

SOGGETTO PROPONENTE:



**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO
COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI
CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE
UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO,
PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI (MC)
DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW**

PROGETTO DEFINITIVO

Serie RELAZIONI DI CALCOLO

**RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE
DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE**

RC_002



PROGETTAZIONE:

INGENIUM ENGINEERING SRL

Via Maitani, 3 - 05018 Orvieto (TR)
tel. 0763.530340 fax 0763.530344
e mail: info@ingenium-engineering.com
pec: info@pec.ingenium-engineering.com
www.ingenium-engineering.com

Azienda con sistema di gestione qualità ISO 9001:2015
certificato da Bureau Veritas Italia SpA
cert. n° IT306096

Ing. Roberto Lorenzotti
Arch. Giovanna Corso
Ing. Elena Crespi

CONSULENZE SPECIALISTICHE:

Aspetti Ambientali:

Agrifolia Studio Associato
di Daniele Dallari, Gianfilippo Lucatello, Piero Morandini

Aspetti impiantistici:

Sinergye Ring srl
Ing. Giuseppe Nobile

Acustica ambientale:

Ing. Emilio Dema

Geologia:

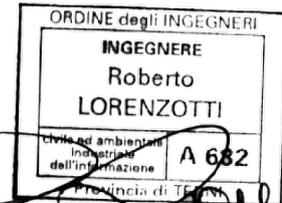
Geosystem Studio Associato di Geologia e Progettazione
Dott. Geologo Davide Lo Conte

Archeologia:

Dott. Giulio Matteo D'Amelio
Dott. Nicola Gasperi

Rilievo planaltimetrico: Geom. Giovanni Piscini

firma / timbro progettista



firma / timbro proponente

03						COD. DOCUMENTO
02						IE_360_PD_RC_002_01
01	10/2023	modifica aerogeneratore	R.L.	G.C.	R.L.	FOGLIO 1 DI 1
00	07/2023	prima emissione	R.L.	G.C.	R.L.	
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	APPROVATO	AUTORIZZATO	

E' vietata ai sensi di legge la divulgazione e la riproduzione del presente documento senza la preventiva autorizzazione

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO	2
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
4. AZIONE SISMICA	5
5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE – SINTESI DEI RISULTATI SISMICI	5
6. PARAMETRI SPETTRALI	6
7. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	8
8. SCELTA DEL SISTEMA FONDALE	9
9. MATERIALI IMPIEGATI	9
a. ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO	11
10. AZIONI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CARICO	11
11. VERIFICA DI STABILITA' AL RIBALTAMENTO	13
12. VERIFICHE DI RESISTENZA	14
13. VERIFICHE SLE	19



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto i predimensionamenti e le verifiche strutturali dei sistemi fondali in c.a. degli aerogeneratori la cui installazione è prevista per la realizzazione del parco eolico della potenza massima di immissione in rete di 49,4 MW, costituito da 12 aerogeneratori ubicati nei territori comunali di Monte Cavallo, Pieve Torina e Serravalle del Chianti in provincia di Macerata il cui proponente è la società **WIND ENERGY MONTE CAVALLO Srl**, con sede in Pescara, Via Caravaggio 125.

Il modello di aerogeneratore previsto è di fornitura ENERCON ed è identificato con la sigla E-115 EP3 E4-ST-92-FB-C-01.

La presente progettazione preliminare/definitiva prende in considerazione i risultati degli studi geologici effettuati in corrispondenza delle posizioni degli aerogeneratori previsti in progetto.

2. LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

Il sito individuato per l'installazione dell'impianto ricade nella provincia di Macerata, in agro dei comuni di **Monte Cavallo, Pieve Torina e Serravalle del Chianti**.

Trattasi nel dettaglio di una **Zona agricola montana** con altitudine compresa tra i 1200 m slm e i 1400 m slm posta a ridosso del confine con l'Umbria a circa 6 km dalla piana di Colfiorito (PG).

Il sito dell'impianto eolico, costituito in totale da n. 12 aerogeneratori, può essere suddiviso in tre settori:

- Un settore **NORD** dove saranno collocati i tre aerogeneratori denominati **T1, T2 e T3** situato in loc. **Monte Colastrello** ad una quota media di circa 1200 m;
- Un settore **CENTRALE** ubicato in loc. **Monte Miglioni** ad una quota che si aggira intorno ai 1200 metri dove sono ubicate le macchine **T4, T5 e T6**;
- Un settore **SUD** a sua volta distinto in due zone: la prima, posta in località **Monte Tolagna** ad una altitudine di 1400 metri, vede il posizionamento dei due aerogeneratori **T7 e T8** mentre la seconda in Loc. **Tre Termini** quello del gruppo **T9, T10, T11 e T12** ad una quota media di circa 1350 metri slm.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

Nella tabella di seguito si riportano i nominativi e le posizioni delle macchine, espresse in sistema di riferimento Gauss Boaga:

Settore di progetto	WTG	GAUSS BOAGA		
		X	Y	Z
Nord		Monte Colastrello		
	T1	2354199.53	4764137.18	1200
	T2	2354582.85	4764333.73	1214
	T3	2354445.81	4764760.67	1198
Centro		Monte Miglioni		
	T4	2353317.84	4763932.78	1179
	T5	2353076.34	4763527.84	1172
	T6	2353186.53	4763162.78	1219
Sud		Monte Tolagna		
	T7	2352692.44	4762123.64	1396
	T8	2352946.94	4761886.84	1397
		I Tre Termini		
	T9	2352384.76	4761500.48	1355
	T10	2352647.03	4761210.47	1348
T11	2352475.70	4760882.49	1362	
T12	2352678.33	4760568.79	1343	

