

COMMITTENTE



GRV WIND VIGNALE S.R.L.
Via Durini, 9 Tel. +39.02.50043159
20122 Milano
PEC: grvwindvignale@legalmail.it

PROGETTISTI



SCM Ingegneria S.r.l.
Via Carlo del Croix, 55 Tel. +39 0831 728955
7202272022, Latiano (BR)
Mail: info@scmingegneria.com



Regione Sicilia



Provincia di Trapani



Comune di Mazara del Vallo



Comune di Castelvetrano



Comune di Santa Ninfa

PROGETTO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

ELABORATO

Titolo:
**CALCOLI PRELIMINARI FONDAZIONI
STRUTTURE PARCO EOLICO**

Tav. / Doc:
RELO5

Codice elaborato:

EOMZRD-I

Formato:
A4

0	OCTOBRE 2023	EMESSO PER AUTORIZZAZIONE	SCM	SCM	GRVALUE
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

Sommario

1.	INTRODUZIONE.....	2
2.	GEOMETRIA E TIPOLOGIA DELLA FONDAZIONE	2
3.	NORME DI RIFERIMENTO	3
4.	DATI DI PROGETTO DELL'OPERA	3
5.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SITO.....	3
6.	MATERIALI ADOTTATI.....	3
6.1	CALCESTRUZZO PER PLINTI/PIASTRE DI FONDAZIONE	3
6.2	ACCIAIO PER ARMATURE	4
7.	CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA.....	4
7.1	MODELLAZIONE	4
7.2	VERIFICHE ESEGUITE.....	5
7.3	APPROCCI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CARICO	6
7.4	ANALISI DEI CARICHI	8
7.4.1	AZIONI DERIVANTI DALLA SOVRASTRUTTURA	8
7.4.2	PESO PROPRIO DELLA FONDAZIONE	8
7.4.3	PESO PROPRIO DEL RIEMPIMENTO	9
8.	VERIFICHE GLOBALI / GEOTECNICHE.....	10
8.1	COMBINAZIONI DI CARICO E FATTORI DI SICUREZZA.....	10
8.2	GAPPING	11
8.3	RIBALTAMENTO	12
8.4	CARICO LIMITE.....	12
8.5	SLITTAMENTO.....	15
8.6	VALUTAZIONE MODULO DI REAZIONE (WINKLER).....	16
8.7	VALUTAZIONE CEDIMENTI MEDI ATTESI	17
8.8	CEDIMENTI DIFFERENZIALI MASSIMI ATTESI.....	17
9.	VERIFICHE STRUTTURALI	18
9.1	RISULTATI DELL'ANALISI	18
9.2	VERIFICHE DI RESISTENZA A FLESSIONE	21
9.2.1	DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE SUPERIORI	22
9.2.2	DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE INFERIORI	23
9.3.3	DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE CIRCONFERENZIALI SUPERIORI	24
9.3.4	DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE CIRCONFERENZIALI INFERIORI	25
9.3	VERIFICA A TAGLIO	26
9.4	VERIFICHE TENSIONALI / DI FESSURAZIONE.....	26

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

9.4.1 VERIFICHE SUL LEMBO INFERIORE	27
9.4.2 VERIFICHE SUL LEMBO SUPERIORE	28

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

1. INTRODUZIONE

I Nella presente relazione di calcolo vengono illustrati i criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni degli aerogeneratori da mettersi in opera presso la centrale di produzione di energia da fonte eolica, con una potenza nominale di 72 MW che la società GRV WIND VIGNALE S.R.L. (la "Società") propone di realizzare in agro dei Comuni di Mazara del Vallo (TP) e Castelvetro (TP).

La relazione ha carattere preliminare in quanto, in questa fase di progettazione, la scelta dell'aerogeneratore è stata effettuata in via del tutto provvisoria, tra i diversi modelli attualmente disponibili sul mercato. Per tal motivo, le sollecitazioni a base torre, che costituiscono i dati di input del problema, hanno ordini di grandezza che potrebbero essere modificati nella successiva fase di progetto (esecutivo), allorquando verrà definito con certezza il modello della macchina. Oltre a questo aspetto, anche gli approfondimenti geologici di dettaglio, da espletarsi nella fase esecutiva, potrebbero in qualche modo rendere necessarie alcune modifiche progettuali delle strutture fondali.

La macchina (aerogeneratore) presa in esame per il calcolo preliminare delle fondazioni è di fabbricazione VESTAS, avente le caratteristiche geometriche illustrate nella figura successiva:

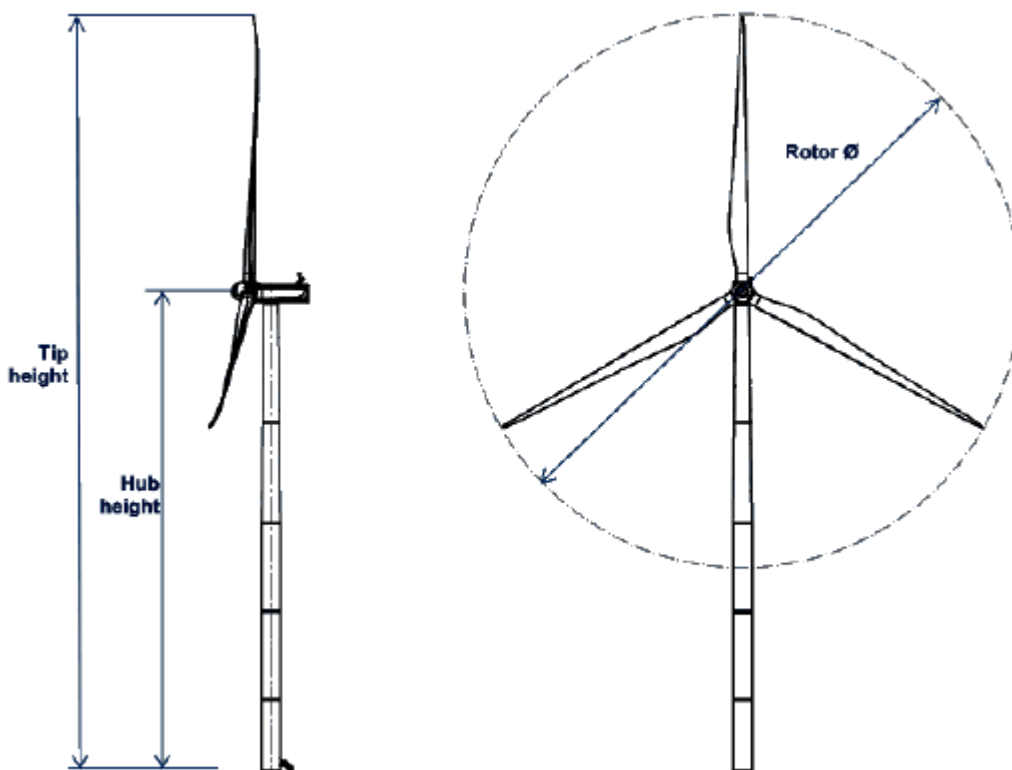


Figura 1.1 Geometria dell'aerogeneratore

2. GEOMETRIA E TIPOLOGIA DELLA FONDAZIONE

La fondazione dell'aerogeneratore è del tipo diretto, in c.a. gettato in opera, avente geometria tronco-conica, con diametro di base pari a $D_b = 24,6$ m, spessore variabile da un minimo di 1m, sul bordo esterno, ad un massimo di 3m, in corrispondenza della zona centrale di attacco della parte in elevazione della torre (fig. successiva).

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

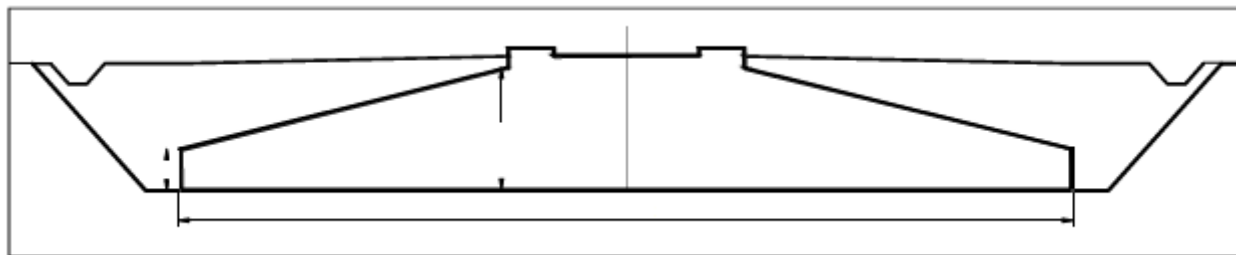


Figura 2.1 Geometria del plinto di fondazione

3. NORME DI RIFERIMENTO

Per le verifiche strutturali sono state impiegate le seguenti norme:

1. DM 17/01/2018 – “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
2. Circ. 21 Gennaio 2019 n. 7/C.S.LL.PP., “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.
3. Eurocodice 2 - “Progettazione delle strutture in calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”
4. Eurocodice 7 - “Progettazione geotecnica. Parte 1 - Regole generali”
5. CEI EN 61400-11.

4. DATI DI PROGETTO DELL’OPERA

La seguente tabella riassume i dati di progetto:

TIPO DI COSTRUZIONE (NTC 2018 CAP.2, 3)	DESCRIZIONE	PARAMETRO
Proprietà della costruzione	ordinaria	VN = 50
Tipo di costruzione	2	CU = 2.0
Classe d'uso	IV	VR=CU*VN= 100
Periodo di riferimento sisma	-	VR=CU*VN= 100
Destinazione d'uso	industriale	categoria = E2

Tabella 4.1 Dati generali di progetto relativi alla struttura

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SITO

Per le considerazioni geologiche relative al sito in oggetto si rimanda alle relazioni di dettaglio facenti parte del presente progetto.

6. MATERIALI ADOTTATI

6.1 CALCESTRUZZO PER PLINTI/PIASTRE DI FONDAZIONE

Classe di resistenza	C28/35 (Rck > = 35 N/mm ²)	
Classe di esposizione	XC2 - Prospetto 4 UNI 11104	
Dosaggio di cemento	> = 320kg/mc d’impasto	
Rapporto A/C	< = 0.55	
Contenuto massimo di cloruri	Cl 0.20%	
D max aggregati	25 mm	
Consistenza (slump)	S4	
Copriferro	50 mm	
Rck	35	N/mm ²
fck	29.05	N/mm ²

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

γ_c	1.50	
α_c	0.85	
f_{cd}	16.46	N/mm ²
f_{ctm}	2.83	N/mm ²
f_{ctd}	1.32	N/mm ²
ν_1	0.50	
f_{cd}	8.23	N/mm ²
E_{cm}	32'588.11	N/mm ²

6.2 ACCIAIO PER ARMATURE

Tipo	B450C	
f_y	450	N/mm ²
f_t	540	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391.30	
E_s	210'000.00	N/mm ²
ϵ_{yd}	1.86	%
ϵ_{ud}	67.50	%

7. CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA

Le analisi sono state condotte per mezzo di un software di calcolo strutturale agli elementi finiti.

Ai fini della presente relazione si fa riferimento agli scenari di progetto non sismici, assumendo come carichi dimensionanti quelli calcolati con le simulazioni di cui al § 7.3 (gli scenari di progetto non sismici previsti dalla norma [5], condizioni di carico di tipo Normal/Abnormal).

7.1 MODELLAZIONE

La fondazione è stata analizzata attraverso un modello agli elementi finiti tipo "shell-thick" vincolati su suolo alla Winkler e bloccati in modo isostatico contro le labilità di piano.

Nel modello i carichi considerati sono:

1. il peso proprio (calcolato in automatico dal software di calcolo)
2. il peso del terreno di rinterro (sovraccarico permanente)
3. carichi provenienti dalla struttura in elevazione (F_z , F_x , F_y , M_z , M_x , M_y) e applicati su un nodo in posizione centrale ma ad una quota superiore rispetto al piano medio della piastra; questo nodo è collegato, attraverso una serie di elementi rigidi, alla corona di nodi cui corrisponde l'attacco della torre alla fondazione.

