



REGIONE
SICILIA



PROVINCIA
DI TRAPANI



COMUNE
DI MARSALA



COMUNE
DI SALEMI



COMUNE
DI MAZARA DEL VALLO

OGGETTO:

**Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW
denominato "CE PARTANNA II"
situato nei comuni di Marsala, Salemi e Mazara del Vallo
provincia di Trapani (TP)**

ELABORATO:

**RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE
ARCHITETTONICHE - FONDAZIONE**



PROPONENTE:

**AEI WIND
PROJECT IV S.R.L.**

P.I. 16805241003
Via Vincenzo Bellini,
22 00198 Roma

C.F. e n. iscriz. REG. IMPR.: 16805241003
REA: RM_1676856
PEC: aewind.quarta@legalmail.it

PROGETTAZIONE:

Ing. Carmen Martone
Iscr. n.1872
Ordine Ingegneri Potenza
C.F MRTCMN73D56H703E



Geol. Raffaele Nardone
Iscr. n. 243
Ordine Geologi Basilicata
C.F NRDRFL71H04A509H

EGM PROJECT S.R.L.
VIA VERRASTRO 15/A
85100- POTENZA (PZ)
P.IVA 02094310766
REA PZ-206983

Livello prog.	Cat. opera	N°. prog.elaborato	Tipo elaborato	N° foglio/Tot. fogli	Nome file	Scala	
PD	I.IE	06	R		RS06REL0006A0.PDF		
REV.	DATA	DESCRIZIONE			ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	APRILE 2023	Emissione				Ing. Carmen Martone EGM Project	Ing. Carmen Martone EGM Project

<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 1 di 32</p>
---	--	--

Sommario

1. PREMESSA.....	3
1.1 Scopo del documento.....	3
2. DEFINIZIONE IMPIANTO EOLICO	3
3. DESCRIZIONE GENERALE DELL’OPERA DI FONDAZIONE.....	6
4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	11
5. MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO	12
6. TERRENO DI FONDAZIONE	14
7. CARICHI AGENTI SULLA FONDAZIONE.....	19
8. VALUTAZIONE AZIONE SISMICA	25
9. AZIONI SULLA STRUTTURA	28
10. RICHIAMI TEORICI – METODI DI ANALISI	30

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p align="center">“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p align="center">Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 2 di 32</p>
--	--	--

Figura 1 - Schematizzazione impianto eolico	4
Figura 2 - Sezione e fondazione tipo.	8
Figura 3 - Sezione e fondazione tipo.	9
Figura 4 - Modellazione fondazione e stratigrafia	9
Figura 5- Dettagli misure platea su pali.	10
Figura 6 - Struttura aerogeneratore.	19
Figura 7 - Tipico navicella WTG.	20
Figura 8 - Posa anchor cages tipo	21
Figura 9 - Armatura plinto tipo	21
Figura 10 - Peso dell'unità di volume dei principali materiali.	22
Figura 11 - Carichi applicati	24
Figura 12 - Coefficienti di combinazioni NTC 2018	29
 Tabella 1 – Fogli e particelle aerogeneratori	 6

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



Relazione tecnica delle opere architettoniche**1. PREMESSA****1.1 Scopo del documento**

Questa relazione ha lo scopo di fornire una descrizione generale e tecnica delle opere architettoniche di progetto per la realizzazione di un impianto di generazione elettrica con utilizzo della fonte rinnovabile eolica, in particolar modo una descrizione tecnica delle fondazioni degli aerogeneratori. Il progetto prevede la realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP).

2. DEFINIZIONE IMPIANTO EOLICO

Le fonti “rinnovabili” di energia sono quelle fonti che, a differenza dei combustibili fossili e nucleari destinati ad esaurirsi in un tempo definito, possono essere considerate inesauribili.

Sono fonti rinnovabili l’energia solare e quelle che da essa derivano: l’energia idraulica, del vento, delle biomasse, delle onde e delle correnti, ma anche l’energia geotermica, l’energia dissipata sulle coste dalle maree e i rifiuti industriali e urbani.

Le FER rinnovano la loro disponibilità in tempi estremamente brevi: si va dalla disponibilità continua nel caso dell’uso dell’energia solare ed eolica, ad alcuni anni nel caso delle biomasse.

Oggi, l’utilizzo delle fonti rinnovabili di energia è ormai una realtà consolidata e il loro impiego per la produzione di energia è in continuo aumento.

Un ulteriore incentivo all’impiego delle fonti rinnovabili viene dalle ricadute occupazionali, soprattutto a livello locale, legate alla produzione di energia con fonti disponibili e distribuite sul territorio nazionale.

Relazione tecnica delle opere architettoniche

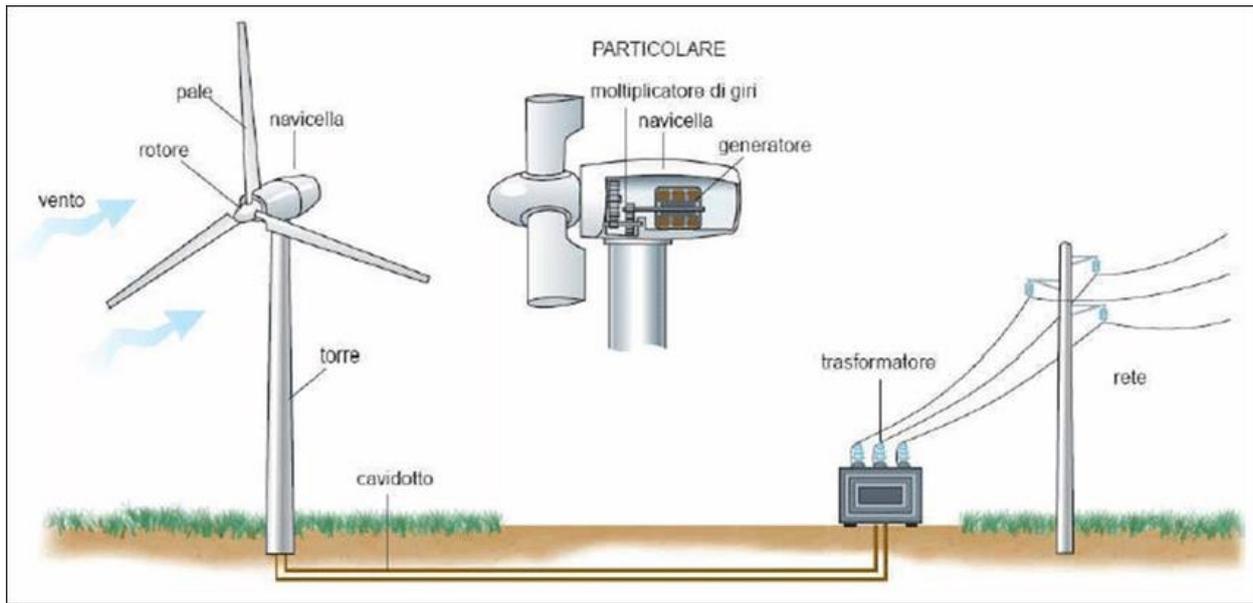


Figura 1 - Schematizzazione impianto eolico

Storicamente il principale strumento utilizzato per lo sviluppo delle fonti rinnovabili in Italia è stato il provvedimento CIP 6/92. Sulla base degli impegni internazionali che scaturiscono dal protocollo di Kyoto il CIPE ha approvato il 19/11/1998 la delibera sulle "Linee guida per le politiche e le misure nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra" che prevede fra l'altro un'azione riguardante la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il CIPE prevede di ottenere al 2008-2012 una riduzione delle emissioni di 95-112 Mtep di CO₂, di cui 18-20 Mtep per mezzo del contributo delle fonti rinnovabili.

