



REGIONE  
SICILIA



PROVINCIA DI  
PALERMO



COMUNE DI  
CALTAVUTURO



COMUNE DI  
POLIZZI  
GENEROSA



COMUNE DI  
CASTELLANA  
SICULA



COMUNE DI  
VILLALBA

OGGETTO:

**Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 52,8 MW  
denominato "CATERINA II" situato nei comuni di Caltavuturo,  
Polizzi Generosa, Castellana Sicula , in provincia di Palermo  
(PA), e di Villalba, in provincia di Caltanissetta (CL).**

ELABORATO:

**RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE ARCHITETTONICHE  
- FONDAZIONE**



PROPONENTE:

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

P.I. 17264821004  
Via Savoia 78,  
00198 Roma

Codice fiscale e n.iscr. al Registro Imprese: 17264821004  
Numero REA RM - 1707090  
Domicilio digitale/PEC: aeiwindprojectxi@legalmail.it

PROGETTAZIONE:


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

  
**EGM PROJECT** S.R.L.

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	
<b>PD</b>	<b>I.IE</b>	<b>06</b>	<b>R</b>		<b>_RELAZIONE_OPERE _ARCHITET</b>		
REV.	DATA	DESCRIZIONE			ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	DICEMBRE 2023	EMISSIONE				Ing. Carmen Martone EGM Project	Ing. Carmen Martone EGM Project

 <p><b>AEI WIND PROJECT XI S.R.L.</b> P.I. 17264821004 Via Savoia 78, 00198 Roma</p>	<p align="center"><b>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 52,8 MW denominato “CATERINA II” situato nei comuni di Caltavuturo, Polizzi Generosa, Castellana Sicula in provincia di Palermo (PA), e di Villalba, in provincia di Caltanissetta (CL)”</b></p> <p align="center"><b>Relazione tecnica delle opere architettoniche</b></p>	<p><b>DATA: DICEMBRE 2023</b></p> <p><b>Pag. 1 di 28</b></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.....	15
8. VALUTAZIONE AZIONE SISMICA .....	22
9. AZIONI SULLA STRUTTURA .....	24
10. RICHIAMI TEORICI – METODI DI ANALISI .....	26

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

Figura 1 - Schematizzazione impianto eolico .....	4
Figura 2 - vista fondazione tipo. ....	8
Figura 3 - Sezione e fondazione tipo. ....	8
Figura 4 - Modellazione fondazione e stratigrafia .....	9
Figura 5- Dettagli misure platea su pali. ....	10
Figura 6 - Struttura aerogeneratore. ....	15
Figura 7 - Tipico navicella WTG. ....	16
Figura 8 - Posa anchor cages tipo .....	17
Figura 9 - Armatura plinto tipo .....	17
Figura 10 - Peso dell'unità di volume dei principali materiali. ....	18
Figura 11 - Carichi applicati .....	21
Figura 12 - Coefficienti di combinazioni NTC 2018 .....	25
Tabella 1 – Fogli e particelle aerogeneratori.....	6

**PROGETTAZIONE:**



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto: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 52,8 MW denominato “Caterina II” situato nei comuni di Caltavuturo e Polizzi Generosa, in provincia di Palermo (PA).

## 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.

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)

