



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PRESENTAZIONE DEL PROGETTO .....</b>	<b>4</b>
2.1	DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	4
<b>3</b>	<b>STRUTTURE.....</b>	<b>9</b>
3.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	10
3.2	MATERIALI.....	12
3.3.1	PESI PROPRI STRUTTURALI E CARICHI PERMANENTI.....	13
3.3.2	AZIONI DEL VENTO.....	13
<b>4</b>	<b>ANALISI STRUTTURALE .....</b>	<b>16</b>
4.1	MODELLO STRUTTURALE UTILIZZATO .....	16
4.1.1	APPROCCIO DI VERIFICA E COMBINAZIONI DI CARICO .....	16
4.2	VERIFICHE STRUTTURALI PRELIMINARI .....	17
4.2.1	VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITÀ DELLE STRUTTURE FUORI TERRA.....	17
4.2.2	VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ DELLE STRUTTURE FUORI TERRA.....	17
<b>5</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>18</b>

## 1 PREMESSA

---

La presente relazione tecnica specialistica è riferita al progetto di realizzazione di un “Parco Eolico” per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile di tipo eolica, e la conseguente immissione dell’energia elettrica prodotta, attraverso la dedicata rete di connessione, sino alla Rete di Trasmissione Nazionale.

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 10 aerogeneratori, ognuno da 5 MW, da installare in Contrada Kaggio, nel Comune di Monreale (PA), con opere di connessione ricadenti in Contrada Aquila, nel Comune di Monreale (PA), commissionato dalla società S&P 15 s.r.l.

Nella presente relazione si riportano i calcoli preliminari della struttura portante (torre di sostegno) dell’aerogeneratore e della sua fondazione; l’aerogeneratore nel suo complesso sarà costituito da: torre (elemento strutturale portante), navicella e pale (blades) che insieme costituiranno la “sovrastuttura”.

## 2 PRESENTAZIONE DEL PROGETTO

### 2.1 Descrizione del progetto

S&P 15 s.r.l. intende realizzare in Contrada Kaggio e in Contrada Aquila, nei territori del Comune di Monreale (PA), un impianto eolico con 10 nuovi aerogeneratori di ultima generazione con potenza unitaria di 5 MW per la produzione di energia elettrica.

L'impianto che la S&P 15 srl presenta in autorizzazione è composto da:

- N. 10 turbine eoliche, ricadenti in Contrada Kaggio, nel territorio del Comune di Monreale (PA);
- Stazione Utente, ricadente in Contrada Aquila, nel Comune di Monreale (PA);
- Stazione di consegna Rete, ricadente in Contrada Aquila, nel Comune di Monreale, denominata "Monreale 3" (PA);
- Cavidotti di collegamento AT (36kV), nel Comune di Monreale (PA).

L'impianto avrà una potenza di 50.000,00 kWp (50.000,00 kW) e l'energia prodotta sarà ceduta alla rete elettrica di alta tensione, tramite la costruenda stazione di trasformazione a 220 kV, idonea ad accettare la potenza.

L'area di interesse ricade nella Zona Territoriale Omogenea "ZONA E", ossia Zona Agricola e non vi è alcun tipo di vincolo in corrispondenza delle strutture, locali e attrezzature che compongono l'impianto.

L'area ricade all'interno del bacino idrografico BAC-057 Fiume del Belice, secondo il piano del bacino dell'assetto idrogeologico (PAI). Le coordinate geografiche dei siti di impianto, della stazione di Utente e della stazione di Rete sono:

Cod. Turbina	Comune	Coordinate	
		Latitudine	Longitudine
<b>WTG-1</b>	Monreale	37° 55' 42" N	13° 14' 45" E
<b>WTG-2</b>	Monreale	37° 55' 15" N	13° 15' 02" E
<b>WTG-3</b>	Monreale	37° 55' 15" N	13° 15' 20" E
<b>WTG-4</b>	Monreale	37° 55' 01" N	13° 55' 01" E
<b>WTG-5</b>	Monreale	37° 55' 52" N	13° 15' 21" E
<b>WTG-6</b>	Monreale	37° 56' 00" N	13° 15' 00" E