Il decreto legislativo n.79 del 16.03.99 "Attuazione della direttiva 06/92 CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica", ha definito le linee generali per il riassetto del settore elettrico in Italia, riconoscendo l'importanza delle fonti rinnovabili per il soddisfacimento del fabbisogno elettrico del paese nel rispetto dell'ambiente.

In particolare, l'art.11 obbliga all'immissione nella rete elettrica nazionale di una quota pari al 2% di energia da fonti rinnovabili ed il successivo decreto del Ministro dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato dell'11 novembre 1999 introduce il meccanismo dei "certificati verdi".

La nuova attenzione delle istituzioni per le fonti rinnovabili è d'altra parte testimoniata dal libro bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili approvato dal CIPE il 6 agosto 1999.

Il libro bianco individua, per ciascuna fonte rinnovabile, gli obiettivi che devono essere conseguiti per ottenere le riduzioni di gas serra attribuite dal CIPE alle fonti rinnovabili, indicando le strategie e gli strumenti necessari allo scopo.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it





L'energia eolica è l'energia posseduta dal vento e trasformata in energia elettrica tramite macchine generatrici chiamate aerogeneratori.

La valutazione dell'energia eolica potenzialmente sfruttabile in una data zona viene effettuata attraverso una mirata campagna di misurazione del vento (campagna anemologica).

L'insieme di più aerogeneratori connessi tra loro costituisce una wind-farm, “fattorie del vento”, o meglio ancora parchi eolici, che sono delle vere e proprie centrali elettriche.

I parchi eolici sono costituiti da un numero di aerogeneratori ottimale al fine di fruttare al meglio l'energia eolica disponibile nel singolo sito.

Nei parchi eolici la distanza tra gli aerogeneratori non è casuale, ma viene calcolata per evitare interferenze reciproche che potrebbero causare una riduzione della produttività.

Di regola gli aerogeneratori vengono collocati tra loro, ad una distanza di almeno tre - cinque volte il diametro delle pale. Per produrre energia elettrica in quantità sufficiente è necessario che il luogo dove si installa l'aerogeneratore sia molto ventoso.

Per determinare l'energia eolica potenzialmente sfruttabile in una data zona bisogna conoscere la conformazione del terreno e l'andamento nel tempo della direzione e della velocità del vento.

È da sottolineare che il parco eolico viene realizzato in aree non abitate che risultano, molte volte, essere in stato di abbandono, rappresenta quindi, una possibilità di recupero del territorio, una nuova opportunità di fruizione dello stesso da parte della popolazione locale, con ricadute anche in termini di flusso turistico.

Gli aerogeneratori per la loro configurazione sono visibili in ogni contesto ove vengono inseriti.

Una scelta accurata del posizionamento degli aerogeneratori nel singolo sito e le attuali forme e colorazioni dei componenti degli aerogeneratori stessi consentono di armonizzare la presenza degli impianti eolici nel paesaggio ed evita che le parti metalliche riflettano i raggi solari.

L'attuale tecnologia permette di ottenere livelli d'emissioni sonore delle macchine a valori limitati; l'emissione sonora causata essenzialmente dall'attrito delle pale con l'aria e dal moltiplicatore di giri è stata contenuta attraverso lo studio aerodinamico dei profili delle pale a basso rumore e con l'isolamento acustico della navicella. Questo rumore può essere ulteriormente smorzato migliorando l'inclinazione delle pale, la loro conformazione e la struttura.

I soli effetti riscontrati riguardano il possibile impatto degli uccelli con il rotore delle macchine, statisticamente non definibile e comunque inferiore a quello dovuto al traffico automobilistico, ai pali della luce o del telefono.

Relazione tecnica delle opere architettoniche

L'attento posizionamento delle macchine del parco rispetto ad impianti tecnologici di telecomunicazione (ponti radio, ripetitori ecc) presenti nel sito garantisce l'assenza d'interferenze con tali impianti. Per evitare possibili interferenze sulle telecomunicazioni saranno mantenute le distanze minime fra l'aerogeneratore e, ad esempio, stazioni terminali di ponti radio, apparati di assistenza alla navigazione aerea e ripetitori televisivi.

3. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA DI FONDAZIONE

Il parco eolico per la produzione di energia elettrica oggetto di studio avrà le seguenti caratteristiche:

- potenza installata totale: 39.6 MW;
- potenza della singola turbina: 6.6 MW;
- n. 6 turbine;
- n. 1 “Cabina di trasformazione Utente 30kV/36kV”;
- n. 1 SSE Lato Utente “Partanna 2”.

I fogli e le particelle interessati dall'installazione dei nuovi aerogeneratori sono sintetizzati nella Tabella seguente e rappresentati in dettaglio nelle successive immagini.

Aerogeneratore	Foglio	Particella
A01	22	479
A02	190	455
A03	190	215
A04	71	791
A05	72	15
A06	74	41

Tabella 1 – Fogli e particelle aerogeneratori

Il dimensionamento effettuato in questa fase tiene conto del modello tipologico di progetto dell'aerogeneratore SIEMENS GAMESA 6.6-170 -MOD 6.6 MW.

L'altezza del mozzo dell'aerogeneratore in oggetto è 135m, mentre il diametro del rotore misura 170m. In tale fase si prevede la realizzazione di opere di fondazione del tipo diretta in relazione alla stratigrafia locale del terreno. La fondazione diretta sarà costituita da una piastra avente diametro pari a 22 m e un'altezza complessiva di 4.00 m.

All'interno del nucleo centrale è annegato il concio di fondazione in acciaio che ha il compito di agganciare la porzione fuori terra in acciaio con la porzione in calcestruzzo interrata.



L'aggancio tra la torre ed il concio di fondazione sarà realizzato con l'accoppiamento delle due flange di estremità ed il serraggio dei bulloni di unione.

Al di sotto del plinto saranno realizzati 16 pali di diametro di 1200 mm e profondità di 25.00 m posti a corona circolare ad una distanza di 9.40 m dal centro.

Prima della posa dell'armatura del plinto sarà gettato il magrone di fondazione di spessore di 30 cm minimo.

Il plinto di fondazione sarà realizzato in calcestruzzo Classe C32/40, anche i pali saranno realizzati in calcestruzzo Classe C32/40, e con la posa di acciaio in barre del tipo B450C.

Il plinto sarà ricoperto da uno strato di terreno proveniente dagli scavi con lo scopo di realizzare un appesantimento dello stesso per contrastare le forze ribaltanti scaricate dalla torre.

La modellazione tramite programma di calcolo è stata effettuata ipotizzando una piastra a sezione circolare con spessore variabile, da 1.70m a 3.5m, flangia in superficie di diametro di 7m alta 0.5 sopra il piano campagna. Per quanto riguarda le armature, per la piastra sono stati utilizzati $\phi 32$ mentre per i pali $\phi 16$ per le armature longitudinali e $\phi 10$ per le staffe.

I dettagli sono illustrati nel tabulato di calcolo.

