



COMUNE DI
ESTERZILI



COMUNE DI
ESCALAPLANO

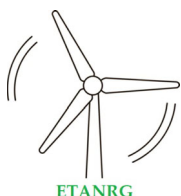


PROVINCIA DEL
SUD SARDEGNA



REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO
DENOMINATO " ESTERZILI/ESCALAPLANO " COMPOSTO DA 11
AEROGENERATORI DA 5,6 MW PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI
61,60 MW SITO NEI COMUNI DI ESTERZILI ED ESCALAPLANO (SU), CON
OPERE DI CONNESSIONE



Proponente:
ETANRG SRL
Via Pietro Cossa n. 5
20122 Milano (MI)

Antonino Apreda

ETANRG S.R.L.

Progettazione:
LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti snc
81100 Caserta

Giovanni Savarese



Elaborato		EE.PD.SFL.01		RELAZIONE SHADOW FLICKERING		
Cod. pratica	Data	Consegna	Formato	Scala	Livello progettuale	
EE_01	18/12/2023		A4	-	Progetto definitivo	
REVISIONI	Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
	01	Dicembre 2023	Prima emissione	G. Donnarumma	V. Vanacore	M. Afeltra

Il presente elaborato è di proprietà della Leonardo Engineering srl

E' vietata la comunicazione a terzi e/o la riproduzione senza il preventivo permesso scritto della suddetta società. La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Sommario

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED URBANISTICO	3
2.1 UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO	3
3. IL PROGETTO	8
3.1 AEROGENERATORI.....	9
3.2 IL SISTEMA DI PRODUZIONE, TRASFORMAZIONE E TRASPORTO DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA	12
3.3 FONDAZIONE AEROGENERATORE	15
3.4 VIABILITÀ.....	16
3.5 PIAZZOLE	17
3.6 CAVIDOTTI	18
3.7 CABINA UTENTE	19
4. IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKER	19
4.1 FENOMENI DI GLINT, FLICKER, E SHADOW	22
4.2 LIMITI DI ESPOSIZIONE ALLO SHADOW FLICKER NELLA NORMATIVA INTERNAZIONALE E NELLA LETTERATURA DI SETTORE.....	30
5. INDAGINE E LOCALIZZAZIONE DEI POTENZIALI RICETTORI SENSIBILI	32
5.1 Individuazione dei ricettori.....	33
5.2 Metodologia di calcolo e software utilizzato.....	36
5.3 Ipotesi di calcolo.....	40
5.4 Risultati.....	41
6. CONCLUSIONI	43





PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



1. PREMESSA

La presente relazione descrive le opere previste nel progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica proposto dalla società ETANRG S.r.l.

La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da 11 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 5,6 MW per una potenza complessiva di 61,6 MW, da realizzarsi nel territorio comunale di Esterzili ed Escalaplano (SU) e delle relative opere di connessione alla Cabina Utente che si collegherà con cavidotto AT alla stazione Elettrica Terna.

Il progetto si pone come obiettivo la realizzazione di un parco eolico per la produzione di energia elettrica da immettere nella rete di trasmissione nazionale (RTN) in alta tensione. In questo scenario il parco eolico consentirà di raggiungere obiettivi più complessi fra i quali si annoverano:

- la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, priva di alcuna emissione diretta o derivata nell'ambiente;
- la valorizzazione di un'area marginale rispetto alle altre fonti di sviluppo regionale con destinazione prevalente a scopo agricolo e con bassa densità antropica;
- la diffusione di know-how in materia di produzione di energia elettrica da fonte eolica, a valenza fortemente sinergica per aree con problemi occupazionali e di sviluppo.

Il campo eolico è ubicato nei comuni di Escalaplano ed Esterzili nella provincia del Sud Sardegna, nell'area centro-orientale della Sardegna che rientra nelle regioni storiche del Sarcidano e del Gerrei.



ETANRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED URBANISTICO

2.1 UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area di progetto, intesa come quella occupata dagli 11 aerogeneratori di progetto con annesse piazzole, e parte dei cavidotti AT di connessione e la Cabina Utente i territori comunali di Esterzili ed Escalaplano.



Figura 1. Inquadramento dell'area del Parco Eolico

I terreni sui quali si intende realizzare il parco eolico sono tutti di proprietà privata. Il territorio è caratterizzato da un'orografia prevalentemente collinare e le posizioni delle macchine hanno un'altitudine media pari a di 600.00 m s.l.m.



