurezza

17.1 Verifiche SLU

In azzurro sono rappresentati gli elementi verificati.

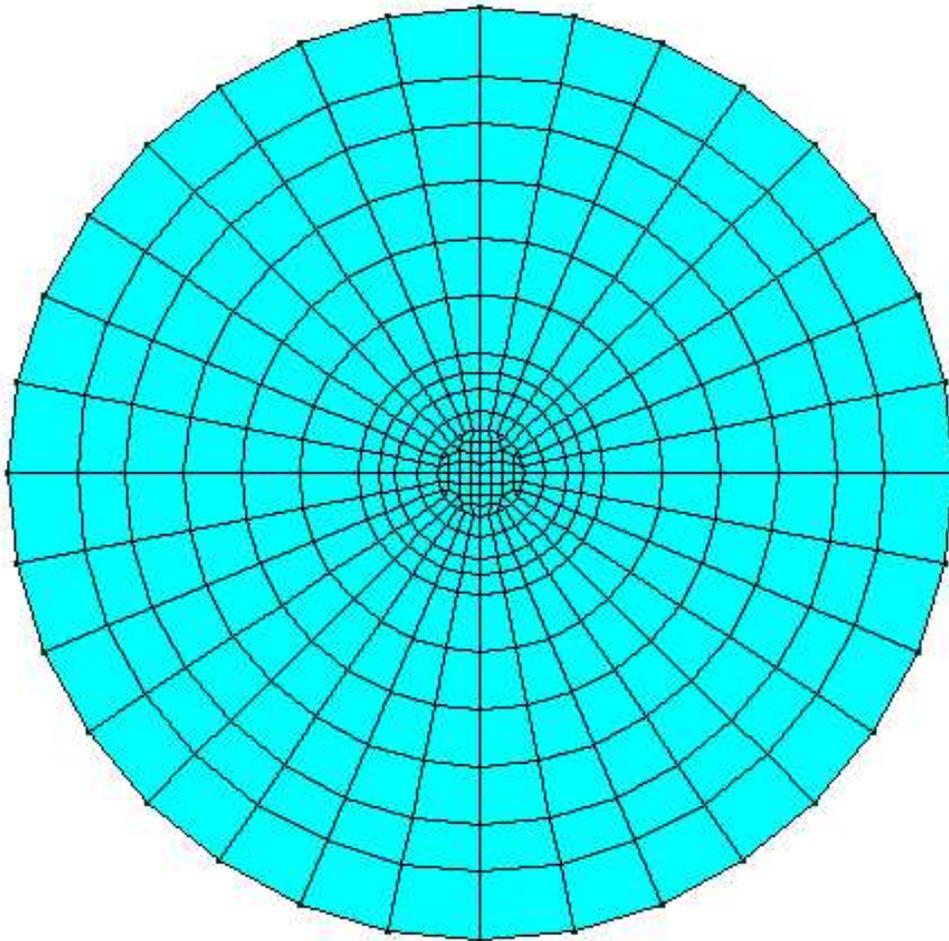


Figura 26: Verifica SLU. In azzurro gli elementi verificati

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 40 di 42