Relazione tecnica delle opere architettoniche

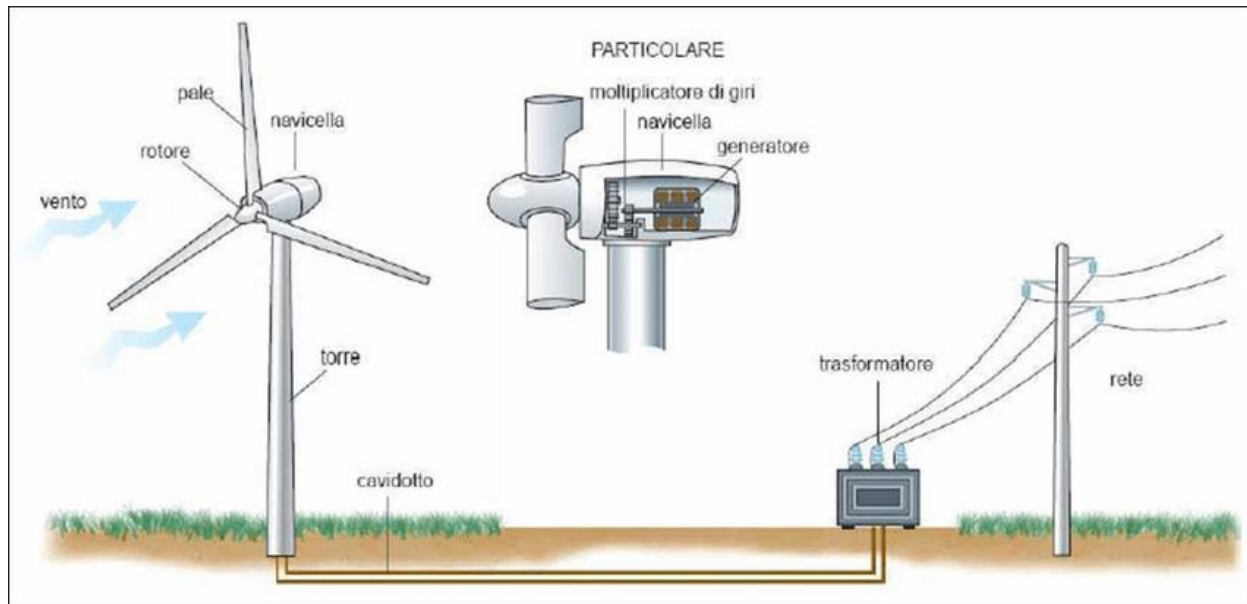


Figura 1 - Schematizzazione impianto eolico

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 CO<sub>2</sub>, 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.

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

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.

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.

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

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.

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: 52,8 MW;
- potenza della singola turbina: 6,6 MW;
- n. 8 turbine;
- n. 1 “Cabina di Raccolta e Smistamento”;
- n. 1 “SSE lato utente di trasformazione”;
- n. 1 Nuova stazione elettrica di trasformazione RTN.

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
A1	63	91
A2	69	61
A3	69	9
A4	62	1
A5	63	98
A6	63	7
A7	63	155
A8	38	16

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 155m, mentre il diametro del rotore misura 170m

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

In tale fase si prevede la realizzazione di opere di fondazione del tipo profonda in relazione alla stratigrafia locale del terreno. La fondazione sarà costituita da una piastra avente diametro pari a 24 m e un'altezza massima, in corrispondenza del colletto, 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 1000 mm e profondità di 25.00 m posti a corona circolare ad una distanza di 10.50 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 con classe di resistenza C32/40, anche i pali saranno realizzati in calcestruzzo C32/40 e 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 2.00m a 3.50m, flangia in superficie di diametro di 8m alta 0.5m sopra il piano campagna. Per quanto riguarda le armature, per la piastra sono stati utilizzati  $\phi 30$  mentre per i pali  $\phi 24$  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.

**PROGETTAZIONE:**

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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)





Relazione tecnica delle opere architettoniche

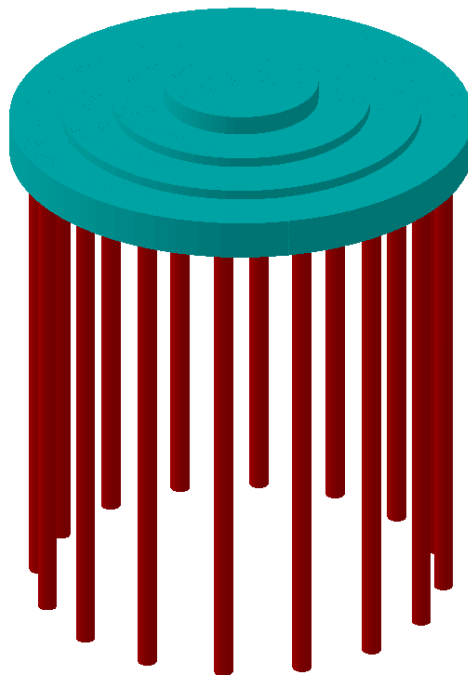


Figura 2 - vista fondazione tipo.