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

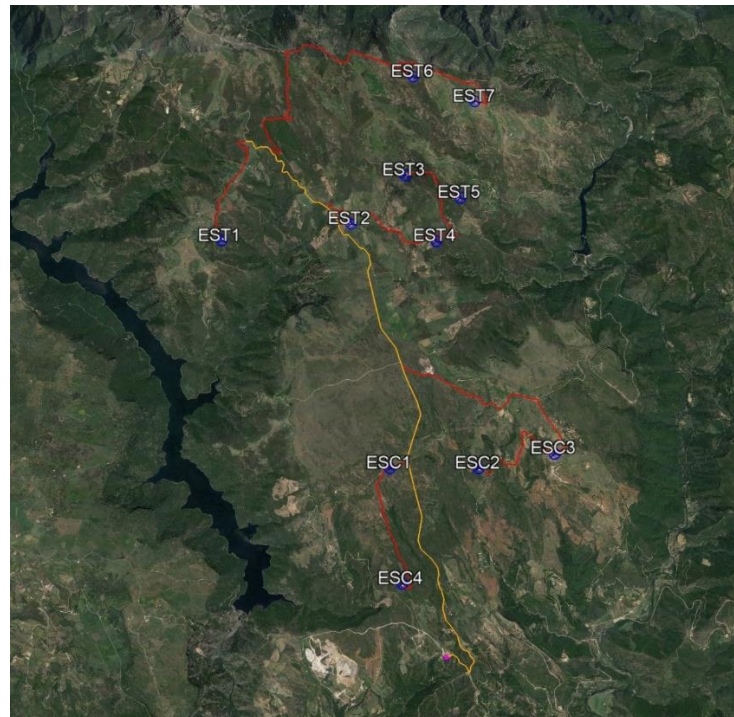


Figura 2. Planimetria di impianto su ortofoto

Di seguito, si riporta la tabella riepilogativa in cui sono indicate per ciascun aerogeneratore le relative coordinate (WGS84 – UTM zone 33N) e le particelle catastali, con riferimento al catasto dei terreni dei comuni di Esterzili ed Escalaplano.

Tabella 1. Dati geografici e catastali

TURBINA	COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA	LATITUDINE	LONGITUDINE
ESC1	ESCALAPLANO	4	88	39,682988°	9,342850°
ESC2	ESCALAPLANO	5	12	39,682143°	9,360507°
ESC3	ESCALAPLANO	2	77	39,683624°	9,375807°
ESC4	ESCALAPLANO	4	22	39,665438°	9,343923°
EST1	ESTERZILI	25	30	39,719873°	9,311614°
EST2	ESTERZILI	26	56	39,721269°	9,338067°
EST3	ESTERZILI	28	7	39,728160°	9,349589°
EST4	ESTERZILI	28	131	39,717674°	9,355072°
EST5	ESTERZILI	28	12	39,724026°	9,360440°
EST6	ESTERZILI	21	74	39,743696°	9,352449°
EST7	ESTERZILI	29	7	39,739125°	9,364645°



