

REGIONE SICILIA  
LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI TRAPANI  
COMUNE DI MARSALA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO  
DI POTENZA PARI A 33,465 MW, SU TERRENO AGRICOLO  
NEL COMUNE DI MARSALA (TP) IN C.DA MESSINELLO  
IDENTIFICATO AL N.C.T. AL FG. 137 P.LLA 4, 182, FG. 138 P.LLA 109, 112, 115, 160, 161,  
173, 174, 175, 207 E ALTRE AFFERENTI ALLE OPERE DI RETE

Timbro e firma del progettista

**Capital Engineering snc**  
Ing. Vincenzo Massaro



Timbri autorizzativi

**Capital Engineering snc**  
Ing. Salvatore Li Vigni



VALUTAZIONE DI ECODSIGN E DI ECONOMIA CIRCOLARE DEGLI  
AEROGENERATORI

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello prog.	ID Tema	Tipo Elabor.	N.ro Elabor.	Project ID	NOME FILE	DATA	SCALA
PDef	201900883	Relazione	34	MESSINELLO	MESSINELLO Val. ecodesign ed economia circo. aerog. del 15 04 2022.doc	15.04.2022	-

REVISIONI

VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
Rev.00	15.04.2022	Prima emissione	MC	MTM	VM

IL PROPONENTE

**Messinello Wind S.r.L.**

Messinello Wind S.r.L.  
Corso di Porta Vittoria n. 9 - 20122 - Milano  
P.IVA: 11426630965  
PEC: messinellowind@mailcertificata.net

PROGETTO DI



Capital Engineering S.n.c.  
Sede legale: Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo  
e-mail: info@capitalengineering.it

SU INCARICO DI

**Coolbine**  
Grounded Clean Ventures

Coolbine S.r.L.  
Sede legale: Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo  
e-mail: progettazione@coolbine.it



## Sommario

1. Premessa.....	2
2. Funzionamento ed elementi costitutivi di un impianto eolico.....	2
3. Criteri di scelta dei materiali .....	4
4. Strategie e politiche di manutenzione .....	5
5. Riutilizzo, riciclo, riposizionamento e smaltimento.....	6
6. Conclusioni.....	7

## 1. Premessa

La presente relazione è stata predisposta al fine di approfondire le caratteristiche costruttive e le modalità di scelta dei sei aerogeneratori che verranno utilizzati per la realizzazione del parco eolico denominato “Messinello”, che ricade nel comune di Marsala (TP).

In particolare, il parco eolico in esame, avente come proponente la società Messinello Wind S.r.L., è composto da n.6 aerogeneratori, di cui cinque aventi una potenza unitaria di 6,00MW ciascuno e uno avente una potenza nominale di 3,4 MW, per una potenza complessiva di 33,4 MW.

Gli aerogeneratori sono tutti della casa produttrice Siemens Gamesa.

Nei capitoli successivi si descriveranno i criteri di scelta dei materiali costituenti gli aerogeneratori, si farà riferimento alle azioni che verranno intraprese per migliorare la durata di vita utile dell'impianto e si delineranno le possibili azioni da intraprendere in ottica di economia circolare per favorire la durata, lo smontaggio e il riuso o il riciclo a fine vita degli aerogeneratori.

## 2. Funzionamento ed elementi costitutivi di un impianto eolico

Un aerogeneratore converte l'energia cinetica posseduta dalle particelle d'aria del vento, dapprima in energia meccanica e successivamente in energia elettrica. Quindi vi è un primo stadio di conversione meccanica effettuata per mezzo di una turbina, successivamente vi è la trasmissione e, infine, un secondo stadio di conversione elettrica per mezzo del generatore elettrico. Nella fattispecie, gli aerogeneratori in questione sono del tipo a portanza ad asse orizzontale, come riportato in figura 1.