<b>WTG-7</b>	Monreale	37° 56' 03" N	13° 15' 45" E
<b>WTG-8</b>	Monreale	37° 55' 42" N	13° 15' 42" E
<b>WTG-9</b>	Monreale	37° 56' 46" N	13° 15' 24" E
<b>WTG-10</b>	Monreale	37° 56' 21" N	13° 15' 00" E
<b>Stazione Utente</b>	C. da Aquila (Monreale, PA)	37°54'10" N	13°17'50" E
<b>Stazione Rete</b>	C. da Aquila (Monreale, PA)	37°54'11" N	13°17'52" E



#### LEGENDA

	Aerogeneratore		Linea AT 220 kV di nuova realizzazione
	Tracciato cavidotto MT		Area stazione di rete
	Confine Catastale		Area destinata alla Stazione Utente

Figura 1 - Ortofoto dell'area della stazione ricadente sul territorio di Monreale (PA) **Contrada Aquila** e cavidotto di connessione

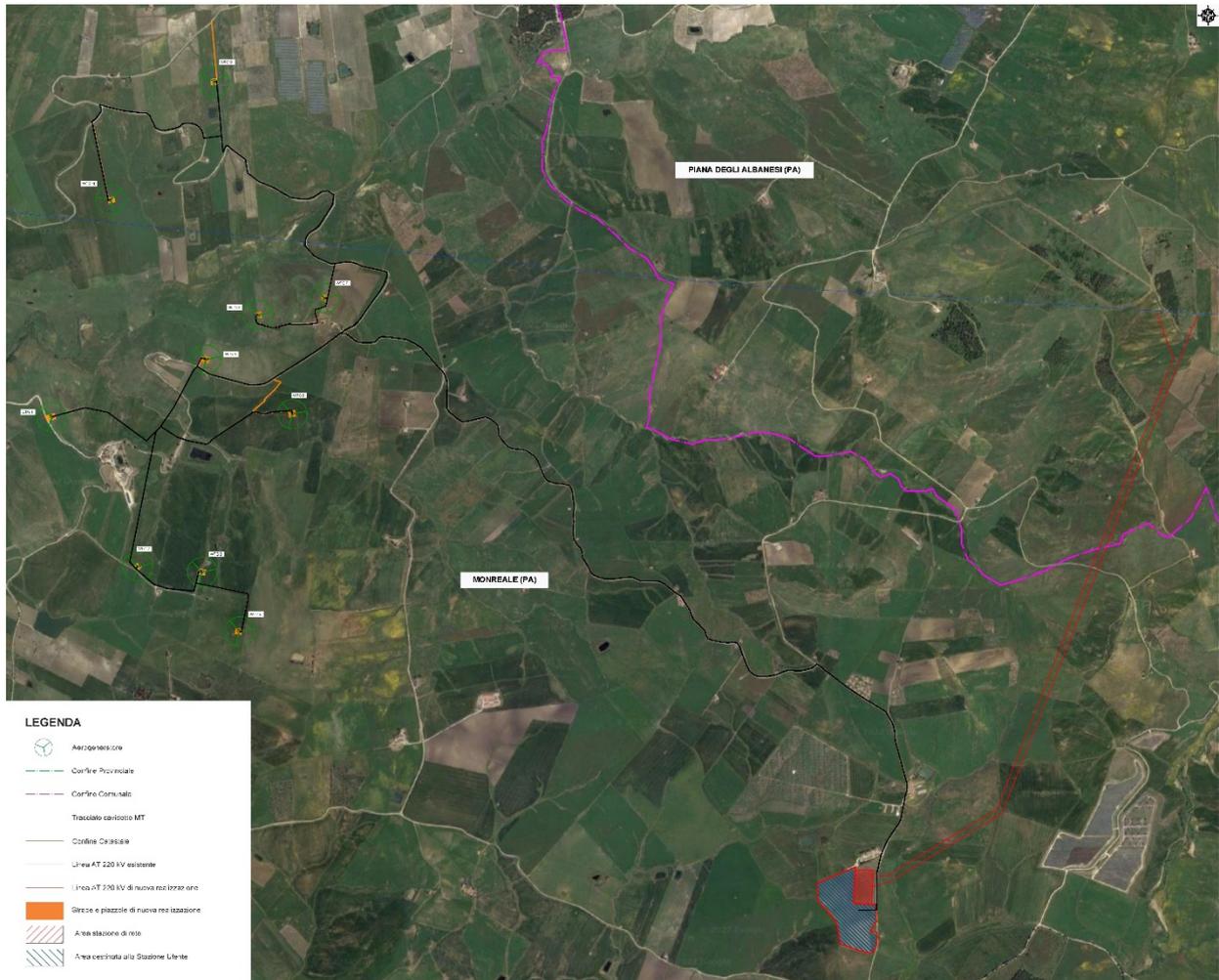


Figura 2- Ortofoto dell'area di impianto

Il sito dell'impianto eolico è individuato nella Tavoletta 'Alcamo', Foglio N°258, Quadrante I, Orientamento NO e nella Tavoletta 'Alcamo', Foglio N°258, Quadrante I, Orientamento SO, della Carta d'Italia scala 1: 25.000 e nelle sezioni 607070 (gli aerogeneratori WTG-01, WTG-10 e cavidotto) e 607080 (siti di impianto degli aerogeneratori da WTG-02 a WTG-09 e cavidotto) della Carta Tecnica Regionale in scala 1: 10.000.

La S&P 15 s.r.l. ha ottenuto dal gestore di rete Terna la soluzione tecnica minima generale (STMG) per connettere 50 MWn sul territorio di Monreale (PA) in data 08/04/2022 (cod. pratica 202200055), la quale prevede che il parco eolico venga collegato alla Linea AT del distributore tramite la costruenda stazione AT da 220 kV. L'impianto S&P 15 si allaccerà alla suddetta stazione di Rete, sita nel Comune di Monreale (PA) in Contrada Aquila, insieme all'impianto S&P 12 dello stesso Proponente.