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



**Provincia del
Sud Sardegna**



**REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA**

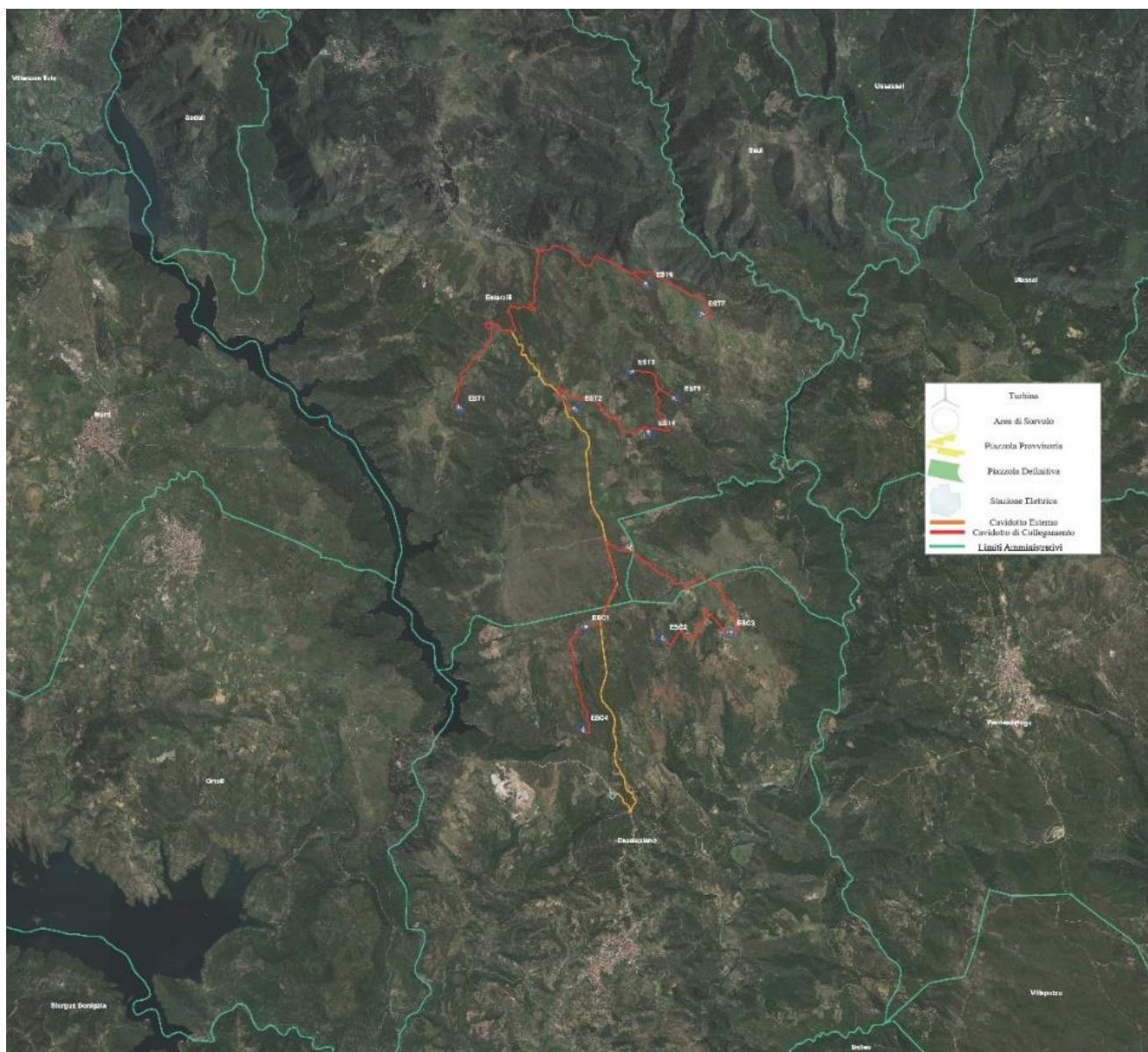


Figura 3. Inquadramento su area comunale del Parco Eolico Esterzili-Escalaplano



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

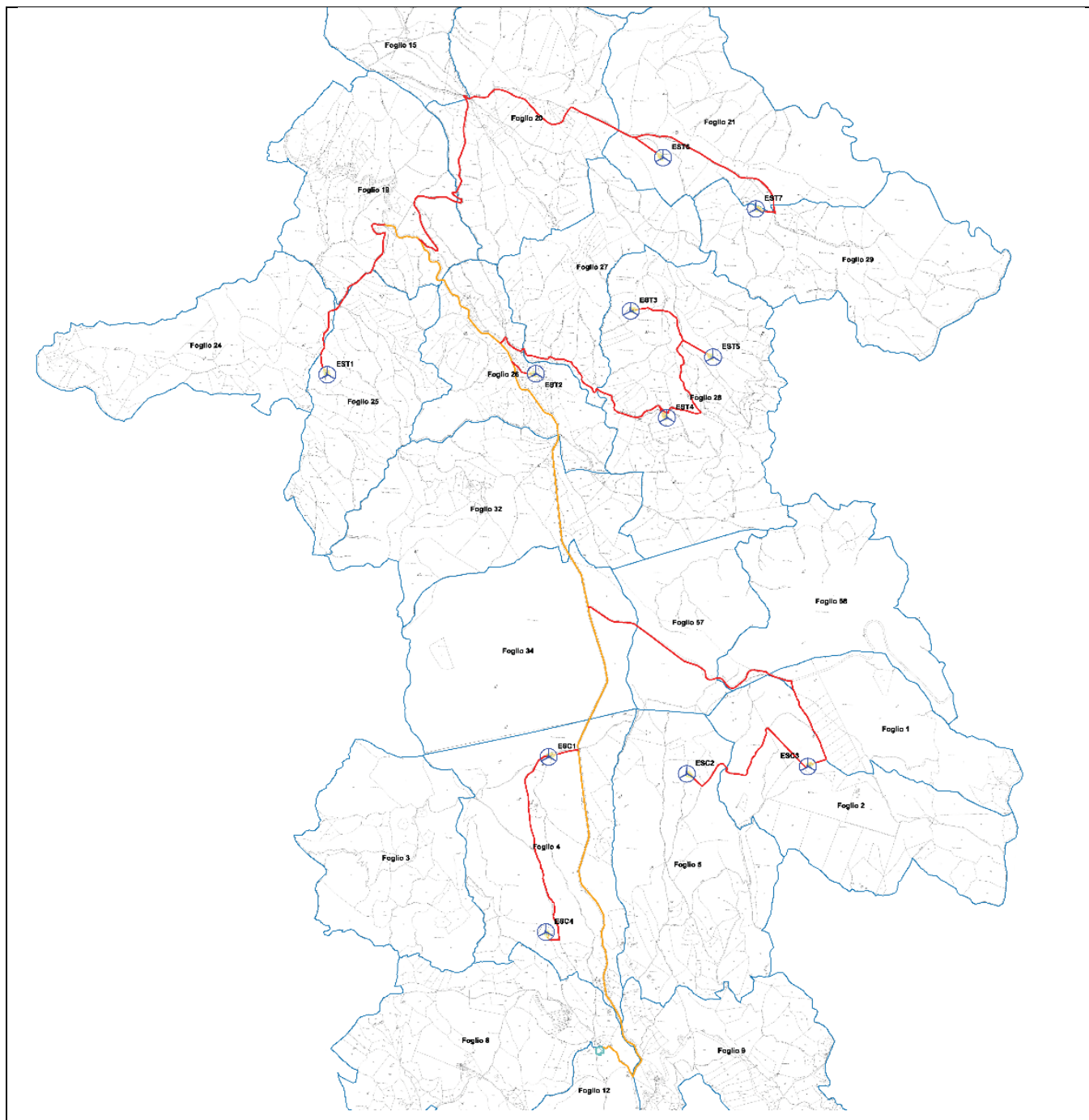


Figura 4. Planimetria di impianto su carta catastale



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

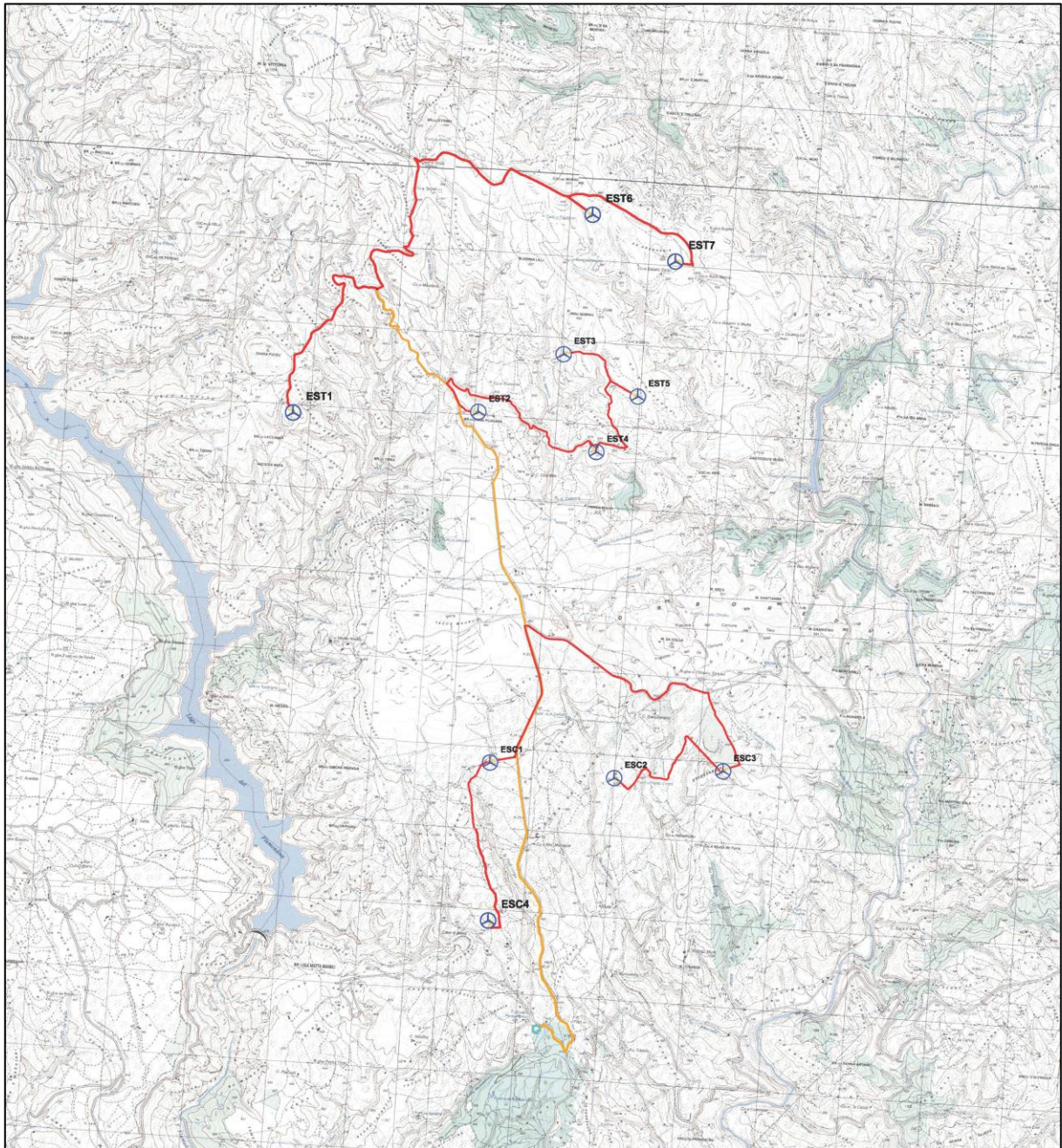


Figura 5. Planimetria di impianto su IGM

Il progetto del parco eolico, interessa i territori comunali di Esterzili ed Escalaplano relativamente alla realizzazione degli 11 aerogeneratori con annesse piazzole e relativi cavidotti di interconnessione; il cavidotto AT di connessione alla futura Stazione Terna attraversa i territori comunali di SEUI.

La densità abitativa dell'area interessata e dell'immediato intorno, posizionata in un settore del



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



territorio comunale a forte vocazione agricola, risulta bassa, comunque a distanza dall'area di progetto.

I fabbricati prossimi all'area di impianto sono prevalentemente delle aziende agricole, e in taluni casi risultano essere delle pertinenze dismesse e abbandonate. I fabbricati accatastati e verificati da sopralluogo come abitazione sono stati opportunamente considerati negli studi di impatto acustico/elettromagnetico eseguiti.

L'area delle particelle interessate dall'iniziativa presenta una morfologia prettamente collinare, è libera da vegetazione arborea e arbustiva, è prevalentemente coltivata a seminativo; le aree limitrofe sono destinate a colture a basso reddito, caratterizzata da colture estensive.