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

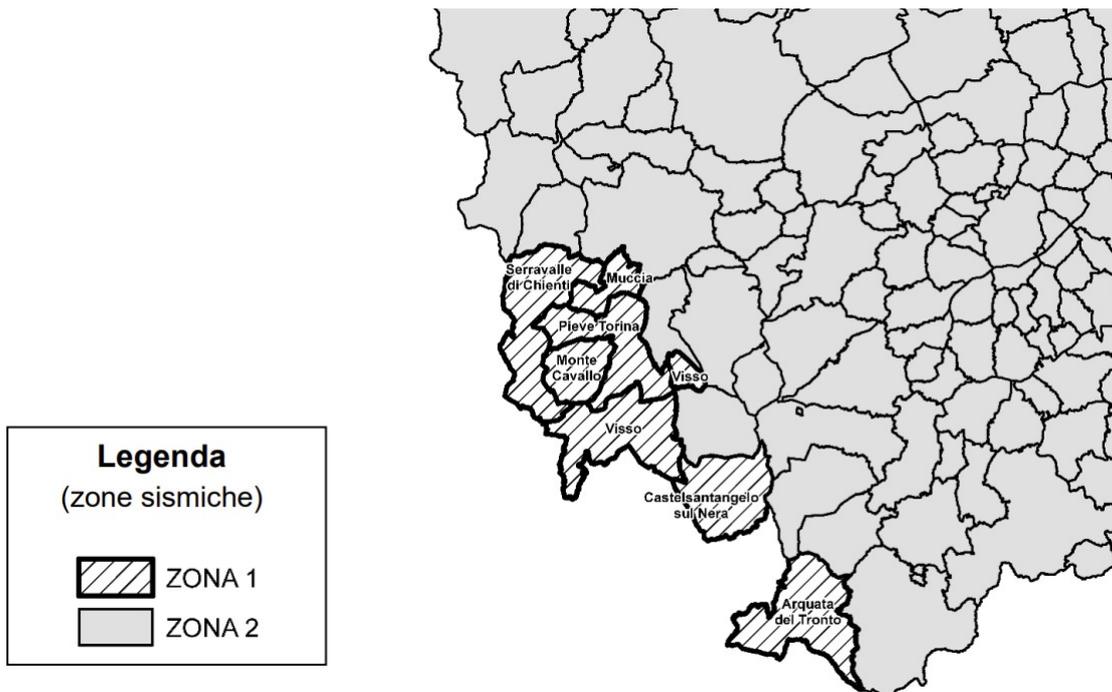
- A.G.I. – Associazione Geotecnica Italiana – Raccomandazioni sui pali di fondazione – Dicembre 1984.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20/05/2003 n°3274 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Ministero delle Infrastrutture – Ministero dell'interno – Dipartimento della Protezione Civile – “D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni”.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

4. AZIONE SISMICA

Nella fattispecie, l'intervento può essere classificato in classe d'uso II, ai sensi del § 2.4.2 del DM 17.01.2018, mentre il territorio dei comuni interessati è classificato zona sismica 1 dalla DGR 1142/2022 (BUR 30/09/2022 n.83) Regione Marche.



5. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE – SINTESI DEI RISULTATI SISMICI

Sono state eseguite prove geofisiche attive in configurazione array, viste le grandi dimensioni dell'area sono state distribuite in modo da coprire il più possibile tutta l'area.

Tutte le prove sono caratterizzate da un moto fondamentale ben visibile ed in alcuni casi dei moti superiore visibili alle alte frequenze. Tutte le curve di dispersione sono ben interpretabili, le inversioni effettuate portano a risultati congruenti con il locale assetto stratigrafico dell'area.

Le prove geofisiche mettono in evidenza un terreno dalle proprietà fisico meccaniche che tendono a migliorare gradualmente con la profondità.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

Le MASW eseguite hanno messo in evidenza i seguenti valori di Vs30:

MASW 1: 361 m/s Suolo tipo B

MASW 2: 411 m/s Suolo tipo B

MASW 3: 423 m/s Suolo tipo B

MASW 4: 563 m/s Suolo tipo B

MASW 5: 490 m/s Suolo tipo B

MASW 6: 450 m/s Suolo tipo B

MASW 7: 458 m/s Suolo tipo B

MASW 8: 451 m/s Suolo tipo B

MASW 9: 548 m/s Suolo tipo B

MASW 10: 481 m/s Suolo tipo B

MASW 11: 508 m/s Suolo tipo B

MASW 12: 485m/s Suolo tipo B

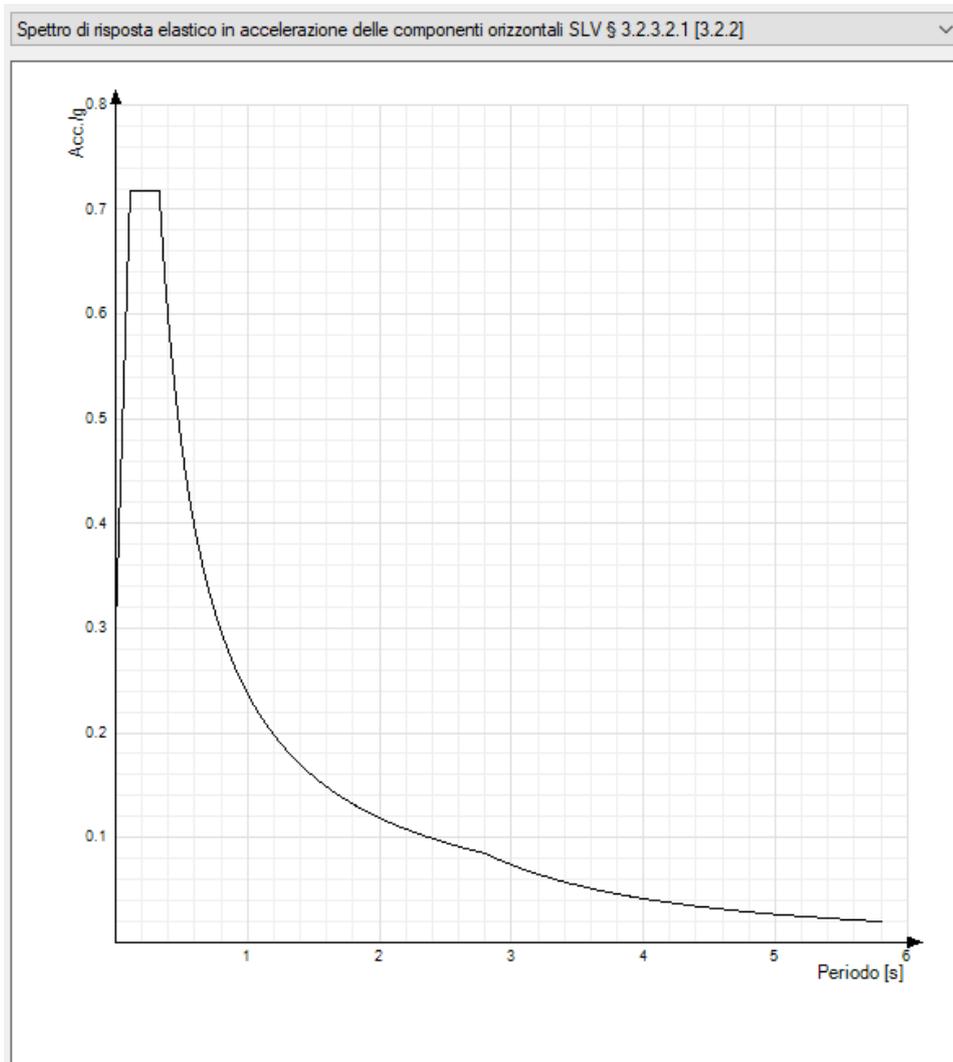
6. PARAMETRI SPETTRALI

Tipo di costruzione	3 - Costruzioni con livelli di prestazioni elevati				
Vn	Default (100)				
Classe d'uso	II				
Località:	Macerata, Monte Cavallo, Cascine Latitudine ED50 43,0076° (43° 0' 27") Longitudine ED50 12,9527° (12° 57' 10") Altitudine s.l.m. 1168,57 m				
Vr	Default (100)				
Stato limite	Pvr(%)	Tr(anni)	Ag/g	Fo	Tc*(s)
SLO	Default (81)	60	Default (0,1042)	Default (2,373)	Default (0,285)
SLD	Default (63)	101	Default (0,131)	Default (2,363)	Default (0,29)
SLV	Default (10)	949	Default (0,2999)	Default (2,392)	Default (0,331)
SLC	Default (5)	1950	Default (0,3716)	Default (2,412)	Default (0,343)
Adeguamento edificio esistente					
Percentuale di adeguamento (%)					100
Parametro percentuale di adeguamento					Tr
Calcola I.R. per elementi nuovi <input type="checkbox"/>					
Esegui verifiche in combinazioni SLD per elementi esistenti <input checked="" type="checkbox"/>					

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

Gli spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali sono:



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

7. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Per l'analisi della costituzione del sottosuolo, come previsto dal D.M. 17/01/2018, si fa riferimento a quanto appurato in fase di rilievo geologico generale e dai risultati delle indagini eseguite, oltre che con dati derivanti da pregressi studi effettuati su terreni simili in aree limitrofe.

I complessi riscontrati sono omogenei e simili, tuttavia gli spessori cambiano relativamente a seconda della zona.

Per il calcolo dei parametri geotecnici di progetto si dovrà eventualmente tenere conto, in funzione dell'Approccio utilizzato, del coefficiente parziale γ_M secondo quanto riportato nella tab. 6.2 II.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	C'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Esistenza non drenata	C'_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1.0	1.0

Da cui

APPROCCIO1 Combinazione 1 (A1+M1+R1) e APPROCCIO 2 Combinazione (A1+M1+R3)

Per tutte le torri in prima approssimazione di assumono i seguenti parametri.

C.2 Calcri a diverso grado di fratturazione da -0.0 m.

parametri	Valori caratteristici	Valori di progetto
peso di volume γ	= 26.00 kN/mc	= 26.00 kN/mc
angolo di attrito ϕ'	= 40°	= 40°
Coesione c'	= 150 kN/mq	= 150 kN/mq

APPROCCIO1 Combinazione 2(A1+M2+R2)

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

C.2 Calcoli a diverso grado di fratturazione da -0.0 m.

parametri	Valori caratteristici	Valori di progetto
peso di volume γ	= 26.00 kN/mc	= 26.00 kN/mc
angolo di attrito ϕ'	= 40°	= 33.87°
Coesione c'	= 150 kN/mq	= 120 kN/mq

Categoria sismica di sottosuolo B – Topografica T3

8. SCELTA DEL SISTEMA FONDALE

In generale per l'intero sito del parco eolico si adotta di una fondazione diretta in ragione delle caratteristiche geomeccaniche del complesso superficiale intercettato e quello profondo.

Tali terreni presentano buona resistenza e caratteristiche di deformabilità compatibili con la funzionalità della struttura.