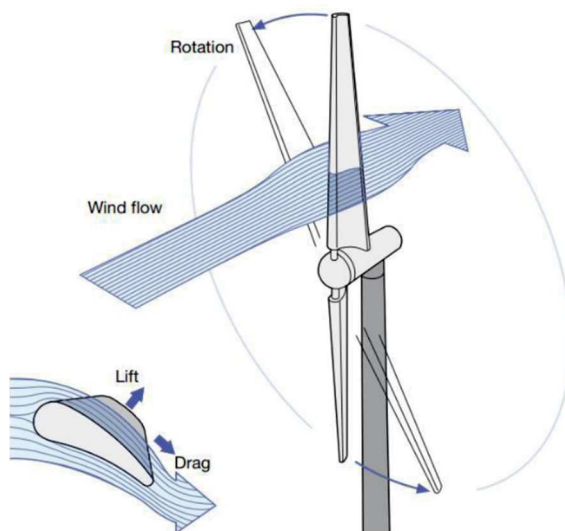


Figura 1: portanza aerodinamica sulle pale di un aerogeneratore

Al fine di sfruttare l'energia cinetica contenuta nel vento, convertendola in energia elettrica disponibile per l'immissione in rete o per l'alimentazione di carichi in parallelo, una turbina eolica utilizza diversi

componenti sia meccanici che elettrici. I principali componenti che costituiscono un aerogeneratore ad asse orizzontale sono indicati nella figura 2 ed elencati di seguito:

- La gondola o navicella: è l'involucro esterno posto alla sommità della torre, all'interno del quale sono contenuti tutti gli elementi costituenti la macchina ad eccezione fatta, ovviamente, del rotore, della torre e delle fondamenta. La navicella può ruotare di 180° rispetto la torre per consentire al rotore di orientarsi secondo la direzione del vento (per mezzo del meccanismo di Yaw Control o controllo dell'imbarcata).
- Il rotore: è costituito dal mozzo su cui vengono fissate le pale. I più diffusi sono i rotor tripala che presentano elevate velocità di rotazione e minor stress meccanico dovuto alla rotazione delle pale e alla pressione del vento sulla macchina.
- L'albero lento calettato al rotore: è il dispositivo a cui il rotore trasferisce l'energia cinetica sotto forma di energia meccanica.
- Il sistema frenante: gli aerogeneratori più recenti sono dotati di due sistemi di freno indipendenti, ovvero di un sistema aerodinamico e di uno meccanico. Il primo utilizzato per il controllo della potenza e per l'avvio delle operazioni di messa in sicurezza dell'aerogeneratore in situazioni di malfunzionamento o sovraccarico dovuti a eccessive velocità del vento, il secondo è utilizzato per completare l'arresto del rotore e come freno di stazionamento.
- Il moltiplicatore di giri: è il dispositivo che trasforma la rotazione meccanica lenta del rotore in una rotazione veloce necessaria al generatore elettrico
- L'albero veloce: è il dispositivo attraverso cui si trasmette la rotazione meccanica veloce del moltiplicatore di giri al generatore elettrico.
- Il generatore elettrico: è il dispositivo che converte l'energia meccanica in energia elettrica.
- I dispositivi ausiliari: dispositivi di supervisione che gestiscono autonomamente l'aerogeneratore in tutte le sue operazioni in condizioni di normale funzionamento e che provvedono all'avvio delle operazioni di messa in sicurezza della macchina in situazioni di malfunzionamento o di sovraccarico; inoltre consentono l'adeguamento dell'energia elettrica prodotta alle caratteristiche della rete elettrica;
- La torre: costituisce il supporto della navicella, risulta costituita da un sostegno, generalmente costituito da un palo in acciaio infisso nel terreno (direttamente o tramite fondazione in cemento armato).
- Le fondamenta: gli aerogeneratori sono soggetti a notevoli sollecitazioni meccaniche dovute alla rotazione stessa delle pale e alla pressione esercitata dal vento, motivo per cui si ha la necessità di progettare opportunamente le fondazioni che solitamente sono realizzate in cemento armato e completamente interrato.
- Cavi elettrici e cavi di segnale: convogliano l'energia prodotta dalla gondola al terreno e trasmettono gli eventuali segnali necessari per il funzionamento dell'aerogeneratore.

