



Wind Farm "CIAVATTA"

Relazione di calcolo preliminare delle strutture
Aerogeneratore

Serracapriola (Regione Puglia)

Aprile 2020

REF.: OW32019040070DW

Version: A



EDP Renewables Italia Holding S.r.l.

Via Lepetit 8/10

20124 - Milano



via Marco Partipilo n.48
- 70124 BARI
pec: gpsd@pec.it
P.IVA: 06948690729



 edp renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

INDICE

1.	INFORMAZIONI INTRODUTTIVE.....	4
1.1.	PREMESSA.....	4
1.2.	RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI.....	4
1.3.	METODO DI VERIFICA DELLA SICUREZZA	4
	Sicurezza strutturale	5
	Sicurezza geotecnica	5
2.	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	6
2.1.	CARATTERISTICHE GENERALI	6
2.2.	PRESTAZIONI ATTESE E TIPOLOGIA STRUTTURALE	8
3.	LOCALIZZAZIONE DEL SITO	9
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO	10
5.	CONDIZIONI DI CARICO	11
5.1.	ANALISI PRELIMINARE DEI CARICHI	11
5.2.	COMBINAZIONE DEI CARICHI	14
6.	MATERIALI.....	15
6.1.	CALCESTRUZZO.....	15
	Parametri di progetto	15
	Caratteristiche dei calcestruzzi	19
6.2.	ACCIAIO ARMATURE	20
	Caratteristiche acciaio armature	20
	Prescrizioni di cantiere.....	21
6.3.	RIEPILOGO MATERIALI	22
7.	MODELLO STRUTTURALE.....	23
7.1.	CERITERI DI MODELLAZIONE STRUTTURALE	23
	Metodo agli elementi finiti	23
	Condizioni al contorno.....	24
	Soluzione.....	24
	Informazioni sul codice di calcolo	25
8.	DEFINIZIONE DEL MODELLO	25
9.	RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE	31
9.1.	RISULTATI PALI	31

 edp renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

9.2. RISULTATI ELEMENTI TIPO SHELL - PLINTO	33
10. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	34
10.1. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	34
Verifica di equilibrio del corpo rigido	34
Verifica della capacità portante	35
10.2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	46
Calcolo dei cedimenti	46
11. PIANO DI MANUTENZIONE DELLE STRUTTURE	51
11.1. MANUALE D'USO	51
11.2. MANUALE E PROGRAMMA DI MANUTENZIONE	51
Anomalie riscontrabili	52
Controlli e manutenzioni da effettuare	53

 renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

1. INFORMAZIONI INTRODUTTIVE

1.1. PREMESSA

La società EDP Renewables Italia Holding Srl (EDPR) con sede legale a Milano in Via R. Lepetit 8/10, è promotrice del progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW ubicato nel comune di Serracapriola, in provincia di Foggia.

Oggetto della presente relazione è la progettazione preliminare delle strutture relative a all'impianto suddetto.

1.2. RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI

Nel presente progetto strutturale viene fatto esplicito riferimento alla seguente documentazione tecnica e/o normativa:

- Verifiche strutturali e geotecniche:
 - IEC 61400-1 Third edition – Wind turbines, Part 1: Design requirements;
 - D.M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" (nel seguito D.M. 17/01/2018);
 - Circolare n. 7 C.S.LL.PP. del 21/01/2019 – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018.
- Durabilità materiali:
 - UNI EN 206-1, 2006 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
 - UNI EN 197-1, 2001 - Cemento - Composizione, specifiche e criteri di conformità;
 - UNI EN 11104, 2004 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità. Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1;
 - UNI EN 1992-1-1 - Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- Stratigrafia, parametri geotecnici e geofisici del terreno di fondazione:
 - Relazione geologica a firma del dott. geol. Luigi Buttiglione.

1.3. METODO DI VERIFICA DELLA SICUREZZA

La sicurezza sarà valutata col metodo semiprobabilistico agli stati limite basato sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza (Rif.: D.M. 17/01/2018, punto 2.3). Tale metodo consiste nello svolgimento dei seguenti passaggi.

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

Sicurezza strutturale

- Si valutano i parametri descrittivi delle prestazioni attese, della tipologia strutturale e della macrozonazione e microzonazione dell'opera necessari alla definizione dei carichi di progetto da applicare alla stessa;
- Si valutano le resistenze caratteristiche X_k dei materiali strutturali caratterizzati da $\text{prob}(X < X_k) = 0.05$ e le relative resistenze di calcolo X_d ottenute riducendo le prime con opportuni coefficienti di sicurezza $\frac{X_d}{X_k} = \frac{\eta}{\gamma_M}$.
- Si valutano le azioni caratteristiche E_k , caratterizzate da $\text{prob}(F > E_k) = 0.05$, in funzione di macrozonazione, microzonazione e tipologia strutturale, per ciascun caso di carico significativo.
- Amplificando le azioni caratteristiche con opportuni coefficienti di sicurezza $\gamma_F > 1$ e $\psi_F < 1$, si determinano le azioni di calcolo per ciascuna combinazione di carico strutturale significativa:

$$E_d = \gamma_F \psi_F E_k$$

- Utilizzando un modello strutturale (di dimensioni a_d e materiali X_k) validato dai metodi della Scienza delle Costruzioni, si determinano gli effetti $E_d = E(E_k, a_d)$ delle azioni di calcolo E_d scegliendo opportunamente metodi di analisi e modellazione strutturale correlati alle tipologie di azione e struttura.

Le dimensioni a_d e i materiali X_k della struttura sono accettabili se, per ciascuno stato limite strutturale significativo R, le relative azioni di calcolo E_d provochino effetti E_d inferiori alle resistenze di calcolo $\frac{R_d}{\gamma_R} (\gamma_R > 1)$:

$$E_d = E(\gamma_F \psi_F E_k, a_d) \leq R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left(\frac{\eta X_k}{\gamma_M}, a_d \right)$$

Nella precedente relazione si considerano le combinazioni di carico strutturali relative all'approccio 2 che prevede l'uso dei seguenti coefficienti parziali:

stati limite SLE: $\gamma_F = 1.00$

stati limite SLU tipo STR: $\gamma_F = A1$; $\gamma_M = M1$; $\gamma_R = R1$

stati limite SLU tipo EQU (equilibrio): $\gamma_F = EQU$; $\gamma_M = M2$; $\gamma_R = R1$

stati limite SLU tipo FAT: $\gamma_F = 1.00$ per i carichi permanenti; $\gamma_M = 1.00$

Sicurezza geotecnica

- Si descrivono i risultati delle indagini in sito e in laboratorio sul terreno di fondazione eseguiti in numero e profondità commisurate, rispettivamente, alla variabilità del terreno e all'estensione dell'opera; si valuta inoltre la stabilità dei versanti anche in funzione della morfologia del suolo e al regime delle acque;
- Dagli elaborati di "Relazione geologica" e "Relazione geotecnica" si attingono i valori delle resistenze caratteristiche X_k dei terreni di fondazione, caratterizzate da $\text{prob}(X < X_k) = 0.05$ e le relative

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

resistenze di calcolo X_d ottenute riducendo le prime con opportuni coefficienti riduttori $\eta < 1$ (letteratura tecnica) e di sicurezza $\gamma_M > 1$:

$$X_d = \frac{\eta X_k}{\gamma_M}$$

- Si determinano le azioni di calcolo $E_d = \gamma_F \psi_F E_k$, per ciascuna combinazione di carico geotecnica significativa;
- Utilizzando un modello geotecnico (di dimensioni a_d e materiali X_d) validato dai metodi della Geotecnica, si determinano gli effetti $E_d = E(E_d, a_d)$ delle azioni di calcolo E_d scegliendo opportunamente metodi di analisi e modellazione strutturale correlati alle tipologie di azione e di terreno.

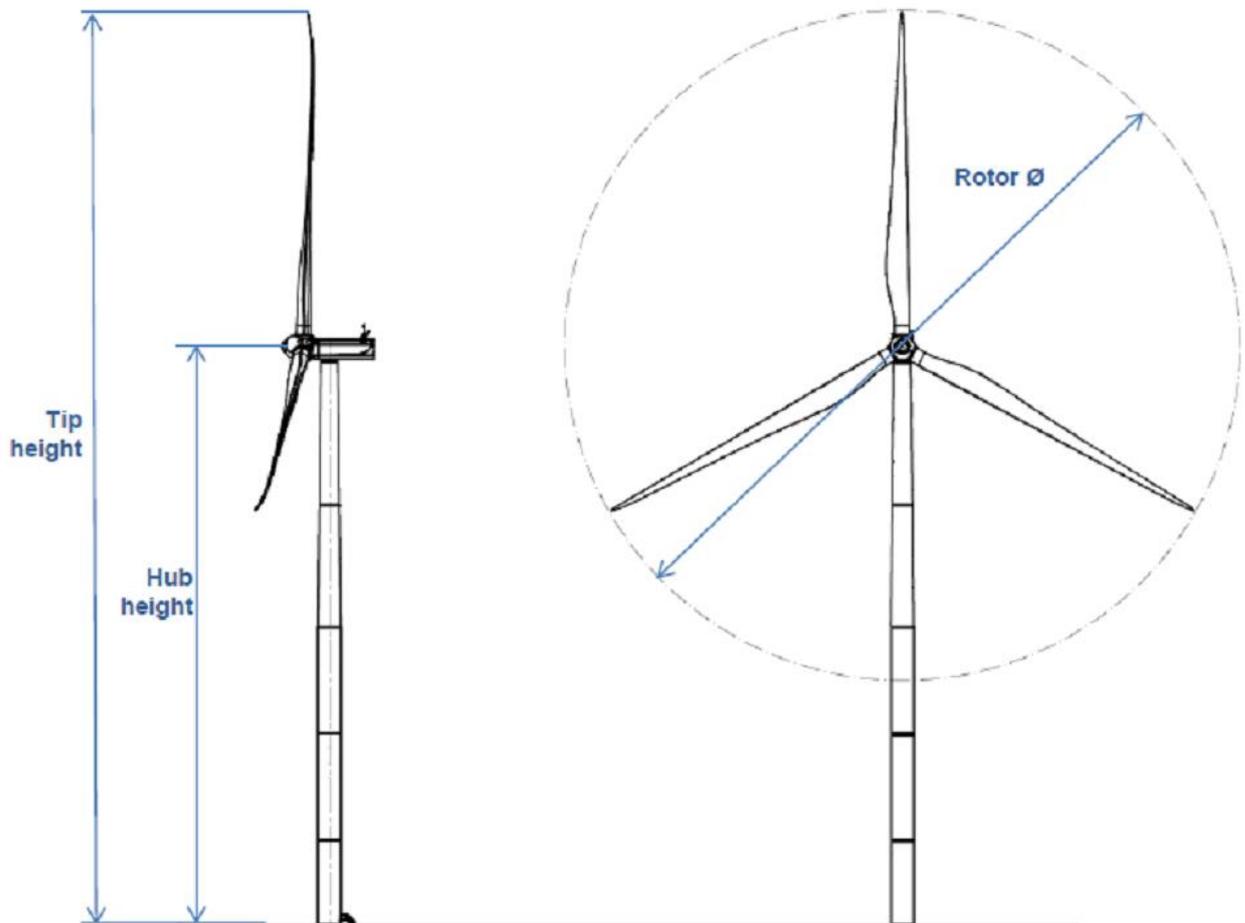
Le dimensioni a_d e i materiali X_d della struttura sono accettabili se, per ciascuno stato limite geotecnico significativo R, le relative azioni di calcolo E_d provochino effetti E_d inferiori alle resistenze di calcolo $R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$ ($\gamma_R > 1$):

$$E_d = E(\gamma_F \psi_F E_k, a_d) \leq R_d = \frac{1}{\gamma_R} R\left(\frac{X_k}{\gamma_M}, a_d\right)$$

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

2.1. CARATTERISTICHE GENERALI

Il presente lavoro progettuale ha per oggetto le strutture di fondazione di un aerogeneratore tipo SG 6.0 – 170, potenza 6 MW, prodotto dalla Siemens Gamesa, di cui di seguito in maniera indicativa si riportano le dimensioni.



Tip height	200 m
Hub height	115 m
Rotor ϕ	170 m

La torre è ancorata alla struttura fondale mediante gabbia d'ancoraggio e tirafondi. La flangia di base della torre (flangia superiore della gabbia d'ancoraggio) è collegata dai tirafondi ad una piastra anulare annegata nel getto (flangia inferiore della gabbia d'ancoraggio).

La suddetta struttura di fondazione, quindi, è costituita da plinto su pali, realizzati in conglomerato cementizio armato gettato in opera.

Si sceglie per il plinto la forma tronco-conica in quanto questa consente l'uniformità delle sollecitazioni trasmesse alla fondazione al variare della direzione del vento e consente l'ottimizzazione dell'area di impronta con conseguente minori quantità di armature e di calcestruzzo da impiegare.

Il plinto si presenta circolare in pianta con diametro pari a 22 metri e altezza variabile da un minimo di 120 cm sul perimetro esterno ad un massimo di 300 cm nella zona centrale.

	<p>Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete</p> <p>Wind Farm "CIAVATTA"</p>	<p>Aprile 2021</p>
--	--	--------------------

Il plinto presenta una cavità assiale non armata per consentire il posizionamento dei cavi di collegamento dell'aerogeneratore alla linea elettrica. Tale zona sarà priva di armature e, di conseguenza, considerata non strutturale.

La parte profonda della struttura fondale è costituita da n. 17 pali in c.a., trivellati, aventi diametro pari a 1 metro e lunghezza pari a 22 metri.

L'interasse i tra i pali è stato tenuto al minore valore possibile per contenere e distribuire le sollecitazioni, rispettando comunque la condizione $i > 3d$ (d=diametro) affinché l'influenza reciproca dei pali vicini non riduca la capacità portante dei pali stessi.

Note le forze trasmesse dalla torre alla sommità del plinto, nonché il peso della fondazione e del terreno di riporto, si ricavano le condizioni di carico all'interfaccia plinto-suolo.

La sicurezza a ribaltamento dell'intero sistema struttura-fondazione è garantita da un diametro sufficientemente grande del plinto di fondazione e dalla presenza dei pali disposti in vicinanza del bordo esterno, in corrispondenza delle zone ove occorre un maggiore supporto a sforzo normale verticale.

Il diametro, il numero e la profondità dei pali sono tali che le sollecitazioni trasmesse alla testa dei medesimi non comportino la rottura del terreno, la crisi della sezione del palo ed il punzonamento della platea di fondazione.