Il terreno è considerato col modello alla Winkler – molle non reagenti a trazione¹. La valutazione della rigidezza è riportata al § 8.6.

¹ Di conseguenza la analisi condotte sono di tipo non-lineare

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

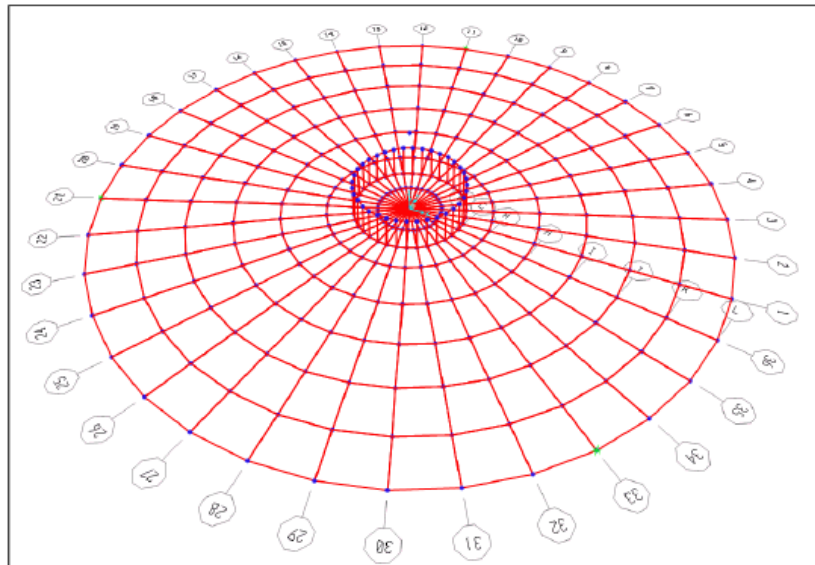


Tabella 7.1 Modello di calcolo della fondazione

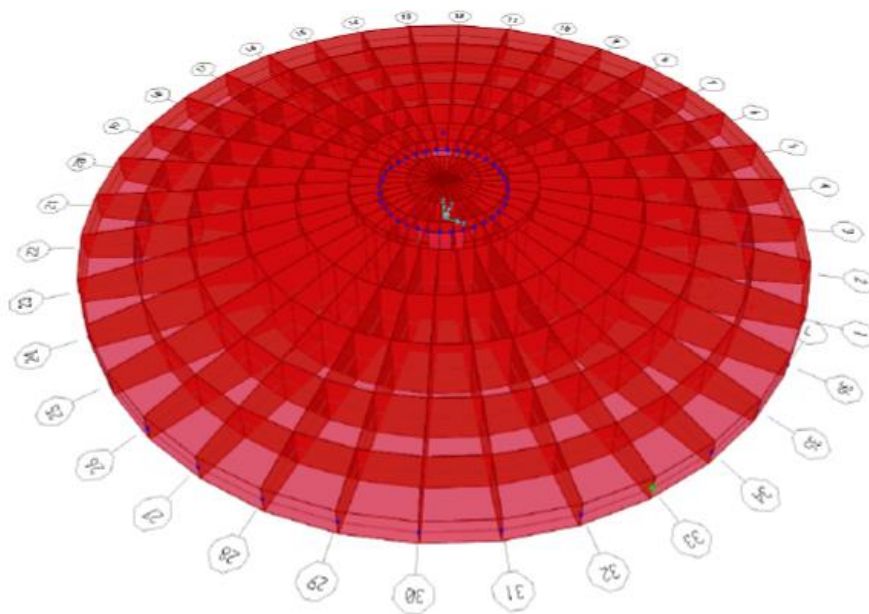


Tabella 7.2 Modello FEM della fondazione – vista solida

7.2 VERIFICHE ESEGUITE

Le verifiche riguardanti la sicurezza degli elementi strutturali sono state eseguite in accordo con il metodo degli stati limite di cui al cap. 2, 4 e 6 di [1], tenendo conto delle ulteriori richieste prestazionali previste nella normativa di settore [5]. In particolare sono state eseguite le:

1. verifiche globali di ribaltamento
2. verifiche globali di gapping (parzializzazione delle pressioni sul piano di appoggio)
3. verifiche geotecniche di resistenza a slittamento e carico limite
4. valutazioni dei cedimenti massimi assoluti e differenziali
5. valutazione della costante di Winkler
6. verifiche di resistenza a flessione/taglio della piastra di fondazione
7. verifiche a fessurazione della piastra di fondazione

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

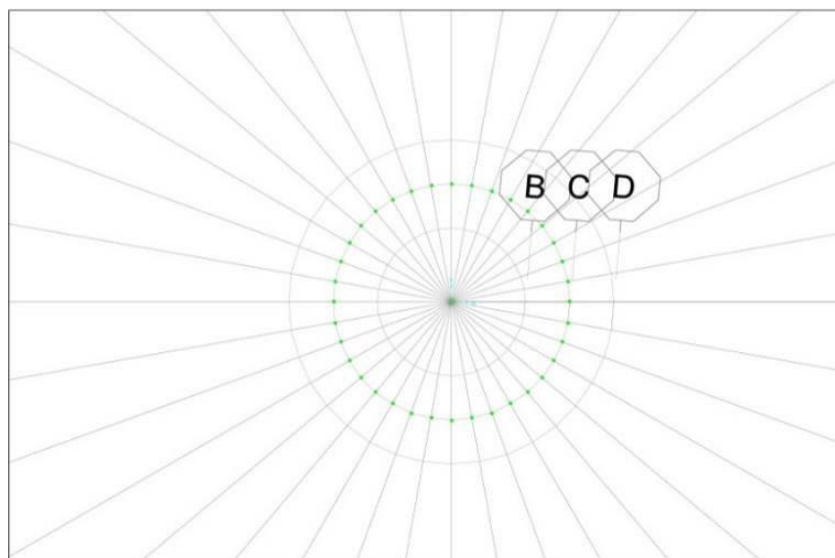


Tabella 7.3 Nodo connesso rigidamente (centrale)

Le verifiche esposte nel seguito si fondano sui dati di calcolo forniti dal progettista della parte in elevazione, e che sono riassunti nelle successive tabelle (§ 7.3).

7.3 APPROCCI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CARICO

Per le verifiche geotecniche si fa riferimento all'approccio 2, in accordo la combinazione A1+M1+R3 e le tabelle seguenti:

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽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.

Tabella 7.1

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 7.2

Nella logica del metodo degli Stati Limite ogni azione è stata classificata in base al tipo di "sorgente" e al tipo di carico. Ciò anche nell'ottica di operare una corretta applicazione della norma [5], specifica per gli

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

aerogeneratori, assieme con i criteri di progettazione previsti dalla norma [1] valida per tutte le costruzioni civili ed industriali.

AZIONE	TIPO DI CARICO	NORMA DI RIFERIMENTO	COEFF. PARZIALI γ_F	
			STR-GEO	EQU
Peso proprio fondazione	Permanente fondazione	[1]	1.00 / 1.30	0.90
Peso terreno riempimento	Permanente fondazione	[1]	0.80 / 1.50	0.80
Peso aerogeneratore [Fzt]	Permanente aerogener.	[5]	0.90 1.10 1.35	0.90
Vento aerogen. [FndFr]	Variabile aerogeneratore	[5]	1.10 1.35	1.10 1.35

Tabella 7.3 Possibili valori dei coefficienti parziali delle azioni adottati nel presente progetto

Nella tabella a seguire si riporta l'elenco completo delle combinazioni di carico adottate nelle verifiche della fondazione dell'aerogeneratore in oggetto. Le ultime 9 colonne" indicano:

"N" – carichi permanenti dell'aerogeneratore (indicati con F_{zi} in tabella 6 e tabella 7)

"V", "M" – azione derivante dal vento agente sull'aerogeneratore, valutata secondo [5]

Il pedice "N_{or}" oppure "A_{bn}" identifica il tipo di combinazione in accordo con [5]. Si fa presente che, come carichi di input provenienti dall'aerogeneratore, non sono presenti le azioni in condizione "Abnormal" secondo [5]: tali combinazioni non sono state analizzate anche se compaiono nella tabella delle combinazioni di carico.

Combinazione	Peso proprio fondazione	Peso del terreno di riempimento	Scarico aerogeneratore IEC 61400-11									
			Abnormal			Normal			Opertional			
			N _{Abn}	V _{Abn}	M _{Abn}	N _{Nor}	V _{Nor}	M _{Nor}	N _{Qp}	V _{Qp}	M _{Qp}	
1	Normal SLU1	1.30	1.50				1.35	1.35	1.35			
2	Normal SLU2	1.00	0.80				0.90	1.35	1.35			
3	Abnormal 1.10	1.30	1.50	1.10	1.10	1.10						
4	Abnormal 0.90	1.00	0.80	0.90	1.10	1.10						
5	Normal EQU	0.90	0.80				0.90	1.35	1.35			
6	Abnormal EQU	0.90	0.80	0.90	1.10	1.10						
7	Normal	1.00	1.00				1.00	1.00	1.00			
8	Abnormal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						
9	Gap	1.00	1.00							1.00	1.00	1.00
10	Frequente	1.00	1.00									
11	Quasi permanente	1.00	1.00									

Tabella 7.4 Coefficienti parziali delle azioni utilizzati ai fini del presente progetto

In queste combinazioni (che, come si è detto, sono state analizzate assumendo la non linearità del modello) le prime 4 sono riconducibili a stati limite ultimi e, pertanto, sono state adottate per le verifiche di resistenza STR / GEO. Anche la 5 – 6 sono riconducibili a stati limite. Le combinazioni 7 e 8 sono state assunte come Caratteristiche (SLE Rare) e, pertanto ad esse sono state riferite le valutazioni delle tensioni (SLE R) su calcestruzzo e armatura, oltre che dei cedimenti di fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

7.4 ANALISI DEI CARICHI

7.4.1 AZIONI DERIVANTI DALLA SOVRASTRUTTURA

Il documento WFL EDPR BRAZIL BARRAS WF - «GENERAL CHARACTERISTICS MANUAL» riporta gli scarichi in fondazione derivanti dall'aerogeneratore, in accordo con le indicazioni delle norme adottate. I carichi, come specificato in didascalia alle tabelle, sono non fattorizzati ("excl. PLF) pertanto ad essi sono da applicare i "Partial Load Factor" riportati nella 3° colonna, e che sono in accordo con quanto riportato nella norma [5] tabella 3 § 7.6.2.1 (sotto riprodotta come tabella 7.8).

	Load factor	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	M_{xy} (kNm)	M _z (kNm)
UNFACTORED EXTREME LOADS	1	1270.75	25.59	-5587.23	7663.75	151281.35	151474.60	3048.74
FACTORED EXTREME LOADS	1.35	1715.51	34.56	-7542.76	10346.07	204229.81	204490.72	4115.79

Table 1. SG6.0-170 HH115 Factored/Unfactored Extreme loads at tower bottom

Tabella 7.5 Scarichi in fondazione – Condizioni di carico in situazioni estreme (stati limite ultimi)

Load factor	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	M_{xy} (kNm)	M _z (kNm)
1	1270.75	25.59	-5587.23	7663.75	151281.35	151474.60	3048.74

Table 3. SG6.0-170 HH115 Characteristics Loads at the base of the tower

Tabella 7.6 Scarico in fondazione – Condizioni di carico Normal

Load factor	F _{xy} (kN)	F _z (kN)	M_{xy} (kNm)	M _z (kNm)
1	986.29	-6718.44	111512.14	3901.81

Table 2. SG6.0-170 HH115 Quasi Permanent Loads at tower bottom

Tabella 7.7 Scarico in fondazione – Condizioni di carico quasi permanente

Table 3 – Partial safety factors for loads γ

Unfavourable loads			Favourable loads
Type of design situation (see Table 2)			All design situations
Normal (N)	Abnormal (A)	Transport and erection (T)	
1,35	1,1	1,5	0,9

Tabella 7.8 Coefficienti di combinazione previsti dalla specifica tecnica [5]

Oltre a queste azioni si sono considerate quelle derivanti dal peso proprio della struttura di fondazione e dal peso del terreno di riempimento.