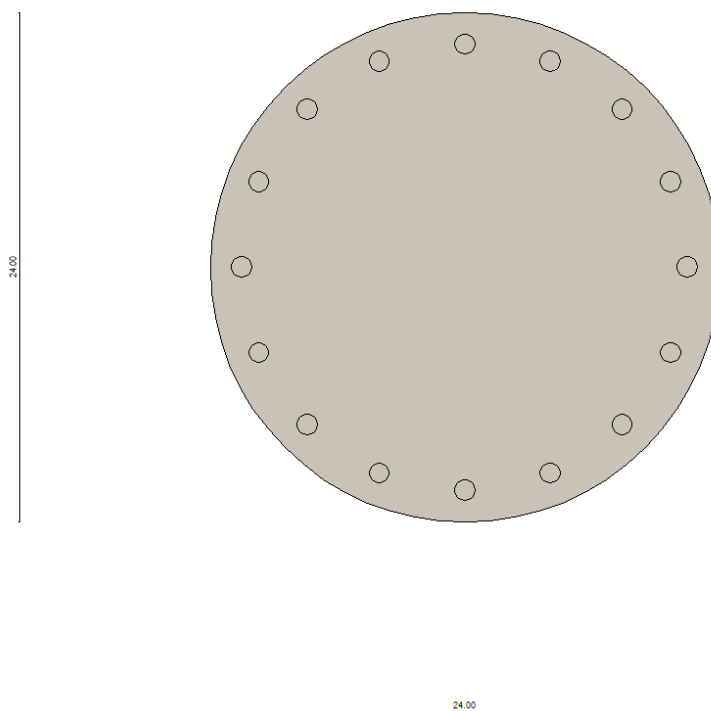


Figura 3 - Sezione e fondazione tipo.

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)





Relazione tecnica delle opere architettoniche

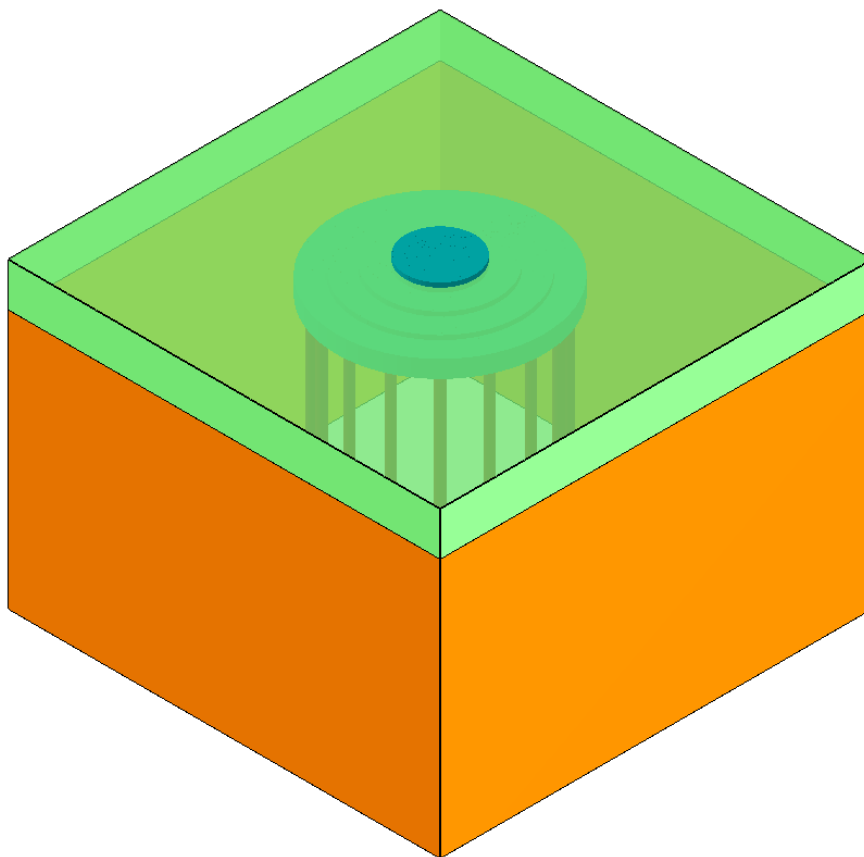


Figura 4 - Modellazione fondazione e stratigrafia

Per meglio comprendere il modello, di seguito un'immagine riassuntiva delle misure utilizzate.