Vengono riportate di seguito alcune viste del modello utilizzato, allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione:

PROPONENTE:



“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

DATA:
MARZO 2023
Pag. 8 di 32

Relazione tecnica delle opere architettoniche

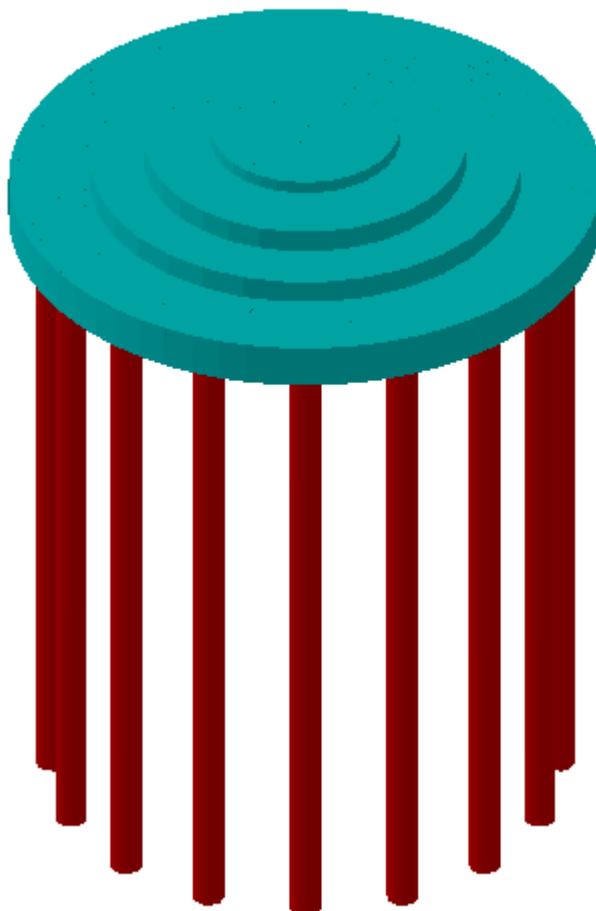


Figura 2 - Sezione e fondazione tipo.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



Relazione tecnica delle opere architettoniche

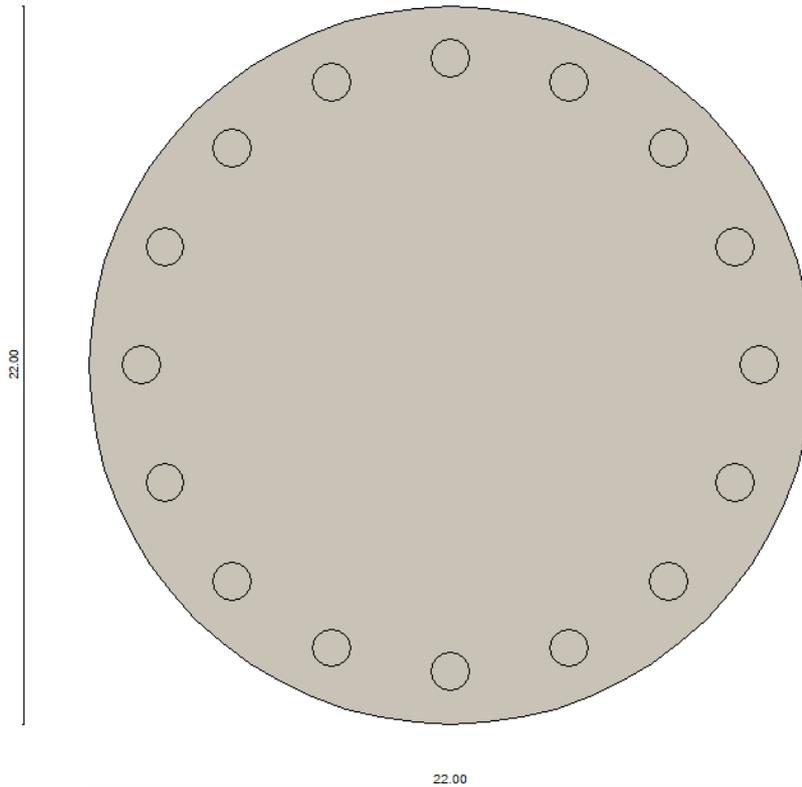


Figura 3 - Sezione e fondazione tipo.

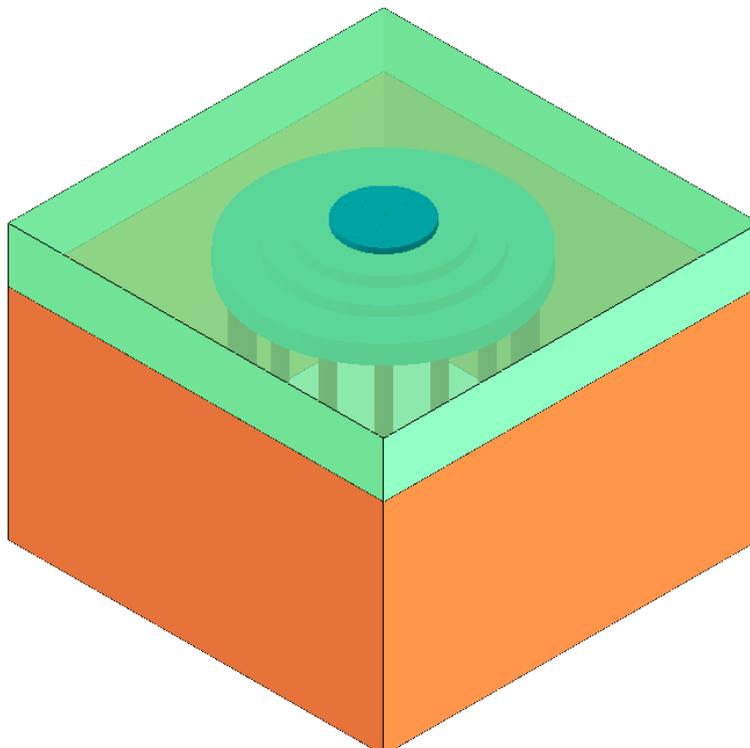


Figura 4 - Modellazione fondazione e stratigrafia

Relazione tecnica delle opere architettoniche

Per meglio comprendere il modello, di seguito un’immagine riassuntiva delle misure utilizzate:

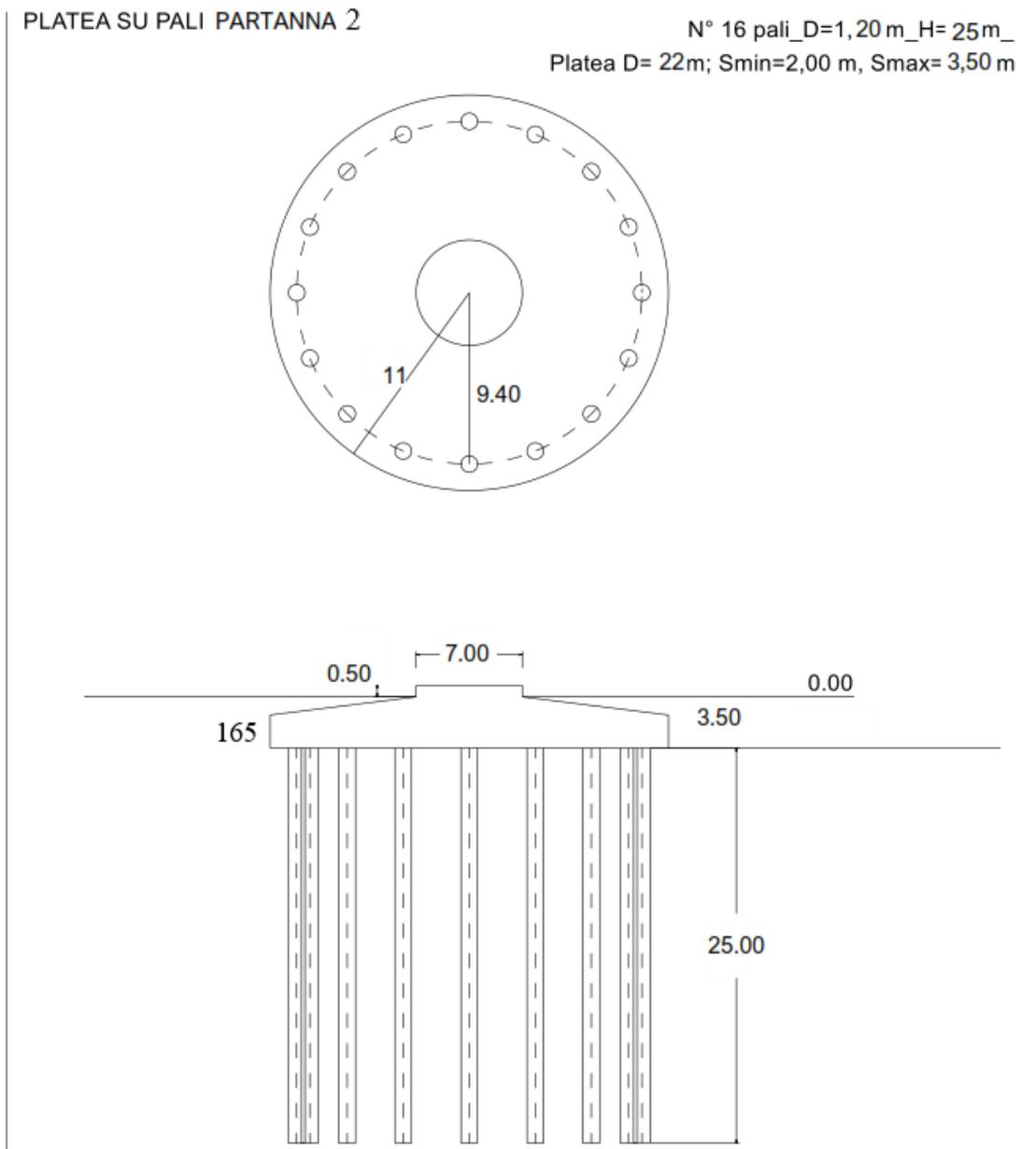


Figura 5- Dettagli misure platea su pali.

Relazione tecnica delle opere architettoniche**4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- ✓ Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
- ✓ Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- ✓ Legge nr. 64 del 02/02/1974.
- ✓ Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- ✓ D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
- ✓ Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- ✓ D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
- ✓ Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- ✓ D.M. 9 Gennaio 1996
- ✓ Norme Tecniche per il calcolo, l' esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- ✓ D.M. 16 Gennaio 1996
- ✓ Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- ✓ D.M. 16 Gennaio 1996
- ✓ Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- ✓ Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
- ✓ Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- ✓ Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
- ✓ Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- ✓ Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- ✓ CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.
- ✓ Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

- ✓ IEC Ed3 NVC 00-60 “wind turbine safety and design”
- ✓ Eurocodice 2 “Design of concrete structures”.
- ✓ Eurocodice 3 “Design of steel structures”
- ✓ Eurocodice 4 “Design of composite steel and concrete structures”
- ✓ Eurocodice 7 “Geotechnical design”.
- ✓ Eurocodice 8 “Design of structures for earthquake resistance”

5. MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

I materiali che verranno utilizzati nel progetto strutturale risponderanno ai requisiti indicati nelle norme per le costruzioni di cui al cap. 11 del D.M. 17.01.2018.

I materiali e prodotti per uso strutturale saranno:

- *identificati* univocamente mediante la descrizione a cura del produttore, del materiale stesso e dei suoi componenti elementari, secondo le procedure applicabili;
- *qualificati e certificati* mediante la documentazione di attestazione che preveda prove sperimentali per misurarne le caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche, effettuate da un terzo soggetto indipendente, ovvero, ove previsto, autocertificati sotto la responsabilità del produttore, secondo le procedure stabilite dalle specifiche tecniche europee applicabili;
- *accettati* dal Direttore dei Lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante le eventuali prove sperimentali di accettazione previste per misurarne le caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche.

Le prove su materiali e prodotti, a seconda delle specifiche procedure applicabili, come specificato di volta in volta nel seguito, saranno effettuate da:

- a) laboratori di prova notificati ai sensi dell'art.18 della Direttiva n.89/106/CEE;
- b) laboratori di cui all'art.59 del D.P.R. n.380/2001;
- c) altri laboratori, dotati di adeguata competenza ed idonee attrezzature, appositamente abilitati dal Servizio Tecnico Centrale.

Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle parti strutturali in conglomerato cementizio, esso sarà identificato mediante la resistenza convenzionale a compressione uniassiale caratteristica, misurata su provini cubici.

Sulla base della titolazione convenzionale del conglomerato mediante la resistenza cubica R_{ck} , il conglomerato cementizio utilizzato sarà definito per classe di resistenza e per classe di esposizione come segue, come individuato dalla EN 206:

Dati

Materiali

Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descrizione	Descrizione materiale
TC	Tipo calcestruzzo
R_{ck}	Resistenza cubica caratteristica, espresso in [kg/cmq]
γ_{cls}	Peso specifico calcestruzzo, espresso in [kg/mc]
E	Modulo elastico calcestruzzo, espresso in [kg/cmq]
v	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogeneizzazione
TA	Tipo acciaio

n°	Descrizione	TC	R_{ck} [kPa]	γ_{cls} [kN/mc]	E [kPa]	v	n	TA
1	Cls 32/40	C32/40	40000	24.52	336426 48	0.200	15.00	B450C

Relazione tecnica delle opere architettoniche

Caratteristiche acciaio

Nid	γ_k	$\alpha_{T, i}$	E	G	Stz	$f_{yk,1}/f_{yk,2}$	$f_{tk,1}/f_{tk,2}$	$f_{yd,1}/f_{yd,2}$	f_{td}	s	γ_{M1}	γ_{M2}	$\gamma_{M3,SLV}$	$\gamma_{M3,SLE}$	γ_{M7}	
															Cn t	Cnt
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]							
Acciaio B450C - (B450C)																
003	78.500	0,000010	210.0	80.769	P	450,0 0	-	391,30 -	-	1,1 5	-	-	-	-	-	-

LEGENDA:

- Nid Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k Peso specifico.
- $\gamma_{T, i}$ Coefficiente di dilatazione termica.
- E Modulo elastico normale.
- G Modulo elastico tangenziale.
- Stz Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- $f_{tk,1}$ Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $t \leq 40$ mm).
- $f_{tk,2}$ Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm).

<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 14 di 32</p>
---	--	---

6. TERRENO DI FONDAZIONE

La diretta osservazione dei terreni affioranti eseguita durante il rilevamento geologico dell’area d’intervento e le informazioni ricavate dalle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche, consultate hanno consentito di definire il modello litologico e stratigrafico del delle aree interessate dal progetto.

In fase di progettazione esecutiva si rimanda ad una campagna di indagini da eseguire in sito in corrispondenza di ogni generatore che dovrà comprende sondaggi geognostici, prelievo di campioni e analisi di laboratorio al fine di ricostruire con maggiore dettaglio la stratigrafia dell’area e caratterizzare i terreni dal punto di vista geotecnico. Inoltre, dovranno essere eseguite indagini geofisiche in modo da caratterizzare in modo più accurato i terreni di fondazione degli aerogeneratori.

Si evidenzia che la copertura vegetale (suolo) avente uno spessore medio di circa 1,00 m., non essendo utilizzabile ai fini fondali, sarà rimossa e accantonata per il successivo reimpiego nei ripristini ambientali.

Di seguito si riportano i modelli geologico tecnici in corrispondenza degli aerogeneratori

AEROGENERATORE A01

U.G.1 GHIAIA CON SABBIE LIMOSO ARGILLOSE (DA -0.00 A -5,00 MT.)