2.2. PRESTAZIONI ATTESE E TIPOLOGIA STRUTTURALE

Proprietà della costruzione:

Tipo di costruzione	Ordinaria
Classe d'uso	IV
Vita nominale	$V_N = 50$ anni
Coefficiente d'uso	$C_U = 2.0$
Periodo di riferimento	$V_R = V_N * C_U = 100$ anni
Altezza mozzo	115 metri

La struttura possiede le seguenti caratteristiche:

- Struttura in elevazione

Materiale:	acciaio
Tipologia strutturale:	a mensola / pendolo inverso
Regolarità in pianta:	no
Regolarità in altezza:	no

- Struttura di fondazione

Tipologia geotecnica:	profonda (pali trivellati, grande diametro)
Tipologia strutturale:	plinto/platea su pali
Prof. piano di posa plinto:	2.80 m
Diametro plinto:	22.00 metri
Altezza massima plinto:	3.00 m
Diametro pali:	1.00 metro

Comportam. strutturale: non dissipativo

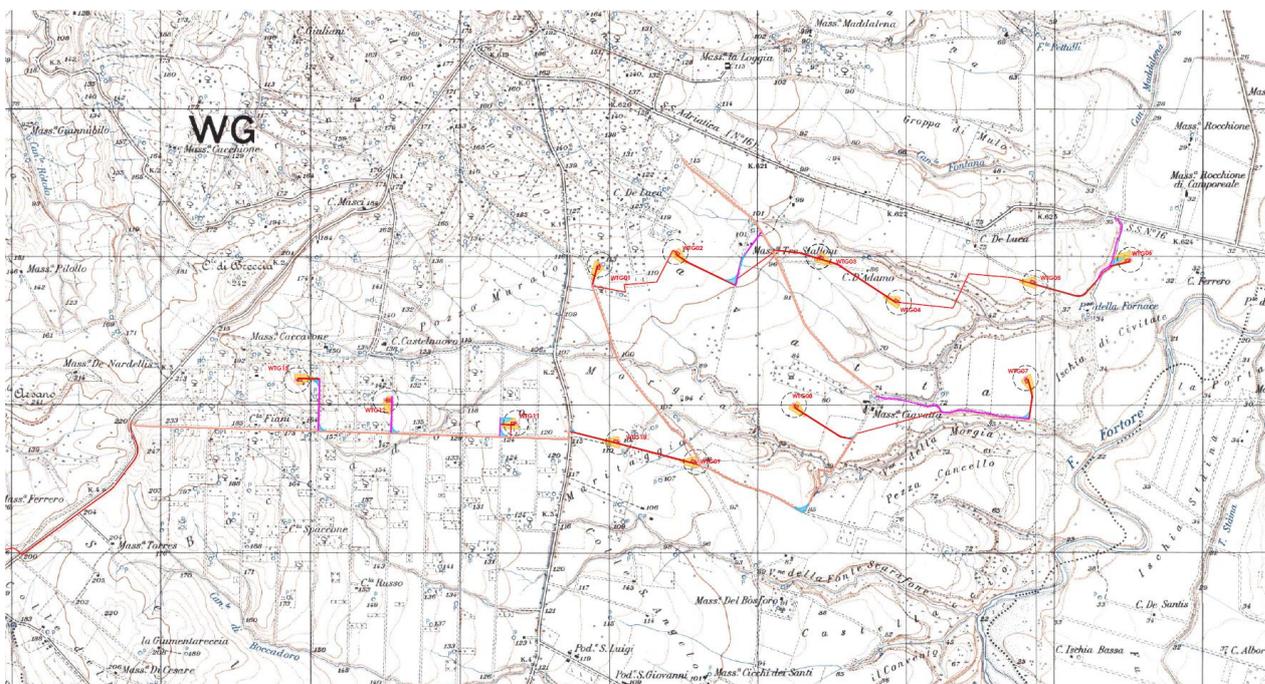
3. LOCALIZZAZIONE DEL SITO

L'opera sarà ubicata nella seguente località:

Regione: Puglia
 Provincia: Foggia
 Comune: Serracapriola

Cartograficamente l'area d'intervento ricade nella porzione occidentale della Tavoletta n.155 III N.E. "Serra Capriola" della Carta d'Italia in scala 1:25.000 (All.1).

Si riporta di seguito un'illustrazione indicativa dell'inquadramento dell'area di intervento su Tavoletta IGM (scala 1:25000).



Di seguito si riportano le coordinate indicative del posizionamento dell'asse dell'aerogeneratore/plinto.

Aerogeneratore	Coordinate	
	UTM WGS84 – 33N	
	Est	Nord
WTG 01	513879	4625753
WTG 02	514387	4625838
WTG 03	515349	4625806
WTG 04	515888	4625497

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

WTG 05	516805	4625631
WTG 06	517442	4625785
WTG 07	516741	4624985
WTG 08	515183	4624804
WTG 09	514525	4624417
WTG 10	514005	4624554
WTG 11	513316	4624680
WTG 12	512440	4624835
WTG 13	511842	4624970

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO

Le indagini in oggetto sono state effettuate dal dott. geologo Luigi Buttiglione, di seguito si riporta una sintesi delle risultanze, rimandando per approfondimenti allo studio nella sua interezza.

La porzione di territorio prescelta per la realizzazione dell'impianto, ricade in un ambito morfologico il cui assetto è condizionato dalla natura dei terreni affioranti, costituiti in prevalenza da depositi sciolti variamente coesi. Le forme del rilievo, con particolare riferimento all'acclività dei versanti, risultano pertanto variabili a seconda dello stato di aggregazione e della stabilità dei terreni.

In linea generale, l'andamento geomorfologico si caratterizza per l'alternanza di vaste aree pianeggianti ad assetto tabulare, attraversate da solchi erosivi con versanti molto ampi e variamente acclivi. L'assetto sub-pianeggiante delle aree di cresta è legato ai processi di modellamento avvenuti durante la fase di colmamento del bacino di sedimentazione. L'azione degli agenti erosivi, con particolare riferimento agli effetti del modellamento dovuti allo scorrimento delle acque superficiali, ha inciso profondamente sul territorio, generando avvallamenti con versanti a pendenza variabile a seconda dei litotipi affioranti. Forme locali di dissesto di modeste dimensioni interessano le parti sommitali dei versanti, laddove affiorano terreni più schiettamente sabbiosi.

Dal punto di vista geologico, l'unità geostrutturale, costituita dall' "Avanfossa bradanica", all'interno della quale ricade l'area d'intervento, si contraddistingue per l'affioramento di terreni che, nell'insieme, costituiscono la successione regressiva di colmamento di una porzione del bacino di sedimentazione attivo dal Pliocene sino al Pleistocene, tra la Catena Appenninica e l'Avampaese Murgiano.

Tale successione è costituita da un'unità argillosa di base, di età Plio-Pleistocenica, spessa alcune centinaia di metri nella parte centrale del bacino e più sottile nelle zone di margine. Il ciclo regressivo è chiuso da unità sabbioso-argillose di origine continentale, con spessore oscillanti intorno ad alcune decine di metri.

Lungo l'alveo e sulle sponde dei principali corsi d'acqua presenti in zona si rinvengono depositi alluvionali costituiti da limi e sabbie.

L'assetto stratigrafico dell'area è caratterizzato dalla presenza di un'unità geologica di base costituita da argille ed argille marnose grigio azzurre, compatte e sovraconsolidate. Su tale substrato poggiano depositi sabbiosi-limosi e ghiaiosi di origine alluvionale.

 edp renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

Sulla base delle risultanze dell'indagine MASW effettuata in quattro diversi punti, i valori di V_{seq} , misurati sperimentalmente, sono i seguenti:

- MASW 1: 234 m/s;
- MASW 1: 341 m/s;
- MASW 1: 303 m/s;
- MASW 1: 291 m/s;

Questi valori consentono di ascrivere il sottosuolo dell'area d'indagine alla categoria C di cui alla tabella n.3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018.

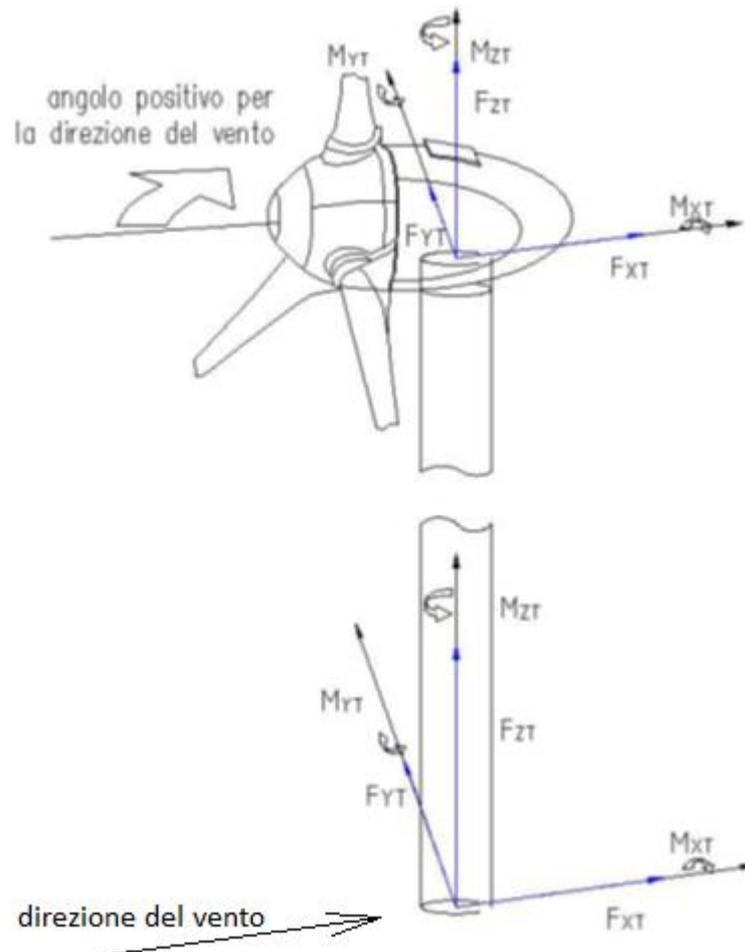
Per ciò che attiene la classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nella tabella 3.2.III delle NTC, poiché il sito è ubicato in area pianeggiante, l'area d'intervento può essere classificata come appartenente alla categoria 'T1'.

Per quanto attiene i valori dei parametri geotecnici posti a base delle calcolazioni illustrate nel presente elaborato, si faccia utile riferimento a quanto riportato negli elaborati "Relazione geologica" e "Relazione geotecnica".

5. CONDIZIONI DI CARICO

5.1. ANALISI PRELIMINARE DEI CARICHI

Per la definizione delle condizioni di carico che la torre genera sul plinto di fondazione, viene adottato un sistema di riferimento triassiale avente asse x concorde alla direzione e al verso del vento, asse y ortogonale ad esso nel piano della sezione trasversale della torre, asse z posto in coincidenza con l'asse della torre, con verso positivo verso l'alto.



Il peso proprio degli elementi strutturali in conglomerato cementizio armato costituenti la struttura di fondazione è calcolato automaticamente dal software di calcolo adoperato, considerando un peso per unità di volume di calcestruzzo armato pari a 25.00 kN/m^3 .

La pressione esercitata sul plinto di fondazione dal sovrastante terreno di riempimento è calcolata considerando un peso per unità di volume del suddetto terreno pari a 16.00 kN/m^3 .

Dall'analisi dei carichi agenti sulla struttura in elevazione si evincono le seguenti reazioni che il vincolo di base della torre imprime su di essa.



Comb.	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kN*m]	My [kN*m]	Mz [kN*m]
SLU 15	-831.9	0.0	4401.9	-0.7	-72466.0	-768.7
SLU 19	-193.2	0.0	5908.5	-0.8	-5612.8	-934.0
SLU 21	-323.1	0.0	5028.5	-5.5	-22648.8	-6153.4
SLU 22	-831.9	0.0	5218.5	-0.7	-72466.0	-768.7
SLE RA 4	-209.6	0.0	4481.9	-2.2	-11789.1	-2495.4
SLE RA 6	-174.9	0.0	4121.9	-4.3	-8493.7	-4810.5
SLE RA 7	-667.5	0.0	4191.9	-2.0	-59528.3	-2305.0
SLE FR 4	-127.8	0.0	4481.9	-2.2	-6600.6	-2495.4
SLE FR 6	-93.1	0.0	4121.9	-4.3	-3305.1	-4810.5
SLE FR 7	-585.7	0.0	4191.9	-2.0	-54339.8	-2305.0
SLE QP 4	-117.5	0.0	4481.9	-2.2	-5952.0	-2495.4
SLE QP 6	-82.8	0.0	4121.9	-4.3	-2656.6	-4810.5
SLE QP 7	-575.4	0.0	4191.9	-2.0	-53691.2	-2305.0

SLU 15	Comb. SLU	massimizza Fx e My con Fz min
SLU 19	Comb. SLU	massimizza Fz
SLU 21	Comb. SLU	massimizza Mz
SLU 22	Comb. SLU	massimizza Fx e My con Fz max
SLE RA 4	Comb. SLE rara	massimizza Fz
SLE RA 6	Comb. SLE rara	massimizza Mz
SLE RA 7	Comb. SLE rara	massimizza Fx e My
SLE FR 4	Comb. SLE freq.	massimizza Fz
SLE FR 6	Comb. SLE freq.	massimizza Mz
SLE FR 7	Comb. SLE freq.	massimizza Fx e My
SLE QP 4	Comb. SLE q. perm.	massimizza Fz
SLE QP 6	Comb. SLE q. perm.	massimizza Mz
SLE QP 7	Comb. SLE q. perm.	massimizza Fx e My

Di seguito si riportano i carichi che la torre imprime sulla struttura di fondazione per le combinazioni di carico più gravose, ottenuti invertendo il segno alle sopra riportate reazioni vincolari.

Tali carichi sono considerati applicati al centro della fondazione all'altezza dell'estradosso della stessa.



Comb.	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kN*m]	My [kN*m]	Mz [kN*m]
SLU 15	831.9	0.0	-4401.9	0.7	72466.0	768.7
SLU 19	193.2	0.0	-5908.5	0.8	5612.8	934.0
SLU 21	323.1	0.0	-5028.5	5.5	22648.8	6153.4
SLU 22	831.9	0.0	-5218.5	0.7	72466.0	768.7
SLE RA 4	209.6	0.0	-4481.9	2.2	11789.1	2495.4
SLE RA 6	174.9	0.0	-4121.9	4.3	8493.7	4810.5
SLE RA 7	667.5	0.0	-4191.9	2.0	59528.3	2305.0
SLE FR 4	127.8	0.0	-4481.9	2.2	6600.6	2495.4
SLE FR 6	93.1	0.0	-4121.9	4.3	3305.1	4810.5
SLE FR 7	585.7	0.0	-4191.9	2.0	54339.8	2305.0
SLE QP 4	117.5	0.0	-4481.9	2.2	5952.0	2495.4
SLE QP 6	82.8	0.0	-4121.9	4.3	2656.6	4810.5
SLE QP 7	575.4	0.0	-4191.9	2.0	53691.2	2305.0

5.2. COMBINAZIONE DEI CARICHI

La tabella che segue riporta in maniera completa le combinazioni di carico implementate nel software di calcolo.