PROGETTAZIONE:



EGM PROJECT

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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



Relazione tecnica delle opere architettoniche

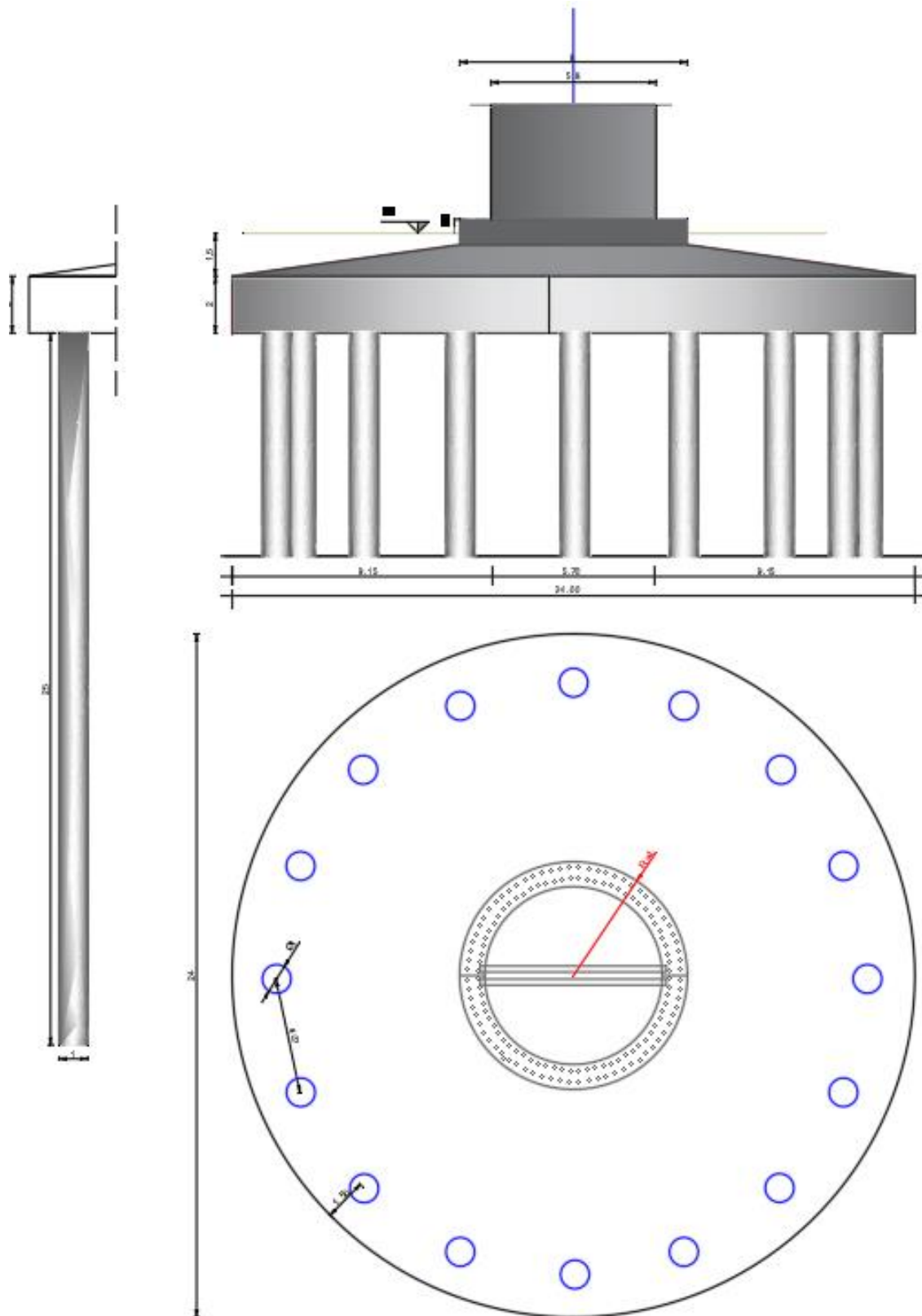


Figura 5- Dettagli misure platea su pali.

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



**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”

**PROGETTAZIONE:**

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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



## 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]
$\gamma_{cls}$	Peso specifico calcestruzzo, espresso in [kg/mc]
E	Modulo elastico calcestruzzo, espresso in [kg/cmq]
$\nu$	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogeneizzazione
TA	Tipo acciaio

n°	Descrizione	TC	$R_{ck}$ [kPa]	$\gamma_{cls}$ [kN/mc]	E [kPa]	$\nu$	n	TA
1	Cls 32/40	C32/40	40000	24.52	33642648	0.200	15.00	B450C

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)