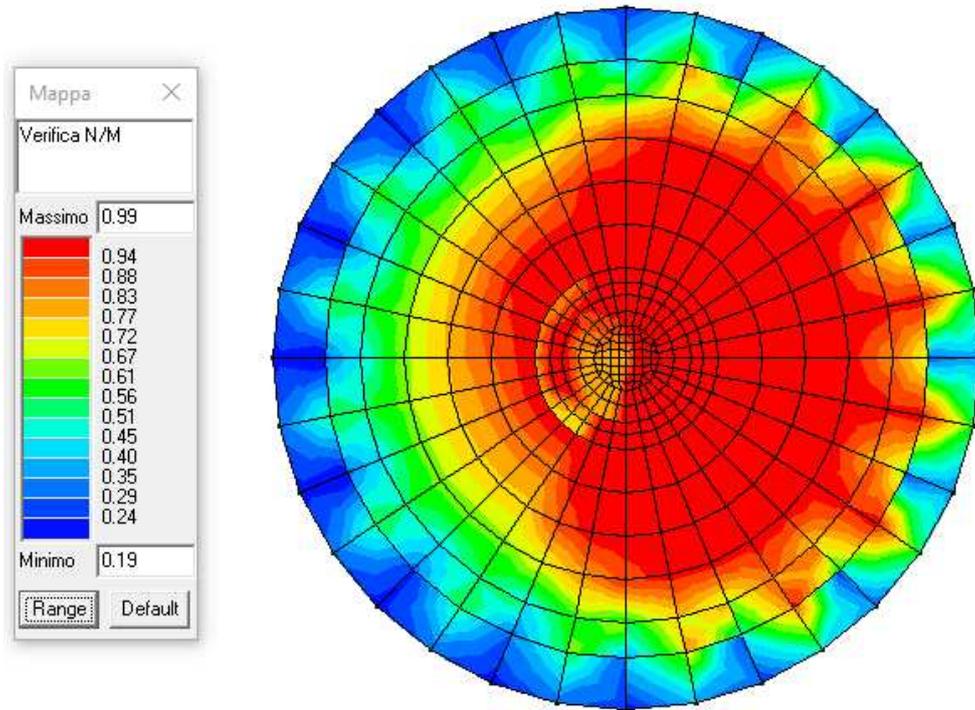


Figura 27: Verifica a pressoflessione N-M SLU (Verificato per valori <1)

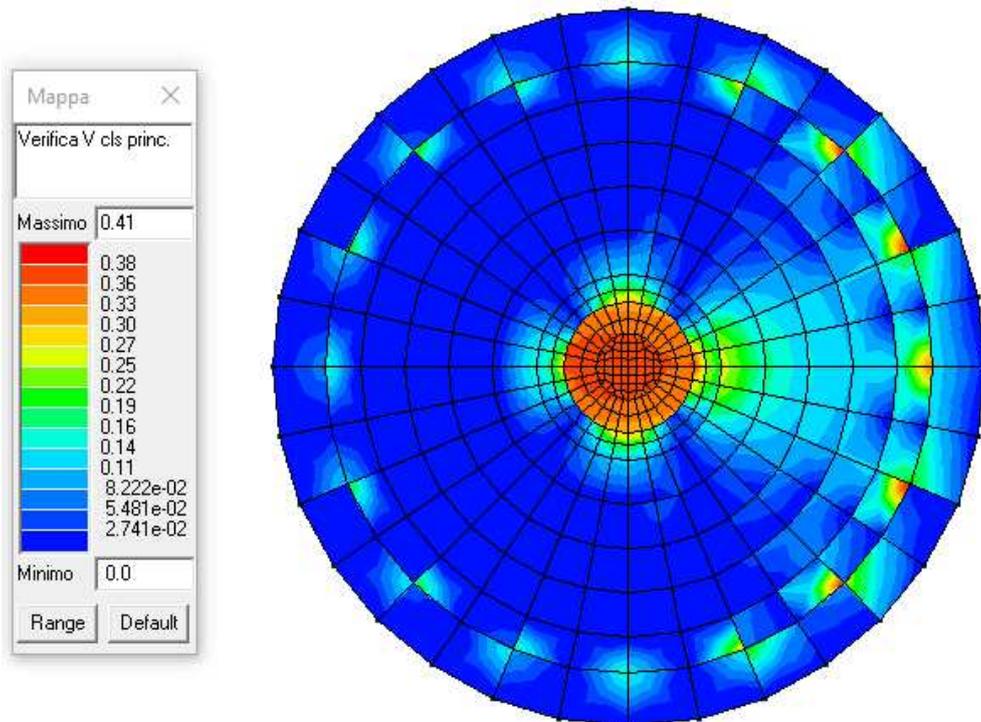


Figura 28: Verifica V CLS principale (verifica per valori <1)