Ad eccezione dei casi di carico "Peso proprio fond." e "Ricoprimento fond.", tutte le altre condizioni di carico sono già rappresentative dei valori di calcolo dei carichi (valori fattorizzati) quindi, tali casi di carico, nella successiva tabella sono riportati con fattore parziale di sicurezza pari a 1.00.



		CASI DI CARICO														
		Peso proprio fond.	Ricoprimento fond.	SLU 15	SLU 19	SLU 21	SLU 22	SLE RA 4	SLE RA 6	SLE RA 7	SLE FR 4	SLE FR 6	SLE FR 7	SLE QP 4	SLE QP 6	SLE QP 7
COMBINAZIONI DI CARICO	SLU (a)	1.30	1.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU (b)	1.30	1.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU (c)	1.30	1.50	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLU (d)	1.30	1.50	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE RA (a)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE RA (b)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE RA (c)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE FR (a)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE FR (b)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SLE FR (c)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
	SLE QP (a)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
	SLE QP (b)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
	SLE QP (c)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

6. MATERIALI

6.1. CALCESTRUZZO

Parametri di progetto

In questa fase vengono determinati i seguenti parametri prestazionali di base che costituiscono la prescrizione del calcestruzzo a prestazione garantita:

- Classe di esposizione;
- Classe di resistenza;
- Classe di consistenza;
- Diametro massimo dell'aggregato.

Essi sono riportati in maniera evidente sugli elaborati grafici allegati.

Al fine di garantire le previste caratteristiche prestazionali e di durabilità della costruzione in progetto durante l'intera vita d'uso della struttura stessa, di seguito si procede alla definizione, oltre che delle idonee prescrizioni sui materiali da impiegare, anche dei valori dei copriferro idonei a fronteggiare le aggressioni ambientali.

A quanto suddetto sarà dato seguito in aderenza ai seguenti riferimenti normativi:

	<p>Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete</p> <p>Wind Farm "CIAVATTA"</p>	<p>Aprile 2021</p>
--	--	--------------------

- D.M. 17/01/2018 - punto 4.1 - punto 11.2.11;
- Circolare Ministeriale 21/01/2019 - punto C.4.1.6.1.3;
- UNI EN 206-1:2006 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI 11104:2004 – “Istruzioni complementari per l’applicazione della UNI EN 206-1”;

Determinata la classe di appartenenza e la vita nominale dell’opera, si procederà di seguito alla definizione della tipologia di degrado che può verificarsi nei confronti del calcestruzzo armato. In questa fase saranno definiti l’ambiente di progetto, le sostanze aggressive presenti (nei confronti del calcestruzzo e dell’acciaio), e le misure progettuali per attenuare tali effetti. La UNI EN 11104:2004 associa le tipologie di degrado (degrado del calcestruzzo per cicli gelo-disgelo, corrosione delle barre di armatura innescato dai fenomeni di carbonatazione, ecc.) ai contesti ambientali (urbano, prossimità della costa, ecc.) e tramuta tutto in codificazioni standard definite “classi di esposizione ambientale”. In funzione delle classi di esposizione si possono ricavare le misure progettuali minime per garantire un materiale resistente al contesto d’uso. Ogni classe di esposizione può appartenere a tre possibili categorie (D.M. 17/01/2018, tab. 4.1.III): Condizioni ambientali ordinarie, aggressive, molto aggressive.

In definitiva, le norme UNI EN 11104:2004 e D.M. 17/01/2018 - punto 4.1, associano, rispettivamente, alla classe di esposizione e al tipo di struttura, la classe di resistenza minima da adoperare. Sarà adottata la maggiore delle due.

La lavorabilità dell’impasto viene garantita fornendo l’indicazione della classe di consistenza definita in funzione delle caratteristiche di ciascun getto (in verticale, inclinato, orizzontale, per spessori piccoli, medi, grossi, con finitura superficiale faccia a vista o grezza, etc.), e della conoscenza delle modalità di messa in opera del calcestruzzo adottate in fase esecutiva. Ciò è dovuto al fine di garantire una adeguata lavorabilità del calcestruzzo evitando qualsiasi aggiunta d’acqua in cantiere deleteria per la durabilità.

Le dimensioni massime dell’aggregato sono definibili in funzione dello spessore del copriferro, dell’interferro minimo delle armature metalliche e della dimensione minima dell’elemento strutturale.

La dimensione massima dell’aggregato deve essere scelta in modo che il calcestruzzo possa essere gettato e compattato attorno alle barre d’armatura senza pericolo di segregazione del calcestruzzo.

Secondo quanto stabilito dal D.M. 17/01/2018 e dalla relativa Circolare esplicativa, in accordo anche con quanto stabilito dagli Eurocodici, il diametro massimo dell’inerte deve essere tale che:

- $D_{max} < 1/4$ della dimensione minima dell’elemento strutturale, per evitare di aumentare la eterogeneità del materiale;
- $D_{max} < \text{dell'interferro (in mm)} - 5 \text{ mm}$, per evitare che l’aggregato più grosso ostruisca il flusso del calcestruzzo attraverso i ferri di armatura;
- $D_{max} < 1,3$ dello spessore del copriferro, per evitare che tra i casseri e l’armatura sia ostruito il passaggio del calcestruzzo.

Il punto C.4.1.6.1.3 della Circolare Ministeriale del 21/01/2019 definisce il valore minimo del copriferro inteso come distanza minima tra la superficie dell’armatura più esterna e la faccia del calcestruzzo più

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

prossima. Tale valore è funzione della classe di resistenza del calcestruzzo, dell'ambiente in cui è inserito, del tipo di elemento strutturale e barre di armatura e della tolleranza di posa. Il copriferro di seguito prescritto dovrà essere realizzato per mezzo di distanziatori in pasta di cemento fibrorinforzata.

PALI

Classe di resistenza (D.M. 17/01/2018 - punto 4.1)

Strutture	Semplicemente armate
Classe di resistenza minima	C16/20

Classe di esposizione (UNI EN 206-1:2006 - UNI 11104:2004)

Denominazione della classe	XC4
Descrizione dell'ambiente	Ciclicamente asciutto e bagnato
Classe di resistenza minima	C32/40

Classe di resistenza adottata C32/40

Classe di consistenza

Mediante abbassamento al cono di Abrams	S4
---	----

Copriferro (C.M. 21/01/2019 - punto C.4.1.6.1.3)

Elemento strutturale	Pali di fondazione
Ambiente	Aggressivo
Tipo di armatura	Barre da c.a.
Copriferro minimo	35 mm
Tolleranza di esecuzione	10 mm
Copriferro minimo adottabile	45 mm

Copriferro adottato C = 75 mm

Il copriferro sarà realizzato con distanziatori in fibrocemento.

Diametro massimo degli inerti Dmax = 32 mm

dove: $D_{max} = \min \left(\frac{1}{4} L ; i - 5 ; 1.3 C \right)$ con "L" dimensione minima dell'elemento strutturale [mm], "i" interfero minimo [mm], "C" copriferro [mm].

BASE PLINTO

Classe di resistenza (D.M. 17/01/2018 - punto 4.1)

Strutture	Semplicemente armate
Classe di resistenza minima	C16/20

Classe di esposizione (UNI EN 206-1:2006 - UNI 11104:2004)

Denominazione della classe	XC4
Descrizione dell'ambiente	Ciclicamente asciutto e bagnato
Classe di resistenza minima	C32/40

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

Classe di resistenza adottata C32/40

Classe di consistenza

Mediante abbassamento al cono di Abrams S5 per i primi 40 cm dal fondo plinto
S4 per la restante parte superiore

Copriferro (C.M. 21/01/2019 - punto C.4.1.6.1.3)

Elemento strutturale	Base plinto
Ambiente	Aggressivo
Tipo di armatura	Barre da c.a.
Copriferro minimo	35 mm
Tolleranza di esecuzione	10 mm
Copriferro minimo adottabile	45 mm

Copriferro adottato C = 60 mm

Il copriferro sarà realizzato con distanziatori in fibrocemento.

Diametro massimo degli inerti Dmax = 20 mm

dove: $D_{max} = \min (\frac{1}{4} L ; i - 5 ; 1.3 C)$ con "L" dimensione minima dell'elemento strutturale [mm], "i" interfero minimo [mm], "C" copriferro [mm].

COLLO PLINTO

Classe di resistenza (D.M. 17/01/2018 - punto 4.1)

Strutture	Semplicemente armate
Classe di resistenza minima	C16/20

Classe di esposizione (UNI EN 206-1:2006 - UNI 11104:2004)

Denominazione della classe	XC4
Descrizione dell'ambiente	Ciclicamente asciutto e bagnato
Classe di resistenza minima	C32/40

Classe di resistenza adottata C45/55

Classe di consistenza

Mediante abbassamento al cono di Abrams S5

Copriferro (C.M. 21/01/2019 - punto C.4.1.6.1.3)

Elemento strutturale	Collo plinto
Ambiente	Aggressivo
Tipo di armatura	Barre da c.a.
Copriferro minimo	35 mm
Tolleranza di esecuzione	10 mm



Copriferro minimo adottabile

45 mm

Copriferro adottato

C = 60 mm

Il copriferro sarà realizzato con distanziatori in fibrocemento.

Diametro massimo degli inerti

Dmax = 20 mm

dove: Dmax = min (¼ L ; i - 5 ; 1.3 C) con "L" dimensione minima dell'elemento strutturale [mm], "i" interferro minimo [mm], "C" copriferro [mm].

Caratteristiche dei calcestruzzi

C32/40

Classe di resistenza			<u>C32/40</u>
Resistenza caratteristica a compressione cubica	R_{ck}	[N/mm ²]	40,00
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	[N/mm ²]	33,20
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	[N/mm ²]	41,20
Coefficiente effetti di lungo termine	α_{cc}	[-]	0,85
Coeff. di sicurezza parziale	γ_c	[-]	1,50
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	[N/mm ²]	18,81
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$	[N/mm ²]	3,10
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$	[N/mm ²]	2,17
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	[N/mm ²]	1,45
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	[N/mm ²]	3,72
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3}$	[N/mm ²]	33643
Coefficiente di Poisson	ν	[-]	0,2
Coefficiente di dilatazione termica	α_T	[°C ⁻¹]	0,00001
Coefficiente di viscosità	ϕ	[-]	1,70
Accorciamento ϵ_{c2}	ϵ_{c2}	[-]	0,00200
Accorciamento ϵ_{c3}	ϵ_{c3}	[-]	0,00175
Accorciamento ϵ_{c4}	ϵ_{c4}	[-]	0,00070
Accorciamento ϵ_{cu}	ϵ_{cu}	[-]	0,00350
Densità di massa	ρ	[kg/m ³]	240
Densità di peso	γ	[kN/m ³]	24

C45/55

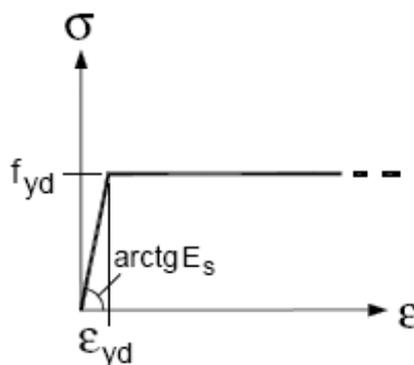
Classe di resistenza			<u>C45/55</u>
Resistenza caratteristica a compressione cubica	R_{ck}	[N/mm ²]	55,00
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	[N/mm ²]	45,65
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	[N/mm ²]	53,65
Coefficiente effetti di lungo termine	α_{cc}	[-]	0,85
Coeff. di sicurezza parziale	γ_c	[-]	1,50
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	[N/mm ²]	25,87
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$	[N/mm ²]	3,83
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$	[N/mm ²]	2,68



Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	[N/mm ²]	1,79
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctk}$	[N/mm ²]	4,60
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3}$	[N/mm ²]	36416
Coefficiente di Poisson	ν	[-]	0,2
Coefficiente di dilatazione termica	α_T	[°C ⁻¹]	0,00001
Coefficiente di viscosità	ϕ	[-]	1,70
Accorciamento ϵ_{c2}	ϵ_{c2}	[-]	0,00200
Accorciamento ϵ_{c3}	ϵ_{c3}	[-]	0,00175
Accorciamento ϵ_{c4}	ϵ_{c4}	[-]	0,00070
Accorciamento ϵ_{cu}	ϵ_{cu}	[-]	0,00350
Densità di massa	ρ	[kg/m ³]	240
Densità di peso	γ	[kN/m ³]	24

6.2. ACCIAIO ARMATURE

Caratteristiche acciaio armature



Legame costitutivo acciaio armature

Classe di resistenza			<u>B450C</u>
Resistenza caratteristica a trazione	f_{tk}	[N/mm ²]	540,00
Resistenza caratteristica a snervamento	f_{yk}	[N/mm ²]	450,00
Rapporto di sovreresistenza	$k = f_{tk} / f_{yk}$	[-]	1,20
Allungamento uniforme al carico massimo	ϵ_{uk}	[-]	0,07500
Modulo elastico	E_s	[N/mm ²]	200000
Coefficiente di sicurezza parziale	γ_s	[-]	1,15
Resistenza di calcolo a snervamento	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	[N/mm ²]	391,30
Resistenza di calcolo a rottura	$k f_{yd}$	[N/mm ²]	469,57
Allungamento di calcolo a snervamento	$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$	[-]	0,00196
Allungamento di calcolo a rottura	$\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk}$	[-]	0,06750
Densità di massa	$\underline{\rho}$	[kg/m ³]	785,00
Densità di peso	$\underline{\gamma}$	[kN/m ³]	78,50

Prescrizioni di cantiere

Il diametro minimo di piegatura di una barra deve essere tale da evitare fessure nella barra e rottura del calcestruzzo all'interno della piegatura. A tale scopo, il diametro con cui piegare la barra (diametro del mandrino) non dovrà essere minore di un diametro minimo ammissibile pari a 4ϕ per $\phi \leq 16$ mm e a 7ϕ per $\phi > 16$ mm (UNI EN 1992-1-1:2005 - Eurocodice 2).

valori <i>m</i>		valori <i>M</i>		
Diametro barra ϕ		Valore del ricoprimento minimo <i>c</i> , normale al piano di piegatura		
$\phi \leq 16$ mm	$\phi > 16$ mm	$c > 100$ mm e $c > 7 \phi$	$c > 50$ mm e $c > 3 \phi$	$c \leq 50$ mm e $c \leq 3 \phi$
4 ϕ	7 ϕ	10 ϕ	15 ϕ	20 ϕ

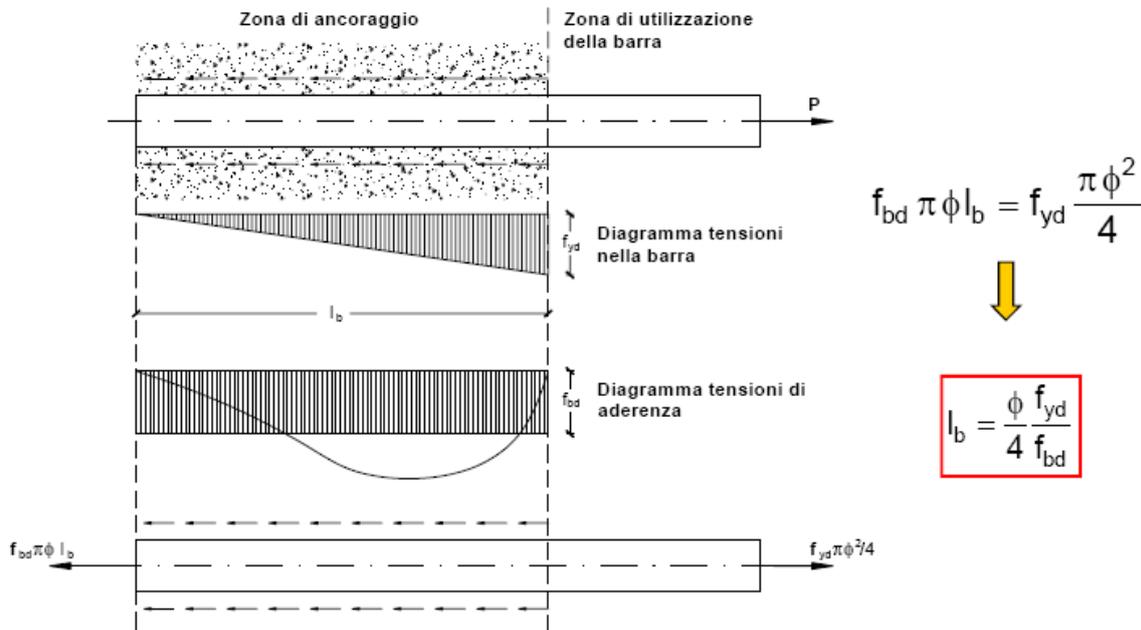
Di seguito si riportano i diametri dei mandrini da adoperare per la piegatura delle barre di armatura previste in progetto.