Ghiaia e blocchi angolosi immersi in matrice sabbiosa e limosa. Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l’unità:

Parametri caratteristici

γ_n KN/m ³	ϕ' °	c' KPa
19.2	18	0

U.G.2 MARNE E ARGILLE (DA -5.00 A -20,00 MT.)

Alternanza di marne e argille limose da moderatamente addensate ad addensate. Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l’unità:

Parametri caratteristici

γ_n KN/m ³	ϕ' °	c' KPa

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:



“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

DATA:
MARZO 2023
Pag. 15 di 32

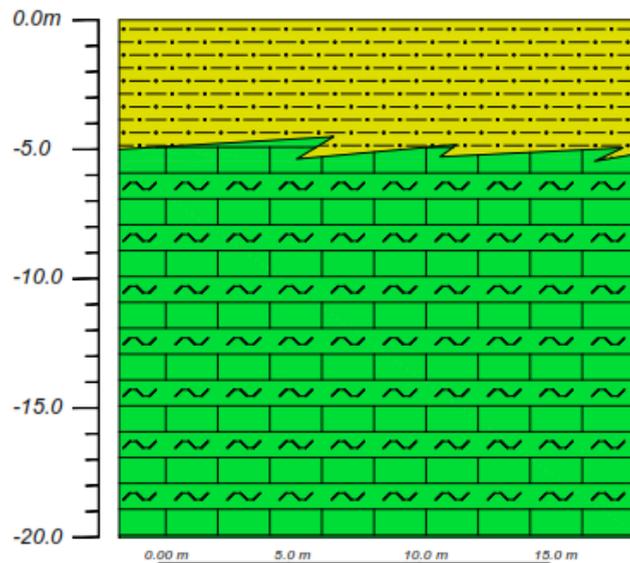
Relazione tecnica delle opere architettoniche

19.0

22.0

15

*Modello geologico tecnico
Aerogeneratore A1*



UNITA' GEOTECNICA 1 (U.G.1): Ghiaia e blocchi angolosi immersi in matrice sabbioso limosa.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

$\gamma = 19,2 \text{ KN/mc}$

$\phi = 18^\circ$

$c' = 0 \text{ KPa}$



UNITA' GEOTECNICA 2 (U.G.2): Alternanza di marne e argille limose da moderatamente addensate ad addensate.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

$\gamma = 19,0 \text{ KN/mc}$

$\phi = 22^\circ$

$c' = 15 \text{ KPa}$

AEROGENERATORI A02 E A03

U.G.1 ARGILLE LIMOSE ALTERATE (DA -0.00 A -6,00 MT.)

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:



“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

Relazione tecnica delle opere architettoniche

DATA:

MARZO 2023

Pag. 16 di 32

Alternanza di marne e argille limose da moderatamente addensate ad addensate di colore nocciola. Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l'unità:

Parametri caratteristici

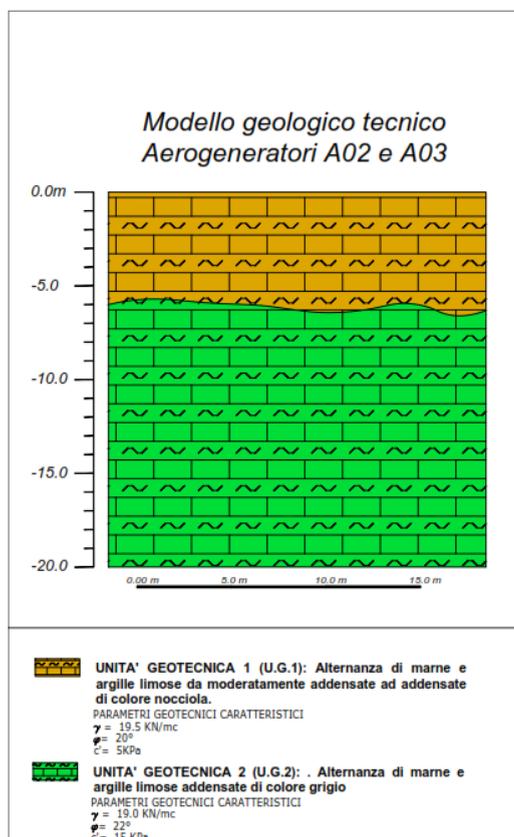
γ_n KN/m ³	ϕ' °	c' KPa
19.5	20.0	5

U.G.2 MARNE E ARGILLE (DA -6.00 A -30,00 MT.)

Alternanza di marne e argille limose addensate di colore grigio. Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l'unità:

Parametri caratteristici

γ_n KN/m ³	ϕ' °	c' KPa
19.0	22.0	15



PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:



“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

Relazione tecnica delle opere architettoniche

DATA:

MARZO 2023

Pag. 17 di 32

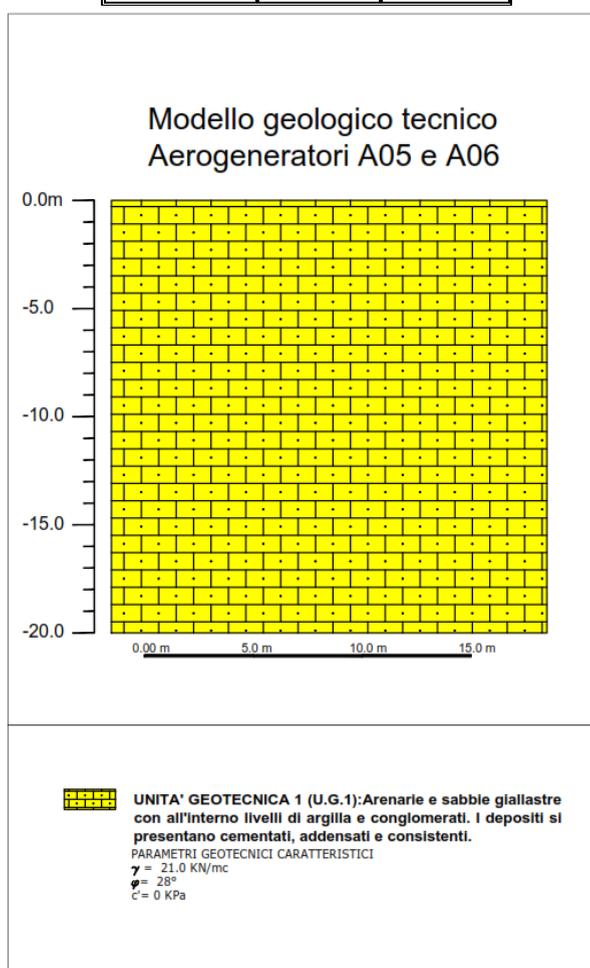
AEROGENERATORI A05 E A06

U.G.1 ARENARIE E SABBIE (DA -0.00 A -20,00 MT.)

Arenarie e sabbie giallastre con all'interno livelli di argilla e conglomerati. I depositi si presentano cementati, addensati e consistenti. Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l'unità:

Parametri caratteristici

γ_n KN/m ³	ϕ' °	c' KPa
21.0	28	0



PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:



“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

DATA:
MARZO 2023
Pag. 18 di 32

Relazione tecnica delle opere architettoniche

AEROGENERATORE A04

U.G.1 GHIAIA CON SABBIE LIMOSO ARGILLOSE (DA -0.00 A -5.00 MT.)

