


Università di Pisa

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Meccanica

# Progetto
di
# Costruzione di Macchine

# Optiwind 1000
## Micro-generatore eolico

Relatore
Prof. Ing. Marco Beghini

Controrelatore
Prof. Ing. Leonardo Bertini

Candidati
Manlio Becchetti
Giuseppe Brunetti

Anno Accademico 2013/2014

# Indice


**1 Specifica Tecnica** **4**
- 1.1 Introduzione . . . 4
- 1.2 Produzione . . . 4
- 1.3 Prestazioni . . . 4
  - 1.3.1 Erogazione della potenza . . . 4
  - 1.3.2 Durata . . . 4
- 1.4 Condizioni da soddisfare . . . 5
  - 1.4.1 Interfacce . . . 5
  - 1.4.2 Peso . . . 5
  - 1.4.3 Disco rotorico . . . 5
  - 1.4.4 Condizioni ambientali . . . 6
  - 1.4.5 Condizioni legislative, di normativa e unificazione . . . 6
- 1.5 Trasporto . . . 6
  - 1.5.1 Montaggio . . . 6
- 1.6 Collaudo . . . 6
- 1.7 Manutenzione . . . 7
- 1.8 Manutenzione ordinaria . . . 7
  - 1.8.1 Manutenzione straordinaria . . . 7
- 1.9 Garanzia . . . 7

**2 Studio di fattibilità** **8**
- 2.1 Introduzione . . . 8
- 2.2 Principali problematiche . . . 10
- 2.3 Tempi richiesti alla produzione . . . 11
- 2.4 Indicazione sui costi . . . 11

**3 Aspetti teorici dell'energia eolica** **12**
- 3.1 Introduzione . . . 12
- 3.2 La teoria del disco attuatore . . . 12
- 3.3 Gli effetti della rotazionalità del flusso . . . 15
- 3.4 La teoria degli elementi di pala . . . 18
  - 3.4.1 Il fattore di perdita periferico di Prandtl . . . 21
  - 3.4.2 Correzione di Glauert per elevati valori di $a$ . . . 21
- 3.5 Ottimizzazione della geometria della pala . . . 22
  - 3.5.1 Ottimizzazione convenzionale . . . 22
  - 3.5.2 Ottimizzazione con correzione di Prandtl . . . 24
  - 3.5.3 Ottimizzazione con correzione di Glauert . . . 24

3.5.4 Confronto . . . 25
3.6 Dimensionamento del micro generatore . . . 26
3.6.1 Quantificazione della risorsa vento . . . 26
3.6.2 Scelta del profilo aerodinamico . . . 27
3.6.3 Implementazione numerica . . . 29
3.6.4 Quantificazione dei carichi . . . 30

**4 Progetto concettuale** **34**
4.1 Palo . . . 34
4.1.1 Basamento . . . 34
4.1.2 Palo . . . 35
4.1.3 Flangia . . . 35
4.1.4 Albero . . . 37
4.2 Navicella . . . 38
4.2.1 Generatore . . . 38
4.2.2 Carter navicella . . . 39
4.2.3 Trasmissione . . . 39
4.2.4 Alberi di trasmissione . . . 41
4.2.5 Freno di sicurezza . . . 41
4.2.6 Tendicinghia . . . 41
4.3 Rotore . . . 42
4.3.1 Piastra rotorica . . . 42
4.3.2 Bicchierini . . . 44
4.3.3 Pale . . . 44

**5 Progetto esecutivo** **46**
5.1 Palo . . . 46
5.1.1 Basamento . . . 46
5.1.2 Palo . . . 49
5.1.3 Flangia . . . 54
5.2 Navicella . . . 58
5.2.1 Albero lento . . . 58
5.2.2 Albero veloce . . . 59
5.2.3 Cuscinetti . . . 61
5.2.4 Pulegge e cinghie . . . 63
5.2.5 Freno di sicurezza . . . 65
5.3 Rotore . . . 66
5.3.1 Piastra . . . 66
5.3.2 Bicchierino . . . 69
5.3.3 Pala . . . 70

**A Codice ansys** **72**
A.1 Determinazione del carico degli stralli . . . 72
A.2 Analisi modale del palo . . . 74
A.3 Analisi statica strutturale del palo . . . 76

**Bibliografia** **81**

# Capitolo 1

# Specifica Tecnica

## 1.1 Introduzione

La presente specifica tecnica definisce OptiWind 1000, una turbina eolica di piccola taglia ad asse orizzontale. OptiWind 1000 deve convertire l'energia cinetica posseduta dal vento in potenza elettrica mediante l'azione delle forze aerodinamiche agenti sulle pale. OptiWind 1000 è destinato ad essere impiegato da utenze private in un contesto prevalentemente rurale, in presenza o meno di una connessione alla rete elettrica nazionale.