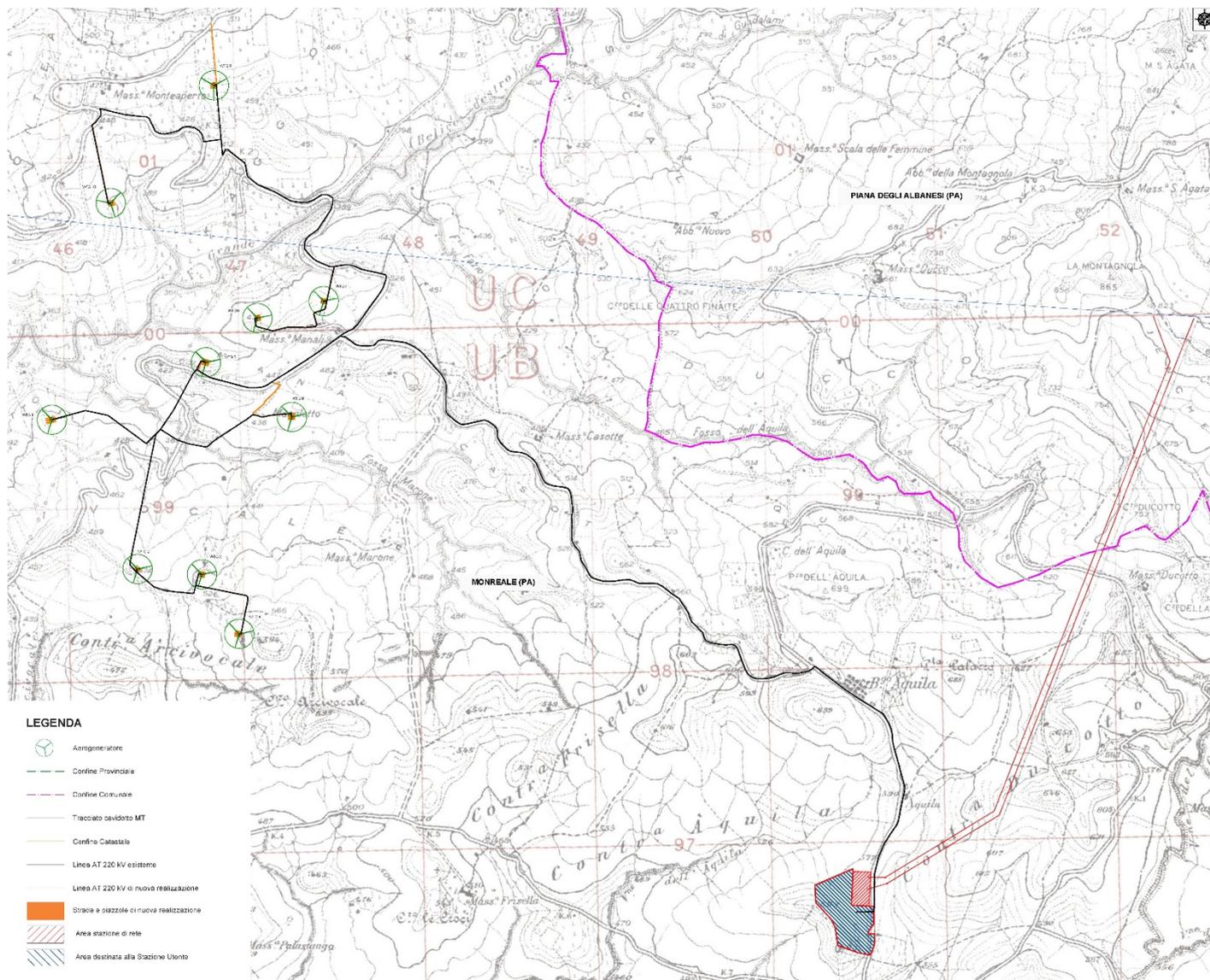


Figura 3 – Inquadramento territoriale di S&P 15 I.G.M. scala 1:25.000 (TAV. IT-COG)