7.4.2 PESO PROPRIO DELLA FONDAZIONE

La geometria della fondazione è di seguito definita:

Diametro del plinto di fondazione:	D _e = 24.50 m
Diametro esterno del piedistallo:	D _i = 6.50 m
Diametro interno del piedistallo:	D _{int} = 2.50 m
Altezza minima plinto (al bordo):	H _{edge} = 1.00 m

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

Altezza massima plinto (al centro):	$H_{slab} = 3.00 \text{ m}$
Altezza massima plinto + piedistallo:	$H = 3.50 \text{ m}$
Scalino esterno del piedistallo:	$H - H_{slab} = 0.50 \text{ m}$
Scalino interno del piedistallo:	$H_{int} = 0.20 \text{ m}$
Pendenza estradosso soletta:	$\alpha = 22.22 \%$
Pendenza profilo terreno:	$\delta = 2.00 \%$
Ricoprimento minimo:	$H_{backfill,mi} = 0.30 \text{ m}$

Tabella 7.9 Geometria del plinto

Il volume del plinto è pari a 906.84 m^3 .

Il peso del plinto è pari a $22'671.01 \text{ kN}$.

7.4.3 PESO PROPRIO DEL RIEMPIMENTO

Al di sopra del plinto di fondazione è previsto un ricolmamento, da realizzarsi con materiale di buone caratteristiche meccaniche. Si assume, in sede di analisi, un peso di volume pari a 17 kN/m^3 , e si assegna questo peso come pressione verticale variabile applicata sugli elementi shell che modellano il plinto, secondo quanto riportato nella successiva tabella 7.10.

Raggio interno [m]	Raggio esterno [m]	H = spessore riempim. [m]	q riempim. [kN/m ²]
3.250	5.050	0.66	8.42
5.050	6.850	1.03	14.54
6.850	8.650	1.39	20.69
8.650	10.450	1.76	26.86
10.450	12.250	2.12	33.03

Tabella 7.10

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

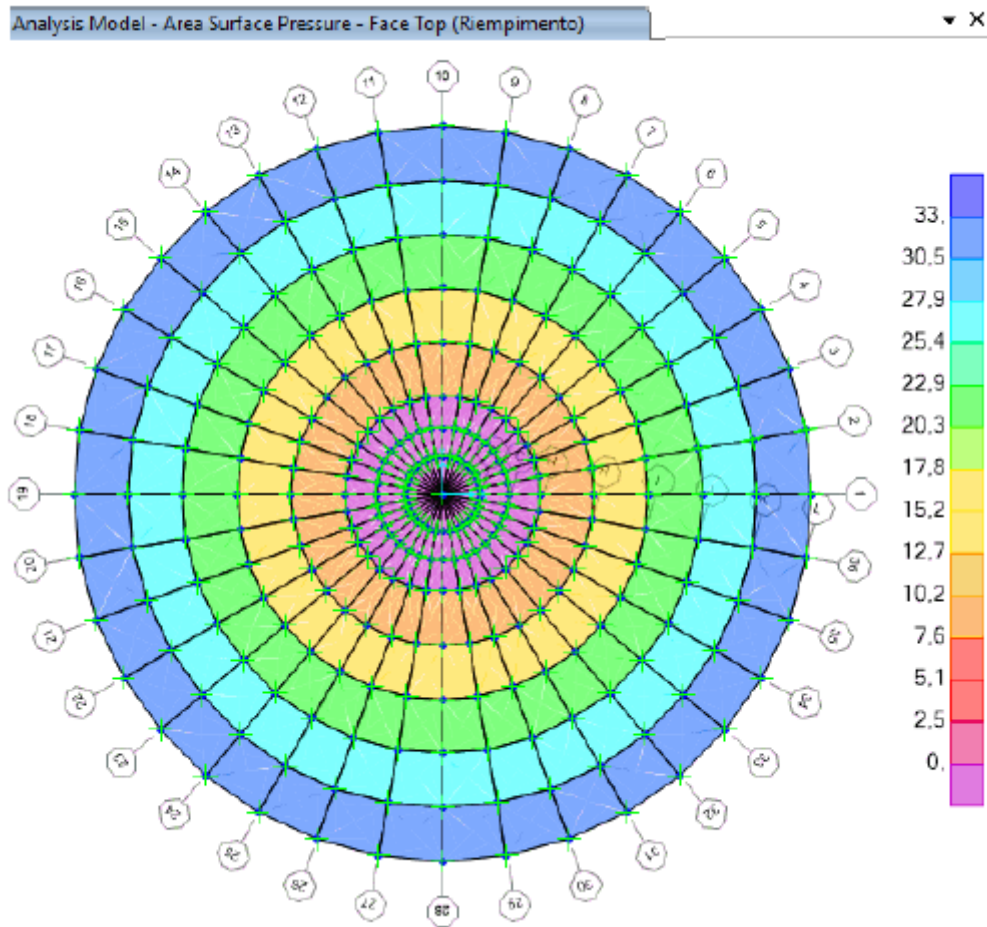


Tabella 7.4 Carico distribuito sul plinto, che simula il peso del terreno di riempimento (a spessore variabile)

8. VERIFICHE GLOBALI / GEOTECNICHE

8.1 COMBINAZIONI DI CARICO E FATTORI DI SICUREZZA

Nella tabella a seguire si riporta un riepilogo dei fattori parziali, dei coefficienti e fattori di sicurezza.

Tabella 8.1: Riepilogo delle verifiche geotecniche e globali

Verifica	Tipo di combinazione	Coefficienti parziali delle azioni γ_f							
		Peso proprio	Riempimento	F_z	H	M			
GEO (abnormal)	Carico limite	Approccio 2	A1+M 1+R3	Abnormal 2	1.00	0.80	0.90	1.10	1.10
	Carico limite	Approccio 2	A1+M 1+R3	Abnormal 1	1.30	1.50	1.10	1.10	1.10
	Scorrimento	Approccio 2	A1+M 1+R3	Abnormal 2	1.00	0.80	0.90	1.10	1.10
GEO (normal)	Carico limite	Approccio 2	A1+M 1+R3	Normal SLU2	1.00	0.80	0.90	1.35	1.35
	Carico limite	Approccio 2	A1+M 1+R3	Normal SLU1	1.30	1.50	1.35	1.35	1.35

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

	Scorrimento	Approccio 2	A1+M 1+R3	Normal SLU2	1.00	0.80	0.90	1.35	1.35
GEO (Sismic)	Carico limite			Seismic	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Scorrimento			Seismic	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ribaltamento	IEC	normal case	Normal EQU	0.90	0.80	0.90	1.35	1.35
		IEC	Abnormal case	Abnormal EQU	0.90	0.80	0.90	1.10	1.10

Verifica		Tipo di combinazione			Coefficiente materiale (terreno)			γ_R	F.S.
					γ_M				
					$\tan(\phi')$	c'	c_u		
GEO (abnormal)	Carico limite	Approccio 2	A1+M 1+R3	Abnormal 2	1.00	1.00	1.00	2.30	-
	Carico limite	Approccio 2	A1+M 1+R3	Abnormal 1	1.00	1.00	1.00	2.30	-
	Scorrimento	Approccio 2	A1+M 1+R3	Abnormal 2	1.00	1.00	1.00	1.10	-
GEO (normal)	Carico limite	Approccio 2	A1+M 1+R3	Normal SLU2	1.00	1.00	1.00	2.30	1.03
	Carico limite	Approccio 2	A1+M 1+R3	Normal SLU1	1.00	1.00	1.00	2.30	-
	Scorrimento	Approccio 2	A1+M 1+R3	Normal SLU2	1.00	1.00	1.00	1.10	3.30
GEO (Sismic)	Carico limite			Seismic	1.00	1.00	1.00	2.30	-
	Scorrimento			Seismic	1.00	1.00	1.00	1.10	1.51
	Ribaltamento	IEC	normal case	Normal EQU					1.93
		IEC	Abnormal case	Abnormal EQU					

8.2 GAPPING

La verifica di GAPPING è condotta assumendo che in combinazione 9 si abbia un'impronta sul terreno pari al 100 % della sagoma del plinto. Per la combinazione 7 si assume, invece, che l'impronta possa ridursi fino al 50% della sagoma del plinto. Per garantire il 100% di sezione reagente occorre che la risultante abbia un'eccentricità massima e non superiore a 0,125 D - essendo D pari al diametro del plinto - mentre per garantire che la porzione compressa sia non inferiore al 50% dell'area di base del plinto occorre limitare l'eccentricità a 0,294 D. Di seguito si riportano le verifiche di gapping rispetto alla combinazione Q_p e Normal non fattorizzate.

Tabella 8.2 Riepilogo delle verifiche geotecniche e globali

SCARICHI EROGENERATORE – NON FATTORIZZATI		
	Operational	Normal
F_z	6'718.44	5'587.23
F_{xy}	986.29	1'271.01
M_{xy}	111'512.14	151'475.34

AZIONI RISULTANTI INTRADOSSO FONDAZIONE – NON FATTORIZZATE

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

	Operational	Normal
F _z	39'175.76	38'044.55
F _{xy}	986.29	1'271.01
M _{xy}	115'161.41	156'178.07

Tabella 8.3 Coefficienti parziali e verifica di Gapping

	Peso Proprio	Riempimento	F _z	H	M
Operational	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Normal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

		Operational	Normal
Eccentricity	e [m]	2.94	4.11
	(e / D)	0.120	0.168
	(e / D) max	0.125	0.294
Check	FS	1.0418	1.755

8.3 RIBALTAMENTO

La verifica a ribaltamento è dettagliata nelle seguenti tabelle.

Normal EQU	Peso Proprio	Riempimento	F _z	H	M
	0.90	0.80	0.90	1.35	1.35

Tabella 8.4 Coefficienti di combinazione per la verifica a ribaltamento

	Normal EQU
M _o (overturning) [kNm]	210'840.40
M _s (stabilizing) [kNm]	407'452.95
FS = M _s / M _o	1.933

Tabella 8.5 Verifica a ribaltamento

8.4 CARICO LIMITE

Le verifiche a carico limite, per condizioni drenate e non drenate, sono dettagliate nelle successive tabelle. Si è adottato il metodo di verifica di cui all'appendice D di [4].

SCARICHI DI PROGETTO PER VERIFICHE DI PORTANZA					
	Peso Proprio	Riempimento	F _z	H	M
Normal SLU2	1.00	0.80	0.90	1.35	1.35
Normal SLU1	1.30	1.50	1.35	1.35	1.35
Abnormal 2	1.00	0.80	0.90	1.10	1.10
Abnormal 1	1.30	1.50	1.10	1.10	1.10
Seismic	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

	FOUNDATION BOTTOM	
	Normal SLU2	Normal SLU1
F _z	35'528.57	51'694.54
F _{xy}	1'715.86	1'715.86
M _{xy}	210'840.40	210'840.40

Tabella 8.6 Analisi scarichi in fondazione

Le verifiche a carico limite sono condotte con riferimento alla stratigrafia n.2 e 5, che sono quelle che presentano angolo di attrito e coesione più bassi. In particolare, la stratigrafia n. 5 è stata verificata in

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

condizioni drenate (sia lo strato superiore che inferiore) mentre la stratigrafia n. 2, solo il substrato inferiore, in condizioni non drenate².