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
		Data: 21/10/2022
	Relazione sulle Strutture	Revisione: 00
		Pagina: 41 di 42

17.2 Verifiche SLE

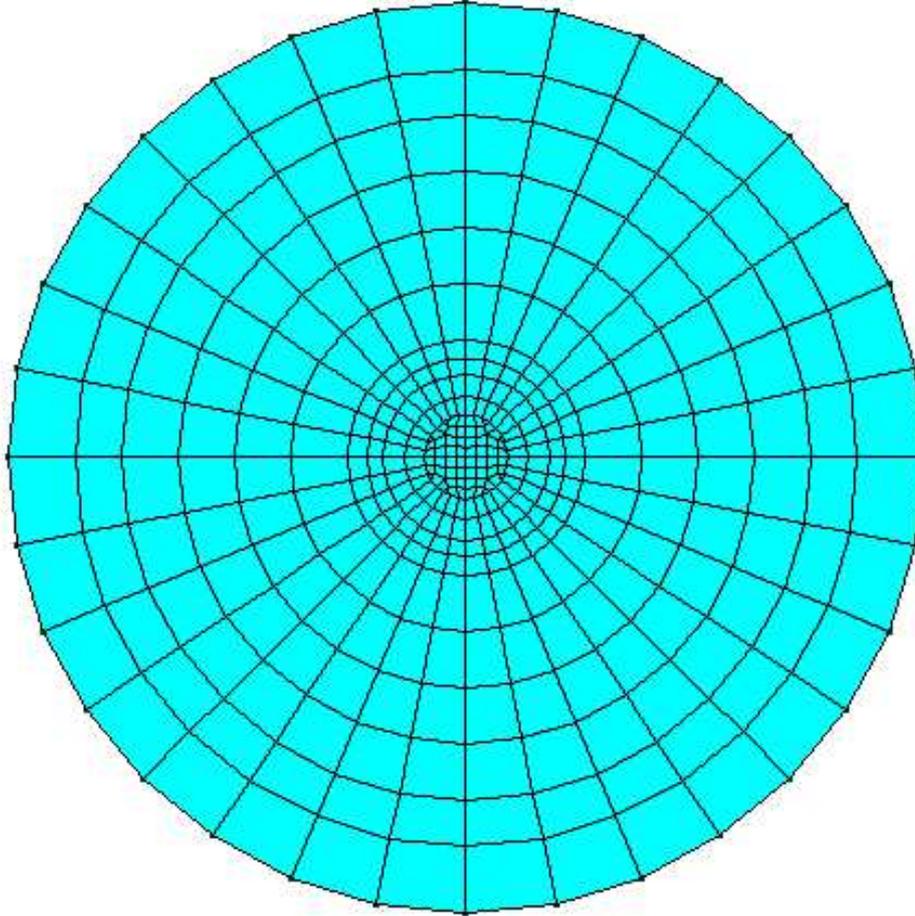


Figura 29: Verifica SLE. In azzurro gli elementi verificati

Aren Electric Power Spa Impianto Eolico “CANOSA”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: CANDS_F00R00100_00
	Relazione sulle Strutture	Data: 21/10/2022
Revisione: 00		
		Pagina: 42 di 42