Non vi sono insediamenti urbani presenti all'interno dell'area di intervento.

3. IL PROGETTO

Il layout dell'impianto eolico (con l'ubicazione degli aerogeneratori, il percorso dei cavidotti e delle opere accessorie per il collegamento alla rete elettrica nazionale) come riportato nelle tavole grafiche allegate, è stato progettato sulla base dei seguenti criteri:

- Analisi vincolistica: si è accuratamente evitato di posizionare gli aerogeneratori o le opere connesse in corrispondenza di aree vincolate.
- Distanza dagli edifici abitati o abitabili: al fine di minimizzare gli ipotetici disturbi causati dalle emissioni sonore dell'impianto in progetto, si è deciso di mantenere un buffer di almeno 300 metri da tutti gli edifici abitati o abitabili, che come norma progettuale si ritiene ampiamente sufficiente a garantire il rispetto dei limiti di legge in materia di inquinamento acustico (v. paragrafo dedicato);
- Minimizzazione dell'apertura di nuove strade: il layout è stato progettato in modo da ridurre al minimo indispensabile la realizzazione di nuove strade, anche ottica di non eccedere nei frazionamenti dei terreni e loro proprietà.

L'impianto oggetto di studio si basa sul principio secondo il quale l'energia del vento viene captata dalle macchine eoliche che la trasformano in energia meccanica e quindi in energia elettrica per mezzo di un generatore: nel caso specifico il sistema di conversione viene denominato aerogeneratore.

La bassa densità energetica prodotta dal singolo aerogeneratore per unità di superficie comporta la necessità di progettare l'installazione di più aerogeneratori nella stessa area.

