

COMUNI DI BITTI, ORUNE E BUDDUSO'
PROVINCE DI NUORO E SASSARI



PROGETTO DEFINITIVO PARCO EOLICO "GOMORETTA"

Elaborato: EP_CIV_R017

Scala : -

Data : 11 dicembre 2017

Calcoli preliminari di dimensionamento delle strutture

COMMITTENTE :
Siemens Gamesa Renewable Energy Italy S.p.A.

RESPONSABILE TECNICO COMMESSA :
Dott. Ing. Nicola Maria Pepe

COORDINAMENTO :

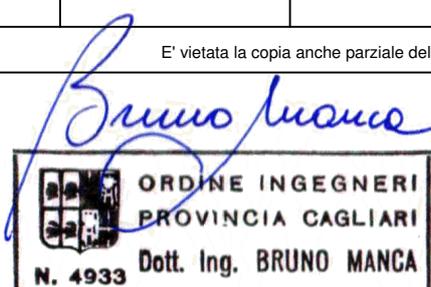
Bm Studio Tecnico Industriale
Dott. Ing. **Bruno Manca**



N° REVISIONE	Data revisione	Elaborato	Controllato	Approvato	NOTE
Rev.00	11/12/2017	BM	NMPEPE	GMERCURIO/NMPEPE	A4 (210x297mm)

E' vietata la copia anche parziale del presente elaborato

Gruppo di lavoro : Dott.ssa in Arch. Giorgia Campus
Dott.ssa Ing. Barbara Dessi
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas



INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2.1 COEFFICIENTI IMPOSTI PER LE VERIFICHE AI SENSI DELLE NTC 2008	3
3. SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO	6
4. ANALISI SISMICA	9
4.1 PARAMETRI DI CALCOLO GENERALI	9
5. CARATTERISTICHE DELLA FONDAZIONE	12

1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione definitiva del "Parco Eolico Gomoretta" nei Comuni di Bitti, Orune e Buddusò, nelle Province di Nuoro e Sassari, verranno riportati nel presente documento i calcoli preliminari delle strutture. In particolare si analizzeranno le azioni agenti sulla fondazione dell'aerogeneratore, verificando, in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno, la capacità portante dello stesso alle azioni agenti.

Verrà inoltre sviluppata la verifica a ribaltamento della struttura, in funzione dei carichi massimi agenti.

Le analisi sono state condotte considerando i parametri geotecnici del terreno desunti da prove in sito di tipo SPT, la cui interpretazione è sviluppata nella relazione geologica e geotecnica.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- LEGGE 05/11/1971 n° 1086 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica"
- 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".
- D.M. LL.PP. 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. LL.PP. 16 GENNAIO 1996 : "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- D.M. LL.PP. 16 GENNAIO 1996 : "Norme tecniche relative ai <<Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>>".
- CIRC. MIN. LL.PP. 15 OTTOBRE 1996, N. 252 : "Istruzioni per l'applicazione delle <<Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche>> di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996".
- CIR. MIN. LL.PP. 4 LUGLIO 1996, n. 156AA.GG./STC. : "Istruzioni per l'applicazione delle <<Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>> di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996".
- UNI ENV 1992-1-1 EUROCODICE 2 : Progettazione delle strutture cementizie.
- CNR-UNI 10011/88 "Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione"
- Ord. 3274 "Nuove norme per le costruzioni in zona sismica" del 20/03/2003 e successive.
- D.M. 20 Novembre 1987 e s.m.i. "Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento"
- C.N.R. n° 10024/1986 : "Analisi di strutture mediante elaboratore. Impostazione e Redazione delle relazioni di calcolo".

Le precedenti norme sono utilizzate solo dove le seguenti :

- **D.M. 14 gennaio 2008: Norme Tecniche per le Costruzioni TESTO UNICO.**
- **Circ. 02-02-2009 C.S. L.L. PP. n. 617.**

non forniscano adeguate ed esplicite indicazioni.

2.1 COEFFICIENTI IMPOSTI PER LE VERIFICHE AI SENSI DELLE NTC 2008

La verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU) indicato deve essere effettuata con riferimento ad una delle seguenti combinazioni di coefficienti:

- Approccio 1
 - Combinazione C1: A1+M1+R1

- Combinazione C2: A2+M2+R2
- Approccio 2: A1+M1+R3.

I coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici previsti dal D.M. 14 gennaio 2008 sono riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 1 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G1}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{G1}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Parametro	Grandezza	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	$\gamma\gamma$	1.0	1.0

Tabella 3 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli S.L.U. di fondazioni superficiali.

Verifica	Coefficiente parziale γ_R		
	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante della fondazione	1.0	1.8	2.3

La verifica al ribaltamento della struttura deve essere condotta con riferimento ai coefficienti imposti dallo stato limite EQU (condizione di equilibrio di corpo rigido della struttura), mentre la verifica alla capacità portante del terreno di fondazione deve essere condotta in riferimento allo stato limite GEO che, come disciplinato nella Circolare del 2/02/2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" – cap. C6.2.3.1, "con riferimento agli stati limite GEO si possono menzionare gli stati limite che riguardano il raggiungimento del carico limite nei terreni di fondazione.

Lo stato limite di ribaltamento non prevede la mobilitazione della resistenza del terreno di fondazione e deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i coefficienti parziali sulle azioni della tabella 2 e adoperando coefficienti parziali del gruppo (M2) per il calcolo delle spinte.

Le verifiche per il calcolo della capacità portante sono state affrontate considerando l'approccio 2, con combinazione di calcolo A1+M1+R3.

3. SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

A seguito delle analisi condotte per la caratterizzazione del sito e della interpretazione dei risultati ottenuti, come meglio descritto all'interno della Relazione geologica – geotecnica (EP_GEO_R001), sono stati definiti i parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione per gli aerogeneratori in progetto.

Si evidenzia che per il terreno di fondazione sono stati assunti cautelativamente i parametri definiti per lo strato superficiale; tuttavia si prevede di fondare gli aerogeneratori quasi esclusivamente sul basamento roccioso, il quale, come emerge dalle analisi in sito di seguito riportate, è sub-affiorante (profondità media del tetto del basamento roccioso < 1 m). Per un solo aerogeneratore si prevede di realizzare la fondazione non sull'ammasso roccioso. In ogni caso il terreno di fondazione è caratterizzato da materiale di buone caratteristiche geomeccaniche, in quanto trattasi o di roccia, come detto, o di complesso metamorfico sedimentario.

La ricostruzione litostratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame, come anticipato, è stata effettuata sulla base dei risultati acquisiti con il rilievo di superficie e sulla base delle informazioni ottenute con la campagna di indagini eseguite nel mese di maggio 2013.

Nel complesso, nell'area affiorano in modo esteso le litologie afferenti al complesso metamorfico-sedimentario in cui spesso l'alterazione subita dagli strati più superficiali della roccia ha portato alla formazione di uno strato di alterazione, la cui degradazione si è spinta fino a renderlo quasi incoerente nei primi cm dal piano campagna; proseguendo verso il basso invece, tali materiali assumono una consistenza compatta molto simile alla roccia madre. Tali sedimenti, presenti in modo discontinuo nell'area indagata non raggiungono comunque spessori superiori a 1,5 m.

Sulla base di queste informazioni è stato definito un modello geotecnico, costituito da tre strati litologici schematizzati, a partire dal piano campagna, a cui sono stati attribuiti in fase preliminare dei parametri geotecnici, da verificare e modulare in una futura fase progettuale. I modelli geologici di sito presentano delle caratteristiche ricorrenti nei due settori (settore n.1 e n.2) con una differenza relativa al punto indicato per il posizionamento dell'aerogeneratore WGT G1, relativo al settore n.1. Le variazioni, riguardanti il terzo strato roccioso, sono evidenziate nello schema stratigrafico riportato di seguito:

MODELLO GEOLOGICO DI SITO 01 - Settore 1 e 2 del Parco Eolico Gomoretta (WGT G1, WGT G3, WGT G4, WGT G6, WGT G7)		
SPESSORE	LITOTIPO	DESCRIZIONE
0,15-0,50 m	LITOTIPO A	suolo più o meno evoluto, con frammenti vegetali, colore bruno
0,30 – 1,30 m	LITOTIPO B	alterazione della roccia sottostante metamorfica, in genere sciolta, asciutta, di colore beige costituita da ciottoli a spigoli vivi in matrice limoso sabbiosa

≈ 0,45-1,70 m da p.c.	LITOTIPO C	roccia metamorfica in posto molto fratturata con fratture da aperte libere a serrate e riempite di materiale argilloso-limoso
-----------------------	------------	---