Studi più approfonditi in fase esecutivi non escludono la necessità di dover adottare fondazioni indirette su pali poiché i complessi geotecnici non potrebbero assicurare localmente le adeguate caratteristiche di portanza.

Inoltre data la variabilità delle condizioni geologiche per le varie localizzazioni delle torri all'interno del parco è prevedibile che in alcune di esse si dovrà comunque far ricorso a tale tipo di fondazione che è stata pertanto studiata.

9. MATERIALI IMPIEGATI

Il calcestruzzo può essere confezionato in centrale di betonaggio o impastato in cantiere con inerti di caratteristiche meccaniche appropriate, granulometria e rapporto acqua-cemento controllati.

Gli impasti devono essere preparati e trasportati in modo da escludere pericoli di segregazione dei componenti e di prematuro inizio della presa al momento del getto.

I componenti dovranno soddisfare i seguenti requisiti normativi:

- Leganti
 - L. 26/05/1965 n. 595
 - Norme serie EN 197 armonizzata
- Aggregati
 - UNI EN 12620 armonizzata
 - UNI EN 13055-1 armonizzata

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

	-	UNI 8520-1: 2005
	-	UNI 8520-2: 2005
Aggiunte	-	EN 450-1
	-	UNI EN 206-1 :2006
	-	UNI 11104:2004
Additivi	-	EN 934-2 armonizzata
Acqua di impasto	-	UNI EN 1008: 2003

Le miscele di calcestruzzo da utilizzare nel confezionamento degli elementi saranno progettate in funzione della resistenza caratteristica richiesta, della carpenteria, delle armature e del tipo di getto.

CALCESTRUZZO STRUTTURE DI FONDAZIONE ED IN ELEVAZIONE

(Si considerano le condizioni di dosaggio più restrittive)

Classe di resistenza	C30/37 ($R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$)
Classe di esposizione (UNI EN 206-1)	XA1
Rapporto acqua – cemento (a/c)	0.55
Contenuto minimo di cemento	300 kg/m ³
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.94 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.06 \text{ N/mm}^2$
Fattore parz. di sicurezza resistenza	$\gamma_c = 1.5$
Coeff. riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc} = 0.85$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 17.4 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1.37 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità	$E_{cm} = 22000 \cdot \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3} = 33019 \text{ N/mm}^2$

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

a. ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO

Si prevede l'impiego di acciaio del tipo B450C saldabile controllato in stabilimento.

L'accertamento delle proprietà meccaniche dovrà essere conforme alle seguenti normative sull'acciaio: EN 10002/1^a (marzo 1990)-UNI 564 (febbraio 1960)-UNI 6407 (marzo 1969)

Acciaio	B450C
Tensione di rottura nominale	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
Tensione di snervamento nominale	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
Allungamento a rottura caratteristico	$(A_{gt})_k \geq 7.5 \%$
Coefficiente parziale di sicurezza:	$\gamma_s = 1.15$
Tensione di snervamento di calcolo:	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 391 \text{ N/mm}^2$

Le caratteristiche degli acciai impiegati saranno comprovate mediante prove su campioni da prelevare in cantiere in fase di esecuzione dell'opera con le modalità prescritte nel D.M. 19.01.18.

10. AZIONI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni di progetto adottate per l'esecuzione delle verifiche strutturali sono quelle relative alla macchina denominata E-115 EP3 E4-ST-92-FB-C-01 e desunte dalla specifica del fornitore ENERCON nel documento WTC WK IA (IEC 61400-1, 3rd Edition, 2005-08) del quale si riporta di seguito un estratto:

7 Lasten an Fundamentunterkante Loads at foundation bottom edge

Die hier angegebenen F_z -Lasten enthalten ein Fundamentwichte $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ sowie eine Bodenwichte $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ für die Aufschüttung.

The F_z loads specified here include a dead unit weight of foundation $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ and a soil unit weight $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ for the backfill.

7.1 Charakteristische Lastfälle / Characteristic load cases

Lastfall Load case	$(\gamma_{G,min}/\gamma_{G,max})$	F_{XY} in kN	$F_{z,min}$ in kN ohne Auftrieb without buoyancy	$F_{z,max}$ in kN mit Auftrieb with buoyancy	M_{XY} in kNm	M_z in kNm
NTM DLC D.3	(1.00/1.00)	640	-22487	-21618	43378	2550
N / T / DLC 8.2	(1.00/1.00)	1490	-22487	-21618	96623	-9050
N / A / T	(1.00/1.00)	1720	-22537	-21618	119244	-9050

alle Lasten ohne Teilsicherheitsbeiwerte
($\gamma_F = 1,00$)

*Loads do not include partial safety factors
($\gamma_F = 1.00$)*

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

La fondazione adottata ha un'impronta di tipo circolare e non esistono quindi direzioni preferenziali per le verifiche. Le coppie di forze e momenti agenti lungo le direzioni coordinate x e y vengono combinate nella loro composizione ottenendo una forza tagliante ed un momento. A quest'ultimo viene anche aggiunta l'aliquota di trasporto dovuta all'azione tagliante rispetto all'intradosso della fondazione. Le combinazioni di carico considerate sono 2, una relativa alla massima eccentricità del carico verticale, una relativa al valore massimo di quest'ultimo.

