



PROGETTO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN
IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 93 MW
DENOMINATO "SPINETO" DA REALIZZARSI NEI
COMUNI DI CHIEUTI E SERRACAPRIOLA (FG) CON LE
RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ELETTRICHE

ANALISI DEGLI EFFETTI ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI

Rev. 12.01

Data: 21 dicembre 2023

QQR-WND-030.REL044

Committente:

Seracapriola 2 S.r.l.
via Michele Mercati n. 39
00197 Roma (RM)
C. F. e P. IVA: 17089551000
PEC: repsolmonti@pec.it

Progetto e sviluppo:

Queequeg Renewables, ltd
2nd Floor, the Works,
14 Turnham Green Terrace Mews,
W41QU London (UK)
Company number: 11780524
email: mail@quren.co.uk

SOMMARIO

1	Dati Generali e Anagrafica	3
2	Premessa.....	4
3	Dati di progetto e della componentistica.....	7
3.1	Calcolo della massima gittata.....	7
3.2	Calcolo della velocità periferica	8
3.3	Simulazione delle condizioni di lancio.....	9
4	Conclusioni.....	12

1 Dati Generali e Anagrafica

Ubicazione Impianto

Nome Impianto	"Spineto"
Comune	Chieuti, Serracapriola (FG)
CAP	71010
Coordinate (EPSG 4326)	41.874696° N, 15.150567° E

Proponente

Ragione Sociale	Repsol Montepuccio 2 S.r.l.
Indirizzo	Via Michele Mercati 39 00197 Roma (RM)
C.F. e P.IVA	17089551000
PEC	repsolmontepuccio2@pec.it

Staff e professionisti coinvolti

Progetto a cura di	Queequeg Renewables ltd
--------------------	-------------------------

2 Premessa

Il settore energetico ha un ruolo cardinale nello sviluppo dell'economia, sia come fattore abilitante (fornire energia a costi competitivi, con limitato impatto ambientale e con elevata qualità del servizio è una condizione essenziale per lo sviluppo delle imprese e per le famiglie), sia come fattore di crescita di per sé (si pensi al grande potenziale economico della cosiddetta *Green economy*). Come riconosciuto nelle più recenti strategie energetiche europee e nazionali, assicurare un'energia più competitiva e sostenibile è uno degli obiettivi di maggiore interesse per il futuro.

IEA (International Energy Agency) stima che per il 2023 un totale di oltre 1.7 miliardi di dollari verranno investiti in tecnologie a bassa emissione di CO₂. Questo importo rappresenta oltre il 60% degli investimenti totali stimati in energia, con un aumento anno su anno di oltre il 55%.

La produzione energetica da fonte eolica ha vissuto negli ultimi anni un incremento massiccio nella efficienza, con conseguente abbassamento del costo dell'energia prodotto che si riversa su un prezzo all'utente finale (commerciale o privato) più competitivo. L'eolico 'onshore' rappresenta attualmente una delle fonti di produzione di energia più efficienti ed economiche disponibili.

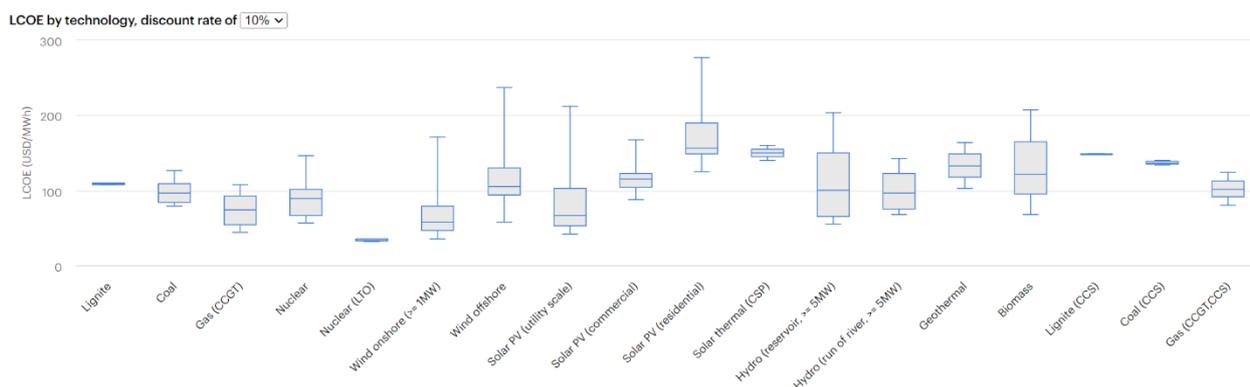


Figura 2.1 Costo del MWh per fonte di energia (fonte: IEA)