L'impianto sarà costituito dai seguenti sistemi:

- di produzione, trasformazione e trasmissione dell'energia elettrica;



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



- di misura, controllo e monitoraggio della centrale;
- di sicurezza e controllo.

L'impianto di produzione sarà costituito da 11 aerogeneratori, ognuno della potenza di 5,60 MW ciascuno per una potenza complessiva nominale di 61,60 MW.

Il tutto è stato meglio illustrato nello studio di impatto ambientale e relativi allegati.

I terreni sui quali si installerà il parco eolico, interessa una superficie molto vasta, ma la quantità di suolo effettivamente occupato sarà significativamente inferiore e limitato alle aree di piazzole dove verranno installati gli aerogeneratori, le opere di rete (cavidotti e sottostazione) e la viabilità di servizio all'impianto, come constatabile sugli elaborati planimetrici allegati al progetto.

L'area di progetto, intesa come quella occupata dagli 11 aerogeneratori di progetto con annesse piazzole, e parte dei cavidotti AT di connessione e la Cabina Utente il territorio comunale di Esterzili ed Escalaplano.

3.1 AEROGENERATORI

Gli aerogeneratori saranno ad asse orizzontale, costituiti da un sistema tripala, con generatore di tipo asincrono. Il tipo di aerogeneratore da utilizzare verrà scelto in fase di progettazione esecutiva dell'impianto; le dimensioni previste per l'aerogeneratore tipo e che potrebbe essere sostituito da uno ad esso analogo:

- diametro del rotore pari 162 m,
- altezza mozzo pari a 119 m,
- altezza massima al tip (punta della pala) pari a 200 m.

L'aerogeneratore eolico ad asse orizzontale è costituito da una torre tubolare in acciaio che porta alla sua sommità la navicella, all'interno della quale sono alloggiati l'albero di trasmissione lento, il moltiplicatore di giri, l'albero veloce, il generatore elettrico ed i dispositivi ausiliari. All'estremità dell'albero lento, corrispondente all'estremo anteriore della navicella, è fissato il rotore costituito da un mozzo sul quale sono montate le pale, costituite in fibra di vetro rinforzata.

La navicella può ruotare rispetto al sostegno in modo tale da tenere l'asse della macchina sempre parallela alla direzione del vento (movimento di imbardata); inoltre è dotata di un sistema di controllo del passo che, in corrispondenza di alta velocità del vento, mantiene la produzione di energia al suo valore nominale indipendentemente dalla temperatura e dalla densità dell'aria; in corrispondenza invece di bassa velocità del vento, il sistema a passo variabile e quello di controllo ottimizzano la produzione di energia



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



scegliendo la combinazione ottimale tra velocità del rotore e angolo di orientamento delle pale in modo da avere massimo rendimento.

Il funzionamento dell'aerogeneratore è continuamente monitorato e controllato da un'unità a microprocessore.

Il sistema di controllo dell'aerogeneratore assolve le seguenti funzioni:

- sincronizzazione del generatore elettrico con la rete prima di effettuarne la connessione, in modo da contenere il valore della corrente di cut-in (corrente di inserzione);
- mantenimento della corrente di cut-in ad un valore inferiore alla corrente nominale
- orientamento della navicella in linea con la direzione del vento;
- monitoraggio della rete;
- monitoraggio del funzionamento dell'aerogeneratore;
- arresto dell'aerogeneratore in caso di guasto.

Il sistema di controllo dell'aerogeneratore garantisce l'ottenimento dei seguenti vantaggi:

- generazione di potenza ottimale per qualsiasi condizione di vento;
- limitazione della potenza di uscita a 5,60 MW;
- livellamento della potenza di uscita fino ad un valore di qualità elevata e quasi priva di effetto flicker;
- possibilità di arresto della turbina senza fare ricorso ad alcun freno di tipo meccanico;
- minimizzazione delle oscillazioni del sistema di trasmissione meccanico.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5

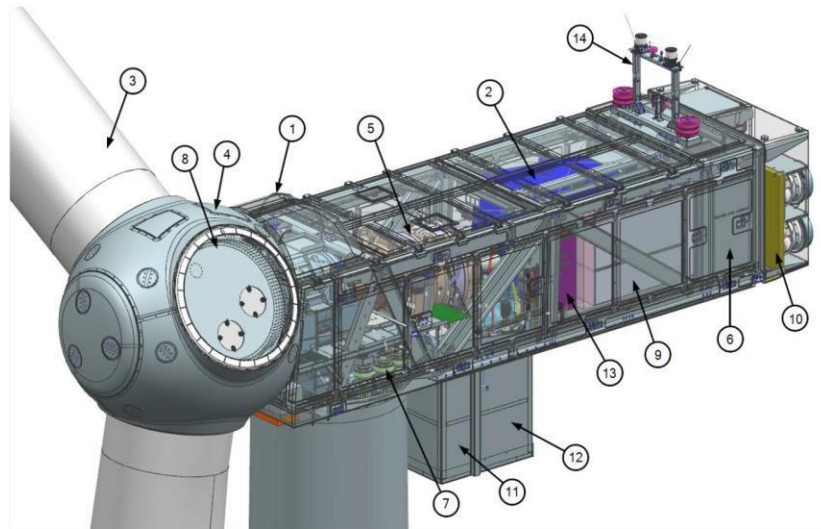


LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



1 Canopy	8 Blade bearing
2 Generator	9 Converter
3 Blades	10 Cooling
4 Spinner/hub	11 Transformer
5 Gearbox	12 Stator cabinet.
6 Control panel	13 Front Control Cabinet
	14 Aviation structure

Figura 6. Rappresentazione grafica di una navicella

Ciascun aerogeneratore può essere schematicamente suddiviso, dal punto di vista elettrico, nei seguenti componenti:

- generatore elettrico;
- interruttore di macchina BT;
- trasformatore di potenza MT/BT;
- cavo MT di potenza;
- quadro elettrico di protezione MT;
- servizi ausiliari;
- rete di terra.