MODELLO GEOLOGICO DI SITO 02 - Settore 1 Parco Eolico Gomoretta (WGT G1)		
SPESSORE	LITOTIPO	DESCRIZIONE
0,30 m	LITOTIPO A	suolo più o meno evoluto, sabbioso con frammenti vegetali, colore bruno
0,30 – 1,00 m	LITOTIPO B	alterazione della roccia sottostante metamorfica, in genere sciolta, asciutta, di colore beige costituita da ciottoli a spigoli vivi in matrice limoso sabbiosa
≈ 0,45-1,70 m da p.c.	LITOTIPO D	roccia granitica in posto molto fratturata con fratture da aperte libere a serrate e riempite di materiale argilloso-limoso

Si riportano di seguito i parametri di riferimento per la progettazione geotecnica per i singoli litotipi:

- LITOTIPO B: Strato di alterazione superficiale (regolite)
 - Peso Volume naturale: 2,10 g/cm³
 - Peso Volume saturo: 2,5 g/cm³
 - Coesione: 0,0 Kg/cm²
 - Angolo di attrito: 34,72 °
- LITOTIPO C: Complesso metamorfico sedimentario
 - Peso Volume: 2,5 g/cm³
 - Coesione di picco: 14,69 MPa
 - Angolo di attrito di picco: 30,35°
 - Modulo di deformazione: 11857 MPa
- LITOTIPO D: Complesso intrusivo
 - Peso Volume: 2,6 g/cm³
 - Coesione di picco: 19,96 MPa
 - Angolo di attrito di picco: 34,72°
 - Modulo di deformazione: 13304 MPa

Considerando i valori maggiormente cautelativi relativi ai parametri geotecnici del terreno ottenuti con le indagini in campo, si sono assunti per le verifiche di calcolo i valori di seguito riportati, apportando un ulteriore fattore di sicurezza.

$$\gamma = 1850 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_s = 2100 \text{ kg/m}^3$$

$$\phi = 35^\circ$$

$$c = 0,0 \text{ kg/cm}^2$$

4. ANALISI SISMICA

Le opere in oggetto sono ubicate in Regione Sardegna, nei territori comunali di Bitti, Orune e Buddusò. La Sardegna è sempre stata classificata nella zonizzazione sismica italiana come area non sismica. Ai sensi delle NTC 2008 occorre tuttavia fare riferimento alla zonizzazione dettagliata del territorio, funzione delle coordinate topografiche del sito.

Di seguito vengono enunciati i parametri generali e dettagliati dell'azione sismica di progetto nel pieno rispetto delle ultime norme vigenti NTC 2008. Risulta dai calcoli un rischio sismico paragonabile a quello relativo alla zona 4 della precedente Ord. 3274, per la quale la sismicità del sito si presenta estremamente ridotta. Tale condizione non è quindi quella maggiormente cautelativa. La condizione che si dimostra maggiormente cautelativa è pertanto quella che presenta azione del vento massima, condizione che non si prevede concomitante con l'azione di un sisma. In ogni modo si riportano nel seguito i parametri sismici caratteristici della area di interesse per le opere in progetto.

4.1 PARAMETRI DI CALCOLO GENERALI

Gli aerogeneratori possono essere considerati opere di classe II, come emerge da quanto riportato al paragrafo 2.4.2 delle N.T.C. 2008 (Tabella 4).

Tabella 4 – Classi d'uso per le costruzioni ai sensi delle N.T.C. 2008

2.4.2 CLASSI D'USO
In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:
<i>Classe I:</i> Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i> Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i> Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i> Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

I parametri assunti alla base dei calcoli sono i seguenti:

- Vita nominale $V_N \geq 50$ anni
- Classe d'uso aerogeneratori II
- Coefficiente d'uso $C_u = 1.0$
- Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N * C_u = 100$
- Tempo di ritorno considerato per SLV (Stato limite vita) 950 anni

In funzione dei precedenti valori si procede nei paragrafi successivi alla valutazione della Azione Sismica. La "Pericolosità sismica" viene definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale max attesa
- $Se(T)$ Spettro di risposta elastico
- P_{VR} Probabilità di eccedenza
- V_R Periodo di riferimento

Le forme spettrali sono definite a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale max sito
- F_0 valore max del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* sono riportati all'interno dell'Allegato A, tabella 2 delle NTC e di seguito riportati (Tabella 5).