Tabella 8.7 Verifica a carico limite in condizioni drenate – Combinazione Normal SLU2 – Strato 1

VERTICAL BEARING CAPACITY CHECK			Condition	Soil parameters	Load comb.
			drained	WTG05 - Layer 1	Normal SLU2
Soil unit weight	γ			10.65	kPa
Backfilling unit weight	γ^*			17.00	kPa
Friction angle	φ'			21.0°	
Effective cohesion	c'			7.00	kPa
Undrained cohesion	C_u			42	kPa
Water table depth	z_w			6.00	m
Design bending moment	M_{xy}			210'840	kNm
Design torque moment	M_z			5'556.33	kNm
Design vertical load	F_z			35'529	kN
Design tangential load	H			1'716	kN
Radius	R			12.25	m
Depth of foundation	D			1.00	m
Eccentricity	e	M_{xy}/F_z		5.93	m
Ellipse minor axes	B_e	$2^*(R-e)$		12.63	m

² La verifica a carico limite dovrebbe essere condotta, a rigore, considerando la C_u media che si sviluppa lungo le ipotetiche superfici di rottura che, secondo la nota teoria della formula trinomia di Brinch-Hansen (1970), ha una profondità dell'ordine della dimensione (in questo caso il diametro) della fondazione. Poiché lo spessore massimo dello strato di argille sabbiose è di 6,5 m a partire dal piano campagna, tenendo anche conto della profondità del piano di appoggio della fondazione, è da ritenere che il contributo maggiore alla resistenza sia sicuramente dato dallo strato inferiore, che è quello del quale si presenta la verifica. L'elevato coefficiente di sicurezza (n.b. normalizzato) dimostra che la verifica sarebbe soddisfatta anche adottando una C_u media con riferimento ad entrambi gli strati attraversati dal cono di rottura.

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

Ellipse major axes	Le	$2 R [1 - (1 - B_e/2R)^2]^{1/2}$	21.43 m
Effective loaded area	Aeff	$2 * [R^2 \arccos(e/R) - e * (R^2 - e^2)^{1/2}]$	192.46 m ²
Effective lenght	Leff	$(A_{eff} * L_e / B_e)^{1/2}$	18.07 m
Effective width	Beff	$L_{eff} * B_e / L_e$	10.65 m
Horizontal force	H'	$2 * M_z / L_{eff} + [H^2 + (2 * M_z / L_{eff})^2]^{1/2}$	2'437.65 kN
Inclination of foundation	η		0.0°
Nc	Nc	$(7.07 - 1) / \tan(21.0^\circ) =$	15.815
Nq	Nq	$\tan(90 + 21.0^\circ / 2)^2 \exp(\pi * \tan(21.0^\circ)) =$	7.071
N γ	N γ	$2 * (7.07 - 1) * \tan(21.0^\circ) =$	4.661
Shape factor	sc	$(1.21 * 7.07 - 1) / (7.07 - 1) =$	1.246
Shape factor	sq	$1 + 10.65 / 18.07 * \text{sen}(21.0^\circ) =$	1.211
Shape factor	sy	$1 - 0.3 * 10.65 / 18.07 =$	0.823
Load inclination factor	ic	$0.9 - (1 - 0.9) / (15.81 - 1) =$	0.894
Load inclination factor	iq	$(1 - 2'437.65 / (35'529 + 192.46 * 7.0 / \tan(21.0^\circ)))^{1.63} =$	0.900
Load inclination factor	iy	$(1 - 2'437.65 / (35'529 + 192.46 * 7.0 / \tan(21^\circ)))^{(1.63+1)} =$	0.844
Found. inclination fact.	bc	$1.0 - (1 - 1.0) / (15.81 * \tan(21.0^\circ)) =$	1.000
Found. inclination fact.	bq	$(1 - \text{rad}(0.0^\circ) * \tan(21.0^\circ))^2 =$	1.000
Found. inclination fact.	by	$1.0 =$	1.000
Backfill pressure	q'	$17.0 * 1.0 =$	17.00 kPa
Component c		$7.0 * 15.81 * 1.25 * 0.89 * 1.0 =$	123.253 kPa
Component q		$17.0 * 7.07 * 1.21 * 0.9 * 1.0 =$	131.072 kPa
Component γ		$10.65 * 10.65 / 2 * 4.66 * 0.82 * 0.84 * 1.0 =$	183.638 kPa
Resistance factor	γ_R		2.300
Design bearing capacity	q _{rd}	$(123.25 + 131.07 + 183.64) / 2.3 =$	190 kPa
Design pressure	q _{sd}	$35'528.57 / 192.46 =$	185 kPa
Bearing check	FS	$190.42 / 184.6 =$	1.032 > 1 OK

Tabella 8.8 Verifica a carico limite in condizioni drenate – Combinazione Normal SLU2 – Strato 2

VERTICAL BEARING CAPACITY CHECK		Condition	Soil parameters	Load comb.
		undrained	WTG05 - Layer 2	Normal SLU2
Soil unit weight	γ			12.95 kPa
Backfilling unit weight	γ^*			17.00 kPa
Friction angle	φ'			24.0°
Effective cohesion	c'			23.00 kPa
Undrained cohesion	Cu			148 kPa
Water table depth	z _w			6.00 m
Design bending moment	M _{xy}			210'840 kNm
Design torque moment	M _z			5'556.33 kNm
Design vertical load	F _z			35'529 kN
Design tangential load	H			1'716 kN
Radius	R			12.25 m
Depth of doudnation	D			1.00 m
Eccentricity	e	M _{xy} /F _z		5.93 m
Ellipse minor axes	Be	2*(R-e)		12.63 m
Ellipse major axes	Le	$2 R [1 - (1 - B_e/2R)^2]^{1/2}$		21.43 m
Effective loaded area	Aeff	$2 * [R^2 \arccos(e/R) - e * (R^2 - e^2)^{1/2}]$		192.46 m ²
Effective lenght	Leff	$(A_{eff} * L_e / B_e)^{1/2}$		18.07 m

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

Effective width	B_{eff}	$L_{eff} * B_e / L_e$	10.65 m
Horizontal force	H'	$2 * M_z / I_{eff} + [H^2 + (2 * M_z / I_{eff})^2]^{1/2}$	2'437.65 kN
Inclination of foundation	η		0.0°
N_c	N_c	$2 + \pi =$	5.142
N_q	N_q	$1 =$	1.000
N_γ	N_γ	$0 =$	0.000
Shape factor	s_c	$1 + 0.2 * (10.65 / 18.07) =$	1.118
Shape factor	s_q	$1 =$	1.000
Shape factor	s_γ	$1 =$	1.000
Load inclination factor	i_c	$1/2 * [1 + \sqrt{(1 - 2'437.65 / 192.46 / 148.0)}] =$	0.978
Load inclination factor	i_q	$1 =$	1.000
Load inclination factor	i_γ	$1 =$	1.000
Found. inclination fact.	b_c	$1 - 2 * \text{rad}(0,0°) / (2 + \pi) =$	1.000
Found. inclination fact.	b_q	$1 =$	1.000
Found. inclination fact.	b_γ	$1 =$	1.000
Backfill pressure	q'	$17.0 * 1.0 =$	17.00 kPa
Component c		$23.0 * 5.14 * 1.12 * 0.98 * 1.0 =$	832.040 kPa
Component q		$17.0 * 1.0 * 1.0 * 1.0 * 1.0 =$	17.000 kPa
Component γ		$12.95 * 10.65 / 2 * 0.0 * 1.0 * 1.0 * 1.0 =$	0.000 kPa
Resistance factor	γ_R		2.300
Design bearing capacity	q_{rd}	$(832.04 + 17.0 + 0.0) / 2.3 =$	369 kPa
Design pressure	q_{sd}	$35'528.57 / 192.46 =$	185 kPa
Bearing check	FS	$369.15 / 184.6 =$	2.000 > 1 OK

8.5 SLITTAMENTO

Di seguito si dettaglia la verifica a slittamento.

Tabella 8.9 Analisi scarichi in fondazione

SCARICHI DI PROGETTO PER VERIFICHE DI SLITTAMENTO					
	Peso Proprio	Riempimento	F_z	H	M
Normal SLU2	1.00	0.80	0.90	1.35	1.35
Abnormal 2	1.00	0.80	0.90	1.10	1.10
Seismic	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

FOUNDATION BOTTOM			
	Normal SLU2	Abnormal 2	Seismic
F_z	35'528.57	30'500.06	32'457.32
F_{xy}	1'715.86	0.00	4'868.60
M_{xy}	210'840.40	0.00	9'006.91

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

Tabella 8.10 Verifica a slittamento – Combinazione Normal SLU 2

SLIDING CHECK		Condition parameter	Soil	s	Load comb.
		drained	WTG02 - Layer 1		Normal SLU2
Soil unit weight	γ			17.00	kPa
Backfilling unit weight	γ^*			17.00	kPa
Undrained cohesion	C_u			48	kPa
Design bending moment	M_{xy}			210'840	kNm
Design torque moment	M_z			5'556.33	kNm
Design vertical load	F_z			35'529	kN
Design tangential load	H			1'716	kN
Radius	R			12.25	m
Eccentricity	e	M_{xy}/F_z		5.93	m
Ellipse minor axes	B_e	$2*(R-e)$		12.63	m
Ellipse major axes	L_e	$2 R [1 - (1 - B_e/2R)^2]^{1/2}$		21.43	m
Effective loaded area	A_{eff}	$2*[R^2 \arccos(e/R) - e*(R^2 - e^2)^{1/2}]$		192.46	m ²
Effective lenght	L_{eff}	$(A_{eff}*L_e/B_e)^{1/2}$		18.07	m
Effective width	B_{eff}	$L_{eff}*B_e/L_e$		10.65	m
Horizontal force	H'	$2*M_z/L_{eff} + [H^2 + (2*M_z/L_{eff})^2]^{1/2}$		2'437.65	kN
Friction angle	φ'			21.0°	
Struct.-ground friction	δ'		$2/3 * 21° =$	14.0°	
Undrained adhesion	C_a			48	kPa
Resistance factor	γ_R			1.100	
Design sliding resist.	R_d		$F_z \tan(\delta) / \gamma_R =$	8'053	kN
Sliding check	FS		$8'052.97 / 2'437.65 =$	3.304	> 1 OK

8.6 VALUTAZIONE MODULO DI REAZIONE (WINKLER)

Tabella 8.11 Valutazione della costante di Winkler

VALUTAZIONE MODULO DI REAZIONE SOTTOFONDOO (WINKLER)

n. stratigraphy 1

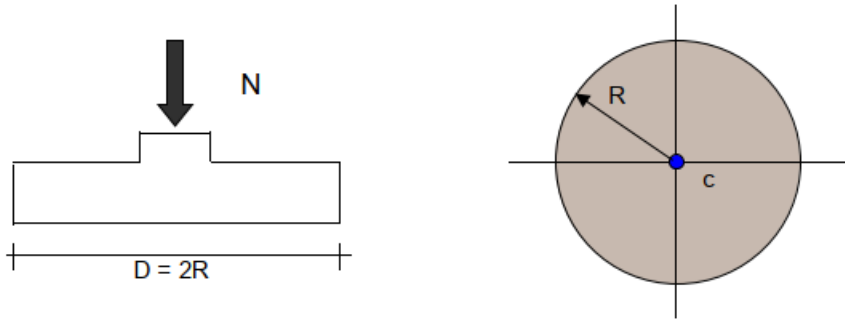
- on stratum over bedrock
- on stratum over half-space
- embedded in stratum over bedrock

Parameter	Symbol	Expression / note	Value
Static shear modulus	G_1		2.46 N/mm ²
Static shear modulus	G_2		5.78 N/mm ²
Static Young modulus	E		6.16 N/mm ²
Poisson ratio	ν		0.25
Foundation radius	R		12.25 m
Thickness of layer	H		2.20 m
	α_r	(for circular rigid foundation)	-
Winkler modulus	K_w		687.22 kN/m ³

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

8.7 VALUTAZIONE CEDIMENTI MEDI ATTESI

Il cedimento medio in combinazione SLE Rara (Normal) è valutato ipotizzando una distribuzione delle pressioni di contatto (cioè di interfaccia terreno-fondazione) di tipo lineare uniforme. Questa ipotesi risulta cautelativa, in quanto porta ad un picco centrale e a cedimenti bassi sul bordo, nella realtà la congruenza degli spostamenti fa sì che le pressioni si concentrino prevalentemente sui bordi e appiattiscano il diagramma degli abbassamenti. I cedimenti andranno verificati sulla base della formulazione di Poulos e Davis (1974) in funzione della caratterizzazione del terreno e valutando il carico netto come differenza tra quello trasferito ad intradosso fondazione e peso del terreno di scavo.