Da ogni generatore viene prodotta energia elettrica a bassa tensione (BT) e a frequenza variabile se la macchina è asincrona (l'aggancio alla frequenza di rete avviene attraverso un convertitore di frequenza ubicato nella navicella).

All'interno di ogni navicella l'impianto di trasformazione BT/MT consentirà l'elevazione della tensione al valore di trasporto 30kV (tensione in uscita dal trasformatore).



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Tabella 2. Scheda tecnica dell'aerogeneratore tipo

ROTORE	Diametro max	162 m
	Area spazzata max	20.612 m ²
	Numero di pale	3
	Materiale	GRP (CRP) materiale plastico rinforzato con fibra di carbonio
	Velocità nominale	12,1 giri/min
	Senso di rotazione	orario
	Posizione rotore	Sopra vento
TRASMISSIONE	Potenza massima	5.600 kW
SISTEMA ELETTRICO	Tipo generatore	Sincroni magneti permanenti a 36 poli
	Classe di protezione	IP 54
	Tensione di uscita	720 V
	Frequenza	50 Hz
TORRE IN ACCIAIO	Altezza al mozzo	119 m
SISTEMA DI CONTROLLO	Tipo	Microprocessore OptiTip
	Controllo remoto	PC-modem, interfaccia grafica

Al fine di mitigare l'impatto visivo degli aerogeneratori, si utilizzeranno torri di acciaio di tipo tubolare, con impiego di vernici antiriflettenti di color grigio chiaro.

Gli aerogeneratori saranno equipaggiati, secondo le norme attualmente in vigore, con un sistema di segnalazione notturna con luce rossa intermittente (2000cd) da installare sull'estradosso della navicella dell'aerogeneratore, mentre la segnalazione diurna consiste nella verniciatura della parte estrema della pala con tre bande di colore rosso ciascuna di 6 m per un totale di 18 m. L'ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile) potrà fornire eventuali prescrizioni concernenti la colorazione delle strutture o la segnaletica luminosa, diverse o in aggiunta rispetto a quelle precedentemente descritte.

3.2 IL SISTEMA DI PRODUZIONE, TRASFORMAZIONE E TRASPORTO DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA

Il collegamento tra la cabina di raccolta nella SE e lo stallo a 36 kV presente nella futura stazione Terna verrà realizzato mediante il medesimo cavo 36 kV utilizzato per il collegamento tra gli aerogeneratori. Tale cavo dovrà essere in grado di veicolare la potenza massima in immissione dell'impianto in oggetto, ovvero 61,6 MW. Il sistema è costituito dagli elementi necessari a connettere la rete del parco eolico allo stallo



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



a 36 kV della stazione RTN. Nel sistema 36 kV si utilizzano cavi isolati e celle prefabbricate certificati dal produttore, avendo superato le prove di tipo corrispondenti ed essendo sottoposti a prove specifiche ad ogni fornitura per assicurare che il livello di isolamento sia assicurato. Il sistema a 36 kV comprende l'edificio utente, nel quale sarà installato un quadro MT 36 kV di tipo protetto in apposito locale.

Come già accennato, il collegamento tra le varie turbine eoliche e il successivo collegamento alla cabina di raccolta e smistamento e da quest'ultima all'edificio quadri 36kV in S-E avviene per mezzo di elettrodotti interrati alla tensione di esercizio di 36 kV. La posa di questi ultimi avverrà prevalentemente tramite scavo a cielo aperto.

Il cavo previsto per questi collegamenti è lo RG7H1OR 26/45 kV di varie sezioni con guaina maggiorata per la posa diretta nel terreno. La singola terna di cavi unipolari verrà disposta a trifoglio. Siccome è possibile che all'interno della medesima trincea coesistano più terne, si prevede che queste siano arrangiate in maniera da mantenere una inter-distanza tra le guaine esterne delle terne adeguata, in modo tale da permettere il corretto smaltimento del calore generato per effetto Joule dal cavo stesso.

Le opere di utenza per la connessione alla RTN dell'impianto eolico oggetto della presente relazione sono le seguenti:

- Cavi interrati 36 kV, per il vettoriamento dell'energia elettrica prodotta dai singoli aerogeneratori verso la cabina di raccolta e smistamento e da quest'ultima verso l'edificio quadri 36 kV nella SE;
- Cabina raccolta e smistamento, di raccolta dei cavidotti a 36 kV provenienti dal parco eolico e dalla quale partirà un successivo cavidotto che verrà collegato con l'edificio quadri 36 kV nella SE;
- Edificio quadri 36 kV, contenente la cabina di raccolta dei cavidotti a 36 kV provenienti dal parco eolico in oggetto e da altri produttori, dalla quale partirà un cavidotto che verrà collegato alla stazione RTN tramite inserimento in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione Terna a 150/36 kV;
- Nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione 150/36 kV RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN 150 kV "Goni – Ulassai" da collegare, per il tramite di due nuovi elettrodotti RTN a 150 kV, con una nuova SE di trasformazione RTN a 380/150 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV "Ittiri – Selargius".