Si farà riferimento al mandrino piccolo "m" per le piegature a realizzare gomiti e uncini e mandrino grande "M" per le piegature a realizzare deviazioni e ancoraggi. Tali indicazioni sono riportate anche negli elaborati grafici progettuali.

Diametro barra	ϕ [mm]	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
D. mandr. piccolo	<i>m</i> [mm]	32	40	48	56	64	126	140	154	168	182	196	210	224
D. mandr. grande	<i>M</i> [mm]	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640

La singola barra deve essere prolungata oltre l'estremità limite per la copertura dell'area minima necessaria ad assorbire le sollecitazioni, per un tratto pari alla lunghezza di ancoraggio. La lunghezza di ancoraggio deve essere non minore di 20ϕ con un minimo di 150 mm (D.M. 17/01/2018 - punto 4.1.2.3.10).

Per il caso in esame, la lunghezza di ancoraggio l_b , che deve essere tale da consentire il trasferimento della forza normale $P=f_{yd}(\pi\phi^2/4)$, è calcolata come segue:



dove $f_{bd}=f_{bk}/\gamma_C$ è la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo e $f_{bk}=2.25\eta f_{ctk}$ è la resistenza tangenziale caratteristica di aderenza ($\eta=1$ per $\phi\leq 32$ mm).

Dal procedimento sopra esposto si deducono le seguenti lunghezze di ancoraggio (per ancoraggio senza piega):

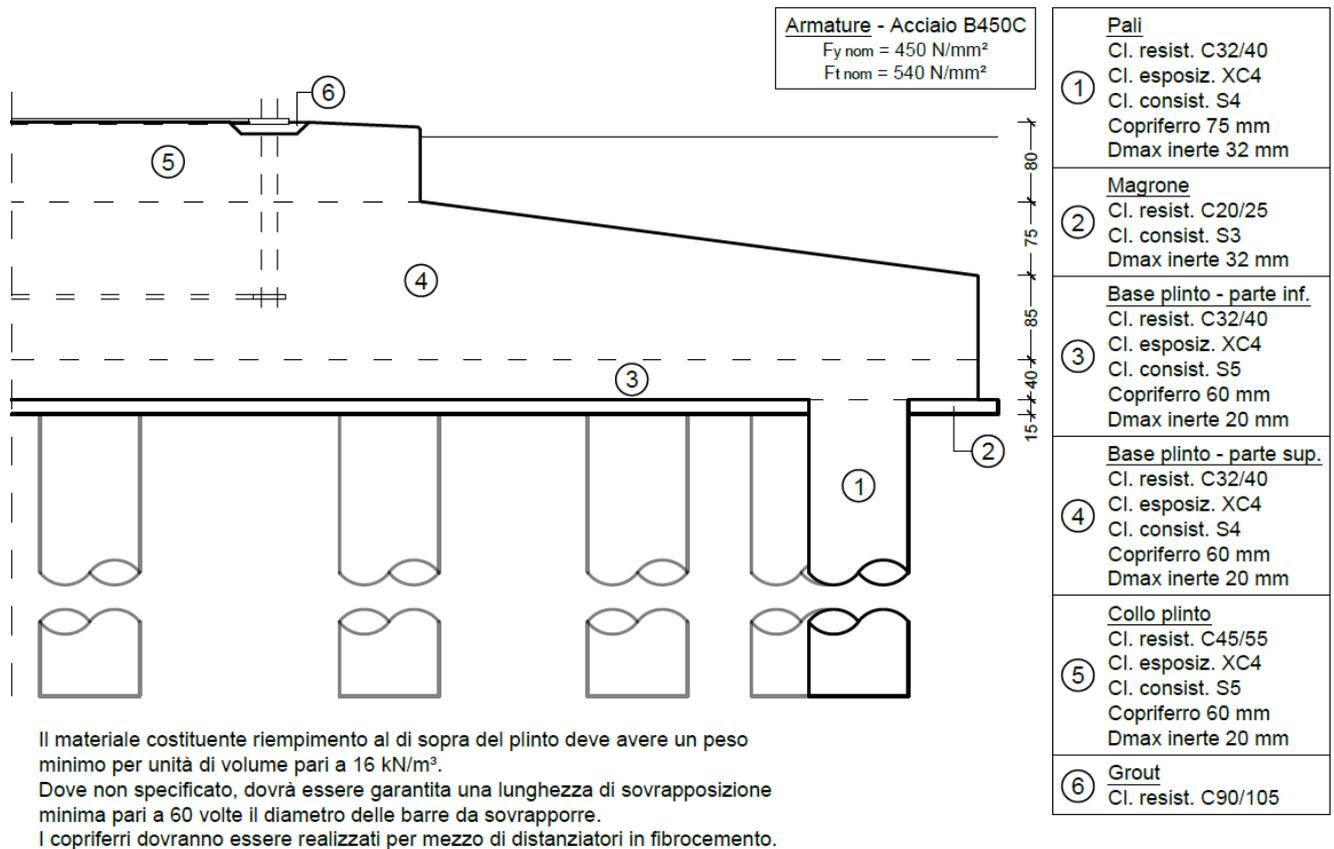
- base plinto (C32/40) $\rightarrow l_b = 30 \phi$;
- collo plinto (C45/55) $\rightarrow l_b = 25 \phi$.

La continuità tra le barre sarà effettuata mediante sovrapposizione. La sovrapposizione deve avere una lunghezza almeno tale da garantire l'ancoraggio di ciascuna barra. Tale lunghezza di sovrapposizione la si assume, in questa sede, almeno pari a 2 volte la lunghezza di ancoraggio l_b . La distanza mutua (interferro) nella sovrapposizione sarà minore o uguale a 4 volte il diametro delle barre sovrapposte.

6.3. RIEPILOGO MATERIALI

Si riepilogano di seguito, in forma tabellare, le principali caratteristiche e quantità dei materiali da adoperare per la realizzazione delle opere in progetto.

Il materiale costituente riempimento al di sopra del plinto deve avere un peso minimo per unità di volume pari a 16 kN/m³.



7. MODELLO STRUTTURALE

7.1. CRITERI DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

Metodo agli elementi finiti

L'analisi strutturale viene effettuata con il Metodo degli Elementi Finiti (F.E.M.) in ambiente PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program della 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l.

Tale metodo si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. Ciascuno degli elementi finiti utilizzati per costruire il modello della struttura è un corpo solido caratterizzato da un materiale definito dai seguenti parametri.

coefficiente di Poisson	ν [-]
modulo di Young tangenziale	G [daN/cm ²]
coefficiente di dilatazione termica	α [°K ⁻¹]
peso specifico	γ [daN/cm ³]
modulo di Young longitudinale	E [daN/cm ²]

e da m nodi ciascuno dei quali ha $g \leq 6$ gradi di libertà:

$$m = n^\circ \text{ nodi}$$

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

$g \leq 6 = n^\circ$ g.d.l. per nodo (3 traslazioni $\underline{u}_x, \underline{u}_y, \underline{u}_z$ e 3 rotazioni $\underline{\phi}_x, \underline{\phi}_y, \underline{\phi}_z$, ovvero 3 forze $\underline{f}_x, \underline{f}_y, \underline{f}_z$ e 3 momenti $\underline{m}_x, \underline{m}_y, \underline{m}_z$)

$n = m * g = n^\circ$ g.d.l. dell'elemento finito.

ed è definito dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale.

Per ogni elemento finito esiste una matrice $n * n$ di rigidezza $[K]$, che consente di definire il legame costitutivo dell'elemento finito tra il vettore delle forze \underline{f} e il vettore degli spostamenti \underline{u} ,

$$[K] \cdot \underline{u} = \underline{f} \quad (I)$$

$$\underline{f} = (\dots, \underline{f}_x, \underline{f}_y, \underline{f}_z, \underline{m}_x, \underline{m}_y, \underline{m}_z, \dots)$$

$$\underline{u} = (\dots, \underline{u}_x, \underline{u}_y, \underline{u}_z, \underline{\phi}_x, \underline{\phi}_y, \underline{\phi}_z, \dots)$$

Condizioni al contorno

Ogni elemento finito è sede di un sistema di spostamenti-deformazioni-tensioni indotto da tutte le azioni esterne (carichi), le azioni interne (trasmesse dagli altri elementi finiti) e le condizioni di vincolo.

Le 6 componenti di forza $\underline{f}_x, \underline{f}_y, \underline{f}_z, \underline{m}_x, \underline{m}_y, \underline{m}_z$, nei nodi comuni a più elementi sono pari alla somma delle componenti relative a tali elementi (equilibrio).

Le 6 componenti di spostamento nodale $\underline{u}_x, \underline{u}_y, \underline{u}_z, \underline{\phi}_x, \underline{\phi}_y, \underline{\phi}_z$, nei nodi comuni a più elementi sono identiche (congruenza).

Soluzione

Dopo aver operato per ciascun elemento finito una trasformazione di spostamenti nodali, forze nodali e matrice di rigidezza, dalle coordinate locali (1,2,3) alle coordinate globali (x,y,z):

$$\underline{u} \rightarrow \underline{u}^* = \{ \underline{u}_x, \underline{u}_y, \underline{u}_z, \underline{\phi}_x, \underline{\phi}_y, \underline{\phi}_z \}$$

$$\underline{f} \rightarrow \underline{f}^* = \{ \underline{f}_x, \underline{f}_y, \underline{f}_z, \underline{m}_x, \underline{m}_y, \underline{m}_z \}$$

$$[K] \rightarrow [K]^*$$

le relazioni (I) diventano:

$$[K]^* \cdot \underline{u}^* = \underline{f}^*$$

e possono essere assemblate in un'unica equazione matriciale del tipo:

$$[K] \cdot \underline{u} = \underline{f} \Rightarrow \underline{u} = [K]^{-1} \cdot \underline{f} \quad (II)$$

che definisce il legame costitutivo della struttura forze nodali \underline{f} – spostamenti nodali \underline{u} nel riferimento globale (x,y,z).

Secondo il Metodo degli Spostamenti, le incognite del problema sono le componenti di spostamento dei nodi del vettore \underline{u} nel sistema di riferimento globale. La soluzione del problema si ottiene risolvendo il sistema di equazioni algebriche lineari (II) i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura \underline{f} opportunamente concentrati ai nodi:

 edp renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

- 1) determinazione degli spostamenti nodali $\{u\}$ della struttura risolvendo la relazione (II), ovvero degli spostamenti $u_x, u_y, u_z, \phi_x, \phi_y, \phi_z$ di ogni nodo;
- 2) per trasformazione di coordinate, si risale alle componenti di spostamento locale ($u_1, u_2, u_3, \phi_1, \phi_2, \phi_3$) dei nodi e quindi al vettore $\{u\}$ di ciascun elemento finito;
- 3) dagli spostamenti $\{u\}$, utilizzando il legame costitutivo dell'elemento finito (I) si risale alle forze nodali $\{f\}$, da cui è possibile dedurre sollecitazioni, deformazioni e tensioni dell'elemento, riferite alla terna locale (1, 2, 3) dell'elemento stesso.