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis; 1974)

$$\Delta\sigma_{zi} = q\left(1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{R}{z}\right)^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\Delta\sigma_{ri} = \left(\frac{q}{2}\right)\left((1 + 2\nu) - \frac{(1 + 2\nu)z}{(R^2 + z^2)^{0.5}} + \frac{z^3}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}\right)$$

$$\Delta\sigma_{\theta i} = (q/2)\left((1 + 2\nu) - \frac{(1 + 2\nu)z}{(R^2 + z^2)^{0.5}} + \frac{z^3}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}\right)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum \left(\frac{\Delta\sigma_{zi} - \nu(\Delta\sigma_{ri} + \Delta\sigma_{\theta i})}{E_i}\right)$$

8.8 CEDIMENTI DIFFERENZIALI MASSIMI ATTESI

Il cedimento differenziale massimo atteso, sempre in combinazione rara, secondo la formulazione di Bowles:

Parameter	Symbol	Expression / note	Value
Poisson ratio	ν		0.30
Static Young modulus	E	(Layer 1) (Layer 2) (mean value)	6.16 N/mm ² 14.45 N/mm ² 14.45 N/mm ²
Thickness of Layer 1	t_1	(Layer 1)	2.20 m
Bending moment (Qp)	M	(normal quasi permanent)	115'161.41 kNm
Influence factor	I_θ	(rigid circular spread foundation)	5.53
Static rotation	$\tan(\theta)$	$\tan(\theta) = \frac{(1 - \nu^2) M}{E B^2 L} I_\theta$	2.73 mm/m

Tabella 8.12 Valutazione del cedimento massimo differenziale (rotazione) in combinazione SLE rara (Normal)

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

9. VERIFICHE STRUTTURALI

9.1 RISULTATI DELL'ANALISI

A seguire si riportano le tabelle relative alle sollecitazioni di piastra, ottenute dall'analisi strutturale in accordo ai criteri di modellazione su esposti. Nel seguito si assume la convenzione che considera:

- i momenti radiali di piastra indicati con M_{11} o anche come M_2
- i momenti circonferenziali di piastra con M_{22} o anche come M_1

Momenti di piastra (valori max/min)	M11(+) [kNm/m]	M11(-) [kNm/m]	M22(+) [kNm/m]	M22(-) [kNm/m]
Normal SLU 1	14'605.23	-10'830.24	8'107.28	-4'871.02
Normal SLU 2	15'304.96	-9'904.33	7'347.93	-5'671.41

Tabella 9.1 Valori massimi dei momenti di piastra

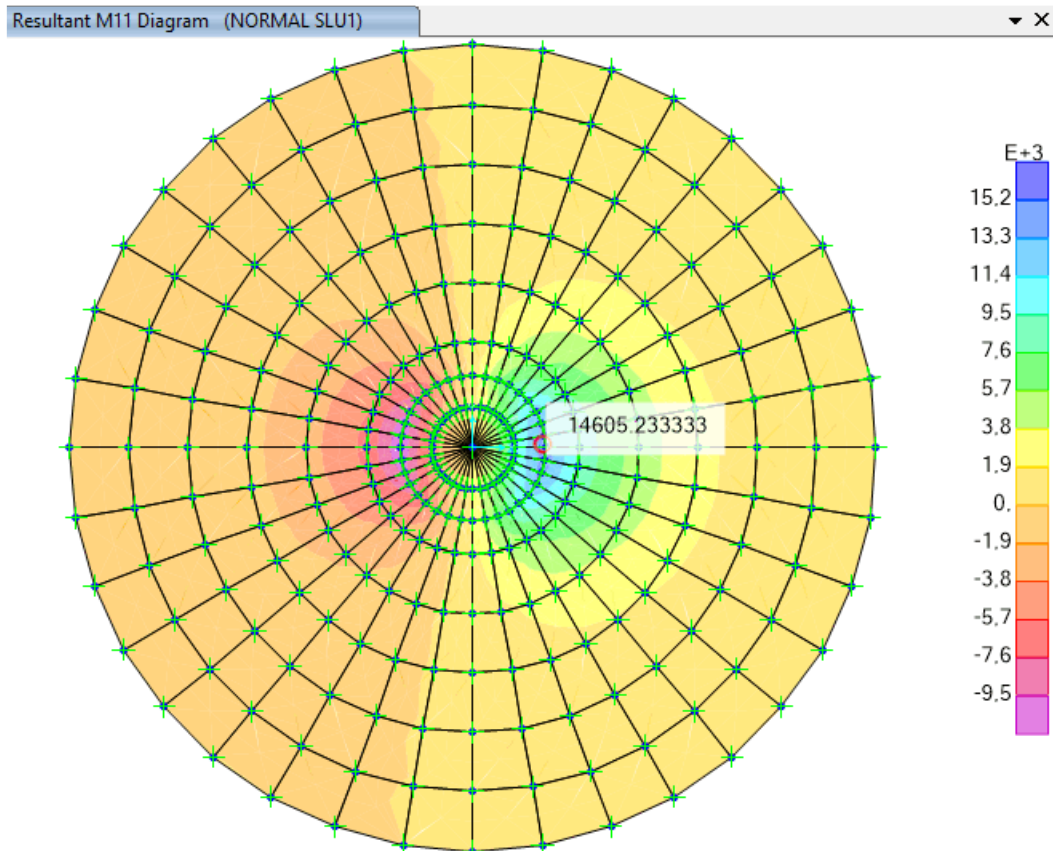


Figura 9.1 Momento Massimo M11 Normal SLU 1 [kNm/m]

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

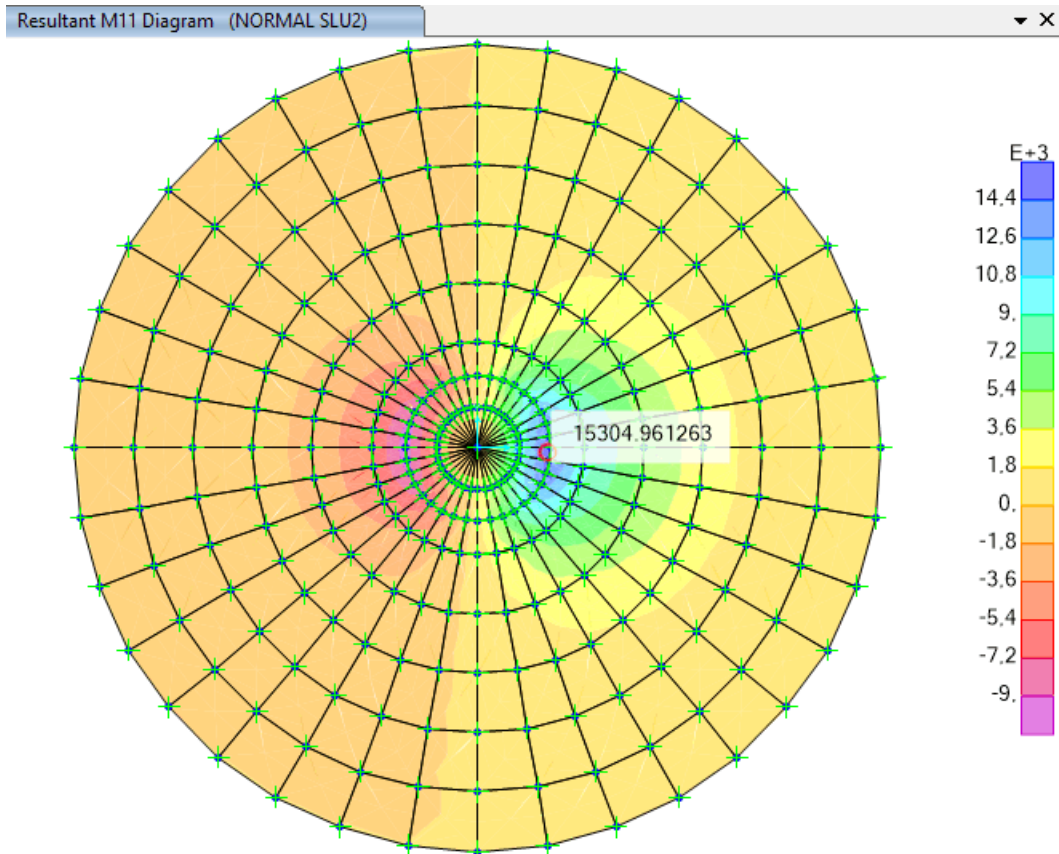


Figura 9.2 Momento Massimo M11 Normal SLU 2 [kNm/m]

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

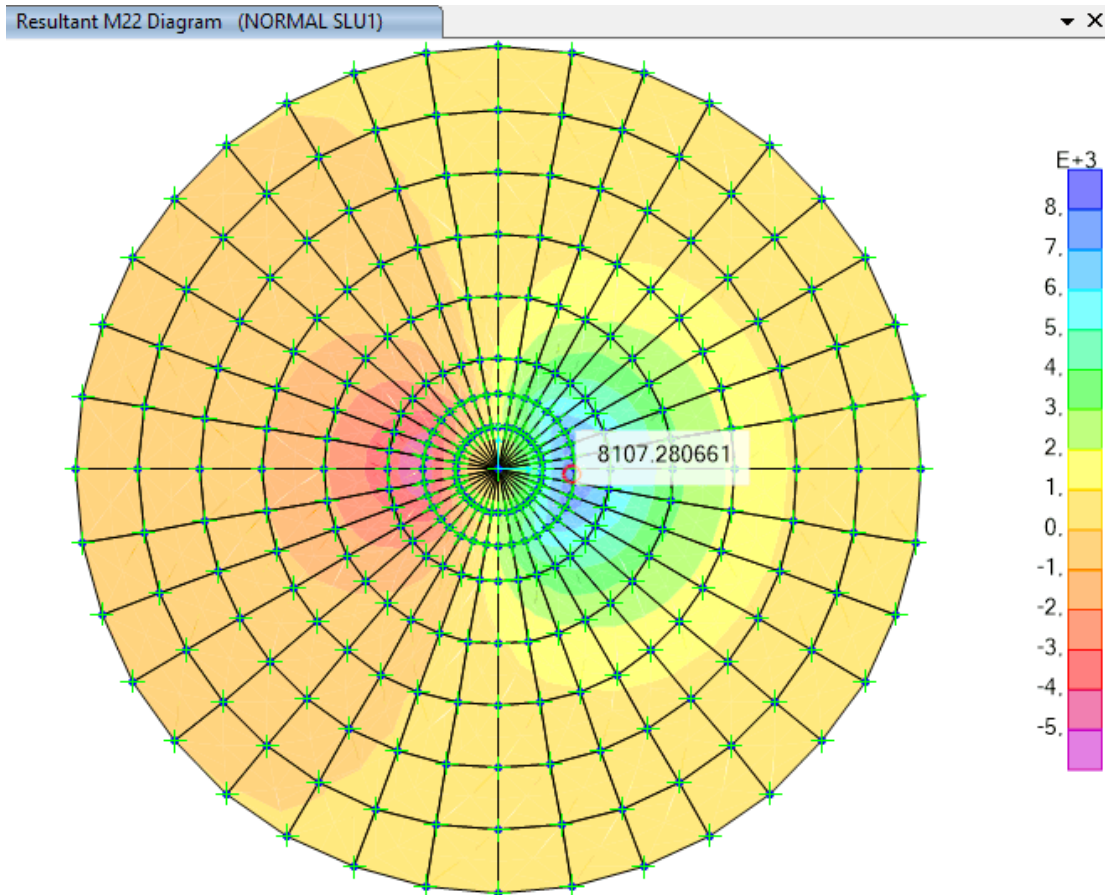


Figura 9.3 Momento Massimo M22 Normal SLU 1 [kNm/m]