**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

Caratteristiche acciaio

Nid	$\gamma_k$	$\alpha_{T, i}$	E	G	Stz	$f_{yk,1}/$ $f_{yk,2}$	$f_{tk,1}/$ $f_{tk,2}$	$f_{yd,1}/$ $f_{yd,2}$	$f_{td}$	s	$\gamma_{M1}$	$\gamma_{M2}$	$\gamma_{M3,SL}$ V	$\gamma_{M3,SLE}$	$\gamma_{M7}$	
															Cn t	Cnt
	[N/m <sup>3</sup> ]	[1/°C]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]							
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.  
 $\gamma_k$  Peso specifico.  
 $\alpha_{T, i}$  Coefficiente di dilatazione termica.  
 E Modulo elastico normale.  
 G Modulo elastico tangenziale.  
 Stz Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).  
 ftk,1 Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con  $t \leq 40$  mm).  
 ftk,2 Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con  $40$  mm  $< t \leq 80$  mm).

PROGETTAZIONE:



**EGM PROJECT**

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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



## 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 2,00 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

### U.G.1 ARGILLE ALTERATE (DA -2.00 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*

$\gamma_n$ KN/m <sup>3</sup>	$\phi'$ °	$c'$ KPa
19.0	15	25

### U.G.2 ARGILLE CON STRUTTURE A SCAGLIE – FLYSCH NUMIDICO (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*

$\gamma_n$ KN/m <sup>3</sup>	$\phi'$ °	$c'$ KPa
20.0	20	25

## 7. CARICHI AGENTI SULLA FONDAZIONE

Di seguito un tipologico dell'aerogeneratore in oggetto tipo Siemens Gamesa 6.6-170 – MOD 6.6 MW8- 155m.

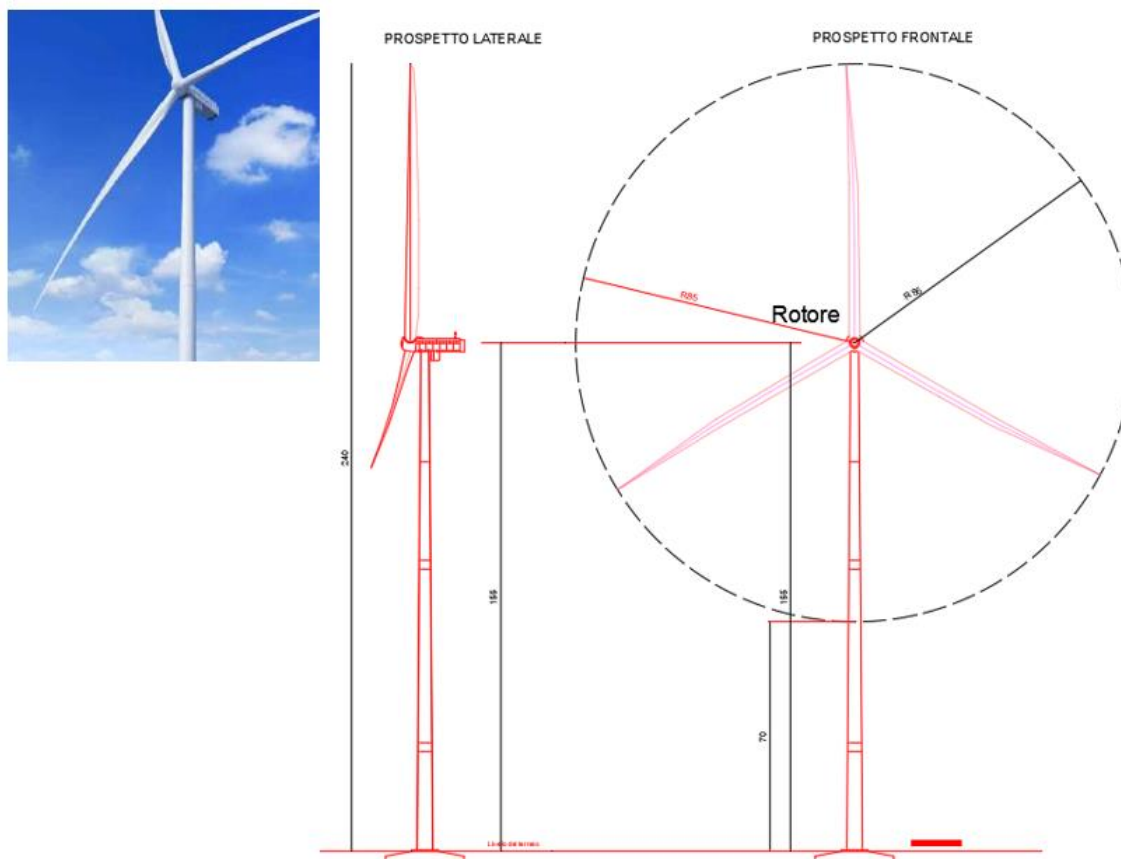


Figura 6 - Struttura aerogeneratore.