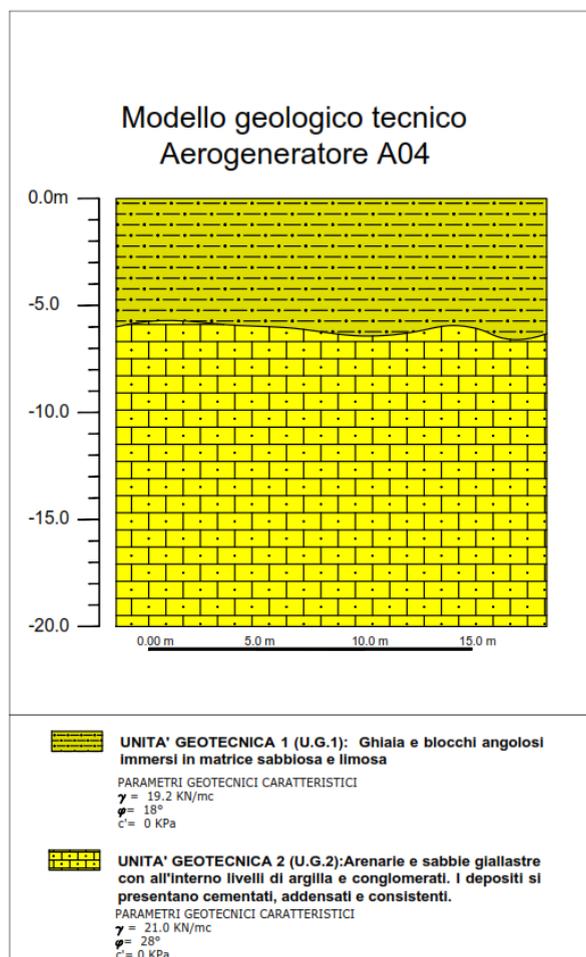
Ghiaia e blocchi angolosi immersi in matrice sabbiosa e limosa. Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l'unità:

U.G.2 ARENARIE E SABBIE (DA -0.00 A -20,00 MT.)

Arenarie e sabbie giallastre con all'interno livelli di argilla e conglomerati. I depositi si presentano cementati, addensati e consistenti. Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici caratteristici che caratterizzano l'unità:

Parametri caratteristici

γ_n KN/m ³	ϕ' °	c' KPa
21.0	28	0



PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:



AEI WIND
PROJECT IV S.R.L.

P.I. 16805241003
Via Vincenzo Bellini,
22 00198 Roma

“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

Relazione tecnica delle opere architettoniche

DATA:

MARZO 2023

Pag. 19 di 32

7. CARICHI AGENTI SULLA FONDAZIONE

Di seguito un tipologico dell'aerogeneratore in oggetto tipo Siemens Gamesa SG 6.6-170 135m

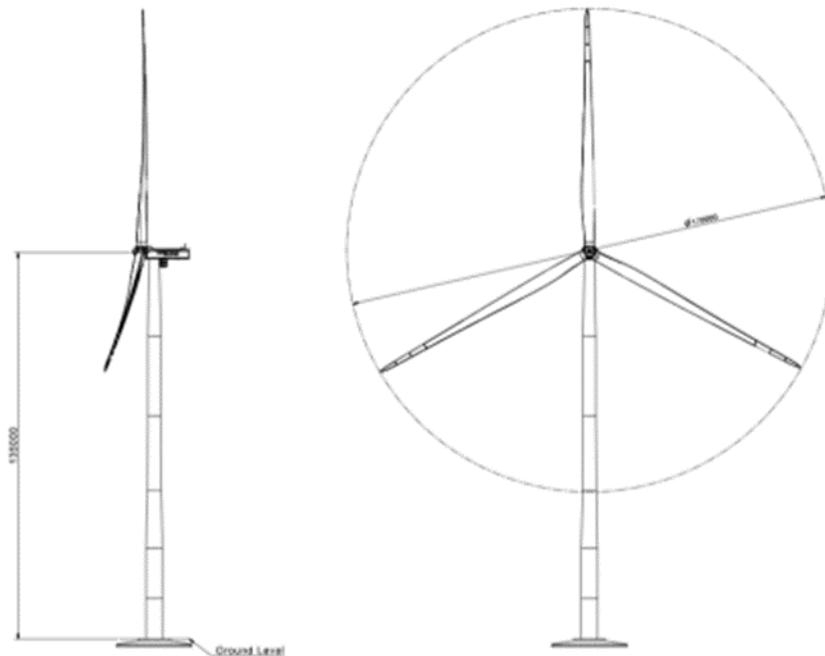


Figura 6 - Struttura aerogeneratore.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:



“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

DATA:
MARZO 2023
Pag. 20 di 32

Relazione tecnica delle opere architettoniche

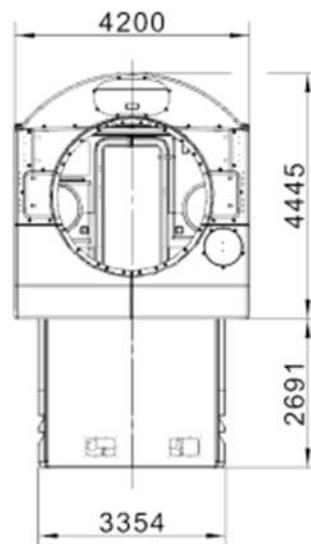
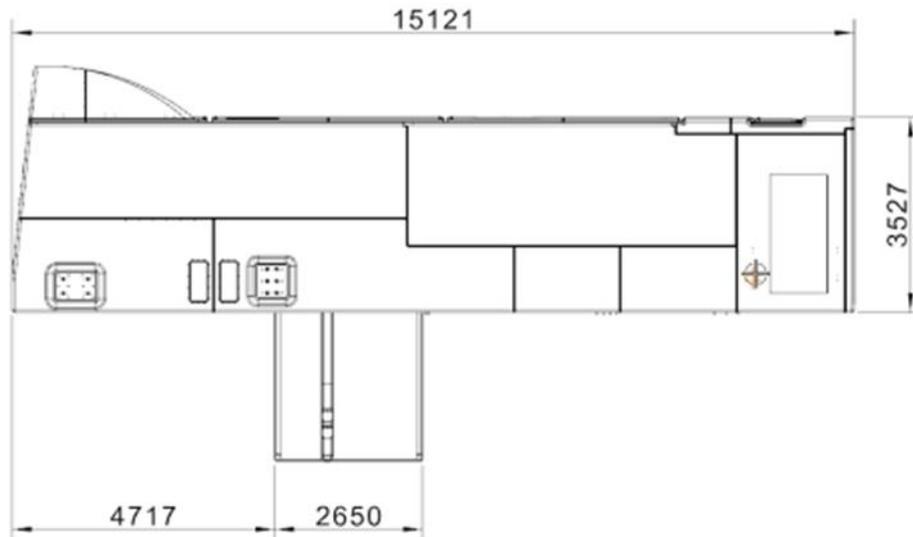


Figura 7 - Tipico navicella WTG.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:



“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

DATA:

MARZO 2023

Pag. 21 di 32

Relazione tecnica delle opere architettoniche



Figura 8 - Posa anchor cages tipo



Figura 9 - Armatura plinto tipo

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.L. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 22 di 32</p>
---	--	---

I carichi considerati nel modello sono:

- I carichi provenienti dalla struttura in elevazione (Fz, Fx, Fy, Mz, Mx, My);
- Il peso proprio della fondazione (calcolato in automatico dal software di calcolo).

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME [kN/m ³]
Calcestruzzi cementizi e malte	
Calcestruzzo ordinario	24,0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25,0
Calcestruzzi “leggeri”: da determinarsi caso per caso	14,0 + 20,0
Calcestruzzi “pesanti”: da determinarsi caso per caso	28,0 + 50,0
Malta di calce	18,0
Malta di cemento	21,0
Calce in polvere	10,0
Cemento in polvere	14,0
Sabbia	17,0
Metalli e leghe	
Acciaio	78,5
Ghisa	72,5
Alluminio	27,0
Materiale lapideo	
Tufo vulcanico	17,0
Calcare compatto	26,0
Calcare tenero	22,0
Gesso	13,0
Granito	27,0
Laterizio (pieno)	18,0
Legnami	
Conifere e pioppo	4,0 + 6,0
Latifoglie (escluso pioppo)	6,0 + 8,0
Sostanze varie	
Carta	10,0
Vetro	25,0
Per materiali non compresi nella tabella si potrà far riferimento a specifiche indagini sperimentali o a normative di comprovata validità assumendo i valori nominali come valori caratteristici.	