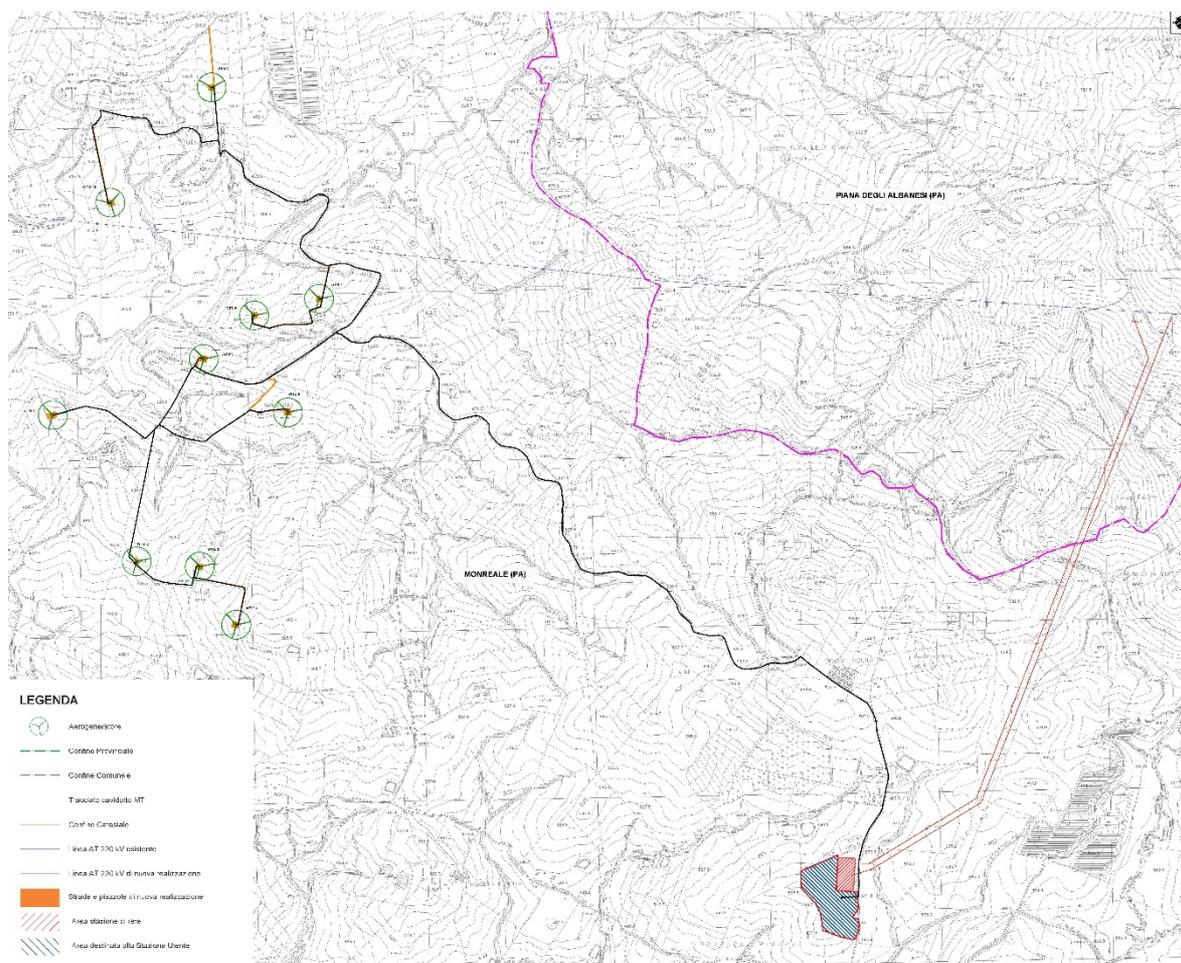


Figura 4 – Inquadramento territoriale dell'area del parco eolico

L'accesso all'area in cui sarà realizzato l'impianto S&P 15 è raggiungibile attraverso la SS 624 Palermo-Sciacca e SS 118 Corleonese Agrigentina; i siti di impianto e della relativa stazione Utente-Rete sono raggiungibili attraverso una serie di strade provinciali (tra cui la SP 4, SP 20, SP 42, SP 102, SP103) che garantiscono il collegamento anche con i Comuni limitrofi.

### 3 STRUTTURE

---

Gli aerogeneratori si compongono dei seguenti elementi: struttura di fondazione, torre di sostegno, mozzo, lame (pale), rotore, moltiplicatore di giri, generatore, sistemi di controllo, navicella, trasformatore e componentistica elettrica.

- **FONDAZIONI:** le fondazioni degli aerogeneratori sono delle strutture realizzate per il trasferimento al terreno di fondazione delle sollecitazioni derivanti dalle strutture in elevazione. Sono realizzate in calcestruzzo armato, con pianta di forma circolare, spessore variabile da un minimo (sul bordo esterno) ad un massimo in corrispondenza della zona centrale di attacco della torre;
- **TORRE:** la torre di sostegno è costituita da un tubo cilindrico con alle estremità saldate delle flange circolari per il fissaggio alla struttura di fondazione, all'estremità inferiore, agli altri tronchi e alla navicella, all'estremità superiore, per mezzo di bulloni e dadi;
- **MOZZO:** Dimensioni 3.600 mm x 4.000 mm;
- **NAVICELLA:** Dimensioni 9.600 mm x 4.200 mm x 3.800 mm;
- **PALE:** n° 3 pale con dimensioni 81.000 mm x 2.700 mm;

Completano le strutture:

- Una **scala** interna per permettere il raggiungimento della navicella;
- Un **ballatoio** che consente la manutenzione dell'impianto.