Informazioni sul codice di calcolo

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo:

produttore:	2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l., Ferrara
nome:	PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program
versione:	PROFESSIONAL
codice utente:	001757/cli
nome utente:	Massimo Magnotta
codice licenza:	dsi3641
numero seriale:	H622163X84664H4

Affidabilità dei codici utilizzati:

2S.I. ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

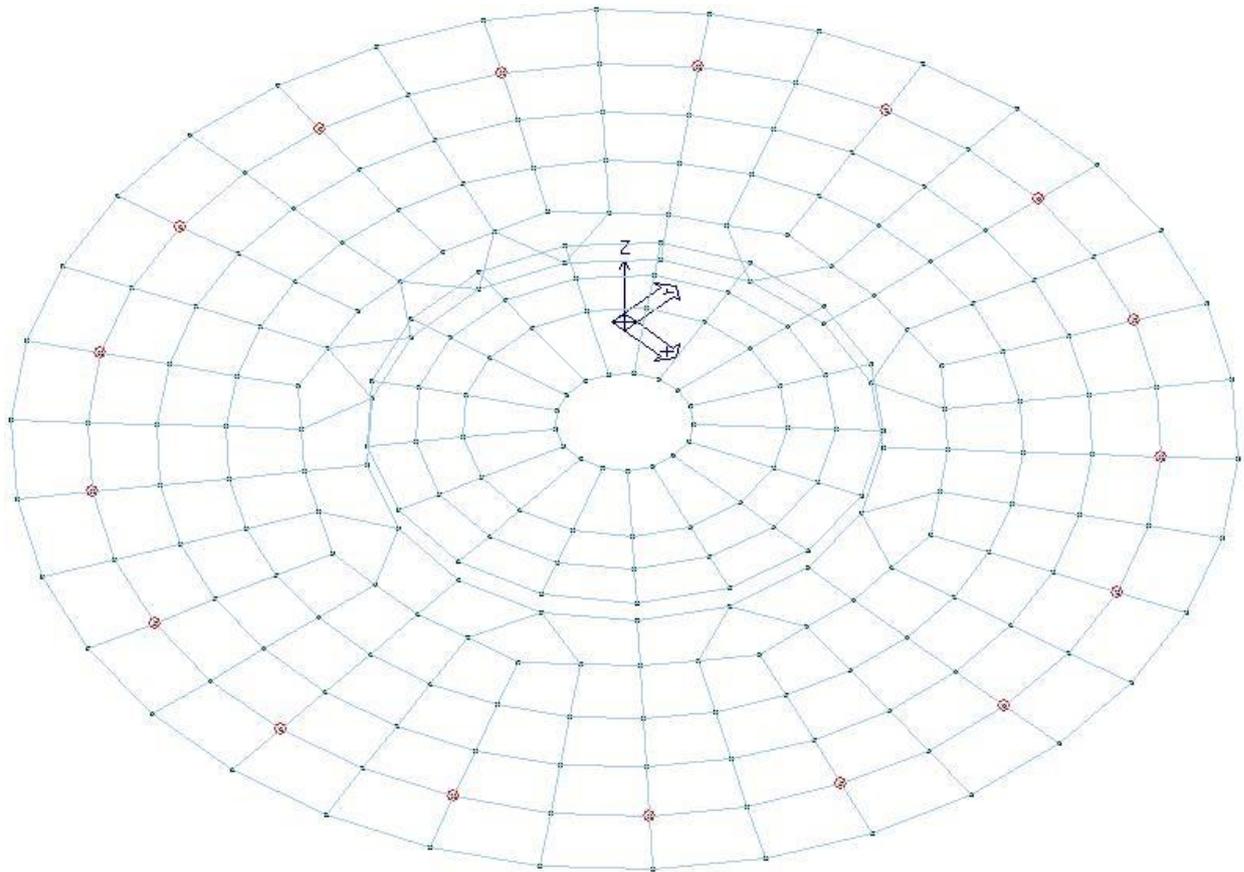
E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link:
<http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm>

Informazioni generali sull'elaborazione e giudizio motivato di accettabilità dei risultati:

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi. Si può pertanto asserire che l'elaborazione sia corretta e completa. I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

8. DEFINIZIONE DEL MODELLO

Il modello strutturale agli elementi finiti, di cui di seguito si riportano delle immagini, è stato concepito mirando ad ottenere per quanto più possibile l'aderenza alla realtà.



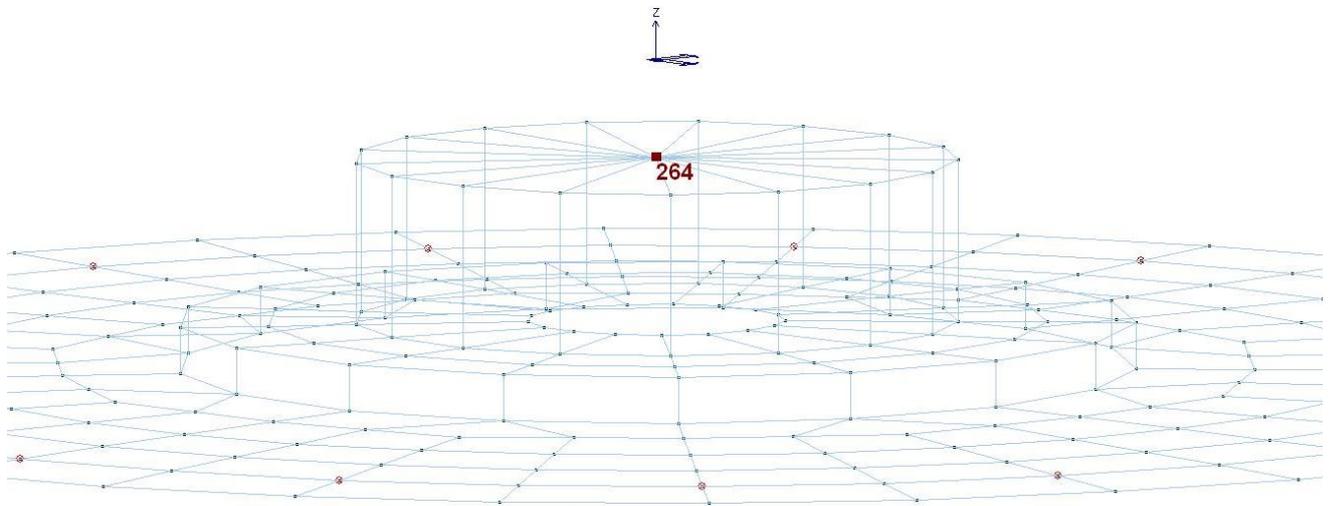
Modello F.E.M. – Vista assonometrica

Il plinto circolare a spessore variabile è stato modellato per mezzo di elementi shell su molle alla winkler, in 8 corone circolari concentriche con diametro variabile.

Gli elementi guscio costituenti il plinto sono stati concepiti sul piano medio del plinto reale e traslati verticalmente verso il basso per garantire il loro posizionamento sul reale piano di posa della fondazione al fine di garantire la correttezza del calcolo dei parametri relativi all'interazione col terreno.

Le sollecitazioni sono applicate nel baricentro della sezione di base della torre. Tali azioni devono essere trasmesse integralmente lungo la circonferenza di base della torre. La necessità di trasmettere integralmente tali sollecitazioni ha reso necessario l'uso di elementi guscio privi di peso ed infinitamente rigidi, ovvero caratterizzati da modulo di Young E adeguatamente maggiore dello stesso parametro degli elementi collegati.

A tal proposito, le azioni alla base della torre sono applicate in un nodo coincidente con il centro di un "disco" infinitamente rigido che, assieme al cilindro sottostante, funge da ripartitore degli sforzi sul plinto lungo una circonferenza che rappresenta l'ingombro di base della torre.



Modello F.E.M. – Sistema di applicazione dei carichi

Con riferimento alla zona di passaggio dal collo del plinto alla restante parte con spessore minore, le sollecitazioni interne devono potersi trasmettere mutuamente malgrado i relativi piani medi siano disposti a quote diverse. In corrispondenza di tale brusca variazione di spessore i gusci sono collegati da un cilindro modellato con elementi guscio il cui materiale ha le stesse proprietà di quello utilizzato per la "base della torre", tali da poter essere considerato rigido e privo di peso.

Le costanti di Winkler delle molle verticali k_v e orizzontali k_h sono state ricavate come rapporto tra l'incremento di pressione sul suolo rispetto alla geostatica (calcolata alla Boussinesq) e il cedimento corrispondente (nell'ipotesi di strato deformabile fino alla profondità definita):

$$k_v = \frac{\Delta\sigma_v}{w_{ed}} \quad k_h = \frac{\Delta\tau}{w_h}$$

Esse hanno variabilità radiale, cioè risultano costanti per ciascuna delle corone circolari.

La palificata ipotizzata è caratterizzata da 17 pali trivellati di grande diametro realizzati in conglomerato cementizio armato, aventi diametro pari a 1 metro e lunghezza pari a 22 metri per tutte le fondazioni in progetto.

I pali sono disposti ad interasse $i = 3.12 \text{ m} > 3 d_{palo}$. L'elemento finito utilizzato è la trave su molle.

- Molle orizzontali (Chiarugi – Maia):

$$k_h = \frac{E_{ed}}{d(1-\nu_s^2)} \sqrt[12]{\frac{E_{ed}d^4}{E_p I_p}} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{z}{d}\right)$$

in cui:

d diametro palo;

I_p momento d'inerzia sezione trasversale palo;

E_p modulo di Young palo;



E_{ed} modulo edometrico terreno:

ν_s coefficiente di Poisson terreno:

z profondità dalla sommità del palo.

- Molle verticali:

$$K_{v,p} = \frac{Q_p}{w_{tot}} \quad K_{v,i} = \frac{Q_{l,i}}{S_{l,i} \cdot W_{tot}} \quad (\text{operazione da farsi per ogni strato omogeneo})$$

in cui:

$k_{v,p}$ cost. winkler verticale alla punta;

$k_{v,i}$ cost. winkler verticale lungo il fusto del palo allo strato i-esimo;

Q_p carico limite alla punta;

$Q_{l,i}$ carico limite laterale riferito allo strato i-esimo;

$S_{l,i} = d\pi L_i$ superficie laterale del palo allo strato i-esimo;

w_{tot} cedimento totale palo.

Le teste dei pali corrispondono ai seguenti nodi del modello agli elementi finiti. (Da tenere in conto anche per la lettura dei tabulati di calcolo).

testa palo 1 → nodo 98

testa palo 10 → nodo 79

testa palo 2 → nodo 123

testa palo 11 → nodo 47

testa palo 3 → nodo 157

testa palo 12 → nodo 19

testa palo 4 → nodo 175

testa palo 13 → nodo 9

testa palo 5 → nodo 181

testa palo 14 → nodo 8

testa palo 6 → nodo 178

testa palo 15 → nodo 14

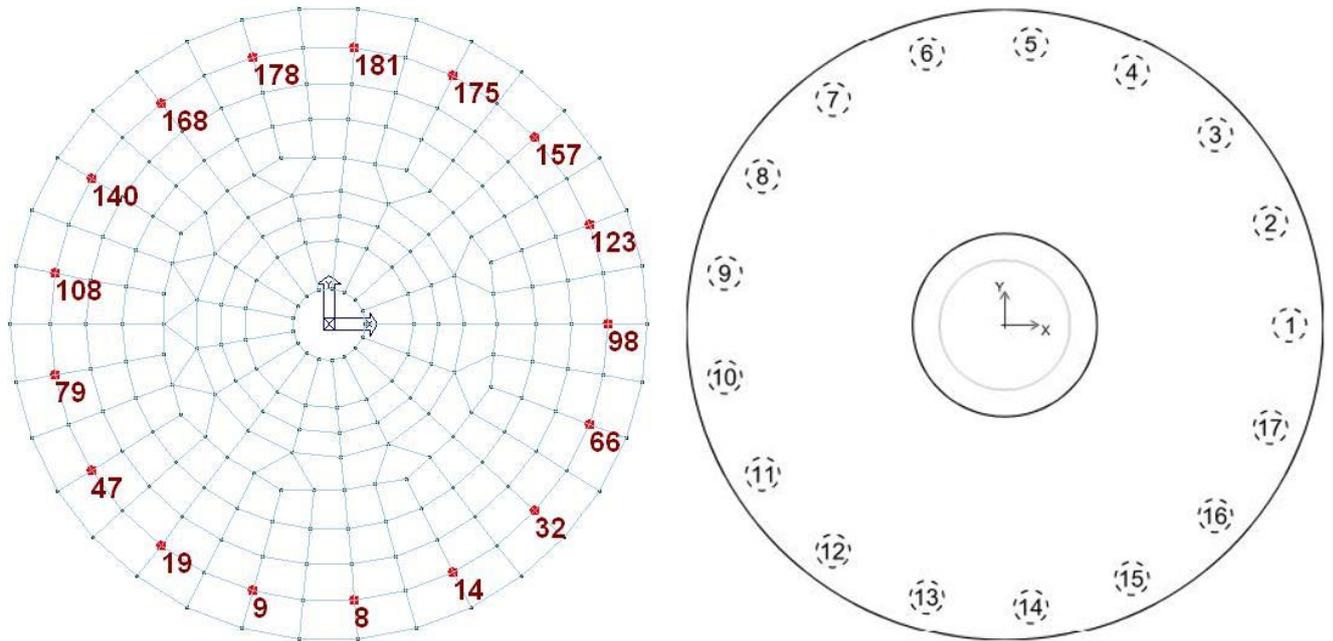
testa palo 7 → nodo 168

testa palo 16 → nodo 32

testa palo 8 → nodo 140

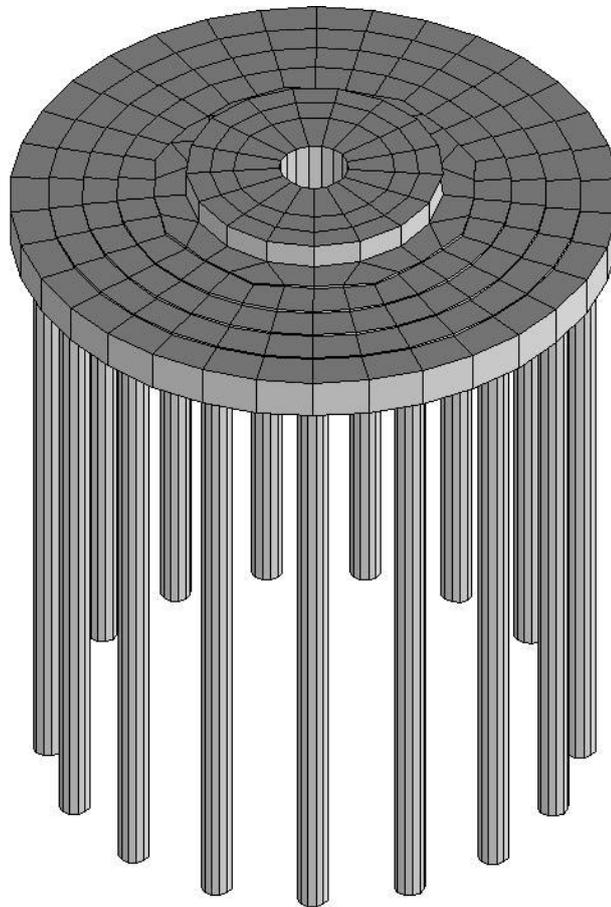
testa palo 17 → nodo 66

testa palo 9 → nodo 108



Modello F.E.M. – Pali

Di seguito si riporta una illustrazione del modello F.E.M. mediante rappresentazione solida.



Modello F.E.M. – Vista 3D

Di seguito si riportano in forma sintetica i dati generali relativi al modello di calcolo agli elementi finiti.