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

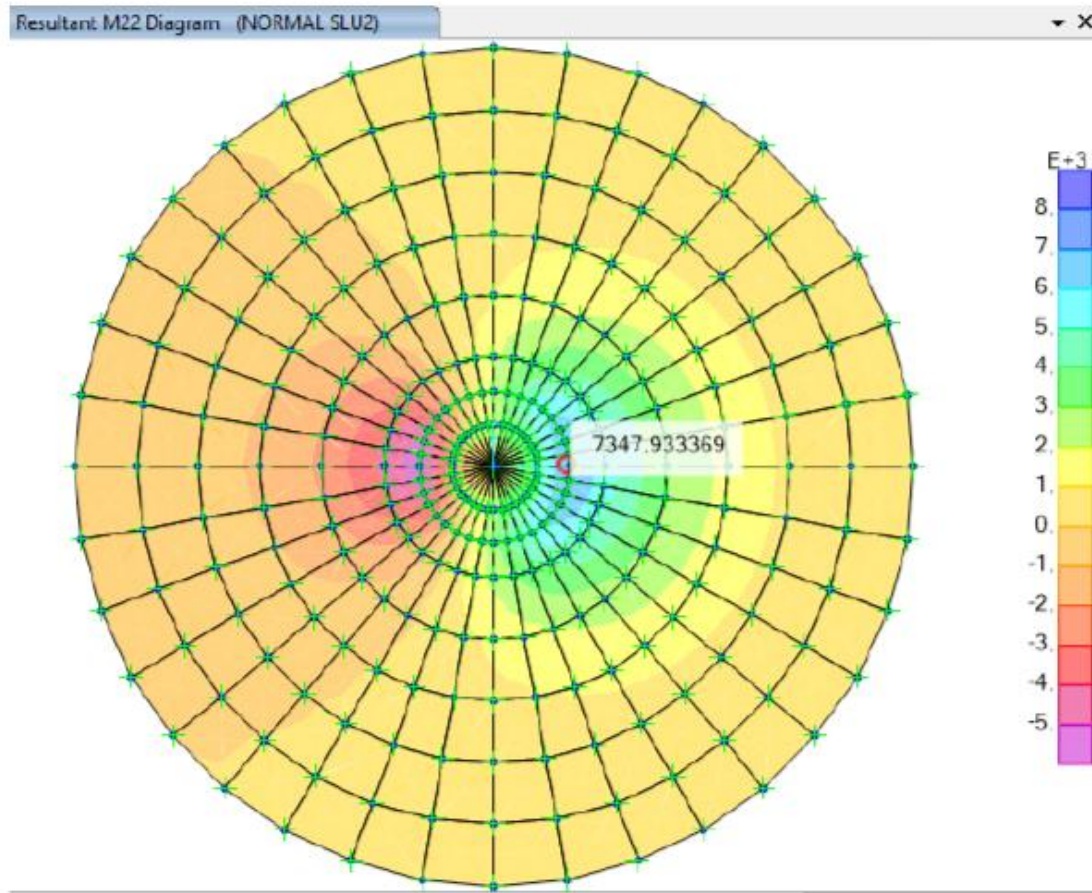


Figura 9.4 Momento Massimo M22 Normal ELU 2 [kNm/m]

SOLLECITAZIONI DI PIASTRA								
	Raggio [m]	2.200	3.250	5.050	6.850	8.650	10.450	12.250
MOMENTI RADIALI NORMAL SLU1	M2(+) [kNm/m]	14'605.2	8'973.9	4'725.9	2'423.9	1'035.8	255.0	-1.4
	M2(-) [kNm/m]	10'830.2	-6'170.9	-3'051.5	-1'486.9	-589.3	-129.7	1.3
MOMENTI RADIALI NORMAL SLU2	M2(+) [kNm/m]	15'305.0	9'626.3	5'202.2	2'714.8	1'177.3	294.3	-0.3
	M2(-) [kNm/m]	-9'904.3	-5'239.2	-2'326.3	-1'041.1	-390.2	-81.5	2.8
TAGLIO RADIALE NORMAL SLU1	V (+) [kN/m]	5'941.1	3'773.7	1'870.7	1'072.7	642.5	311.0	156.0
	V (-) [kN/m]	5'480.5	3'016.0	1'368.9	730.1	407.0	178.7	80.5
TAGLIO RADIALE NORMAL SLU2	V (+) [kN/m]	5'921.7	3'778.5	1'913.5	1'134.5	700.7	347.2	177.0
	V (-) [kN/m]	5'488.7	3'022.5	1'300.3	622.8	312.6	128.6	55.8
	Raggio [m]	2.200	3.250	5.050	6.850	8.650	10.450	12.250
MOMENTI CIRCONF. NORMAL SLU1	M1(+) [kNm/m]	8'107.3	6'047.0	3'279.7	1'797.2	853.7	309.5	71.6
	M1(-) [kNm/m]	-4'871.0	-3'604.0	-1'938.8	-1'034.7	-482.4	-175.4	-43.4
MOMENTI CIRCONF. NORMAL SLU2	M1(+) [kNm/m]	7'347.9	5'473.0	3'077.3	1'687.3	793.3	274.6	55.4
	M1(-) [kNm/m]	-5'671.4	-4'233.6	-2'164.4	-1'168.4	-562.8	-222.9	-64.5

Tabella 9.2 Valori massimi/minimi delle sollecitazioni di piastra in funzione della distanza R dal centro del plinto

9.2 VERIFICHE DI RESISTENZA A FLESSIONE

L'armatura tesa è stata dimensionata secondo la nota formula:

$$A_s = M_{ed} / (0.9 \cdot d \cdot f_{yd})$$

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

essendo

d = altezza utile

M_{ed} = momento di progetto di piastra

L'armatura principale (radiale) è stata dimensionata tenendo conto dei minimi normativi previsti per le travi nel cap. 4 di [1].

$$A_{smin_SLU} = 0,26 \cdot (f_{ctm} / f_{yk}) \cdot b \cdot d$$

Non sono, invece, stati tenuti in considerazione i minimi normativi di cui al cap. 7 della stessa norma, avendo optato per una progettazione in campo elastico (fattore di struttura = 1).

9.2.1 DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE SUPERIORI

Tabella 9.3 Dimensionamento e verifica dei minimi normativi per i ferri radiali superiori

ARMATURA RADIALE SUPERIORE.	r_i [m]	h = altezza [m]	d = altezza utile [m]	M_2 [kNm/m]	$2\pi r_i M_2$ [kNm]	f_{yd} [N/mm ²]
	2.200	3.500	2.930	10'830.24	149'630.53	391.3
	3.250	3.000	2.930	6'170.90	125'948.09	391.3
	5.050	2.600	2.530	3'051.51	96'775.71	391.3
	6.850	2.200	2.130	1'486.89	63'963.20	391.3
	8.650	1.800	1.730	589.30	32'011.79	391.3
	10.450	1.400	1.330	129.65	8'508.60	391.3
	12.250	1.000	0.930	-0.26	-19.69	391.3

A_s da calcolo [mm ²]	A_{cls} [mm ²]	$A_{s',min}$ [mm ²] ($0,26 f_{ctm} / f_{yk} A_{cls}$)	n.Ø 26 calcolo	n.Ø 32 disposta	n.Ø 28 disposta	n.Ø 32 disposta
145'009.15	48'356'00	77'170	274	122	122	
122'058.15	61'230'00	97'286	230	122	122	
108'614.71	82'456'40	130'388	205	122	122	
85'269.43	94'639'60	148'678	161	122	122	61
52'542.00	97'779'60	152'154	99	122	122	61
18'165.58	91'876'40	140'819	35	122	122	61
-60.11	76'930'00	114'670	-1	122	122	61

CHECK	interferro min/max netto orizz. [cm]	$A_{s,calcolo}$ [mm ² /m]	$A_{s,min}$ [mm ² /m] ($0,26 f_{ctm} / f_{yk} A_{cls}$)	$A_{s,disposta}$ [mm ² /m]	$A_{s,min}$ fessuraz [mm ² /m]
OK	8.1 / 8.5	10'495.74	5'585.57	12'532.73	3'919.99
OK	13.5 / 13.9	5'980.31	4'766.57	8'483.69	3'359.99
OK	7.3 / 17.7	3'424.82	4'111.37	5'459.80	2'911.99
OK	11.0	1'982.18	3'456.17	5'164.96	2'463.99
OK	14.8	967.23	2'800.97	4'090.17	2'016.00
OK	18.5	276.80	2'145.77	3'385.65	1'568.00
OK	22.2	-0.78	1'490.58	2'888.16	1'120.00

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

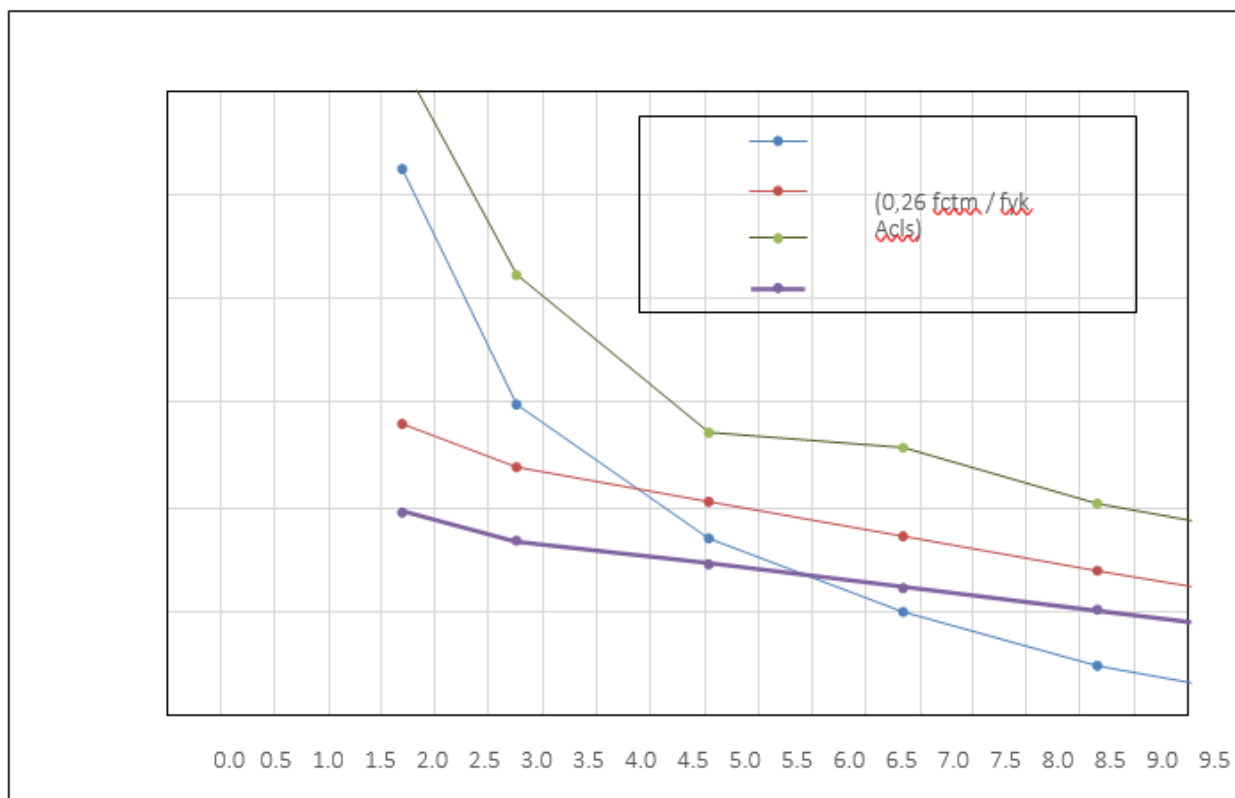


Figura 9.5 Area armatura radiale superiore: da calcolo, minima (da norma), effettivamente disposta e da fessurazione

Si dispongono 61Ø32 radiali sui primi 2 strati (2x61=122 barre), altre 122Ø28 sul terzo strato, per tutta la lunghezza radiale, in sovrapposizione con 61Ø32 efficaci a partire dalla sezione di raggio R=6,85 m.