Ciò è il risultato dei progressivi miglioramenti nella tecnologia, scaturiti da importanti investimenti in ricerca applicata, e dalla diffusione globale degli impianti (economie di scala), alimentata dalle politiche di incentivazione adottate dai governi a livello mondiale. Lo scenario attuale, contraddistinto dalla riduzione degli incentivi, ha contribuito ad accelerare il progressivo annullamento del differenziale di costo tra la generazione elettrica convenzionale e la generazione FER.

In questo contesto, la misura dell'efficienza di prodotto di impianti come quello proposto ma più in generale delle stazioni di generazione elettrica, sono misurati da un parametro chiamato LCOE (*"Levelized Cost of Energy"* o *"Costo Livellato dell'Elettricità"*) che indica in ultima sintesi il costo netto di produzione di una unità di energia generata durante il periodo di vita utile del produttore.

In questo contesto, la società Repsol Renovables S.A., controllata al 75% dal gruppo oli&gas Repsol SA, rappresenta uno dei principali player su scala mondiale nel settore delle FER, detenendo al momento circa 3,5

GW di asset rinnovabili in esercizio in tutto il mondo. La società è al momento attiva in Europa, Stati Uniti e in Cile e l'Italia, assieme alla Spagna, è al centro della sua strategia per il continente.

In tale direzione si inquadra il presente progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica che Repsol Renovables SA, attraverso la controllata Repsol Montepuccio 2 S.r.l., ha in programma di realizzare nei comuni di Chieuti e Serracapriola, Regione Puglia.

In considerazione del rapido evolversi della tecnologia, che oggi mette a disposizione aerogeneratori di provata efficienza, con potenze di circa un ordine di grandezza superiori rispetto a quelle disponibili solo vent'anni or sono, il progetto proposto prevede l'installazione e la messa in esercizio di n. 15 turbine della potenza nominale di 6.6 MW ciascuna, posizionate su torri di sostegno metalliche dell'altezza indicativa di 134 m, nonché l'approntamento delle opere accessorie indispensabili per il funzionamento e la gestione degli aerogeneratori (viabilità, piazzole, distribuzione elettrica di impianto, cavidotto di connessione alla RTN e opere accessorie necessarie al funzionamento dell'impianto stesso). Gli aerogeneratori in progetto saranno dislocati tra quote altimetriche indicativamente comprese nell'intervallo tra i 26 e i 130 m s.l.m.

La potenza complessiva del parco eolico sarà di 99 MW con una potenza elettrica in immissione di 99 MWac come stabilito dal preventivo di connessione rilasciato dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (Terna) con codice pratica 202302124 del 17/05/2023.

Le opere da realizzare riguardano i comuni di Chieuti, Serracapriola, San Paolo di Civitate, Torremaggiore, nonché i comuni di Rotello e San Martino in Pensilis.

Nello scenario progettuale prospettato, l'elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento della centrale alla citata stazione RTN costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

In coerenza con la normativa nazionale e regionale applicabile, la procedura autorizzativa dell'impianto si articola attraverso le seguenti fasi:

- istanza di Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi dell'art. 23 del D.Lgs. 152/2006 (Testo Unico Ambientale) al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) ed al Ministero della Cultura (MiC), in quanto intervento di cui alla tipologia progettuale di cui al punto 2 dell'Allegato 2 parte seconda del TUA *"impianti eolici per la produzione di energia elettrica sulla terraferma con potenza complessiva superiore a 30 MW"*, oltre alle successive modifiche e integrazioni di legge.
- istanza di Autorizzazione Unica ai sensi dell'art.12 DLgs 387/2003, del D.M. 10/09/2010, trattandosi di un impianto di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili di potenza pari a 99 MW .