- Modellazione della geometria e proprietà meccaniche:

nodi	273
elementi D2 (per aste, travi, pilastri...)	0
elementi D3 (per pareti, platee, gusci...)	265
elementi solaio	0
elementi solidi	0

- Dimensione del modello strutturale [cm]:

X min =	-970.00
Xmax =	970.00
Ymin =	-965.86
Ymax =	965.86

- Strutture verticali:

Elementi di tipo asta	NO
Pilastri	NO
Pareti	SI
Setti (a comportamento membranale)	NO

- Strutture non verticali:

Elementi di tipo asta	NO
Travi	NO
Gusci	SI
Membrane	NO

- Orizzontamenti:

	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

Zmin =	-265.00	Solai con la proprietà piano rigido	NO
Zmax =	-85.50	Solai senza la proprietà piano rigido	NO
		<i>- Tipo di vincoli:</i>	
		Nodi vincolati rigidamente	NO
		Nodi vincolati elasticamente	NO
		Nodi con isolatori sismici	NO
		Fondazioni puntuali (plinti/plinti su palo)	SI
		Fondazioni di tipo trave	NO
		Fondazioni di tipo platea	NO
		Fondazioni con elementi solidi	NO

9. RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE

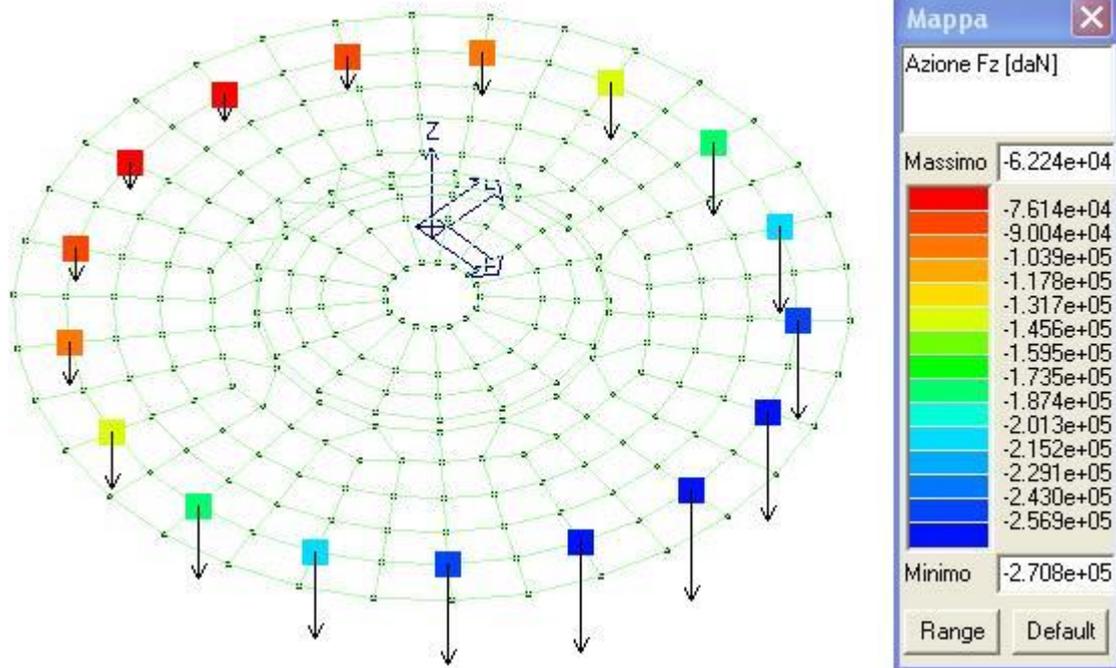
9.1. RISULTATI PALI

Per le verifiche geotecniche, a vantaggio di sicurezza si considera il solo apporto dei pali, trascurando completamente il contributo del plinto. I seguenti risultati relativi ai pali di fondazione, quindi, rinvengono dalla suddetta configurazione.

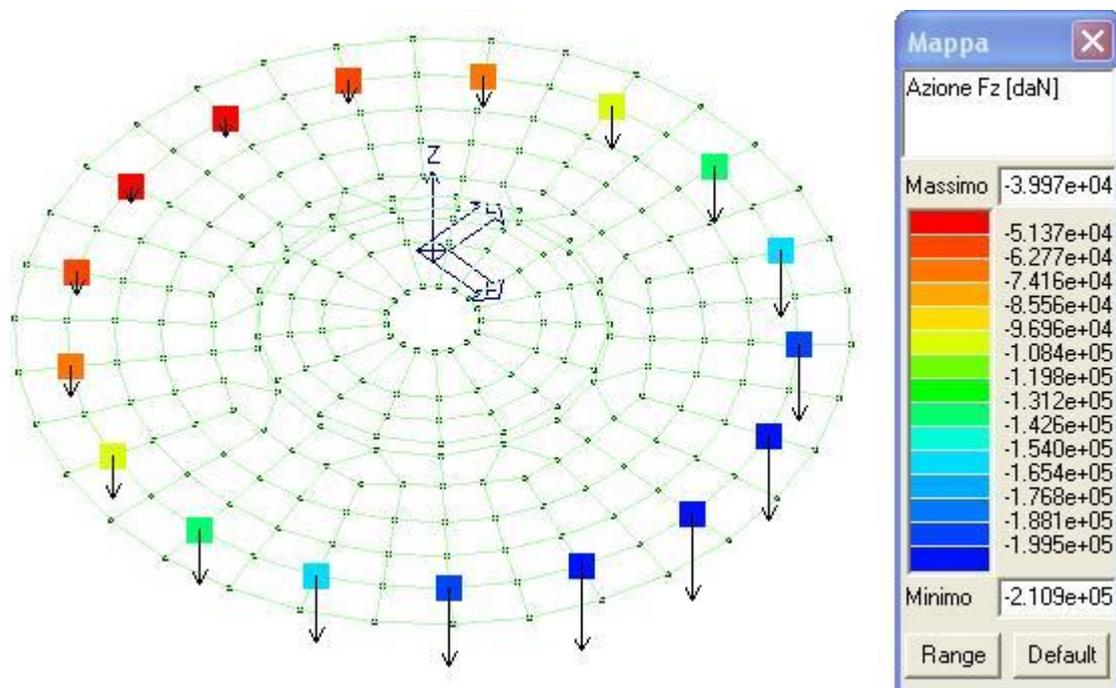
Il controllo dei risultati delle analisi condotte, per quanto concerne gli elementi pali di fondazione, è possibile in relazione alle sottoriportate mappe di colore rappresentative degli stati di sollecitazione.

Nelle immagini che seguono, ad ogni elemento palo corrisponde una rappresentazione cromatica a cui è associata una legenda che riporta i valori numerici delle azioni.

Di seguito si riportano alcune mappe di colore rappresentative delle massime azioni di sforzo normale che il plinto imprime sui pali nelle condizioni peggiorative agli SLU ed agli SLE.



Mapa cromatica delle massime azioni di sforzo normale sui pali – Combinazione 4) SLU (d)



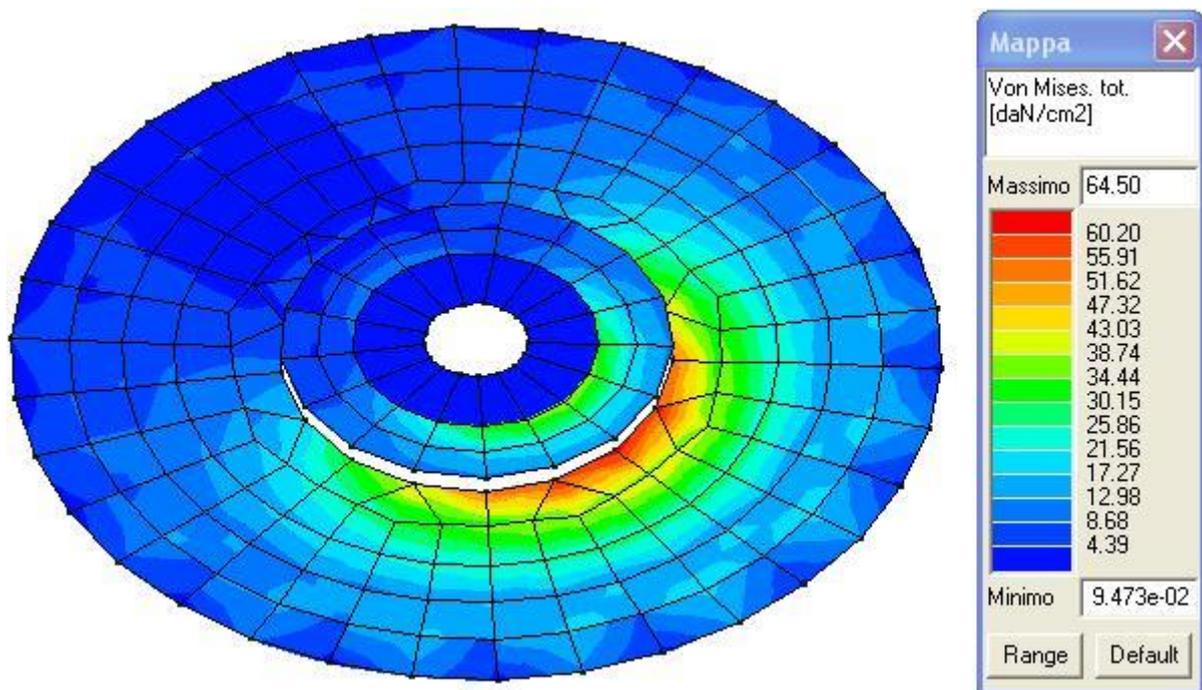
Mapa cromatica delle massime azioni di sforzo normale sui pali – Combinazione 7) SLE RA (c)

9.2. RISULTATI ELEMENTI TIPO SHELL - PLINTO

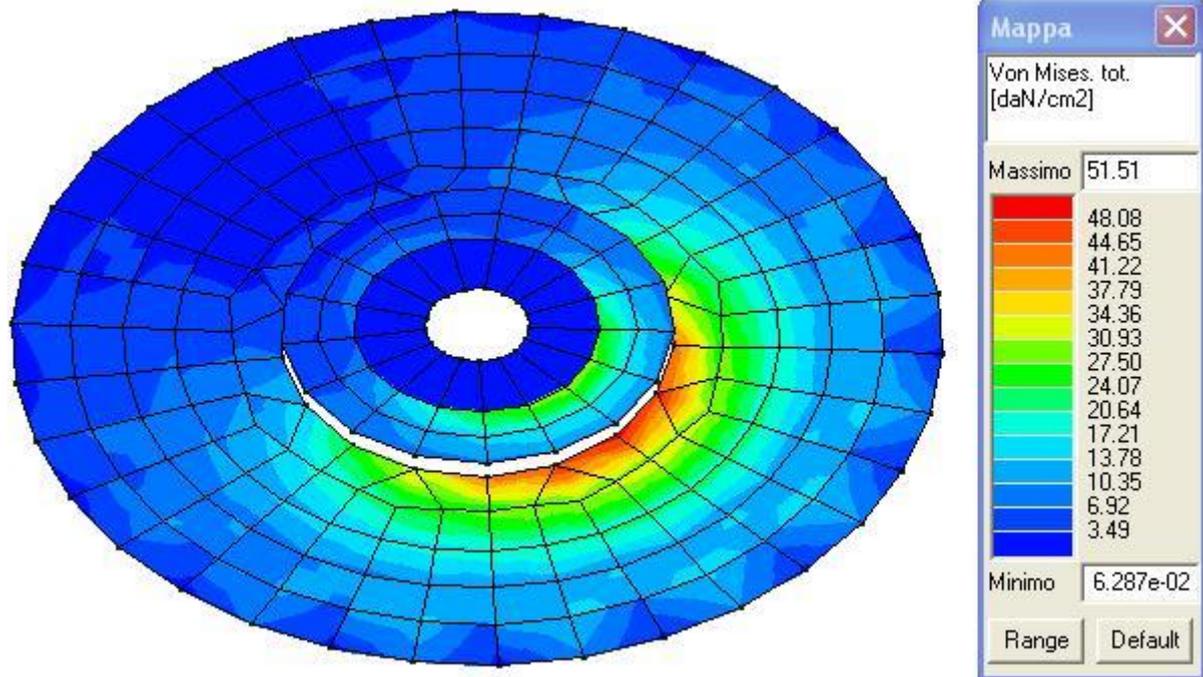
Il controllo dei risultati delle analisi condotte, per quanto concerne gli elementi tipo shell costituenti il plinto di fondazione, è possibile in relazione alle sottoriportate mappe di colore rappresentative degli stati tensionali.

Nelle immagini che seguono, ad ogni elemento corrisponde una rappresentazione cromatica a cui è associata una legenda che riporta i valori numerici delle tensioni.

Di seguito si riportano alcune mappe di colore rappresentative delle tensioni totali (membrana + flessione) ottenute mediante la formulazione di Von Mises per le combinazioni di carico SLU e SLE che massimizzano gli effetti delle azioni.



*Mappa cromatica delle tensioni totali (membrana + flessione) ottenute mediante la formulazione di Von Mises –
Combinazione 4) SLU (d)*



Mapa cromatica delle tensioni totali (membrana + flessione) ottenute mediante la formulazione di Von Mises – Combinazione 7) SLE RA (c)

10. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

10.1. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Verifica di equilibrio del corpo rigido

Di seguito si riportano le risultanze della verifica di equilibrio del corpo rigido torre-fondazione ipotizzando, a vantaggio di sicurezza, la fondazione in assenza dei pali.

Dal riepilogo dei carichi trasmessi dalla torre alla fondazione si evince che la condizione di carico peggiorativa per il tipo di verifica in oggetto è la SLU 15 che riporta i seguenti valori di progetto dei carichi.

CDC	Fz [kN]	Fx [kN]	My [kN*m]
SLU 15	-4 401.9	831.9	72 466.0

I suddetti carichi sono applicati sulla superficie superiore del collo del plinto.

Il plinto ha un peso proprio pari a $P_{pl.} = V_{pl.} \cdot \gamma_{c.a.} = 600 \text{ m}^3 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 15000 \text{ kN}$, dove $V_{pl.}$ è il volume del plinto pari a 600 m^3 e $\gamma_{c.a.}$ è il peso specifico del c.a. pari a 25 kN/m^3 .

A vantaggio di sicurezza, si trascura il contributo stabilizzante dato dal terreno di ricoprimento del plinto in quanto questo si caratterizza come carico permanente non strutturale. Nell'ottica di operare a vantaggio di sicurezza si trascura, inoltre, il contributo stabilizzante dato dalla sollecitazione Fz.

	<p>Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete</p> <p>Wind Farm "CIAVATTA"</p>	<p>Aprile 2021</p>
--	--	--------------------

I carichi F_x e M_y riferiti alla sopra riportata condizione di carico SLU 15, a vantaggio di sicurezza sono stati ipotizzati non factorizzati. Tali valori, quindi, considerati come valori caratteristici, assieme al peso proprio del plinto sono stati combinati con i fattori parziali di sicurezza di cui alla colonna EQU della Tabella 2.6.I delle NTC 2018.

$$F_x = 831.9 \text{ kN} * 1.5 = 1247.9 \text{ kN}$$

$$M_y = 72466.0 \text{ kNm} * 1.5 = 108699.0 \text{ kNm}$$

$$P_{.pl.} = 15000.0 \text{ kN} * 0.9 = 13500.0 \text{ kN}$$

Di seguito si riporta il valore dei bracci delle suddette forze rispetto al punto all'estremo laterale inferiore della sezione del plinto, rispetto al quale si conduce la verifica a ribaltamento.

$$B(F_x) = 2.80 \text{ m}$$

$$B(P_{.pl.}) = 11.00 \text{ m}$$

Di seguito si riportano i valori dei momenti ribaltante M_{rib} e stabilizzante M_{stab} .

$$M_{rib} = F_x * B(F_x) + M_y = 112193 \text{ kNm}$$

$$M_{stab} = P_{.pl.} * B(P_{.pl.}) = 148500 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta in quanto $M_{stab} > M_{rib}$. ($M_{stab} / M_{rib} = 1,32$).