Tabella 5 - Valori di a_g , F_0 , T_c^* per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

I valori dei parametri di riferimento per l'analisi sismica sono pertanto i seguenti:

- $a_g = 0,603$

- $F_0 = 2,98$
- $T_c^* = 0,372$

Come anticipato, le accelerazioni che si determinano sono estremamente limitate. Poiché nel dimensionamento e nelle verifiche per le strutture in condizioni di sisma non applicano coefficienti amplificativi delle azioni e si impone la condizione di sisma non in concomitanza con azioni esterne accidentali estreme, la condizione che sicuramente si presenta maggiormente cautelativa è quella che prevede l'applicazione dei carichi massimi alla struttura con l'applicazione dei coefficienti amplificativi delle azioni ed i coefficienti di resistenza della struttura definiti ai sensi delle NTC-2008.

5. CARATTERISTICHE DELLA FONDAZIONE

Il plinto di fondazione per gli aerogeneratori in progetto avrà le seguenti caratteristiche: plinto circolare di diametro pari a 19 m, base della fondazione di altezza di 0,4 m per tutta la sagoma in pianta, pendenza del tratto in elevazione della fondazione di 3,5:1, per un'altezza di 1,95 m, e quindi tratto sommitale della fondazione di spessore pari a 0,4 m a formare una circonferenza in c.a. di diametro pari a 5,50 m.

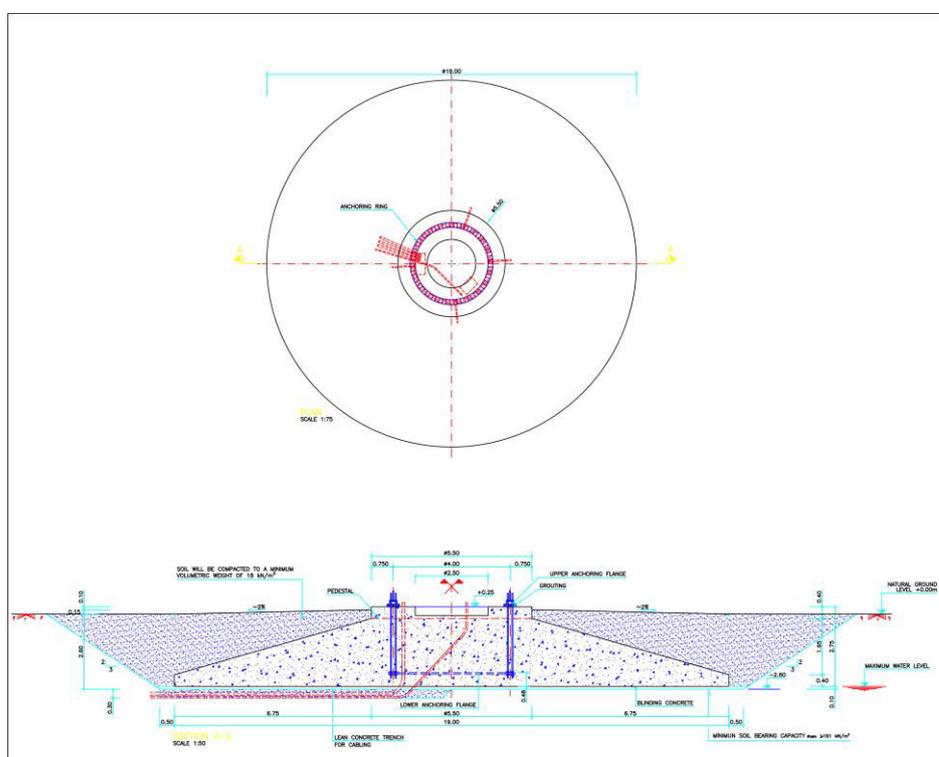


Figura 1 – Plinto di fondazione dell'aerogeneratore

Il peso della fondazione è pari alla somma del peso del cls e del peso dei ferri di armatura. I ferri di armatura incidono circa del 4% sul peso totale, con un valore pari circa a 42.000 kg. Il volume complessivo della fondazione è di circa 415 m³, per un peso complessivo dell'opera di circa 1.057.505 kg¹.

Si rimanda alla tavola della fondazione per approfondimenti strutturali e costruttivi.

¹ Il peso del calcestruzzo è stato calcolato ipotizzando l'uso di calcestruzzo ordinario e utilizzando i dati riportati nella Tabella 3.1.1 delle NTC del 2008 (24 kN/m³).