Le interdistanze tra le turbine, dovute dalle accresciute dimensioni degli aerogeneratori scelti per lo sviluppo del progetto proposto, contribuiscono ad affievolire i principali impatti o disturbi ambientali caratteristici della tecnologia, quali l'eccessivo accentramento di turbine in aree ristrette (in particolare il disordine visivo determinato dal cosiddetto "effetto selva"), le probabilità di collisione con l'avifauna e la

chiroterofauna, attenuate dalla ridotta velocità di rotazione dei gruppi rotore, la pressione acustica e l'ombreggiamento intermittente (*shadow flickering*).

La presente costituisce la relazione tecnico-illustrativa generale del progetto definitivo delle opere civili indispensabili per assicurare il processo costruttivo e l'ottimale esercizio della centrale (viabilità di servizio, piazzole, opere di regimazione dei deflussi e ripristini). La descrizione delle opere elettromeccaniche è riportata nello specifico progetto delle infrastrutture elettriche e qui solo introdotta per praticità.

3 Dati di progetto e della componentistica

3.1 Calcolo della massima gittata

Per una valutazione puntuale e comprensiva degli effetti in caso di rottura di un organo rotante, si considerano le concomitanze di tutte le condizioni peggiorative al contorno, così da simulare il worst case scenario. Si è pertanto ipotizzato uno studio del moto di un proiettile con una velocità massima pari al numero massimo di giri al minuto verificati secondo l'aerogeneratore utilizzato indicativamente a progetto, ossia il V172-Eventus.

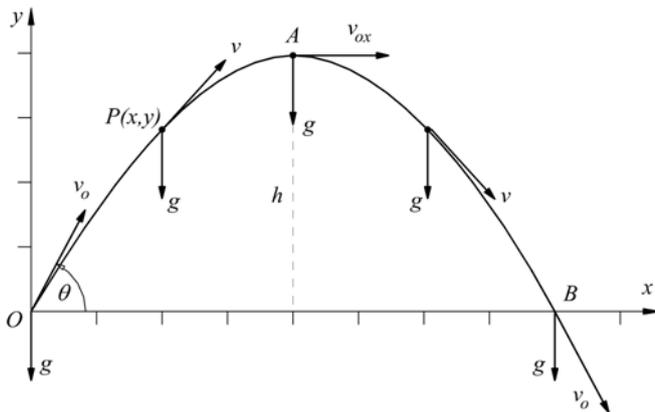


Figura 2 – Raffigurazione del moto di un proiettile

La resistenza dell'aria è un elemento fondamentale per l'attrito fornito dal fluido al proiettile (che nel nostro caso è rappresentato dalla pala dell'aerogeneratore), che è per definizione dipendente dalla forma e dalla velocità del corpo che viaggia nel fluido. Tuttavia, per amor di semplicità, nella prima parte di questa analisi la trascureremo.

L'organo rotante, ovvero la pala, subisce l'azione costante dell'accelerazione di gravità, mentre l'inerzia dovuta all'energia cinetica iniziale del corpo è esemplificata dall'angolo theta rispetto al piano orizzontale. Se ne desume che lungo l'asse delle x il corpo osserverà un corpo rettilineo uniforme, mentre lungo l'asse y il corpo seguirà un moto uniformemente accelerato.

Pertanto la componente orizzontale della velocità sarà pari a:

$$v_x = v_{x(0)}$$

Il moto lungo l'asse verticale sarà invece disciplinato da:

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{y(0)}t + y_0$$

La gittata massima ottenibile da un corpo sull'asse orizzontale prima di toccare terra, sarà ottenuta quando il valore lungo l'asse y è uguale a zero, e pertanto:

$$t_0 = 0$$

$$t_1 = \frac{-2v_{y0}}{g} = \frac{-2(v_0 \sin \theta)}{g}$$

Dove t_0 è il momento del distacco del proiettile, mentre t_1 è il momento di impatto al suolo (ipotizzato alla medesima quota del lancio) del corpo. Pertanto, considerando un valore $x_0 = 0$, si può riscrivere l'equazione come:

$$x = -\left(\frac{v_0^2}{g}\right) \sin 2\theta$$

Si deduce pertanto che la massima gittata sarà proporzionale all'intensità della velocità iniziale dell'organo rotante e all'angolo θ , per questo verrà in seguito effettuato uno studio che analizza la gittata al variare di θ tra 0 e 90.