Il progetto della cabina utente prevede che sia l'entrata che l'uscita dei cavi AT (36 kV) avvenga mediante posa interrata al fine di garantire il raccordo con la stazione RTN.

All'interno dell'area recintata della cabina utente sarà ubicato un fabbricato suddiviso in vari locali che a seconda dell'utilizzo ospiteranno i quadri AT, gli impianti BT e di controllo, gli apparecchi di misura.

Per il collegamento degli aerogeneratori alla cabina utente è prevista la realizzazione delle seguenti opere:



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



- rete di distribuzione interna in AT (36 kV) in cavo interrato per la interconnessione degli aerogeneratori costituenti il parco eolico e per la connessione degli stessi alla stazione di Terna;
- rete di monitoraggio in fibra ottica tra le torri eoliche e la sottostazione.
- impianti di messa a terra.

Partendo dalle condizioni al contorno individuate nel paragrafo, si sono studiate le caratteristiche dell'impianto elettrico con l'obiettivo di rendere funzionale e flessibile l'intero parco eolico, gli aerogeneratori sono stati collegati con soluzione "entra-esce" raggruppandoli anche in funzione del percorso dell'elettrodotto, contenendo le perdite ed ottimizzando la scelta delle sezioni dei cavi stessi. I percorsi delle linee, illustrati negli elaborati grafici, potranno essere meglio definiti in fase costruttiva.

All'atto dell'esecuzione dei lavori, i percorsi delle linee elettriche saranno accuratamente verificati e definiti in modo da:

- evitare interferenze con strutture, altri impianti ed effetti di qualunque genere;
- evitare curve inutili e percorsi tortuosi;
- assicurare una facile posa o infilaggio del cavo;
- effettuare una posa ordinata e ripristinare la condizione ante-operam.

La rete elettrica a 36 kV interrata assicurerà il collegamento dei trasformatori di torre degli aerogeneratori alla cabina utente. Si possono pertanto identificare due sezioni della rete in AT:

Il percorso di ciascuna linea della rete di raccolta è stato individuato sulla base dei seguenti criteri:

- minima distanza;
- massimo sfruttamento degli scavi delle infrastrutture di collegamento da realizzare;
- migliore condizione di posa (ossia, in presenza di forti dislivelli tra i due lati della strada, contenendo, comunque, il numero di attraversamenti, si è cercato di evitare la posa dei cavi elettrici dal lato più soggetto a frane e smottamenti).

Per le reti AT non è previsto alcun passaggio aereo.



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



3.3 FONDAZIONE AEROGENERATORE

La torre, il generatore e la cabina di trasformazione andranno a scaricare su una struttura di fondazione in cemento armato del tipo indiretto su pali.

La fondazione è stata ipotizzata/calcolata in modo tale da poter sopportare il carico della macchina e il momento prodotto sia dal carico concentrato posto in testa alla torre che dall'azione cinetica delle pale in movimento.

Le verifiche di stabilità del terreno e delle strutture di fondazione sono state eseguite con i metodi ed i procedimenti della geotecnica, tenendo conto delle massime sollecitazioni sul terreno che la struttura trasmette.

Le strutture di fondazione sono dimensionate in conformità alla normativa tecnica vigente.

La fondazione degli aerogeneratori è su pali. Il plinto ed i pali di fondazione sono stati dimensionati in funzione delle caratteristiche tecniche del terreno derivanti dalle indagini geologiche e sulla base dall'analisi dei carichi trasmessi dalla torre (forniti dal costruttore dell'aerogeneratore), l'ancoraggio della torre alla fondazione sarà costituito da tirafondo, tutti gli ancoraggi saranno tali da trasmettere sia forze che momenti agenti lungo tutte e tre le direzioni del sistema di riferimento adottato.

In funzione dei risultati delle indagini geognostiche, atte a valutare la consistenza stratigrafica del terreno, le fondazioni sono state dimensionate su platea di forma circolare su pali.

Tutti i calcoli eseguiti e la relativa scelta dei materiali, sezioni e dimensioni andranno verificati in sede di progettazione esecutiva e potranno pertanto subire variazioni anche sostanziali per garantire i necessari livelli di sicurezza.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



3.4 VIABILITÀ

Al campo eolico si accede attraverso la viabilità esistente (strade provinciali, Comunali e poderali), mentre l'accesso alle singole pale avviene mediante strade interpoderali esistenti, che saranno adeguate al trasporto di mezzi eccezionali.

Laddove necessario tali strade saranno adeguate al trasporto delle componenti degli aerogeneratori con tratti di nuova realizzazione.

Negli elaborati allegati sono illustrati i percorsi per il raggiungimento degli aerogeneratori, sia in fase di realizzazione sia in fase di esercizio, come illustrato nelle planimetrie di progetto, saranno anche realizzati opportuni allargamenti degli incroci stradali per consentire la corretta manovra dei trasporti eccezionali. Detti allargamenti saranno rimossi o ridotti, successivamente alla fase di cantiere, costituendo delle aree di "occupazione temporanea" necessarie appunto solo nella fase realizzativa.

La sezione stradale avrà larghezza carrabile necessaria per consentire il passaggio dei mezzi di trasporto delle componenti dell'aerogeneratore eolico.

Il corpo stradale sarà realizzato secondo le seguenti modalità:

- Scotico terreno vegetale;
- Polverizzazione (frantumazione e sminuzzamento di eventuali zolle), se necessario, della terra in sito ottenibile mediante passate successive di idonea attrezzatura;
- Determinazione in più punti e a varie profondità dell'umidità della terra in sito, procedendo con metodi speditivi;
- Spandimento del masso;
- Polverizzazione e miscelazione della terra mediante un numero adeguato di passate di pulvimixer in modo da ottenere una miscela continua ed uniforme;
- Spandimento e miscelazione della terra;
- Compattazione della miscela Terra-masso mediante rulli vibranti a bassa frequenza e rulli gommati di adeguato peso fino ad ottenere i risultati richiesti.