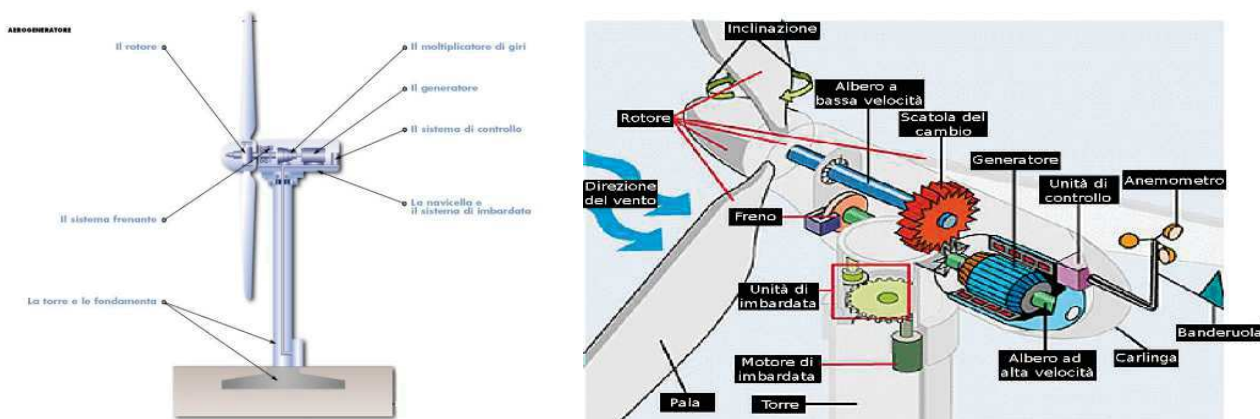


Figura 2: principali componenti di una turbina eolica

Tra tutte le parti costituenti un aerogeneratore, senza dubbio, la torre di sostegno, la navicella e le pale sono gli elementi maggiormente soggetti a degrado per via delle grandi sollecitazioni a cui sono sottoposti e alle intemperie a cui sono esposti. Infatti, la vita utile di un impianto eolico, generalmente, coincide con la vita utile di questi tre elementi. Elementi che, a fine ciclo vita, presentano un grosso impatto in termini di volumi da smaltire e riciclare. A questo proposito, nel proseguo della presente relazione, concentrando l'attenzione sui tre succitati elementi, si delineeranno i criteri di scelta adottati in fase progettuale, le azioni che verranno adottate durante il ciclo di vita dell'impianto e quelle a cui si potrebbe ricorrere al termine di quest'ultimo, con l'obiettivo di incrementare la durata di vita utile dell'impianto, favorire il riuso e il riciclo a fine vita degli aerogeneratori.

### 3. Criteri di scelta dei materiali

Gli aerogeneratori dell'impianto in esame sono del Tipo Siemens Gamesa G132, con torre di sostegno in acciaio, navicella e pale in materiale composito/vetro resina.

In fase di progettazione definitiva, la scelta dei materiali costituenti questi elementi è stata condotta prendendo in esame diversi aspetti tra i quali, di interesse per la presente relazione, la reperibilità dei materiali, le prestazioni, la resistenza alle sollecitazioni meccaniche e la resistenza agli agenti atmosferici, la riciclabilità e la possibilità di riutilizzo.

Le torri in acciaio, in relazione alla resistenza alle sollecitazioni meccaniche e alle azioni degradanti degli agenti atmosferici, statisticamente, combinano elevata resistenza a trazione e compressione (dovuta al carico meccanico) con elevata resistenza a fatica e alla corrosione. In riferimento alla riciclabilità dei materiali, l'acciaio delle torri, ad oggi, è al 100% riciclabile, infatti può essere riutilizzato senza alcuna perdita di qualità, potendo costituire una preziosa materia prima per la produzione di nuovo acciaio.

Analogo discorso può essere fatto per le pale in materiale composito/vetroresina, le quali combinano ottimali prestazioni aerodinamiche, così da incrementare la produttività dell'impianto, con buone proprietà di resistenza a fatica, alla corrosione, conducibilità termica ed elettrica per tutta la durata di vita stimata.

#### **4. Strategie e politiche di manutenzione**

Al fine di mantenere funzionale, efficiente ed estendere quanto più possibile la vita dell'impianto in esame, la manutenzione verrà considerata come un servizio integrato di una pluralità di attività, che spaziano dalla diagnostica alla gestione dei materiali, dai sistemi informativi alla documentazione, dalla formazione delle risorse umane al loro utilizzo ottimale.

Un aerogeneratore in media ha una vita utile di 25-30 anni, per cui il sistema di gestione, di controllo e manutenzione ha un peso non trascurabile per l'ambiente in cui si colloca. In fase di progettazione esecutiva, si prevederà la programmazione dei lavori di manutenzione e di gestione delle opere che si devono sviluppare su base annuale in maniera dettagliata per garantire il corretto funzionamento del sistema.

Il programma dei lavori, presumibilmente, verrà suddiviso nei seguenti punti:

- Manutenzione programmata;
- Manutenzione ordinaria;
- Manutenzione straordinaria.