3.2 Calcolo della velocità periferica

Posta la velocità di rotazione del rotore pari ad ω , e posto n il numero di giri compiuti dallo stesso nel minuto, avremo quindi una velocità rotazionale espressa in radianti al secondo pari a:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 1,26 \text{ rad/s}$$

e una velocità lineare del punto estremo v_0 del rotore (con n pari a 12 giri/minuto, ossia la velocità massima prevista per l'aerogeneratore a progetto), e considerando il raggio dell'aerogeneratore ovvero 85m) pari a:

$$v_e = \omega r = 106,8 \text{ m/s}$$

Considerando che il baricentro della pala è situato a circa 1/3 della lunghezza del longherone, possiamo pertanto dire che la velocità massima iniziale della pala in caso di rottura sarà pertanto:

$$v_b = \omega r = 35,7 \text{ m/s}$$

3.3 Simulazione delle condizioni di lancio

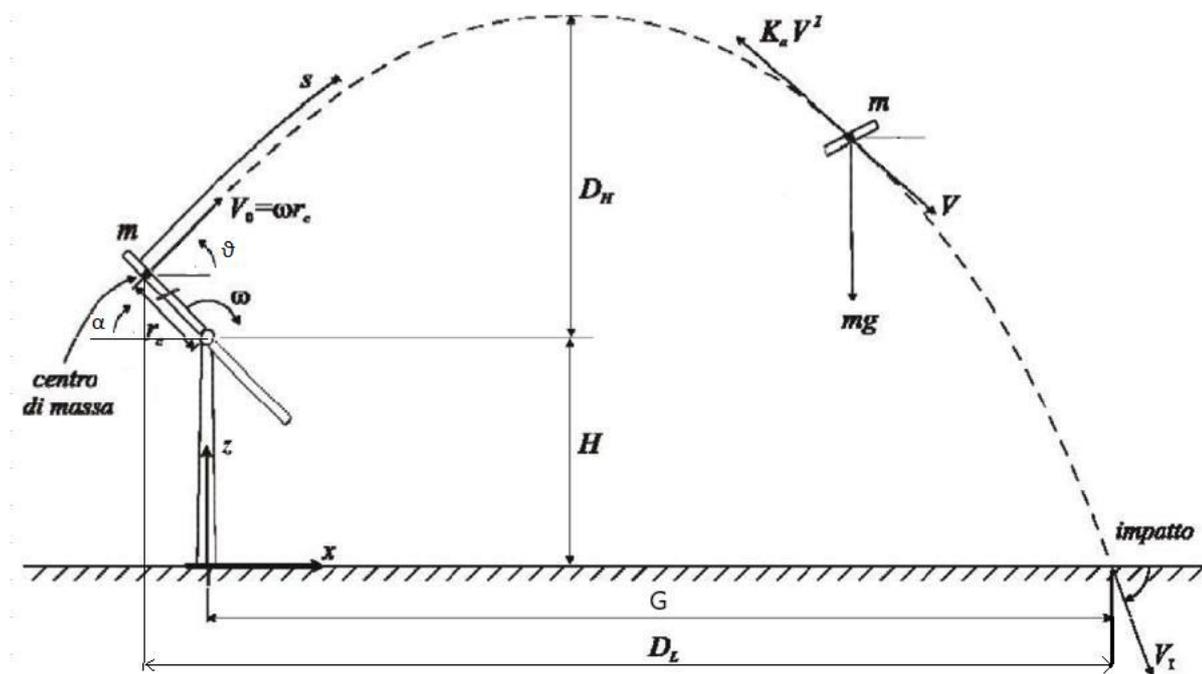


Figura 3 – Rappresentazione della simulazione di lancio

Scomponendo il moto della pala sugli assi orizzontale (x) e verticale (y), abbiamo sulla prima un moto uniforme, e sulla seconda un moto rettilineo uniformemente accelerato dalla gravità:

$$v_{xb} = \sin \theta * v_b$$

$$v_{yb} = \cos \theta * v_b$$

La gittata massima si otterrà con un alzo della traiettoria pari a 25 gradi dal piano campagna, ottenendo pertanto un tempo di caduta che si può ricavare dalla seguente formula:

$$y = -\frac{1}{2} g t^2 + v_{yb} t + y_0$$

Dove y_0 è il punto di quota al momento del distacco, e cioè $135 \text{ m} + (28,33 * \cos 25^\circ) \text{ m}$, ossia **160,68 metri**. In definitiva quindi l'equazione si risolve in un tempo di caduta a terra di **7,46 s**.

Sostituendo il dato di cui sopra nell'equazione di moto uniforme lungo l'asse x del piano campagna, otteniamo la gittata del baricentro G_b misurata da base torre pari a:

$$G_b = v_{xb} t + x_0 = 32,27 \text{ m/s} * 7,46 \text{ s} - 12,44 \text{ m} = \mathbf{228,90 \text{ m}}$$

dove x_0 è la distanza alla quale avviene il distacco, negativa rispetto al sistema di riferimento considerato. A questa andremo a sommare la massima lunghezza della pala oltre al baricentro, ossia $83,33 \text{ m} * 2/3$, per ottenere infine una gittata totale del corpo pala di **285,13 metri**.

Di seguito si riporta l'analisi effettuata al variare dell'angolo θ da 0 a 90 gradi, tramite la quale si è giunti alla conclusione che l'angolo di 25 genera la gittata maggiore.

Tabella 1 – Dati per tempo di volo e gittata

Angolo α (°)	Altezza mozzo (m)	Velocità angolare ω (rad/s)	Raggio rotore (m)	Raggio baricentro (m)	Velocità baricentro v_b (m/s)	Velocità x baricentro v_{xb} (m/s)	Velocità y baricentro v_{yb} (m/s)	Altezza distacco y_0 (m)	Tempo di volo (s)	Gittata (m)	Gittata finale (m)
0	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	0	35.6269	135.0000	10.0123	-28.1167	28.1163
5	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	3.1051	35.4913	137.4505	10.0297	3.1334	59.3667
10	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	6.1865	35.0856	139.8824	10.0038	34.1993	90.4326
15	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	9.2209	34.4129	142.2771	9.9354	64.4549	120.6882
20	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	12.1851	33.4783	144.6165	9.8259	93.3090	149.5423
25	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	15.0566	32.2889	146.8826	9.6773	120.2242	176.4575
30	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	17.8134	30.8538	149.0583	9.4919	144.7330	200.9663
35	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	20.4347	29.1838	151.1271	9.2726	166.4513	222.6846
40	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	22.9005	27.2918	153.0730	9.0228	185.0884	241.3217
45	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	25.1920	25.1920	154.8815	8.7462	200.4541	256.6874
50	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	27.2918	22.9005	156.5386	8.4470	212.4600	268.6933
55	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	29.1838	20.4347	158.0318	8.1293	221.1183	277.3516
60	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	30.8538	17.8134	159.3497	7.7979	226.5352	282.7685
65	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	32.2889	15.0566	160.4824	7.4571	228.9001	285.1334
70	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	33.4783	12.1851	161.4210	7.1117	228.4720	284.7053
75	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	34.4129	9.2209	162.1586	6.7660	225.5623	281.7956
80	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	35.0856	6.1865	162.6895	6.4242	220.5160	276.7493
85	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	35.4913	3.1051	163.0097	6.0900	213.6931	269.9264
90	134	1.2671	84.35	28.1167	35.6269	35.6269	0	163.1167	5.7667	205.4506	261.6839

4 Conclusioni

Scegliendo pertanto di modellizzare un distacco della pala con le seguenti ipotesi:

- Moto rigido non vincolato, e pertanto conservativa;
- Assenza di resistenza del fluido, e pertanto conservativa;
- Assenza di portanza;
- Urto sul terreno completamente anelastico;
- Quota di partenza del proiettile pari alla quota del mozzo dell'aerogeneratore (134 metri);
- Baricentro della pala pari a un terzo del corpo rigido a partire dalla radice di allaccio al rotore.