PROGETTAZIONE:

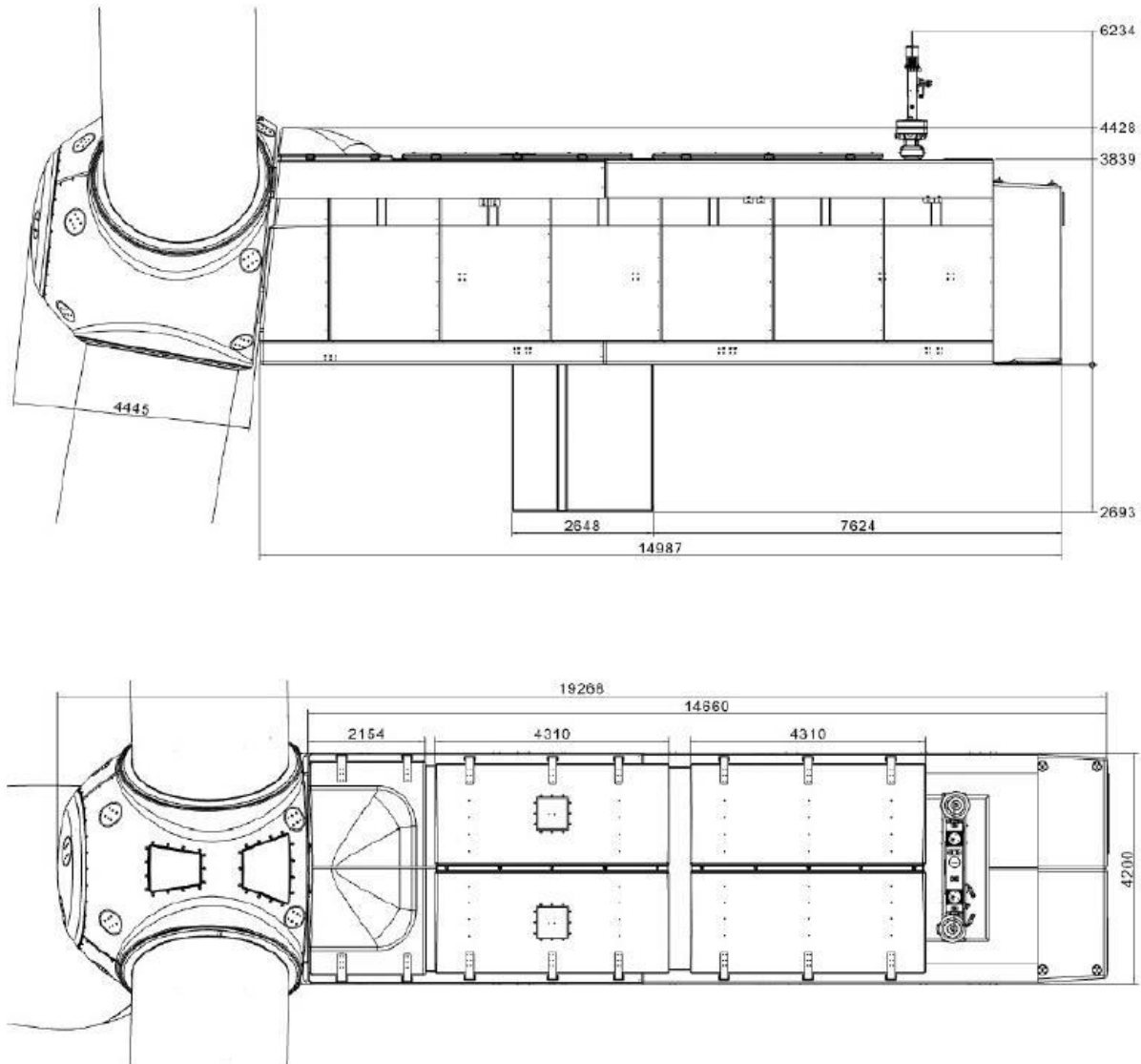


EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)







*Figura 7 - Tipico navicella WTG.*

**PROGETTAZIONE:**



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



**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](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

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 <sup>3</sup> ]
<b>Calcestruzzi cementizi e malte</b>	
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
<b>Metalli e leghe</b>	
Acciaio	78,5
Ghisa	72,5
Alluminio	27,0
<b>Materiale lapideo</b>	
Tufo vulcanico	17,0
Calcere compatto	26,0
Calcere tenero	22,0
Gesso	13,0
Granito	27,0
Laterizio (pieno)	18,0
<b>Legnami</b>	
Conifere e pioppo	4,0+6,0
Latifoglie (escluso pioppo)	6,0+8,0
<b>Sostanze varie</b>	
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.