## 1.2 Produzione

OptiWind 1000 deve essere realizzato in una serie di 4500 pezzi in 5 anni con un massimo di 1500 pezzi per anno.

## 1.3 Prestazioni

### 1.3.1 Erogazione della potenza

La potenza meccanica $P$ erogata da OptiWind 1000, disponibile all'albero del generatore elettrico, per velocità del vento $v$ comprese tra 0 e 12 m/s, deve rispettare i limiti riportati in figura 1.1.

Per un intervallo di velocità del vento comprese tra 12 e 50 m/s la potenza erogata dal rotore deve essere inferiore a 1.2 kW.

### 1.3.2 Durata

OptiWind 1000 deve funzionare continuativamente per un periodo di almeno 10 anni dal momento dell'installazione. Il funzionamento di OptiWind 1000 deve essere garantito finché la velocità del vento è uguale od inferiore a 50 m/s.

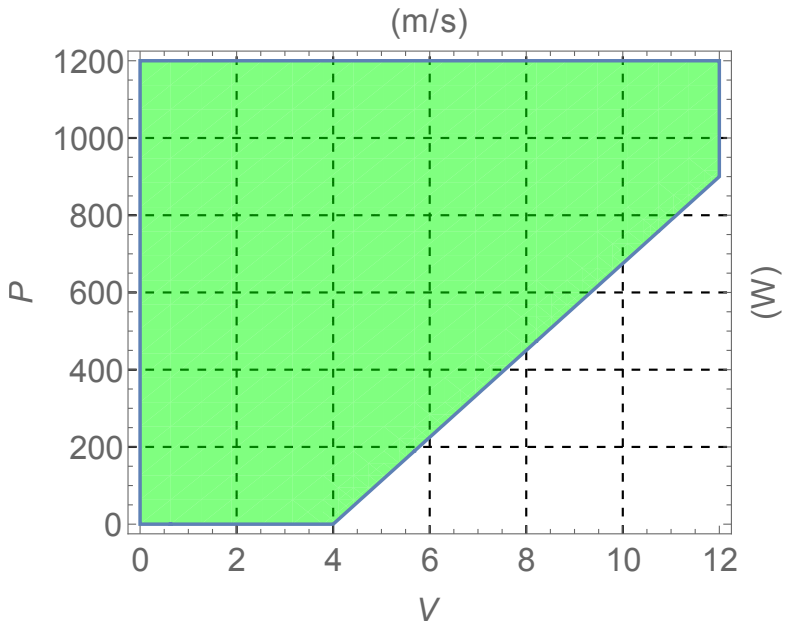



Figura 1.1: Range di potenza ammessa per velocità del vento fino a 12 m/s

## 1.4 Condizioni da soddisfare

### 1.4.1 Interfacce

OptiWind 1000 deve essere ancorato al terreno mediante un plinto in cemento armato. Il plinto è in grado di sostenere staticamente un'azione di 10 kN in ogni direzione e un momento flettente di 10 kN m. Il plinto è provvisto di 8 fori equispaziati M10 filettati per una lunghezza di 50 mm, disposti su una circonferenza di raggio 205 mm.
È ammesso l'impiego di un massimo di 4 stralli, ancorabili a plinti dotati di foro M10 filettato per una lunghezza di 50 mm. I plinti per gli stralli sono equispaziati e disposti su una circonferenza di raggio 4.5 m e centro sull'asse del palo.
I plinti degli stralli sono in grado di sostenere staticamente un'azione di 5 kN in ogni direzione.

### 1.4.2 Peso

La massa di OptiWind 1000, comprensiva di tutte le sue parti, deve essere inferiore a 200 kg.

### 1.4.3 Disco rotorico

Il diametro del rotore deve essere inferiore a 3 m. L'asse del disco rotorico deve trovarsi ad un'altezza di $6 \pm 0.2$ m dalla faccia superiore di collegamento del plinto della torre.