Figura 10 - Peso dell'unità di volume dei principali materiali.

Di seguito i carichi presi in considerazione per la valutazione dei carichi indotti dalle strutture in elevazione (Fz, Fx, Fy, Mz, Mx, My); all'interno delle combinazioni di carico è stato preso in considerazione anche il sisma in base ai parametri descritti nel capitolo 8.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:



“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

Relazione tecnica delle opere architettoniche

DATA:

MARZO 2023

Pag. 23 di 32

Condizione n° 1 - Condizione 1 [Permanente - Partecipa al sisma]

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Ix [kN]	Iy [kN]
Piastra	9.00	9.00	7447.000	0.000	0.000	0.000	1292.000
Piastra	9.00	10.00	82150.000	0.000	0.000	715.000	0.000
Piastra	9.00	8.00	-82150.000	0.000	0.000	-715.000	0.000

Condizione n° 2 - Condizione 2 [Permanente - Partecipa al sisma]

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Ix [kN]	Iy [kN]
Piastra	9.00	9.00	7198.000	0.000	0.000	260.000	0.000
Piastra	10.00	9.00	15000.000	0.000	0.000	7815.000	0.000
Piastra	8.00	9.00	-15000.000	0.000	0.000	-7815.000	0.000

Condizione n° 3 - Condizione 3 [Permanente - Partecipa al sisma]

Carichi concentrati

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Ix [kN]	Iy [kN]
Piastra	9.00	9.00	7557.000	0.000	68500.000	554.000	0.000
Piastra	9.00	8.00	0.000	0.000	0.000	-500.000	0.000
Piastra	9.00	10.00	0.000	0.000	0.000	500.000	0.000

Peso terreno gravante sulla fondazione

Oggetto	Pt. [kN]
Piastra 1	10927.8026

I carichi sono stati applicati in 3 punti diversi nell'intorno del baricentro della piastra stessa come si può evincere dall'immagine sottostante:

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



PROPONENTE:

AEI WIND
PROJECT IV S.R.L.

P.I. 16805241003
Via Vincenzo Bellini,
22 00198 Roma

“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”

DATA:

MARZO 2023

Pag. 24 di 32

Relazione tecnica delle opere architettoniche

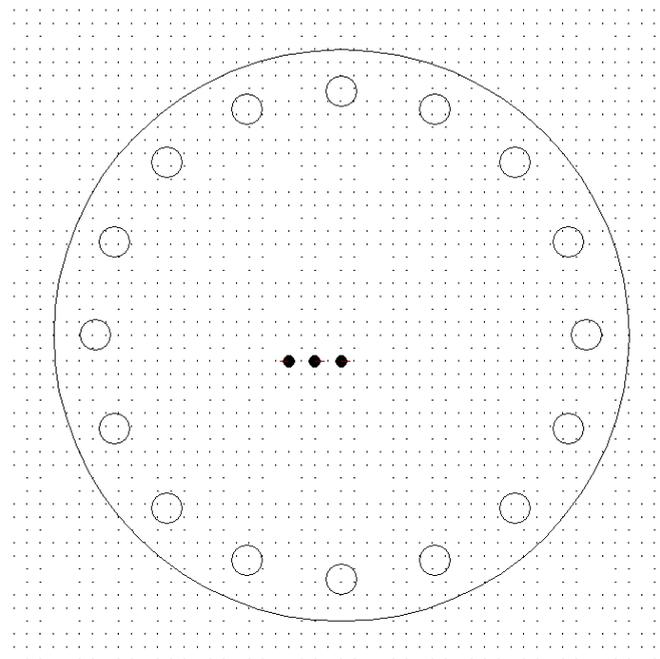
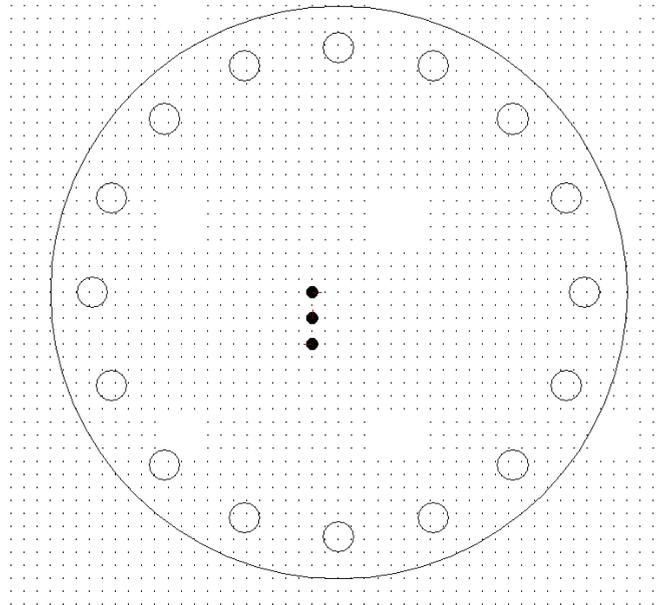


Figura 11 - Carichi applicati

PROGETTAZIONE:


EGM PROJECT

EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.L. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p align="center">“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p align="center">Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 25 di 32</p>
--	--	---

8. VALUTAZIONE AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018 “Norme tecniche per le Costruzioni”.

In particolare il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d’Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell’azione sismica.
- Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T^* per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l’individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell’edificio.
- Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.
- Calcolo del periodo T_c corrispondente all’inizio del tratto a velocità costante dello Spettro

Ai fini delle N.T.C. 2018 l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti.

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

L'azione in superficie è stata assunta come agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta. L’accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie sono determinati sulla base dell’accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

L’azione sismica di progetto, in base alla quale si è valutato il rispetto dei diversi stati limite considerati, si è definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione; essa è stata definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero sul sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 26 di 32</p>
--	--	--

Ai fini del D.M. 17.01.2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- TC* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, ovvero della descrizione del moto sismico sul piano di fondazione, si sono considerate 2 componenti traslazionali orizzontali contrassegnate da X ed Y tra di loro indipendenti e descritte mediante l'accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie; le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta.

Ai fini della suddetta normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- Tc* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 27 di 32</p>
---	--	---

In allegato alla presente norma, per il sito considerato, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche:

CLASSE D'USO: 4 VITA NOMINALE: 50 anni
CATEGORIA TOPOGRAFICA: T1 PERIODO DI RIFERIMENTO: 50 anni CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: C
Parametri Sismici

	Probab. Sup. (%)	TR (anni)	A_g (g)	F_0	T_c^* (s)
SLO	81	60	0,031	2,438	0,207
SLD	63	101	0,039	2,492	0,247
SLV	10	949	0,092	2,591	0,331
SLC	5	1950	0,118	2,617	0,347

Per il calcolo dell'accelerazione massima attesa al sito si fa riferimento alla seguente formula (NTC cap. 7.11.3) riferita allo Stato Limite SLV

$$a_{gmax} = S_s * S_t * a_g$$

$S_s = 1,500$ $S_t = 1,000$ $a_g = 0,092$ **a_{gmax} è pertanto pari a 0,138** con
 $K_h = 0.025$ (coeff. az. sism. orizzontale) **$K_v = 0.012$** (coeff. az. sism. verticale)

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 28 di 32</p>
---	--	---

9. AZIONI SULLA STRUTTURA

Le azioni da considerare ai fini delle verifiche geotecniche, strutturali e di equilibrio del sistema di fondazione delle torri eoliche sono rappresentati dalle seguenti condizioni di carico:

- Peso proprio strutture di fondazione;
- Peso proprio torri eoliche;
- Permanenti portati su fondazioni e da torri eoliche;
- Azioni del vento variabile
- azioni sismiche.