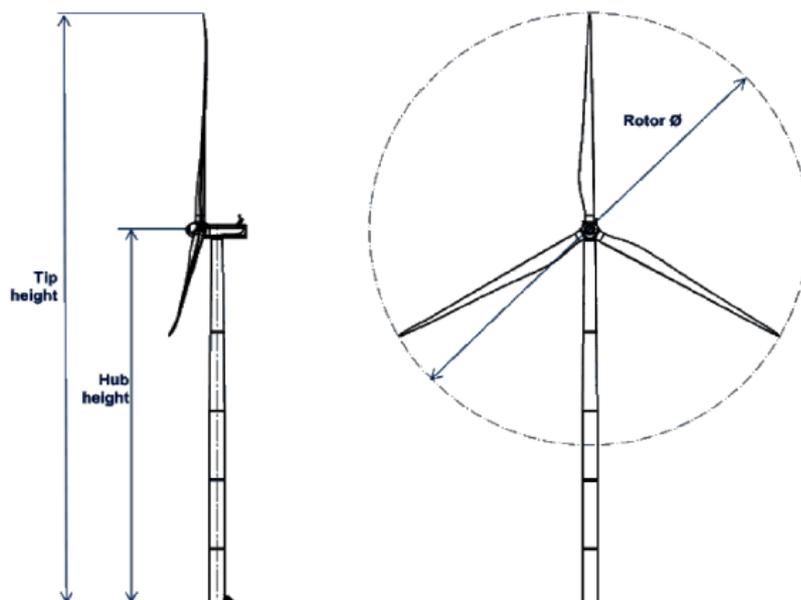


Figura 5 - Profilo longitudinale struttura

### 3.1 Normative di riferimento

Le verifiche strutturali preliminari sono state eseguite in accordo alle seguenti normative nazionali:

- D.M. 14 Gennaio 2008: "Norme tecniche per le Costruzioni" (NTC);
- Circolare 2 Febbraio 2009 n.617: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M.14.1.2008".

A titolo di supporto, si richiamano di seguito i testi normativi pregressi di riferimento:

- Legge n. 1086 05.11.1971 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge 02/02/1974 n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Circolare Min. LL. PP. Del 14/02/1974 n. 11951;
- D.M. LL.PP. 14.02.1992 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" e relativa Circ. Min. LL.PP n° 37406/STC del 24.06.1993;
- D.M. LL.PP. 09.01.1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" e relativa Circ. Min. LL.PP n° 252 AA.GG. /S.T.C. del 15.10.1996;

- D.M. LL.PP. 16.01.1996 "Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi" e relativa Circ. Min. LL.PP. n° 156 AA.GG. /STC del 04.07.1996;
- Circolare Min. LL.PP. 04/07/1996, n. 156 AA.GG. /STC. "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi" di cui al D.M. 16/01/1996;
- Circolare del 10/04/1997 n. 65 del Ministero dei LL.PP., Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16/01/1996.
- ORDINANZA P.C.M. N:3274 del 02/05/2003 (G.U. 08/05/2003, n. 105 suppl.) modificata ed integrata ai sensi della ORDINANZA P.C.M. N. 3316 del 02/10/2003 (G.U. 10/10//2003, n. 236) e della ORDINANZA P.C.M. N. 3431 del 03/05/2005 (G.U. 10-5-2005, n. 107-suppl.): Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.P.C.M. n° 3685 del 21/10/03, G.U. n° 252, del 29/10/03;
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio Servizio Sismico Nazionale, 29/03/04: Elementi informativi sull'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.5.2003);
- D.M. Infrastrutture e Trasporti del 14-09-2005 "Norme tecniche per le costruzioni." (G.U. n. 222 del 23/9/2005 - Suppl. Ordinario n.159);
- O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/06, G.U. n° 108, del 11/05/06.

Coerentemente con quanto riportato nelle norme attualmente in vigore (NTC del 14/01/2008) e solo se non in contrasto con le stesse, possono essere presi a riferimento i seguenti codici internazionali:

- UNI EN 1991-1-3: 2004 "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da Neve";
- UNI EN 1991-1-4: 2005. Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;

- UNI EN 1993-1-3:2007 "Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo".

### 3.2 Materiali

Ai fini delle verifiche e dei calcoli preliminari i materiali adottati sono:

- Calcestruzzo per le fondazioni:

Classe di resistenza C35/45.....	Rck=45 N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione, prospetto 4 UNI 11104.....	XC2
Classe di consistenza.....	S4
Dosaggio minimo di cemento.....	360 kg/mc d'impasto
Rapporto A/C.....	<=0,55
Acqua.....	Conforme a UNI EN 1008
Dimensione max aggregato.....	25 mm
Modulo elastico.....	34625,5 N/mm <sup>2</sup>
fcd.....	21,17 N/mm <sup>2</sup>

- Acciaio per le armature:

Tipo.....	B 450 C
f <sub>y</sub> .....	450,00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t</sub> .....	540,00 N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>s</sub> .....	1,15
f <sub>yd</sub> .....	391,30 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>s</sub> .....	210'000,00 N/mm <sup>2</sup>
ε <sub>yd</sub> .....	1,86 ‰

### 3.3 Azioni sulle costruzioni

Per le verifiche statiche del sistema proposto, da effettuarsi in sede di progettazione esecutiva, si utilizzeranno i seguenti dati:

- pesi propri strutturali e carichi permanenti;
- spinta del vento;
- variazioni termiche.