I fattori parziali di sicurezza assunti nei calcoli sono riepilogati nella seguente tabella:

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

AZIONI CARATTERISTICHE A TESTA PLINTO

$$F_{h,k} = F_x^2 + F_y^2 = [(-739.88)^2 + (-29562)^2]^{0.5} = 740.5 \text{ kN}$$

$$F_{z,k} = -2692.4 \text{ kN}$$

$$M_{h,k} = M_{xy} + F_h \times h = 56572.5 + 740.5 \times 4 = 59534.5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,k} = -290.08 \text{ kNm}$$

AZIONI DI PROGETTO A TESTA PLINTO

Comb 1 - Max eccentricità				Comb 2 - Max carico verticale			
γ_{G1}	γ_{G2}	γ_Q	Azioni	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_Q	Azioni
1	0	1.5	$F_{h,d} = 1110.75 \text{ kN}$	1.3	1.5	1.5	$F_{h,d} = 1110.75 \text{ kN}$
1	0	1.5	$F_{z,d} = -2692.4 \text{ kN}$	1.3	1.5	1.5	$F_{z,d} = -3500.12 \text{ kN}$
1	0	1.5	$M_{h,d} = 59534.5 \text{ kNm}$	1.3	1.5	1.5	$M_{h,d} = 59534.5 \text{ kNm}$
1	0	1.5	$M_{z,d} = -290.08 \text{ kNm}$	1.3	1.5	1.5	$M_{z,d} = -290.08 \text{ kNm}$

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

11. VERIFICA DI STABILITA' AL RIBALTAMENTO

Azioni caratteristiche globali alla base della fondazione

$P_{k,plin} = 11546.3$ kN, peso proprio del plinto

$P_{k,terr} = 10102$ kN, peso proprio del terreno di ricoprimento

$N_{k,torre} = 2692.4$ kN, forza verticale derivante dalla sovrastruttura

$V_{k,torre} = 740.5$ kN, forza orizzontale

$M_{k,torre} = 59534.5$ kNm, momento ribaltante

$d = 9.25$ m, braccio della forza stabilizzante

Azioni di progetto globali alla base della fondazione

$M_{S,d} = \gamma_Q \times M_{k,torre} = 1.5 \times 59534.5 = 89301.8$ kNm, momento ribaltante

$M_{R,d} = \gamma_G \times (P_{k,plin} + N_{k,torre}) \times d = 0.9 \times (11546.3 + 2692.4) \times 9.25 = 118537.2$ kNm, momento stabilizzante

Poiché $M_{R,d} > M_{S,d}$ la verifica al ribaltamento risulta soddisfatta.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

12. VERIFICHE DI RESISTENZA

Oltre ai carichi sopra descritti nel precedente paragrafo, nei calcoli sono stati considerati il peso proprio del plinto ed il peso del rinterro al di sopra dello stesso per uno spessore medio di 2.10 m.

Le sollecitazioni per la verifica degli elementi sono state ottenute per mezzo di una modellazione ad elementi finiti della struttura di fondazione tenendo conto della interazione con il terreno.

VERIFICA A FLESSIONE PIASTRA PLINTO

Le massime sollecitazioni di flessione sono riportate nei grafici seguenti:

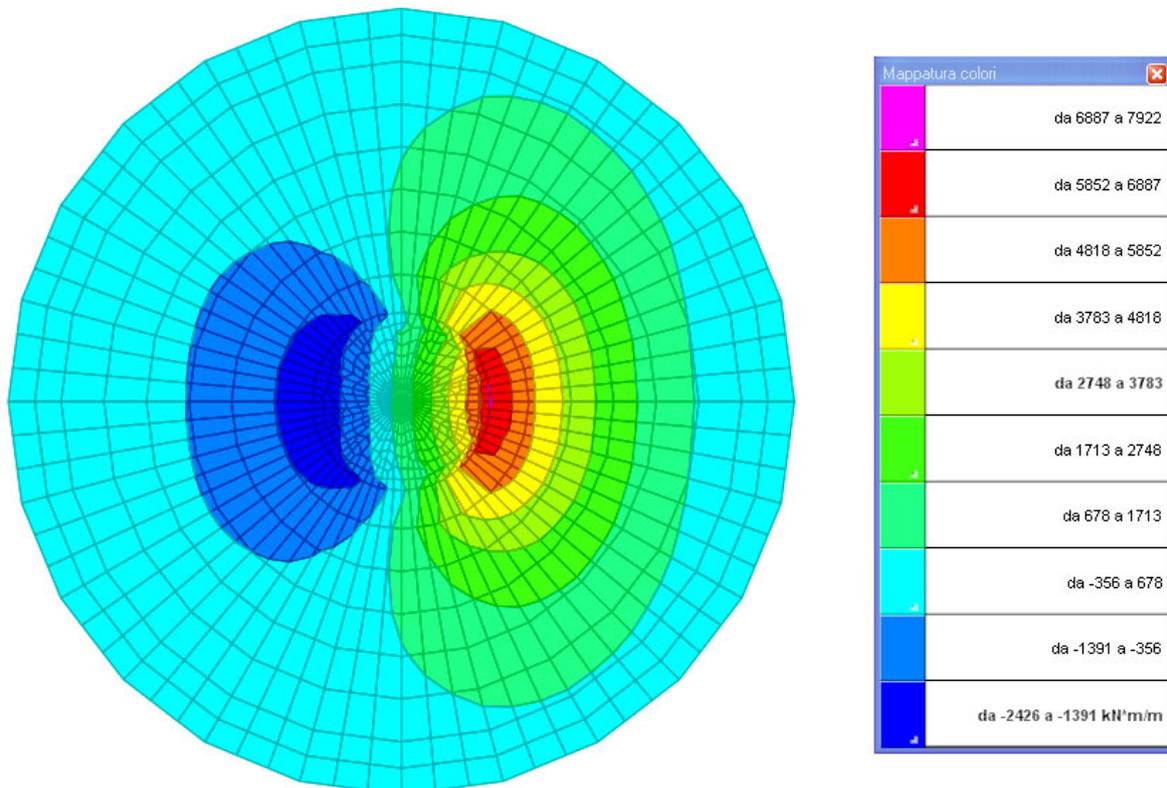


Figura 1 – Massima sollecitazione di flessione radiale M_x

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

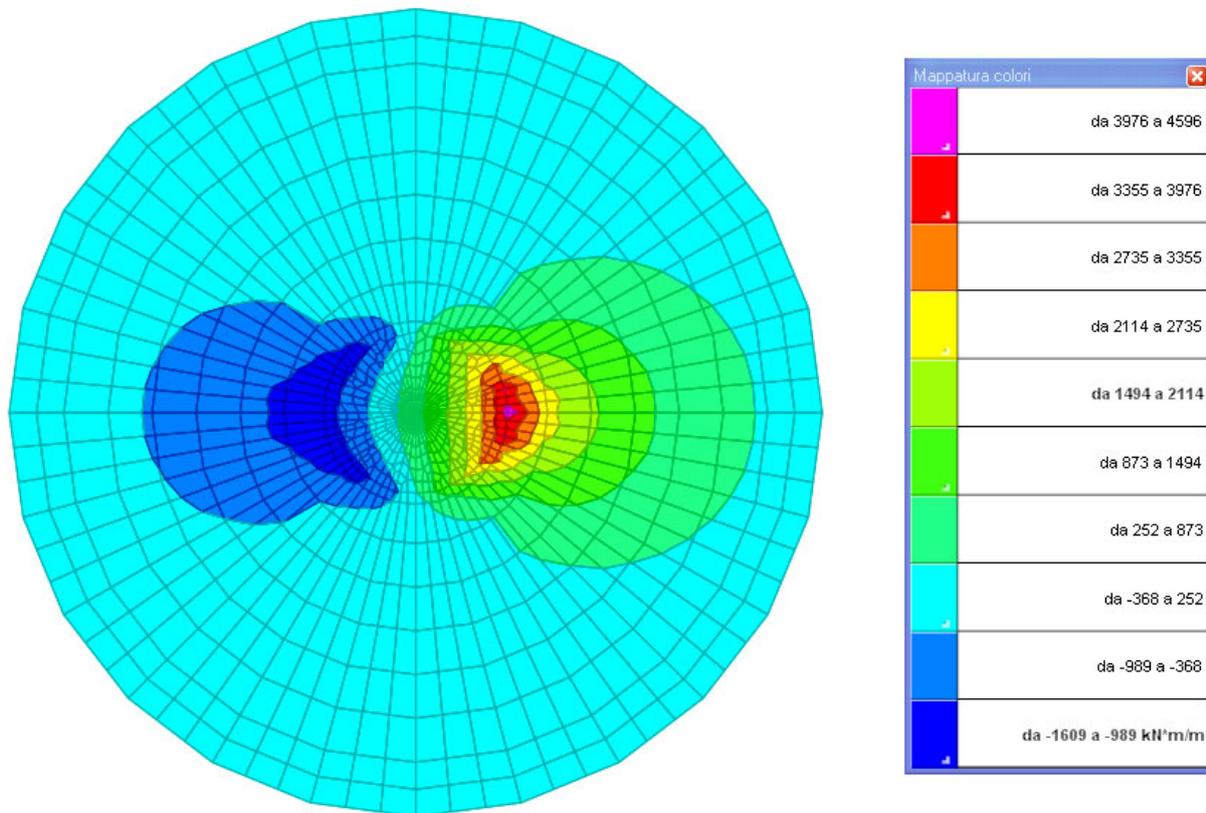


Figura 2 - Massima sollecitazione di flessione circonferenziale M_y

VERIFICA PER FLESSIONE RADIALE

Sezione 100 x 200 armata inferiormente con $\phi 30/10$, $\phi 30/20$ e $\phi 26/20$ e superiormente con $\phi 26/10$ e $\phi 26/15$. Con un copriferro di calcolo di 6 cm risulta

$$M_{R,d} = 9759 \text{ kNm} > M_{S,d} = 7992 \text{ kNm}, \text{ verifica di resistenza soddisfatta}$$

VERIFICA PER FLESSIONE CIRCONFERENZIALE

Sezione 100 x 200 armata inferiormente con $\phi 30/10$ e $\phi 26/20$ e superiormente con $\phi 26/20$. Con un copriferro di calcolo di 6 cm risulta

$$M_{R,d} = 7087 \text{ kNm} > M_{S,d} = 4596 \text{ kNm}, \text{ verifica di resistenza soddisfatta}$$

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

VERIFICA A FLESSIONE PIASTRA PLINTO

Le massime sollecitazioni di flessione sono riportate nei grafici seguenti:

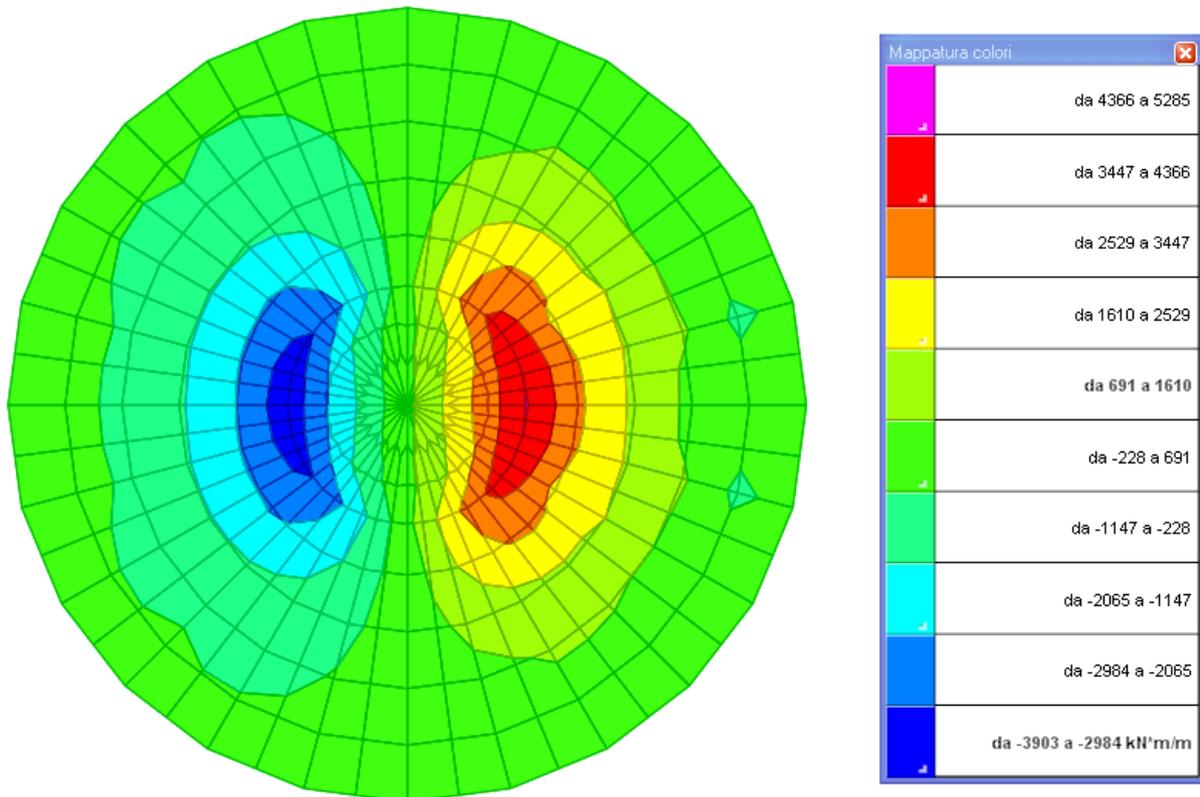


Figura 3 – Massima sollecitazione di flessione radiale M_x

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

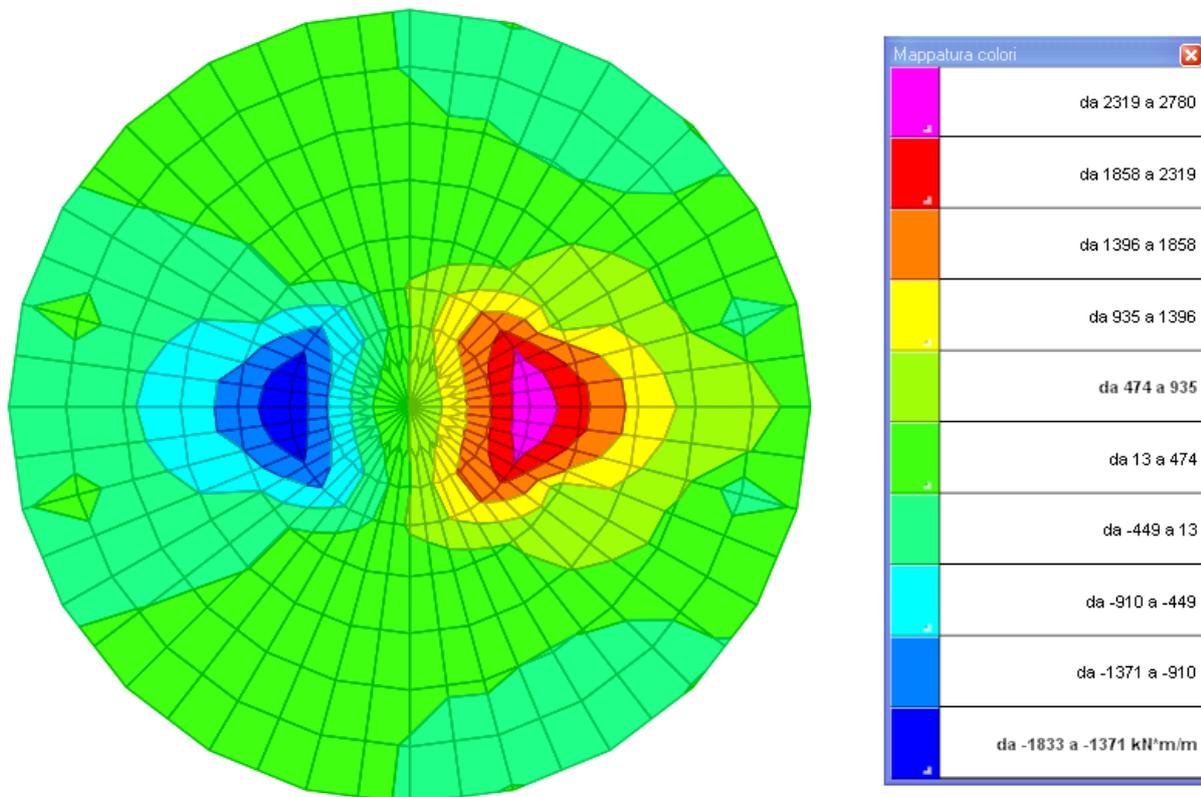


Figura 4 – Massima sollecitazione di flessione circonferenziale M_y

VERIFICA PER FLESSIONE RADIALE

Sezione 100 x 180 armata inferiormente con $\phi 30/20$, $\phi 26/20$ e $\phi 30/15$ e superiormente con $\phi 26/10$ e $\phi 26/15$. Con un copriferro di calcolo di 6 cm risulta