Verifica della capacità portante

Per quanto attiene i valori dei parametri geotecnici posti a base delle calcolazioni illustrate nel presente elaborato, si faccia utile riferimento a quanto riportato negli elaborati "Relazione geologica" e "Relazione geotecnica".

Per le verifiche geotecniche, a vantaggio di sicurezza si considera il solo apporto dei pali, trascurando completamente il contributo del plinto. I seguenti risultati, quindi, rinvengono dalla suddetta configurazione.

Le verifiche degli stati limite geotecnici sono state condotte con riferimento alle condizioni di carico ed ai parametri geotecnici sopra riportati.

Di seguito si riporta l'elenco dei parametri di calcolo adottati.

Modalità di calcolo della portanza verticale per fondazioni profonde:

- Per elementi con pali: Portanza di punta e laterale

Metodi di calcolo della portanza di punta per fondazioni profonde:

- Per terreni sciolti: Vesic

- Riduzione della tensione litostatica: No

- Per terreni lapidei: Terzaghi

- Riduzione di Kishida per pali battuti o trivellati: Si

Coefficienti parziali e totali di sicurezza per Tensioni Ammissibili e S.L.E. nel calcolo della portanza per fondazioni profonde:

- Coeff. di sicurezza alla punta: 2.50



- Coeff. di sicurezza lungo il fusto: 2.50
- Coeff. di sicurezza lungo il bulbo: 2.50
- Coeff. di sicurezza per palo in trazione: 2.50

Combinazioni di carico:

APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)

Coefficienti parziali e totali di sicurezza per S.L.U. nel calcolo della portanza per pali trivellati:

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per Tan(fi) (statico): 1
- Coeff. M1 per c' (statico): 1
- Coeff. M1 per Cu (statico): 1
- Coeff. M1 per Tan(fi) (sismico): 1
- Coeff. M1 per c' (sismico): 1
- Coeff. M1 per Cu sismico): 1
- Coeff. R3 base: 1.35
- Coeff. R3 laterale in compressione: 1.15
- Coeff. R3 laterale in trazione: 1.25

Per la determinazione della portanza verticale di fondazioni profonde si fa riferimento a due contributi: la "portanza di punta" e la "portanza per attrito laterale". Queste due componenti, in genere, sono calcolate in maniera autonoma dato che risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico è assorbita dall'attrito laterale e quanta dalla resistenza alla punta. Nel seguito, ai fini del calcolo della portanza verticale, si assumeranno le seguenti espressioni generali valide per il caso di palo soggetto a compressione e per il caso di palo soggetto a trazione:

$$Q_C = \frac{Q_P}{\eta_P} + \frac{Q_L}{\eta_L} - W_{ATT.NEG.} - W_P \quad (\text{caso di palo in compressione}) \quad Q_T = \frac{Q_L}{\eta_L} + W_P \quad (\text{caso di palo in trazione})$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- Q_C valore di verifica a compressione del palo;
- Q_T valore di verifica a trazione del palo;
- Q_P valore del carico limite verticale alla punta del palo;
- Q_L valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo;
- W_{ATT.NEG.} valore dell'attrito negativo agente sul palo;
- W_P valore del peso totale del palo.
- η_P coefficiente di sicurezza per carico limite verticale alla punta del palo;
- η_L coefficiente di sicurezza per carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo.

I valori del carico limite verticale alla punta del palo "QP" e del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo "QL" sono determinati con le note "formule statiche". Queste esprimono i valori di cui sopra in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche geotecniche del terreno in cui è immerso, modalità esecutiva e dell'interfaccia palo-terreno.

Di seguito si riportano, per tutti i pali, le risultanze della verifica condotta in condizioni drenate.



Elemento: 8 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-170500.0	0,280	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-170600.0	0,280	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-167600.0	0,275	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-175300.0	0,288	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 9 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-132100.0	0,217	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-167200.0	0,274	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-155400.0	0,255	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-136900.0	0,225	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 14 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-207600.0	0,341	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-173800.0	0,285	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-179400.0	0,294	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-212400.0	0,349	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 19 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-97610.0	0,160	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-164100.0	0,269	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-144400.0	0,237	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-102400.0	0,168	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 32 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			



001	1	0.000	0.000	-238300.0	0,391	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-176500.0	0,290	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-189200.0	0,311	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-243200.0	0,399	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 47 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-71620.0	0,118	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-161800.0	0,266	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-136100.0	0,223	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-76420.0	0,125	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 66 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-258600.0	0,424	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-178300.0	0,293	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-195700.0	0,321	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-263400.0	0,432	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 79 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-57670.0	0,095	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-160500.0	0,263	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-131600.0	0,216	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-62470.0	0,103	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 98 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-265700.0	0,436	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-179000.0	0,294	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-197900.0	0,325	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-270500.0	0,444	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4



Elemento: 108 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-57670.0	0,095	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-160500.0	0,263	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-131600.0	0,216	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-62470.0	0,103	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 123 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-258600.0	0,424	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-178300.0	0,293	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-195700.0	0,321	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-263400.0	0,432	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 140 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-71620.0	0,118	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-161800.0	0,266	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-136100.0	0,223	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-76420.0	0,125	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 157 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-238300.0	0,391	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-176500.0	0,290	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-189200.0	0,311	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-243200.0	0,399	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 168 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-97610.0	0,160	----	Ok



002	1	0.000	0.000	-164100.0	0,269	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-144400.0	0,237	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-102400.0	0,168	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 175 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-207600.0	0,341	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-173800.0	0,285	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-179400.0	0,294	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-212400.0	0,349	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 178 - Palo singolo

Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-132100.0	0,217	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-167200.0	0,274	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-155400.0	0,255	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-136900.0	0,225	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 181 - Palo singolo

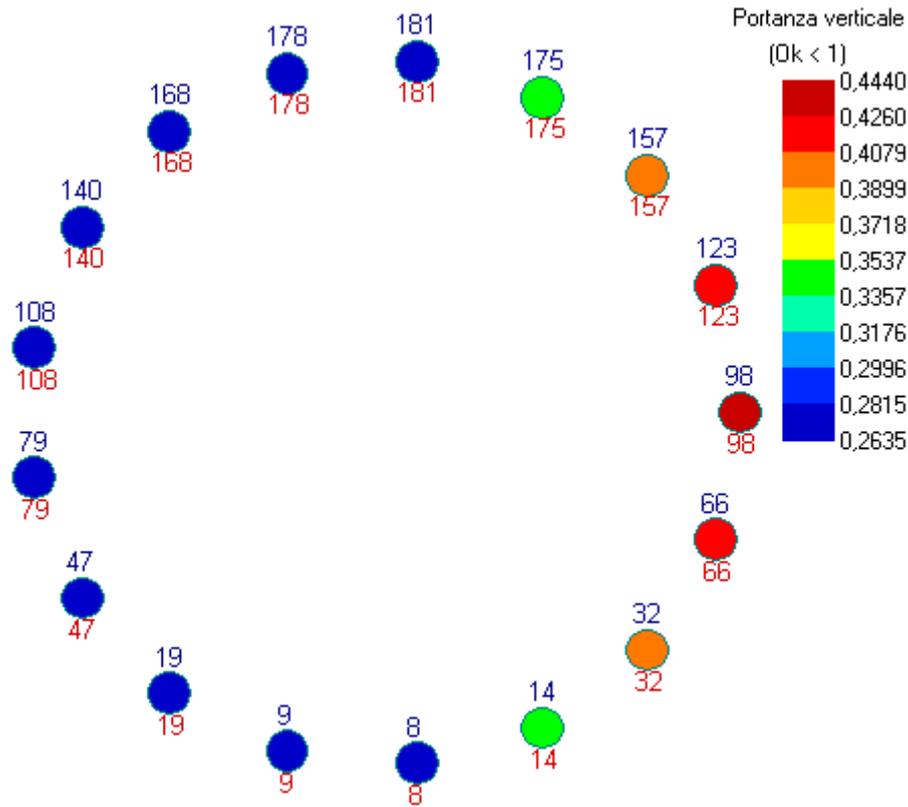
Port. lat.= 560021.2 daN, Port. punta = 835780.6 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -609200.6 daN, trazione (+) = 304969.1 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-170500.0	0,280	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-170600.0	0,280	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-167600.0	0,275	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-175300.0	0,288	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

L'immagine che segue riporta la schematizzazione grafica delle verifiche di capacità portante dei pali.



Di seguito si riportano, per tutti i pali, le risultanze della verifica condotta in condizioni non drenate.

Elemento: 8 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-170500.0	0,628	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-170600.0	0,629	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-167600.0	0,618	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-175300.0	0,646	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 9 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-132100.0	0,487	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-167200.0	0,616	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-155400.0	0,573	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-136900.0	0,505	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2



Elemento: 14 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-207600.0	0,765	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-173800.0	0,641	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-179400.0	0,661	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-212400.0	0,783	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 19 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-97610.0	0,360	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-164100.0	0,605	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-144400.0	0,532	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-102400.0	0,377	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 32 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-238300.0	0,878	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-176500.0	0,651	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-189200.0	0,697	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-243200.0	0,896	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 47 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-71620.0	0,264	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-161800.0	0,596	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-136100.0	0,502	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-76420.0	0,282	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 66 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN



N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-258600.0	0,953	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-178300.0	0,657	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-195700.0	0,721	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-263400.0	0,971	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 79 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-57670.0	0,213	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-160500.0	0,592	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-131600.0	0,485	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-62470.0	0,230	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 98 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-265700.0	0,979	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-179000.0	0,660	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-197900.0	0,730	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-270500.0	0,997	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 108 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-57670.0	0,213	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-160500.0	0,592	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-131600.0	0,485	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-62470.0	0,230	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 123 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			



001	1	0.000	0.000	-258600.0	0,953	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-178300.0	0,657	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-195700.0	0,721	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-263400.0	0,971	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 140 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-71620.0	0,264	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-161800.0	0,596	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-136100.0	0,502	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-76420.0	0,282	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 157 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-238300.0	0,878	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-176500.0	0,651	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-189200.0	0,697	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-243200.0	0,896	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 168 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-97610.0	0,360	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-164100.0	0,605	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-144400.0	0,532	----	Ok
004	1	0.000	0.000	-102400.0	0,377	----	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 175 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-207600.0	0,765	----	Ok
002	1	0.000	0.000	-173800.0	0,641	----	Ok
003	1	0.000	0.000	-179400.0	0,661	----	Ok

 edp renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

004 1 0.000 0.000 -212400.0 0,783 - - - - Ok
 Situazione più gravosa in cmb n. 4

Elemento: 178 - Palo singolo

Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-132100.0	0,487	- - - -	Ok
002	1	0.000	0.000	-167200.0	0,616	- - - -	Ok
003	1	0.000	0.000	-155400.0	0,573	- - - -	Ok
004	1	0.000	0.000	-136900.0	0,505	- - - -	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 2

Elemento: 181 - Palo singolo

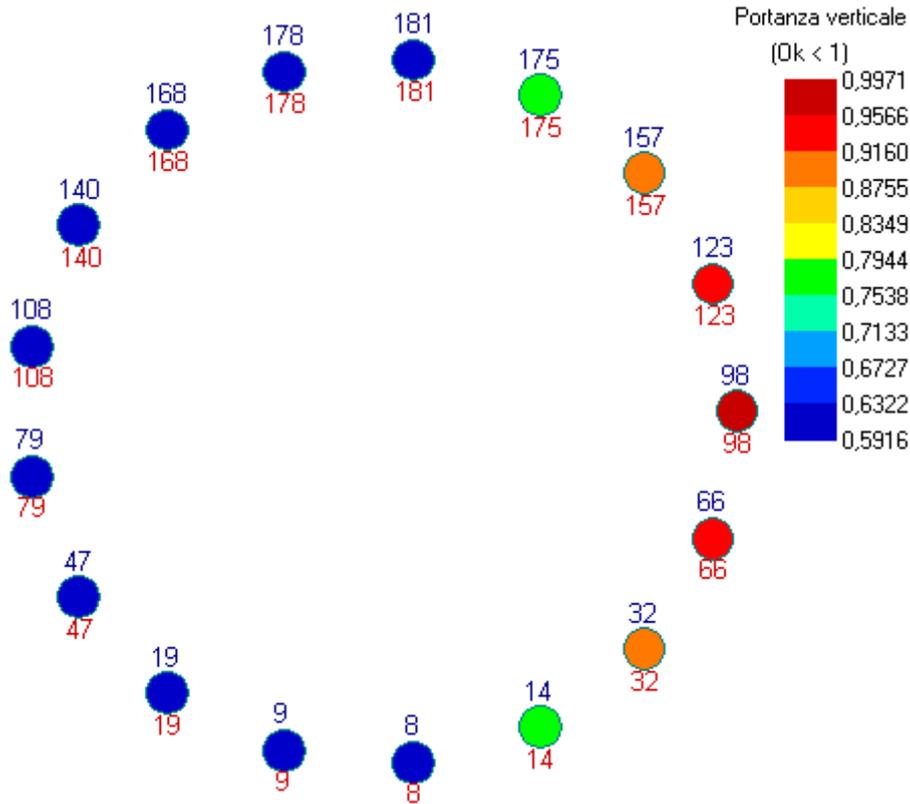
Port. lat.= 451180.2 daN, Port. punta = 188025.1 daN, P.P.Palo = 41429.8 daN

N lim palo: compressione (-) = -271281.1 daN, trazione (+) = 253749.8 daN

Cmb.	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ver.N-	Ver.N+	Stato
n.	n.	cm	cm	daN			
001	1	0.000	0.000	-170500.0	0,628	- - - -	Ok
002	1	0.000	0.000	-170600.0	0,629	- - - -	Ok
003	1	0.000	0.000	-167600.0	0,618	- - - -	Ok
004	1	0.000	0.000	-175300.0	0,646	- - - -	Ok

Situazione più gravosa in cmb n. 4

L'immagine che segue riporta la schematizzazione grafica delle verifiche di capacità portante dei pali.



10.2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Calcolo dei cedimenti

Di seguito si riportano, in forma tabellare, i valori di calcolo dei cedimenti dei pali nelle condizioni agli SLE.