In prima approssimazione è possibile trascurare gli effetti derivanti dalle variazioni termiche.

Per ciascuna di queste azioni e laddove applicabile, per questo tipo di struttura si prevede una vita nominale di 25 anni. Rispetto a tale periodo di riferimento vengono calcolate le azioni così come a seguito indicato.

#### 3.3.1 Pesì propri strutturali e carichi permanenti

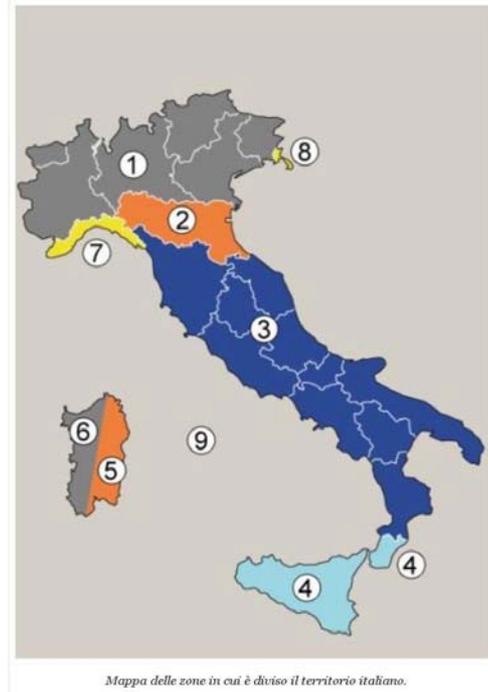
La struttura è progettata per il sostegno degli aerogeneratori e per resistere alle azioni ambientali.

#### 3.3.2 Azioni del vento

Le azioni del vento sono state calcolate con riferimento alle NTC e relativamente alle seguenti caratteristiche del sito:

$H_{slm}$ (m)	224
Zona	4
Rugosità	D
Esposizione	II
Tilt (°)	28
TR (anni)	30
$H_{max}$ (m)	200.0

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa					
	mare			500m	750m	
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						



La velocità di riferimento per il calcolo della pressione cinetica, è stata calcolata per un periodo di riferimento TR pari a 30 anni (si veda la circolare 2 Febbraio 2009, n. 617).

Di seguito sono riportate le grandezze coinvolte nel calcolo dell'azione dovuta al vento:

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
4	28	500	0,02
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			22
$T_R$ (Tempo di ritorno)			30

la pressione cinetica di riferimento, risulta:

$v_b = v_{b,0}$	per $a_s \geq a_0$
$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$	per $a_0 < a_s \leq 1500$ m
$v_b (T_R = 50)$ [m/s]	28,000
$\alpha_R (T_R)$	1,00000
$v_b (T_R) = v_b \times \alpha_R$ [m/s]	28,000

Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_b$ [N/mq]	490 420,24
--------------	---------------

i coefficienti di esposizione sono:

$k_r$	$z_0$	$z_{min}$	$C_e$	$C_p$	$C_{p,local}$
0,22	0,30	8	1,801	1,00	0,882

Tutti i valori sono in accordo alle specifiche delle NTC riportate nel seguito:

**Tabella 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$**

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Per quanto riguarda il coefficiente di forma  $c_p$ , viene assunta la formulazione riportata nella circolare 2 febbraio 2009 - n. 617, relativa alle tettoie ad un solo spiovente, per le quali viene definito:

$$C_p = \pm 1.2(1 + \sin \alpha) = 1.65$$

Per quanto riguarda le massime pressioni locali (effetti di bordo) si assume un valore pari a:

$$C_{p,local} = \pm 0,882$$

Tutto questo considerato risulta (si assume  $C_d = 1$ ):

$$p = q_b C_p C_e C_d = 1248 \text{ N/m}^2 = \mathbf{1.456 \text{ kN/m}^2}$$

## 4 ANALISI STRUTTURALE

---

### 4.1 Modello strutturale utilizzato

Le verifiche strutturali preliminari sono state condotte utilizzando un modello di calcolo composto da elementi beam, simulanti il comportamento delle membrature componenti.

Nel dettaglio, per i pali di supporto si è considerato un incastro.