**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

*Condizione n° 1 - Torre [Permanente non strutturale - Partecipa al sisma]*

**Carichi concentrati**

Oggetto	X	Y	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
Piastra	10.00	10.00	585279.0	0.0	0.0	0.0	0.0

*Condizione n° 2 - Vento [Variabile -  $\Psi_0=1.00$   $\Psi_1=1.00$   $\Psi_2=1.00$  - Partecipa al sisma]*

**Carichi concentrati**

Oggetto	X	Y	N	Mx	My	Tx	Ty
	[m]	[m]	[kg]	[kgm]	[kgm]	[kg]	[kg]
Piastra	10.00	10.00	0.0	0.0	4849083.0	62568.0	0.0

Combinazione n° 1 - STR - A1-M1-R3

Condizione	CP
Peso proprio	1.30
Torre non strutturale	1.50
Vento	1.50

Combinazione n° 2 - SLE Quasi permanente

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 3 - SLE Frequente

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 4 - SLE Rara

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 5 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 1.00 X+ + 0.30 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 6 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 1.00 X+ + 0.30 Y-]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 7 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 1.00 X- + 0.30 Y-]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 8 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 1.00 X- + 0.30 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 9 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 0.30 X+ + 1.00 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 10 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 0.30 X+ + 1.00 Y-]

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 11 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 0.30 X- + 1.00 Y-]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 12 - SLV - STR - A1-M1-R3 [Sismica 0.30 X- + 1.00 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 13 - SLD - SLE Quasi permanente [Sismica 1.00 X+ + 0.30 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 14 - SLD - SLE Quasi permanente [Sismica 1.00 X+ + 0.30 Y-]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 15 - SLD - SLE Quasi permanente [Sismica 1.00 X- + 0.30 Y-]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 16 - SLD - SLE Quasi permanente [Sismica 1.00 X- + 0.30 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 17 - SLD - SLE Quasi permanente [Sismica 0.30 X+ + 1.00 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 18 - SLD - SLE Quasi permanente [Sismica 0.30 X+ + 1.00 Y-]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 19 - SLD - SLE Quasi permanente [Sismica 0.30 X- + 1.00 Y-]

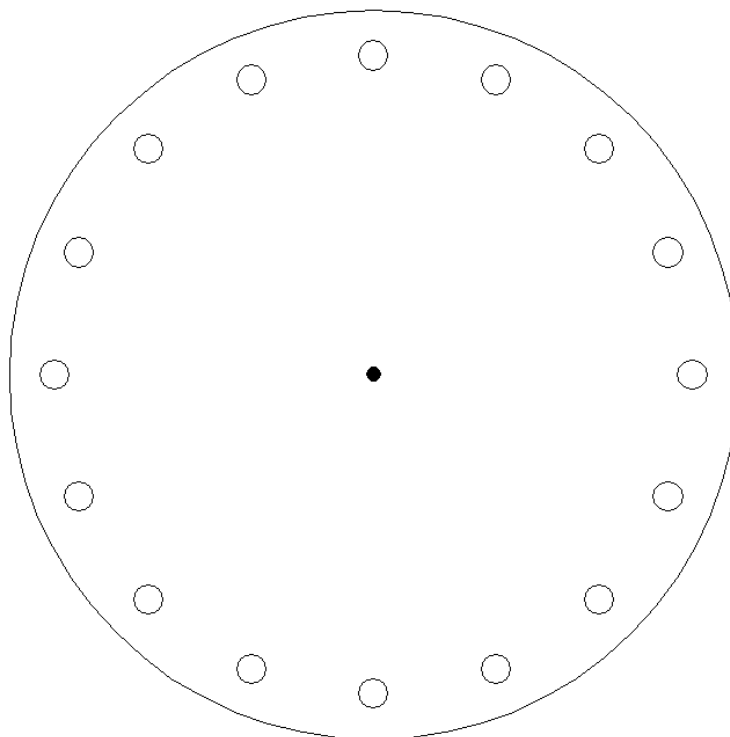
Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

Combinazione n° 20 - SLD - SLE Quasi permanente [Sismica 0.30 X- + 1.00 Y+]

Condizione	CP
Peso proprio	1.00
Torre non strutturale	1.00
Vento	1.00

**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

I carichi sono stati applicati al centro della piastra come momento flettente e taglio alla base come si può evincere dall'immagine sottostante:



*Figura 11 - Carichi applicati*

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



## 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 e 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.

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](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



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.