9.2.2 DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE INFERIORI

Tabella 9.4 Dimensionamento e verifica dei minimi normativi per i ferri radiali inferiori (3 strati)

	r_i [m]	h = altezza [m]	d= altezza utile [m]	M_2 [kNm/m]	$2\pi r_i M_2$ [kNm]	f_{yd} [N/mm ²]
ARMATURA RADIALE INF.	2.200	3.500	3.410	15'304.96	211'453.34	391.30
	3.250	3.000	2.910	9'626.34	196'473.57	391.30
	5.050	2.600	2.510	5'202.17	164'981.76	391.30
	6.850	2.200	2.110	2'714.83	116'786.56	391.30
	8.650	1.800	1.710	1'177.32	63'954.57	391.30
	10.450	1.400	1.310	294.33	19'315.83	391.30
	12.250	1.000	0.910	0.28	21.42	391.30

As da calcolo [mm ²]	A cls [mm ²]	As',min [mm ²] (0,26 fctm/ fyk Acls)	n.Ø 26 calcolo	n.Ø 32 disposta	n.Ø 28 disposta	n.Ø 32 disposta
176'077.1	48'356'0	77'170	332	92	170	
191'714.0	61'230'0	97'286	362	92	170	
186'640.1	82'456'4	130'388	352	92	170	
157'164.	94'639'6	148'678	297	92		176

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

106'198.	97'779'6	152'154	201	92		176
41'868.2	91'876'4	140'819	79	92		176
66.83	76'930'0	114'670	1	92		176

CHECK	interfero min/max netto orizz. [cm]	As,calcolo [mm ² /m]	As,min [mm ² /m] (0,26 fctm / fyk Acls)	As,disposta [mm ² /m]	As,min fessuraz [mm ² /m]
OK	4,9 / 12,2	12'744.44	5'585.57	13'989.09	3'919.99
OK	8,8 / 19,4	9'393.14	4'766.57	9'469.54	3'359.99
OK	15,5 / 31,7	5'885.10	4'111.37	6'094.26	2'911.99
OK	13.0	3'653.45	3'456.17	4'604.96	2'463.99
OK	17.2	1'954.98	2'800.97	3'646.71	2'016.00
OK	21.4	637.98	2'145.77	3'018.56	1'568.00
OK	25.7	0.87	1'490.58	2'575.02	1'120.00

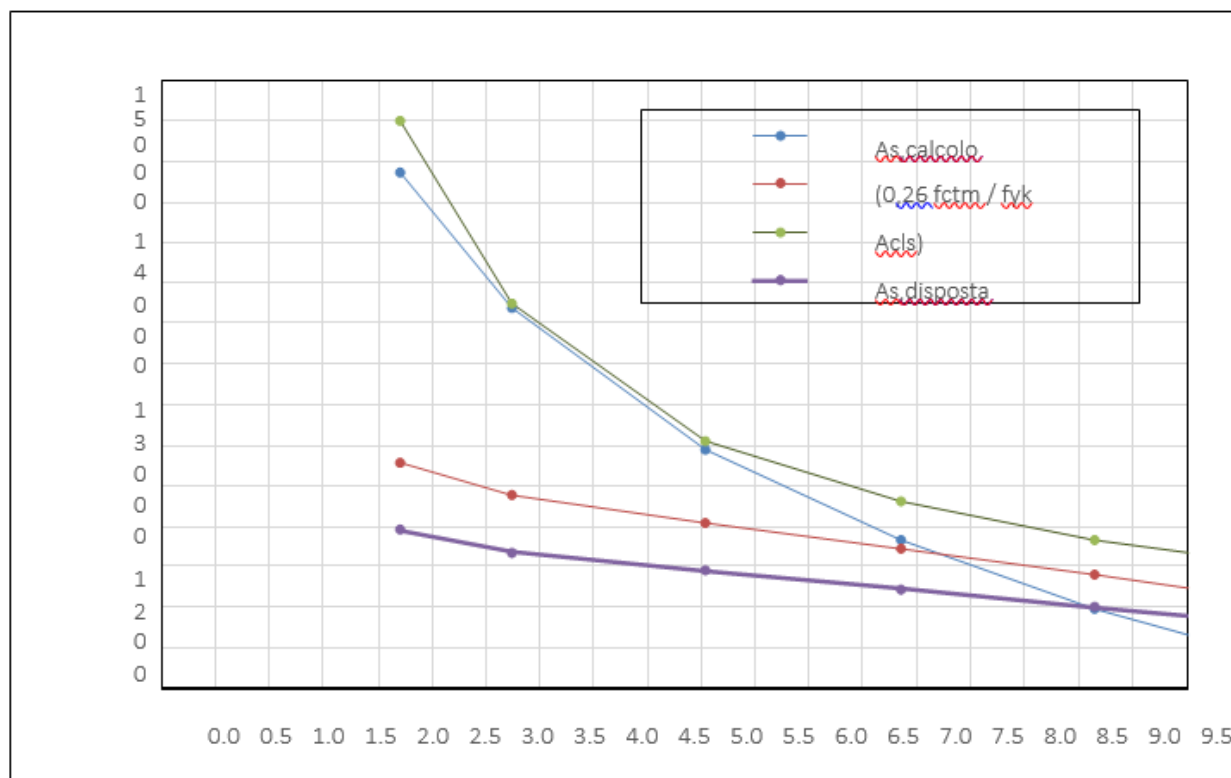


Figura 9.6 Area armatura radiale inferiore: da calcolo, minima (da norma), effettivamente disposta e da fessurazione

9.3.3 DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE CIRCONFERENZIALI SUPERIORI

Tabella 9.5 Dimensionamento e verifica dei minimi normativi per i ferri circolari superiori

ARMATURA CIRCONFERENZIALE	r _i [m]	h _i = altezza sez. [m]	d* = altezza utile [m]
	2.200	3.500	3.410
4.150	2.800	2.710	

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

5.950	2.400	2.310
7.750	2.000	1.910
10.450	1.400	1.310

M1 [kNm/m]	f _{yd} [N/mm ²]	As',calcolo [mm ² /m]	n.Ø 26 / m (strett. necessaria)
5'671.41	391.30	4722.58	9
3'199.01	391.30	3351.88	7
1'666.43	391.30	2048.41	4
865.60	391.30	1286.84	3
283.39	391.30	614.27	2

A cls [mm ²]	As',min[mm ² / m] 20% As,long,inf	As',min fessuraz. [mm ² /m]
3'500'000	2095	3919.99
2'800'000	1165	3135.99
2'400'000	905	2687.99
2'000'000	804	2239.99
1'400'000	649	1568.00

n.Ø 26 / m (min)	n.Ø 26 / sect. disposta	n.Ø 26 / m disposta	As',disposta [mm ² /m]	CHECK
8.90	20	10.00	5309.29	OK
6.32	13	7.22	3834.49	OK
3.86	8	4.44	2359.69	OK
2.43	7	3.89	2064.72	OK
1.23	14	3.89	2064.72	OK

9.3.4 DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE CIRCONFERENZIALI INFERIORI

Tabella 9.6 Dimensionamento e verifica dei minimi normativi per i ferri circolari inferiori

ARMATURA CIRCONFERENZ. INF	r _i [m]	h _i = altezz a	d* = altezz a	M1 [kNm/m]	f _{yd} [N/mm ²]	As,calco lo [mm ² /m]	n.Ø 28 / m (strett. necessaria)
	2.200	3.500	3.410	8'107.28	391.30	6750.9	11
	4.150	2.800	2.710	4'663.36	391.30	4886.2	8
	5.950	2.400	2.310	2'538.43	391.30	3120.3	6
	7.750	2.000	1.910	1'325.45	391.30	1970.4	4
	10.450	1.400	1.310	411.62	391.30	892.21	2

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

A cls [mm ²]	As,min [mm ² /m] 20% As,long,inf	As,min fessuraz. [mm ² /m]	n.Ø 28 / m (min)	n.Ø 28 / sect. disposta	n.Ø 28 / m disposta	As,disposta [mm ² /m]	CHECK
3'500'000	2798	3919.99	10.97	22	11.00	6773.27	OK
2'800'000	1556	3135.99	7.94	15	8.33	5131.27	OK
2'400'000	1070	2687.99	5.07	9	5.38	3315.59	OK
2'000'000	825	2239.99	3.21	6	4.62	2841.93	OK
1'400'000	667	1568.00	1.45	11	3.85	2368.28	OK

9.3 VERIFICA A TAGLIO

A seguire si riportano le verifiche a taglio di piastra, agente sulle sezioni aventi normale parallela alla direzione radiale. Si dispone un'armatura trasversale costituita da staffe a 2 braccia Ø 20.

Ai fini della verifica si procede secondo due step:

1. verifica dell'effettiva necessità di armatura trasversale
2. valutazione, se richiesta, dell'area di armatura trasversale per unità di superficie (armatura trasversale di piastra).

Resistenza a taglio senza armatura trasversale							
Raggio [m]	VEd [kN/m]	d altezza utile [m]	As,rad [cm ² /m]	K < 2	ρl < 2%	VRd,c [kN/m]	VRd,c > VEd Armatura a taglio
3.25	3'778	2.91	94.70	1.262	0.325 %	932	Richiesta
5.05	1'914	2.51	60.94	1.282	0.243 %	741	Richiesta
6.85	1'134	2.11	46.05	1.308	0.218 %	613	Richiesta
8.65	701	1.71	36.47	1.342	0.213 %	506	Richiesta
10.45	347	1.31	30.19	1.391	0.230 %	412	Non richiesta
12.25	177	0.91	25.75	1.469	0.283 %	324	Non richiesta

Tabella 9.7 Verifica a taglio in assenza di armatura trasversale

Resistenza con armatura trasversale				
(Asw/s)min [cm ² /m ²]	Passo circonfer.	Passo radiale	Asw/s [cm ² /m ²]	Check
14.75	0.68 m	0.60 m	15.38	OK
8.66	1.06 m	0.65 m	9.14	OK
6.11	1.43 m	0.65 m	6.74	OK
4.65	1.81 m	0.65 m	5.34	OK
3.01				
2.21				

Tabella 9.8 Dimensionamento dell'armatura trasversale (a taglio) di piastra

9.4 VERIFICHE TENSIONALI / DI FESSURAZIONE

Le verifiche a fessurazione sono state condotte nella combinazione RARA, assieme alle verifiche dei limiti tensionali di esercizio.