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

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

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

Tali condizioni sono state combinate trami i coefficienti γ_{G1} , γ_{G2} , γ_{QK1} , γ_{QKi} , ψ_{0i} , ψ_{1i} , ψ_{2i} , ai fini delle combinazioni SLU statiche, sismiche ed SLE di esercizio. I coefficienti di combinazioni sono riportate nella tabella seguente delle NTC2018:

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0i}	Ψ_{1i}	Ψ_{2i}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 29 di 32</p>
--	--	--

Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figura 12 - Coefficienti di combinazioni NTC 2018

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.L. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p align="center">“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p align="center">Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 30 di 82</p>
---	--	---

10. RICHIAMI TEORICI – METODI DI ANALISI

Calcolo - Analisi ad elementi finiti

Per l'analisi platea si utilizza il metodo degli elementi finiti (FEM). La struttura viene suddivisa in elementi connessi fra di loro in corrispondenza dei nodi. Il campo di spostamenti interno all'elemento viene approssimato in funzione degli spostamenti nodali mediante le funzioni di forma. Il programma utilizza, per l'analisi tipo piastra, elementi quadrangolari e triangolari. Nel problema di tipo piastra gli spostamenti nodali sono lo spostamento verticale w e le rotazioni intorno agli assi x e y , ϕ_x e ϕ_y , legati allo spostamento w tramite relazioni

$$\begin{aligned}\phi_x &= -dw/dy \\ \phi_y &= dw/dx\end{aligned}$$

Note le funzioni di forma che legano gli spostamenti nodali al campo di spostamenti sul singolo elemento è possibile costruire la matrice di rigidezza dell'elemento \mathbf{k}_e ed il vettore dei carichi nodali dell'elemento \mathbf{p}_e .

La fase di assemblaggio consente di ottenere la matrice di rigidezza globale della struttura \mathbf{K} ed il vettore dei carichi nodali \mathbf{p} . La soluzione del sistema

$$\mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{p}$$

consente di ricavare il vettore degli spostamenti nodali \mathbf{u} .

Dagli spostamenti nodali è possibile risalire per ogni elemento al campo di spostamenti ed alle sollecitazioni M_x , M_y ed M_{xy} .

Il terreno di fondazione se presente viene modellato con delle molle disposte in corrispondenza dei nodi. La rigidezza delle molle è proporzionale alla costante di sottofondo k ed all'area dell'elemento.

I pali di fondazione sono modellati con molle verticali aventi rigidezza pari alla rigidezza verticale del palo.

Per l'analisi tipo lastra (analisi della piastra soggetta a carichi nel piano) vengono utilizzati elementi triangolari a 6 nodi a deformazione quadratica. Gli spostamenti nodali sono gli spostamenti u e v nel piano XY . L'analisi fornisce in tal caso il campo di spostamenti orizzontali e le tensioni nel piano della lastra σ_x , σ_y e τ_{xy} . Dalle tensioni è possibile ricavare, noto lo spessore, gli sforzi normali N_x , N_y e N_{xy} .

Nell'analisi tipo lastra i pali di fondazione sono modellati con molle orizzontali in direzione X e Y aventi rigidezza pari alla rigidezza orizzontale del palo.

Nel caso di platea nervata le nervature sono modellate con elementi tipo trave (con eventuale rigidezza torsionale) connesse alla piastra in corrispondenza dei nodi degli elementi.

Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito ϕ e la coesione c . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- Q_T portanza totale del palo
- Q_P portanza di base del palo
- Q_L portanza per attrito laterale del palo
- W_P peso proprio del palo

e le due componenti Q_P e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta η_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale η_l .

Palo compresso:

$$Q_A = Q_P / \eta_p + Q_L / \eta_l - W_P$$

Palo teso:

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 31 di 32</p>
---	--	---

$$Q_A = Q_l / \eta_l + W_p$$

Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_p = A_p(cN'_c + qN'_q)$$

dove A_p è l'area portante efficace della punta del palo, c è la coesione, q è la pressione geostatica alla quota della punta del palo, γ è il peso di volume del terreno, D è il diametro del palo ed i coefficienti N'_c N'_q sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità. Possono essere utilizzati sia i coefficienti di Hansen che quelli di Vesic con i corrispondenti fattori correttivi per la profondità e la forma.

Il parametro η che compare nell'espressione assume il valore:

$$\eta = \frac{1 + 2K_0}{3}$$

quando si usa la formula di Vesic e viene posto uguale ad 1 per le altre formule.
 K_0 rappresenta il coefficiente di spinta a riposo che può essere espresso come: $K_0 = 1 - \sin\phi$.

Capacità portante per resistenza laterale

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \tan\delta$$

dove c_a è l'adesione palo-terreno, δ è l'angolo di attrito palo-terreno, γ è il peso di volume del terreno, z è la generica quota a partire dalla testa del palo, L e P sono rispettivamente la lunghezza ed il perimetro del palo, K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

Portanza trasversale dei pali - Analisi ad elementi finiti

Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante elastica K espressa in $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$ che rappresenta la pressione (in Kg/cm^2) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm.

Il palo viene suddiviso in un certo numero di elementi di eguale lunghezza. Ogni elemento è caratterizzato da una sezione avente area ed inerzia coincidente con quella del palo.

Il terreno viene schematizzato come una serie di molle orizzontali che reagiscono agli spostamenti nei due versi. La rigidità assiale della singola molla è proporzionale alla costante di Winkler orizzontale del terreno, al diametro del palo ed alla lunghezza dell'elemento. La molla, però, non viene vista come un elemento infinitamente elastico ma come un elemento con comportamento del tipo elastoplastico perfetto (diagramma sforzi-deformazioni di tipo bilatero). Essa presenta una resistenza crescente al crescere degli spostamenti fino a che l'entità degli spostamenti si mantiene al di sotto di un certo spostamento limite, X_{max} oppure fino a quando non si raggiunge il valore della pressione limite. Superato tale limite non si ha un incremento di resistenza. E' evidente che assumendo un comportamento di questo tipo ci si addentra in un tipico problema non lineare che viene risolto mediante una analisi al passo.

Disposizione delle armature

Le armature vengono disposte secondo due direzioni, una principale ed una secondaria. Per il calcolo delle stesse si fa riferimento ai valori nodali delle sollecitazioni ottenute dall'analisi ad elementi finiti. Per la disposizione delle stesse occorre suddividere la piastra in numero di strisce opportuno nelle due direzioni.

Il programma utilizza strisce della larghezza di circa un metro.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



<p>PROPONENTE:</p>  <p>AEI WIND PROJECT IV S.R.L. P.I. 16805241003 Via Vincenzo Bellini, 22 00198 Roma</p>	<p>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 39.6 MW denominato “CE PARTANNA II” situato nei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi, in provincia di Trapani (TP)”</p> <p>Relazione tecnica delle opere architettoniche</p>	<p>DATA: MARZO 2023 Pag. 32 di 32</p>
--	--	--

I dettagli sono illustrati nel tabulato di calcolo presente nella “*Relazione preliminare delle strutture*”.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it