Ai fini delle verifiche si sono considerati i profili indicati negli elaborati grafici allegati al progetto.

#### 4.1.1 Approccio di verifica e combinazioni di carico

Sono state condotte verifiche agli stati limite secondo quanto imposto dalle NTC del 14/01/2008. La sovrapposizione degli effetti dei vari carichi è stata ottenuta per semplice combinazione lineare.

Di seguito vengono riportate le combinazioni di carico utilizzate ai fini delle verifiche:

##### STATI LIMITE ULTIMI

- combinazione CSLU1:  $E_d=1,3 \times G - 1,5 \times W + 0,5 \times 1,5 \times S$
- combinazione CSLU2:  $E_d=1,0 \times G + 1,5 \times W + 0,5 \times 1,5 \times S$
- combinazione CSLU3:  $E_d=1,3 \times G - 0,6 \times 1,5 \times W + 1,5 \times S$
- combinazione CSLU4:  $E_d=1,3 \times G + 0,6 \times 1,5 \times W + 1,5 \times S$
- combinazione CSLU5:  $E_d=1,3 \times G - 1,5 \times W$
- combinazione CSLU6:  $E_d=1,3 \times G + 1,5 \times S$
- combinazione CSLU7:  $E_d=1,0 \times G + 1,5 \times W$

##### STATI LIMITE ESERCIZIO

- combinazione CSLS1:  $E_d=1,0 \times G - 1,0 \times W + 0,5 \times S$
- combinazione CSLS2:  $E_d=1,0 \times G + 1,0 \times W + 0,5 \times S$
- combinazione CSLS3:  $E_d=1,0 \times G - 0,6 \times W + 1,0 \times S$
- combinazione CSLS4:  $E_d=1,0 \times G + 0,6 \times W + 1,0 \times S$
- combinazione CSLS5:  $E_d=1,0 \times G - 1,0 \times W$
- combinazione CSLS6:  $E_d=1,0 \times G + 1,0 \times S$
- combinazione CSLS7:  $E_d=1,0 \times G + 1,0 \times W$

## 4.2 Verifiche strutturali preliminari

### 4.2.1 Verifiche di resistenza e stabilità delle strutture fuori terra

Nelle figure seguenti si riporta la mappatura delle tensioni massime agenti sulle varie parti principali delle strutture per l'involuppo delle combinazioni di carico agli SLU.

La tensione di riferimento per la verifica delle strutture in oggetto è di seguito riportata:

$$f_d = f_y / \gamma_{m0} = 262 \text{ MPa}$$

Il valore massimo delle tensioni agenti sulle varie membrature rimane sempre la di sotto della tensione di riferimento. La verifica di resistenza delle strutture si ritiene quindi soddisfatta.

Ai fini delle verifiche di stabilità, significative per gli elementi, si riporta di seguito la mappatura degli stress assiali per l'involuppo delle combinazioni di carico agli SLU.

Considerando gli esigui valori di stress assiale presenti su tali elementi, i valori di snellezza effettivi delle membrature in esame (inferiori ai valori massimi di normativa), e la sollecitazione flessionale agente sugli stessi, le verifiche di stabilità dei ritti e dei traversi possono ritenersi soddisfatte.

### 4.2.2 Verifiche di deformabilità delle strutture fuori terra

Ai fini delle verifiche di deformabilità, si riporta di seguito la mappatura degli spostamenti massimi delle varie membrature per l'involuppo delle combinazioni agli SLE.

Lo spostamento massimo delle strutture verticali è pari a:

$$\delta = 4.3 \text{ mm} = H_m / 200 < H_m / 150$$

(valore di riferimento conservativo) verifica soddisfatta

## 5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

---

Le verifiche preliminari riportate nei paragrafi precedenti sono state eseguite considerando le specifiche delle norme tecniche per le costruzioni (NTC) del 14/01/2008 e della relativa circolare esplicativa; le verifiche, integralmente soddisfatte, sono focalizzate agli elementi principali delle strutture di supporto degli aerogeneratori.

In fase esecutiva si procederà all'esecuzione di tutte le verifiche di dettaglio necessarie per gli elementi di collegamento e per ogni altra parte significativa degli aerogeneratori.