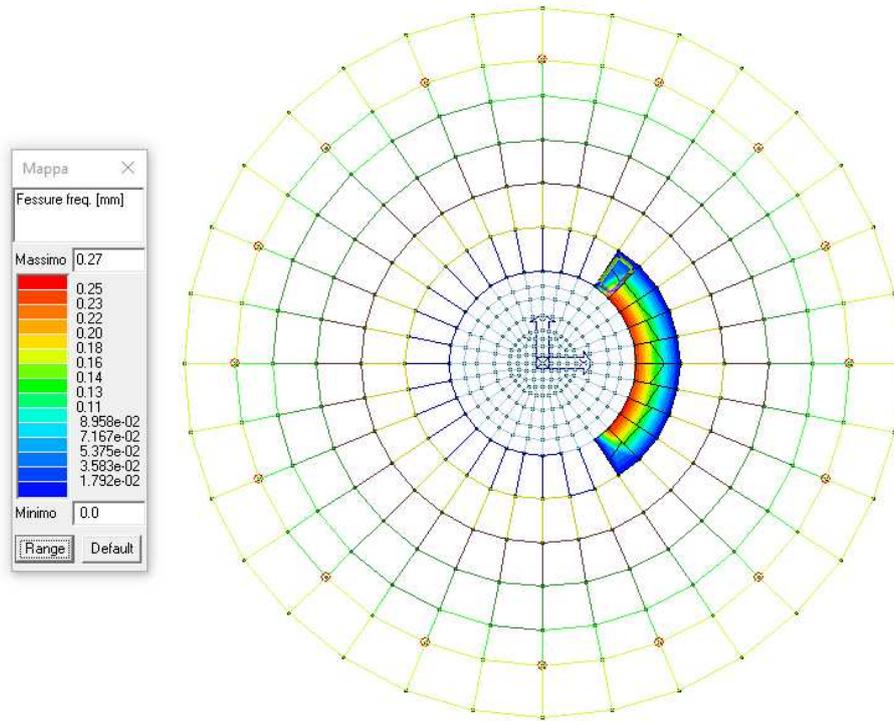


Figura 30: Fessure SLE frequenti. Ampiezza fessure <0,3 mm - Verifica soddisfatta

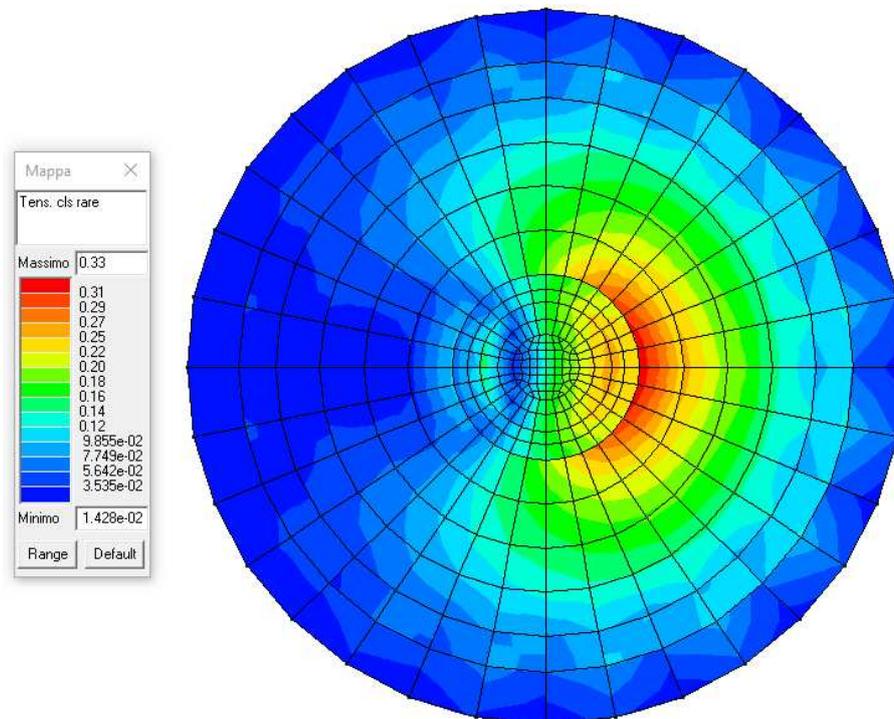


Figura 31: Tensioni CLS SLE rare (verificato per valori <1)