Elemento: 8 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-128100.0	0.575
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-125500.0	0.563
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-132700.0	0.596
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-127400.0	0.572
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-124800.0	0.560
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-132000.0	0.593
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-127300.0	0.571
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-124700.0	0.560
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-131900.0	0.592

Elemento: 9 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-121600.0	0.546
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-120800.0	0.542
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-101200.0	0.454
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-123700.0	0.555
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-122900.0	0.552



Wind Farm "CIAVATTA"

010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-103300.0	0.464
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-124000.0	0.557
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-123100.0	0.553
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-103600.0	0.465

Elemento: 14 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-134400.0	0.603
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-130100.0	0.584
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-163100.0	0.732
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-130900.0	0.588
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-126700.0	0.569
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-159700.0	0.717
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-130500.0	0.586
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-126300.0	0.567
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-159300.0	0.715

Elemento: 19 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-115800.0	0.520
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-116500.0	0.523
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-72910.0	0.327
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-120400.0	0.541
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-121100.0	0.544
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-77510.0	0.348
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-121000.0	0.543
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-121700.0	0.546
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-78090.0	0.351

Elemento: 32 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-139500.0	0.626
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-133900.0	0.601
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-188300.0	0.845
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-133900.0	0.601
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-128300.0	0.576
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-182700.0	0.820
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-133200.0	0.598
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-127600.0	0.573
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-182000.0	0.817

Elemento: 47 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-111400.0	0.500
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-113300.0	0.509
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-51600.0	0.232
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-117900.0	0.529
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-119800.0	0.538
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-58090.0	0.261
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-118700.0	0.533
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-120600.0	0.541
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-58900.0	0.264



Elemento: 66 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-143000.0	0.642
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-136400.0	0.612
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-205000.0	0.920
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-135900.0	0.610
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-129300.0	0.580
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-197800.0	0.888
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-135000.0	0.606
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-128400.0	0.576
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-196900.0	0.884

Elemento: 79 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-109000.0	0.489
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-111500.0	0.501
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-40160.0	0.180
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-116500.0	0.523
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-119000.0	0.534
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-47660.0	0.214
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-117400.0	0.527
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-120000.0	0.539
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-48600.0	0.218

Elemento: 98 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-144200.0	0.647
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-137300.0	0.616
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-210800.0	0.946
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-136500.0	0.613
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-129700.0	0.582
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-203100.0	0.912
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-135600.0	0.609
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-128700.0	0.578
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-202200.0	0.908

Elemento: 108 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-109000.0	0.489
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-111500.0	0.501
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-40160.0	0.180
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-116500.0	0.523
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-119000.0	0.534
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-47660.0	0.214
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-117400.0	0.527
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-120000.0	0.539
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-48600.0	0.218

Elemento: 123 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-143000.0	0.642
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-136400.0	0.612



Wind Farm "CIAVATTA"

007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-204900.0	0.920
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-135900.0	0.610
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-129300.0	0.580
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-197800.0	0.888
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-135000.0	0.606
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-128400.0	0.576
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-196900.0	0.884

Elemento: 140 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-111400.0	0.500
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-113300.0	0.509
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-51600.0	0.232
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-117900.0	0.529
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-119800.0	0.538
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-58080.0	0.261
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-118700.0	0.533
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-120600.0	0.541
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-58900.0	0.264

Elemento: 157 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-139500.0	0.626
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-133900.0	0.601
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-188300.0	0.845
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-133900.0	0.601
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-128300.0	0.576
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-182700.0	0.820
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-133200.0	0.598
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-127600.0	0.573
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-182000.0	0.817

Elemento: 168 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-115800.0	0.520
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-116500.0	0.523
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-72910.0	0.327
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-120400.0	0.541
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-121100.0	0.544
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-77510.0	0.348
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-120900.0	0.543
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-121700.0	0.546
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-78080.0	0.351

Elemento: 175 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-134300.0	0.603
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-130100.0	0.584
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-163100.0	0.732
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-130900.0	0.588
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-126700.0	0.569
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-159700.0	0.717
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-130500.0	0.586



Wind Farm "CIAVATTA"

012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-126300.0	0.567
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-159300.0	0.715

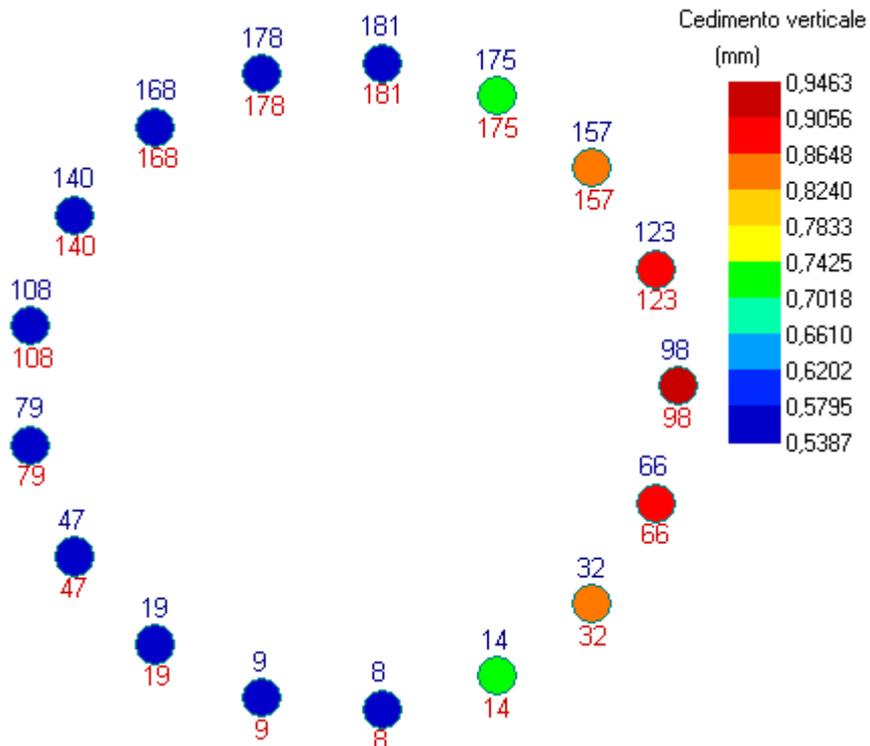
Elemento: 178 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-121600.0	0.546
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-120800.0	0.542
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-101200.0	0.454
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-123700.0	0.555
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-122900.0	0.552
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-103300.0	0.464
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-124000.0	0.557
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-123100.0	0.553
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-103600.0	0.465

Elemento: 181 - Palo singolo

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	mm
005 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-128100.0	0.575
006 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-125500.0	0.563
007 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-132700.0	0.596
008 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-127400.0	0.572
009 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-124800.0	0.560
010 (SLE freq)	1	0.000	0.000	-132000.0	0.593
011 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-127300.0	0.571
012 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-124700.0	0.560
013 (SLE q.p.)	1	0.000	0.000	-131900.0	0.592

L'immagine seguente riepiloga in forma grafica i cedimenti massimi.



	<p>Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete</p> <p>Wind Farm "CIAVATTA"</p>	<p>Aprile 2021</p>
--	--	--------------------

11. PIANO DI MANUTENZIONE DELLE STRUTTURE

Il piano di manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenere nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico.

Il piano di manutenzione è costituito dai seguenti documenti operativi:

- il manuale d'uso;
- il manuale di manutenzione comprensivo del programma di manutenzione.

11.1. MANUALE D'USO

Il manuale d'uso si riferisce all'uso delle parti più importanti dell'opera, con particolare riferimento alle parti che possono generare rischi per un uso scorretto. Il manuale d'uso contiene informazioni sulla collocazione delle parti interessate nell'intervento, la loro rappresentazione grafica, descrizione e modalità di uso corretto.

Strutture di fondazione:

Descrizione: Fondazioni profonde. Plinto a pianta circolare di diametro pari a 22 m ed altezza variabile da un minimo di 125 cm, sulla circonferenza di bordo, ad un massimo di 280 cm in zona centrale.

N. 17 pali aventi diametro pari a 1 m, disposti in cerchio con asse a distanza di 120 cm dal bordo plinto. La lunghezza dei pali è pari a 22 metri.

Collocazione: Strutture di fondazione delle torri in acciaio a sostegno di aerogeneratori. Vedi tavole disegni esecutivi.

Rappresentazione grafica: Vedi tavole particolari costruttivi.

Modalità d'uso corretto: Trasferimento delle sollecitazioni statiche e sismiche della struttura al terreno, entro i limiti di pressioni e cedimenti imposti dal progetto. Le caratteristiche dei materiali non devono essere inferiori a quanto stabilito nel progetto strutturale.

11.2. MANUALE E PROGRAMMA DI MANUTENZIONE

Il manuale di manutenzione si riferisce alla manutenzione delle parti più importanti dell'intervento. Esso contiene il livello minimo accettabile delle prestazioni, le anomalie riscontrabili, le manutenzioni eseguibili direttamente dall'utente e quelle che non lo sono.

Il programma di manutenzione fissa delle manutenzioni e dei controlli da eseguire in seguito a scadenze preventivamente fissate.

Strutture di fondazione:

 edp renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

Anomalie riscontrabili

- Anomalia riscontrabile: ***Cedimenti***

Descrizione: Dissesti uniformi e/o differenziali con manifestazioni di abbassamento del piano di imposta della fondazione.

Cause: Mutamenti delle condizioni del terreno dovuti a cause quali: variazione della falda freatica, rottura di fognature o condutture idriche in prossimità della fondazione, ecc. Mutamenti delle condizioni di carico applicate.

Effetto: Riduzione della stabilità dell'elemento strutturale; riduzione della stabilità a livello globale della struttura; lesioni all'elemento strutturale e/o alla sovrastruttura.

Valutazione: Grave

Risorse necessarie: Opere di consolidamento del terreno o della struttura, georesine, opere di sostegno, opere provvisoriale.

Esecutore: Ditta specializzata

- Anomalia riscontrabile: ***Corrosione***

Descrizione: Degradazione che implica l'evolversi di processi chimici che portano alla corrosione delle armature in acciaio per carbonatazione del ricoprimento di calcestruzzo o per cloruri, visibile con distacchi del copriferro, lesioni e striature di ruggine.

Cause: Fattori esterni ambientali o climatici; errata realizzazione dell'elemento strutturale e dei getti di calcestruzzo; manutenzione carente; cause accidentali.

Effetto: Riduzione della stabilità dell'elemento strutturale.

Valutazione: Grave

Risorse necessarie: Attrezzature manuali, resine, vernici, malte e trattamenti specifici, opere provvisoriale.

Esecutore: Ditta specializzata

- Anomalia riscontrabile: ***Fessurazioni***

Descrizione: Degrado superficiale che si manifesta con fessurazioni e crepe.

Cause: Ritiro; cedimenti strutturali e/o del terreno; mutamenti di carico e/o temperatura; eccessive deformazioni.

Effetto: Esposizione delle armature agli agenti corrosivi; ampliamento delle fessurazioni stesse con ramificazioni più o meno profonde.

Valutazione: Moderata

Risorse necessarie: Attrezzature manuali, georesine, malte, macchine di pompaggio a controllo, trattamenti specifici, opere provvisoriale.

Esecutore: Ditta specializzata

	<p>Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete</p> <p>Wind Farm "CIAVATTA"</p>	<p>Aprile 2021</p>
--	--	--------------------

- Anomalia riscontrabile: **Lesioni**

Descrizione: Rotture che si manifestano con l'interruzione del tessuto strutturale dell'elemento, le cui caratteristiche e andamento ne definiscono l'importanza e il tipo.

Cause: Le lesioni e le rotture si manifestano quando lo sforzo a cui è sottoposto l'elemento strutturale supera la resistenza corrispondente del materiale.

Effetto: Perdita della stabilità e della resistenza dell'elemento strutturale.

Valutazione: Grave.

Risorse necessarie: Attrezzature manuali, resine bicomponenti, malte, rinforzi, opere provvisori, sottofondazioni locali.

Esecutore: Ditta specializzata

- Anomalia riscontrabile: **Non perpendicolarità della torre**

Descrizione: La struttura è sottoposta a spostamenti, rotazioni o alterazioni della propria posizione statica di normale funzionamento.

Cause: Cedimenti, rotture, eventi di natura diversa.

Effetto: Riduzione della stabilità dell'elemento strutturale e dell'edificio.

Valutazione: Grave.

Risorse necessarie: Opere di consolidamento del terreno o della struttura da decidersi dopo indagini specifiche, opere di sostegno, opere provvisori.

Esecutore: Ditta specializzata.

Controlli e manutenzioni da effettuare

- Controlli a cura dell'utente

Descrizione: Controllo dello stato di ricoprimento del plinto di fondazione. In caso di rimozione accidentale del materiale di ricoprimento della fondazione o suo degrado, si procede al suo ripristino secondo le indicazioni progettuali.

Modalità: Ispezione visiva.

Frequenza: Mensile.

Esecutore: Utente.

- Controllo a cura di personale specializzato

Descrizione: Controllo della consistenza dell'elemento strutturale e dell'eventuale presenza di lesioni o distaccamenti del copriferro. Verifica dell'integrità e perpendicolarità della struttura e delle zone di terreno direttamente interessate dalla stessa.

Modalità: A vista e/o con l'ausilio di strumentazione idonea.

Frequenza: Annuale.

 edp renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

Esecutore: Ditta specializzata.

- Consolidamento terreno

Descrizione: Opere e/o procedimenti specifici di consolidamento del terreno da scegliere dopo indagini specifiche e approfondite. Trattamenti di miglioramento della resistenza delle fondazioni anche tramite l'impiego di geosine. Esecutore: Ditta specializzata

Frequenza: Quando necessario

- Intervento per anomalie di corrosione

Descrizione: Opere di rimozione delle parti ammalorate e della ruggine. Ripristino dell'armatura metallica corrosa con vernici anticorrosive, malte, trattamenti specifici o anche attraverso l'uso di idonei passivanti per la protezione delle armature. Opere di protezione e/o ricostruzione dei copriferri mancanti.

Esecutore: Ditta specializzata

Frequenza: Quando necessario

- Intervento per anomalie di fessurazione

Descrizione: Opere di ripristino delle fessure e consolidamento dell'integrità del materiale tramite l'utilizzo di resine, malte, cemento o vernici.

Esecutore: Ditta specializzata

Frequenza: Quando necessario

- Realizzazione sottofondazioni

Descrizione: Realizzazione di sottofondazioni locali o globali a sostegno del sistema di fondazione e della struttura.

Esecutore: Ditta specializzata

Frequenza: Quando necessario

- Rinforzo elemento

Descrizione: Realizzazione di interventi di rinforzo strutturale dell'elemento mediante la realizzazione di gabbie di armature integrative con getto di malte a ritiro controllato o attraverso l'applicazione di nuovi componenti di rinforzo che aumentino la sezione resistente dell'elemento strutturale.

Esecutore: Ditta specializzata

Frequenza: Quando necessario

- Riparazione e ripresa delle lesioni

Descrizione: Interventi di riparazione e di ripristino dell'integrità e della resistenza dell'elemento strutturale lesionato tramite l'utilizzo di resine, malte, cemento o altri prodotti specifici, indicati anche per la ricostruzione delle parti di calcestruzzo mancanti; tali trattamenti saranno eseguiti dopo una approfondita valutazione delle cause del difetto accertato e considerando che la lesione sia stabilizzata o meno.

 renewables	Progetto per la costruzione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica con potenza di 78 MW e opere di connessione alla rete Wind Farm "CIAVATTA"	Aprile 2021
--	---	-------------

Esecutore: Ditta specializzata

Bari, Giugno 2020

Ing. Massimo Magnotta

Ordine degli Ingegneri Provincia di Bari

Association N°: 10610