$M_{R,d} = 6879 \text{ kNm} > M_{S,d} = 5285 \text{ kNm}$, verifica di resistenza soddisfatta

VERIFICA PER FLESSIONE CIRCONFERENZIALE

Sezione 100 x 180 armata inferiormente con $\phi 30/15$ e $\phi 26/20$ e superiormente con $\phi 26/20$. Con un copriferro di calcolo di 6 cm risulta

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

$$M_{R,d} = 4551 \text{ kNm} > M_{S,d} = 2780 \text{ kNm}, \text{ verifica di resistenza soddisfatta}$$

VERIFICA A PRESSO/TENSO – FLESSIONE E TAGLIO PALI DI FONDAZIONE

Le sollecitazioni estreme si attingono alla testa dei pali:

Flessione – Sezione circolare $D = 100$ armata con $26\phi 20$

$$M_{S,d} = (181^2 + 109)^{0.5} = 211 \text{ kNm}, \text{ momento flettente massimo}$$

$$N_{S,d,max} = 1594 \text{ kN}, \text{ sforzo normale massimo}$$

$$N_{S,d,min} = -3113 \text{ kN}, \text{ sforzo normale minimo}$$

$$M_{R,d,(Nmax)} = 682 \text{ kNm} > M_{S,d} = 211 \text{ kNm}, \text{ verifica di resistenza soddisfatta}$$

$$M_{R,d,(Nmin)} = 1946 \text{ kNm} > M_{S,d} = 211 \text{ kNm}, \text{ verifica di resistenza soddisfatta}$$

Taglio – Sezione circolare $D = 100$ armata con spirale $\phi 10/15$

Sezione rettangolare equivalente 27×100 armata con staffe $\phi 10/15$ con inclinazione braccia di 26°

$$V_{S,d} = (109^2 + 11^2)^{0.5} = 110 \text{ kNm}, \text{ forza di taglio massima}$$

$$V_{Rsd} = 311 \text{ kN} \text{ Resistenza di calcolo a taglio trazione}$$

$$V_{Rcd} = 994 \text{ kN} \text{ Resistenza di calcolo a taglio compressione}$$

$$V_{Rd} = 311 \text{ kN} > V_{S,d} = 110 \text{ kN}, \text{ verifica di resistenza soddisfatta}$$

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

13. VERIFICHE SLE

Oltre alle verifiche precedentemente descritte, sono state svolti i calcoli relativi agli stati limite di esercizio (SLE), per il controllo degli abbassamenti e dell'apertura delle fessure all'interno del calcestruzzo.

Le sollecitazioni per la verifica degli elementi sono state ottenute per mezzo di una modellazione ad elementi finiti della struttura di fondazione tenendo conto della interazione con il terreno.

VERIFICA DEI CEDIMENTI

Dal modello di calcolo è emerso, un cedimento massimo pari a:

$$\delta = 1.7 \text{ cm}$$

rilevato per combinazioni SLU che peraltro, a vantaggio di sicurezza, si ritiene rappresentino lo scenario di carico più significativo.

Tale cedimento risulta compatibile con la funzionalità della struttura e con la destinazione d'uso della struttura stessa. Pertanto la verifica dei cedimenti si ritiene soddisfatta.

VERIFICA DI FESSURAZIONE

In accordo con le prescrizioni del DM 17/01/2018 sono state considerate le combinazioni di carico relative ad ambiente di tipo aggressivo: frequente e quasi permanente; come indicato in tabella:

Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Dai calcoli risulta:

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 12 AEROGENERATORI CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA DI DISTRIBUZIONE UBICATO ENTRO I TERRITORI COMUNALI DI MONTE CAVALLO, PIEVE TORINA E SERRAVALLE DEL CHIANTI IN PROVINCIA DI MACERATA DELLA POTENZA TOTALE DI 49,4 MW.

Progetto Definitivo

Combinazione di carico	Asse neutro (mm)	Momento sollecitante (kNm)	Tensione acciaio σ_s (N/mm²)	Apertura di calcolo fessure w_d (mm)	Limite normativa w (mm)
Frequente	619	1098	46.7	0.02	$w_2=0.3$
Quasi permanente	619	455	19.3	0.000	$w_1=0.2$

Essendo $w_{df} < w_2$ e $w_{dqp} < w_1$, la verifica risulta soddisfatta.

VERIFICA DEI CEDIMENTI

Nel caso di fondazione su pali l'entità dei cedimenti è risultata non significativa, grazie alla rigidità del sistema fondale stesso. Pertanto non è stata riportata una verifica in tal senso.

VERIFICA DI FESSURAZIONE

In accordo con le prescrizioni del DM 17/01/2018, sono state considerate le combinazioni di carico relative ad ambiente di tipo aggressivo: frequente e quasi permanente; come indicato in tabella 4.1.IV, nel paragrafo precedente.

Dai calcoli risulta:

Combinazione di carico	Asse neutro (mm)	Momento sollecitante (kNm)	Tensione acciaio σ_s (N/mm²)	Apertura di calcolo fessure w_d (mm)	Limite normativa w (mm)
Frequente	516	1124	67	0.04	$w_2=0.3$
Quasi permanente	516	510	31	0.00	$w_1=0.2$

Essendo $w_{df} < w_2$ e $w_{dqp} < w_1$, la verifica risulta soddisfatta.

Ingenium Engineering srl