Tra le molteplici azioni di manutenzione programmata verranno previste le seguenti attività:

- Lubrificazione parti meccaniche;
- Verifica e sostituzione dei filtri;
- Verifica dei sistemi anticaduta e di sicurezza;
- Verifica e controllo dell'impianto frenante;
- Verifica mediante chiave dinamometrica della bulloneria;
- Compilazione mensile di schede di producibilità e analisi rispetto le stime.

In funzione di queste azioni programmate, verranno creati dei registri costituiti da apposite schede in cui verranno indicate sia le caratteristiche principali dell'apparecchiature, sia le operazioni di manutenzione effettuate con le relative date.

La manutenzione ordinaria comprenderà gli interventi finalizzati a contenere il degrado a seguito del normale funzionamento dell'impianto. In sostanza, saranno degli interventi di servizi effettuati da personale, tecnicamente qualificato e formato all'uopo, e da sistemi di monitoraggio collegati in remoto.

Per manutenzione straordinaria si intendono tutti quegli interventi che non possono essere preventivamente programmati e che sono finalizzati a ripristinare il funzionamento delle componenti impiantistiche che manifestano guasti e/o anomalie.

La direzione e sovrintendenza gestionale verrà seguita da un tecnico designato in fase esecutiva che avrà il compito di monitorare l'impianto, di effettuare visite mensili e di conseguenza di controllare e coordinare gli interventi di manutenzione necessari per il corretto funzionamento dell'opera.

Inoltre, per incrementare l'efficacia degli interventi manutentivi al fine di perseguire l'obiettivo di incremento della durata di vita utile dell'impianto si potrebbe prevedere l'utilizzo di sistemi di autodiagnostica, per rilevare anomalie attraverso la misura delle vibrazioni, o di una termocamera dedicata ad ogni aerogeneratore che consentirà di misurare, non solo la temperatura di funzionamento di alcuni componenti soggetti a riscaldamento come cuscinetti o inverter, ma anche di visualizzare i punti critici prossimi alla rottura, come gli innesti delle pale sul mozzo centrale.

#### **5. Riutilizzo, riciclo, riposizionamento e smaltimento**

Per quanto riguarda l'acciaio costituente le torri, al termine del ciclo di vita di queste, si prevede che l'acciaio verrà riciclato al 100% per produrre nuovo acciaio.

In riferimento ai materiali compositi costituenti le pale, al termine della vita utile, ad oggi non vi sono molte strade perseguibili se non quelle dello smaltimento dei rifiuti, tramite discarica o incenerimento senza recupero di energia, o il riutilizzo di parti di pale in altre applicazioni (per arredo urbano, riuso architettonico in strutture edilizie). Nell'ottica del miglioramento della salvaguardia ambientale, riduzione delle emissioni e dell'inquinamento, in virtù del fatto che questi materiali dovranno essere smaltiti dopo 25-30 anni dalla messa in esercizio degli aerogeneratori, si prevede che tecnologie di riciclaggio come il co-processing del cemento, la pirolisi o la frammentazione degli impulsi ad alta tensione saranno molto più diffuse di quando lo sono adesso. Pertanto, si sceglierà la tecnologia più affermata e che consentirà di riciclare le pale in maniera più efficace ed efficiente possibile.



## 6. Conclusioni

Il presente elaborato è stato redatto al fine di approfondire le caratteristiche costruttive e le modalità di scelta dei materiali dei 6 aerogeneratori che verranno installati per la realizzazione del parco eolico denominato “Messinello” nel territorio del comune di Marsala (TP), con particolare attenzione alle valutazioni in ottica di ecodesign e di economia circolare per favorirne la durata, lo smontaggio, il riuso o il riciclo a fine vita.

Al fine di migliorare la sostenibilità del parco eolico in termini di economia circolare ed ecodesign, si prevede di mettere in campo la migliore strategia ad oggi pianificabile.

Tramite un’attenta e accurata progettazione, a partire dalla scelta dei materiali, si tenderà a minimizzare gli errori e i problemi durante la fase di esercizio, ottenendo di conseguenza un miglioramento delle prestazioni dell’impianto sia in termini di producibilità che di vita utile.

Adottando strategie e politiche manutentive tali da incrementare l’efficienza e la vita utile dell’impianto, si cercherà di estendere quanto più possibile la vita utile del parco eolico, così da massimizzare il riutilizzo degli elementi principali.

Infine, al termine del ciclo di vita del parco eolico, verranno messe in pratica tutte quelle azioni necessarie per il riciclo o il riutilizzo ottimale delle torri e delle pale degli aerogeneratori.