In allegato alla presente norma, per il sito considerato, sono forniti i valori di ag, Fo e Tc\* necessari per la determinazione delle azioni sismiche:

**CLASSE D'USO: 4 VITA NOMINALE: 50 anni**  
**CATEGORIA TOPOGRAFICA: T1 PERIODO DI RIFERIMENTO: 100 anni CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: B**  
**Parametri Sismici**

	Probab. Sup. (%)	TR (anni)	Ag (g)	\Fo	Tc* (s)
<b>SLO</b>	<b>81</b>	60	0,047	2,438	0,276
<b>SLD</b>	<b>63</b>	101	0,058	2,461	0,296
<b>SLV</b>	<b>10</b>	949	0,122	2,619	0,356
<b>SLC</b>	<b>5</b>	1950	0,15	2,663	0,368

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

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

$$S_s = 1,20 \quad S_t = 1,00 \quad a_g = 0,12$$

**a<sub>gmax</sub> è pertanto pari a 0,144**

con **K<sub>h</sub>= 0.17** (coeff. az. sism. orizzontale)      **K<sub>v</sub>=0.08** (coeff. az. sism. verticale)



## 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
		$\gamma_f$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> 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  $\gamma_{G1}$ ,  $\gamma_{G2}$ ,  $\gamma_{Qk1}$ ,  $\gamma_{Qki}$ ,  $\psi_{0i}$ ,  $\psi_{1i}$ ,  $\psi_{2i}$ , ai fini delle combinazioni SLU statiche, sismiche ed SLE di esercizio. I coefficienti di combinazioni sono riportati nella tabella seguente delle NTC2018:

**Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0i}$	$\Psi_{1i}$	$\Psi_{2i}$
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 $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6

**Relazione tecnica delle opere architettoniche**

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, ...)	da valutarsi caso per caso		
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](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



## 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  $y$ ,  $\phi_x$  e  $\phi_y$ , 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 rigidità 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 rigidità 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 rigidità delle molle è proporzionale alla costante di sottofondo  $k$  ed all'area dell'elemento.

I pali di fondazione sono modellati con molle verticali aventi rigidità pari alla rigidità 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  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\tau_{xy}$ . 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 rigidità pari alla rigidità orizzontale del palo.

Nel caso di platea nervata le nervature sono modellate con elementi tipo trave (con eventuale rigidità 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  $\phi$  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  $\eta_p$  ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale  $\eta_l$ .

Palo compresso:

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

Palo tesò:

PROGETTAZIONE:



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

[info@egmproject.it](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



## Relazione tecnica delle opere architettoniche

$$Q_A = Q_i / \eta_1 + W_p$$

### 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,  $\gamma$  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  $\eta_1$  che compare nell'espressione assume il valore:

$$\eta_1 = \frac{1 + 2K_0}{3}$$

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:

$$Q_L = \text{integrale}_{\tau_a} dS$$

dove  $\tau_a$  è dato dalla relazione di Coulomb

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

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno,  $\gamma$  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  $\text{Kg/cm}^2$ ) 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. È 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 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](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)



 <p><b>AEI WIND PROJECT XI S.R.L.</b> P.I. 17264821004 Via Savoia 78, 00198 Roma</p>	<p><b>“Progetto di realizzazione di un parco eolico della potenza di 52,8 MW denominato “CATERINA II” situato nei comuni di Caltavuturo, Polizzi Generosa, Castellana Sicula in provincia di Palermo (PA), e di Villalba, in provincia di Caltanissetta (CL)”</b></p> <p><b>Relazione tecnica delle opere architettoniche</b></p>	<p><b>DATA: DICEMBRE 2023 Pag. 28 di 28</b></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](mailto:info@egmproject.it) - [egmproject@pec.it](mailto:egmproject@pec.it)