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

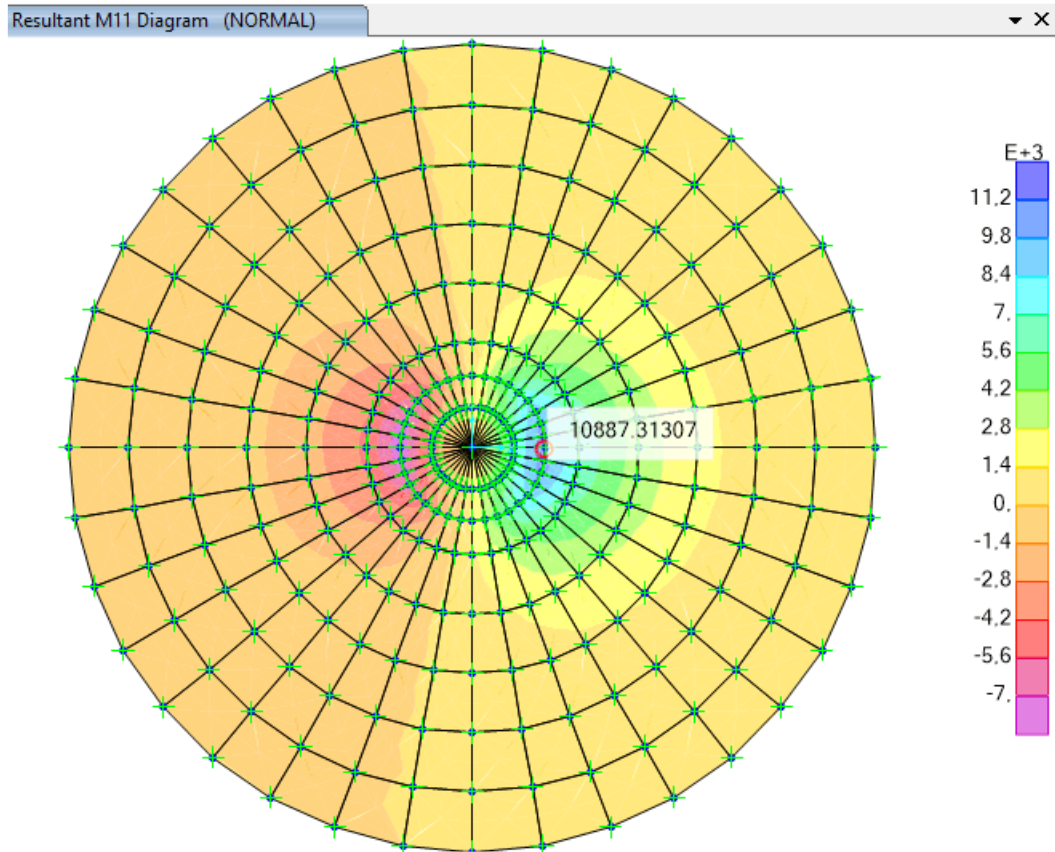


Figura 9.7 Momento radiale in combinazione SLE Rara [kNm/m]

9.4.1 VERIFICHE SUL LEMBO INFERIORE

Raggio [m]	base b [mm]	h = altezza [mm]	c' [mm]	c [mm]	As [mm ²]	d = altezza utile [m]	As' [mm ²]	n
2.200	1'000	3'500	9090	9090	13'989	3'410	10'473	15
3.250	1'000	3'000	9090	9090	9'470	2'910	7'089	15
5.050	1'000	2'600	9090	9090	6'094	2'510	4'562	15
6.850	1'000	2'200	9090	9090	4'605	2'110	4'485	15
8.650	1'000	1'800	9090	9090	3'647	1'710	3'551	15
10.450	1'000	1'400	9090	9090	3'019	1'310	2'940	15
12.250	1'000	1'000	9090	9090	2'575	910	2'508	15

n'	yc [mm]	Sc [mm ³]	Sct [mm ³]	Ss' [mm ³]	Ss [mm ³]	Stot [mm ³]	Ic [mm ⁴]
1.00	1'773	1.57E+09	-1.49E+09	2.64E+08	-3.44E+08	0.000	1.86E+12
1.00	1'515	1.15E+09	-1.10E+09	1.52E+08	-1.98E+08	0.000	1.16E+12
1.00	1'310	8.58E+08	-8.32E+08	8.35E+07	-1.10E+08	0.000	7.49E+11
1.00	1'101	6.06E+08	-6.04E+08	6.80E+07	-6.97E+07	0.000	4.45E+11
1.00	901	4.06E+08	-4.04E+08	4.32E+07	-4.43E+07	0.000	2.43E+11
1.00	700	2.45E+08	-2.45E+08	2.69E+07	-2.76E+07	0.000	1.15E+11
1.00	500	1.25E+08	-1.25E+08	1.54E+07	-1.58E+07	0.000	4.18E+10

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

Ict [mm ⁴]	Is' [mm ⁴]	Is [mm ⁴]	Itot [mm ⁴]	Wi [cm ³]	Mo [kNm]	n	yc [mm]
1.72E+12	4.45E+11	5.63E+11	4.58E+12	2'652'629	6'267	15	896
1.09E+12	2.16E+11	2.76E+11	2.74E+12	1'847'776	4'365	15	704
7.15E+11	1.02E+11	1.32E+11	1.70E+12	1'316'682	3'111	15	545
4.43E+11	6.87E+10	7.04E+10	1.03E+12	933'768	2'206	15	431
2.43E+11	3.50E+10	3.58E+10	5.57E+11	619'128	1'463	15	348
1.14E+11	1.64E+10	1.68E+10	2.62E+11	374'434	885	15	277
4.16E+10	6.34E+09	6.48E+09	9.61E+10	192'447	455	15	-364

La sezione risulta fessurata. Si provvede alla valutazione delle tensioni e dell'ampiezza delle fessure.

Tabella 9.9 Verifica tensioni in combinazione SLE rara

Sc [mm ³]	Ss' [mm ³]	Ss [mm ³]	Stot [mm ³]
4.01E+08	1.27E+08	-5.28E+08	0.000
2.48E+08	6.53E+07	-3.13E+08	0.000
1.48E+08	3.11E+07	-1.80E+08	0.000
9.30E+07	2.30E+07	-1.16E+08	0.000
6.07E+07	1.38E+07	-7.45E+07	0.000
3.85E+07	8.27E+06	-4.68E+07	0.000
6.63E+07	-1.71E+07	-4.92E+07	0.000

Ic [mm ⁴]	Is' [mm ⁴]	Is [mm ⁴]	Itot [mm ⁴]	Wi [cm ³]	σsr [N/mm ²]	MED [kNm]	σs [N/mm ²]	σs / fyk (≤ 0,80)
2.39E+11	1.02E+11	1.33E+12	1.67E+12	640'469	172.74	10'887	250.09	0,69 - OK
1.16E+11	4.01E+10	6.91E+11	8.48E+11	369'222	208.18	6'708	266.58	0,74 - OK
5.40E+10	1.42E+10	3.53E+11	4.21E+11	204'910	266.60	3'544	253.11	0,7 - OK
2.67E+10	7.83E+09	1.95E+11	2.29E+11	129'604	297.72	1'822	204.91	0,57 - OK
1.41E+10	3.56E+09	1.01E+11	1.19E+11	82'027	309.92	780	137.73	0,38 - OK
7.12E+09	1.55E+09	4.83E+10	5.69E+10	50'726	299.92	192	54.33	0,15 - OK
-1.61E+10	7.76E+09	6.27E+10	5.44E+10	39'856	197.81	0	0.08	0,0 - OK

σc [N/mm ²]	σc / fck (≤ 0,60)	MED [kNm]	σs [N/mm ²]	Mo > MED	∅ [mm]	horiz.spacing s [mm]	heff [mm]	esm
5.85	0.45 - OK	2'919	67.06	Verifica OK	32	150	225	
5.57	0.43 - OK	1'940	77.09	Verifica OK	32	222	225	
4.59	0.35 - OK	1'064	76.01	Verifica OK	32	345	225	
3.43	0.26 - OK	551	62.00	Verifica OK	28	161	225	
2.28	0.17 - OK	236	41.62	Verifica OK	28	203	225	
0.94	0.07 - OK	58	16.37	Verifica OK	28	245	225	
0.00	0 - OK	0	0.10	Verifica OK	28	287	225	

Tabella 9.10 Verifiche di fessurazione in combinazione quasi permanente

9.4.2 VERIFICHE SUL LEMBO SUPERIORE

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO " VIGNALE" COMPOSTO DA 10 AEROGENERATORI DA 7,2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 72,0 MW SITO NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) ED OPERE CONNESSE INDISPENSABILI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E SANTA NINFA (TP)

Tabella 9.11 Verifica tensioni in combinazione SLE rara

Raggio [m]	base b [mm]	h = altezza [mm]	c' [mm]	c [mm]	As [mm ²]	d = altezza utile [m]	As' [mm ²]	n
2.200	1'000	3'500	9070	9070	12'533	2'930	13'989	15
3.250	1'000	3'000	9070	9070	8'484	2'930	9'470	15
5.050	1'000	2'600	9070	9070	5'460	2'530	6'094	15
6.850	1'000	2'200	9070	9070	5'165	2'130	4'605	15
8.650	1'000	1'800	9070	9070	4'090	1'730	3'647	15
10.450	1'000	1'400	9070	9070	3'386	1'330	3'019	15
12.250	1'000	1'000	9070	9070	2'888	930	2'575	15

n'	yc [mm]	Sc [mm ³]	Sct [mm ³]	Ss' [mm ³]	Ss [mm ³]	Stot [mm ³]	lc [mm ⁴]
1.00	1'718	1.47E+09	-1.59E+09	3.42E+08	-2.28E+08	0.000	1.69E+12
1.00	1'494	1.12E+09	-1.13E+09	1.99E+08	-1.83E+08	0.000	1.11E+12
1.00	1'296	8.40E+08	-8.50E+08	1.10E+08	-1.01E+08	0.000	7.26E+11
1.00	1'104	6.10E+08	-6.00E+08	7.01E+07	-7.95E+07	0.000	4.49E+11
1.00	903	4.08E+08	-4.02E+08	4.45E+07	-5.07E+07	0.000	2.46E+11
1.00	703	2.47E+08	-2.43E+08	2.78E+07	-3.18E+07	0.000	1.16E+11
1.00	503	1.26E+08	-1.24E+08	1.59E+07	-1.85E+07	0.000	4.23E+10

lct [mm ⁴]	ls' [mm ⁴]	ls [mm ⁴]	ltot [mm ⁴]	Wi [cm ³]	Mo [kNm]	n	yc [mm]
1.89E+12	5.56E+11	2.76E+11	4.41E+12	2'473'441	5'843	15	741
1.14E+12	2.80E+11	2.62E+11	2.79E+12	1'854'755	4'382	15	649
7.38E+11	1.33E+11	1.25E+11	1.72E+12	1'321'282	3'122	15	506
4.39E+11	7.11E+10	8.15E+10	1.04E+12	949'095	2'242	15	457
2.40E+11	3.62E+10	4.19E+10	5.64E+11	629'227	1'487	15	369
1.13E+11	1.70E+10	2.00E+10	2.66E+11	381'104	900	15	294
4.10E+10	6.57E+09	7.91E+09	9.78E+10	196'674	465	15	-389

VERIFICHE TENSIONI SLE RARA								
Sc [mm ³]	Ss' [mm ³]	Ss [mm ³]	Stot [mm ³]	MED [kNm]	σs [N/mm ²]	σs / fyk (≤ 0,80)	σc [N/mm ²]	σc / fck (≤ 0,60)
2.75E+08	1.37E+08	-4.11E+08	0.000	7'951	287.05	0.8 - OK	5.24	0.4 - OK
2.11E+08	7.94E+07	-2.90E+08	0.000	4'506	194.98	0.54 - OK	3.67	0.28 - OK
1.28E+08	3.80E+07	-1.66E+08	0.000	2'212	171.98	0.48 - OK	2.84	0.22 - OK
1.04E+08	2.53E+07	-1.30E+08	0.000	1'070	105.40	0.29 - OK	1.90	0.14 - OK
6.82E+07	1.53E+07	-8.35E+07	0.000	421	64.69	0.18 - OK	1.15	0.09 - OK
4.33E+07	9.26E+06	-5.26E+07	0.000	92	22.44	0.06 - OK	0.42	0.03 - OK
7.56E+07	-1.85E+07	-5.71E+07	0.000	0	0.07	0.0 - OK	0.00	0.0 - OK