Per la viabilità esistente (strade provinciali, comunali e poderali), ove fosse necessario ripristinare il pacchetto stradale per garantire la portanza minima o allargare la sezione stradale per adeguarla a quella di progetto, si eseguiranno le modalità costruttive in precedenza previste.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



3.5 PIAZZOLE

Tenuto conto delle componenti dimensionali del generatore, la viabilità di servizio all'impianto e le piazzole andranno a costituire le opere di maggiore rilevanza per l'allestimento del cantiere.

In corrispondenza di ciascun aerogeneratore sarà realizzata una piazzola di montaggio così costituita:

- Piazzola per il montaggio della torre opportunamente stabilizzata, di dimensioni 73 m x 41 m;
- Piazzola livellata in terreno naturale per lo stoccaggio temporaneo delle pale, di dimensioni 85 m x 23 m;
- Area libera da ostacoli per il montaggio della gru, di dimensioni 29 m x 18 m.

Le piazzole consentiranno l'installazione della gru principale e delle macchine operatrici, lo stoccaggio delle sezioni della torre, della navicella e del mozzo, ed "ospitare" l'area di ubicazione della fondazione e l'area di manovra degli automezzi.

Le piazzole adibite allo stazionamento dei mezzi di sollevamento durante l'installazione, saranno realizzate facendo ricorso al sistema di stabilizzazione, descritto nel precedente paragrafo.

Al termine della fase di montaggio degli aerogeneratori, le piazzole, nella loro fase di esercizio, saranno ridotte ad un'area definitiva in adiacenza alla sede stradale di circa 522 mq (18m x 29m) da mantenere piana e sgombra da piantumazioni, necessaria alle periodiche visite di controllo e alla manutenzione delle turbine, mentre la superficie residua sarà ripristinata e riportato allo stato ante-operam.

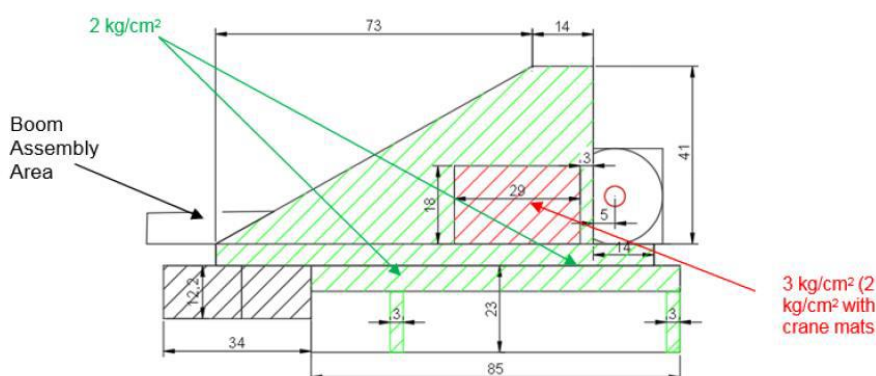


Figura 7. Piazzola tipo





PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



3.6 CAVIDOTTI

La profondità dello scavo per l'alloggiamento dei cavi, dovrà essere di 1,20 m per i cavi AT, mentre la larghezza degli scavi è in funzione del numero di cavi da posare e dalla tipologia di cavo, è varia da 0,50 m a 1,50 m.

La lunghezza degli scavi previsti all'interno del parco eolico è di ca. 60 km, per la maggior parte lungo le strade esistenti o di nuova realizzazione, il cosiddetto cavidotto esterno, che collega la Cabina Utente alla Stazione Elettrica Terna, come dettagliato negli elaborati progettuali.

I cavi AT posati in trincea saranno con disposizione a "trifoglio", ad una profondità 1,5 m (quota piano di posa) su di un letto di sabbia dello spessore di 10 cm circa. I cavi saranno ricoperti sempre di sabbia per uno strato di 70 cm, sopra il quale sarà posata una lastra in cemento armato avente funzione di protezione meccanica dei cavi (salvo diversa prescrizione dell'Ente Proprietario della strada).

La scelta finale della tipologia e sezione dei cavi deriverà dai calcoli effettuati in fase di progettazione esecutiva.

Lo strato terminale di riempimento degli scavi realizzati su viabilità comunale, sarà realizzato con misto granulare stabilizzato e conglomerato bituminoso per il piano carrabile.

Come detto in precedenza gli scavi saranno realizzati principalmente lungo la viabilità ordinaria esistente e sulle strade di nuova realizzazione a servizio del parco eolico.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



3.7 CABINA UTENTE

La cabina utente, da realizzarsi nei pressi del punto di consegna, è il punto di raccolta dei cavi provenienti dal parco eolico per consentire il trasporto dell'energia prodotta fino al punto di consegna alla rete di trasmissione nazionale e riceve l'energia prodotta dagli aerogeneratori attraverso la rete di raccolta a 36 kV.

All'interno dell'area recintata della cabina utente sarà ubicato un fabbricato suddiviso in vari locali che a seconda dell'utilizzo ospiteranno i quadri AT, gli impianti BT e di controllo, gli apparecchi di misura, i servizi igienici, ecc. Inoltre sarà installata una reattanza shunt per permettere l'eventuale rifasamento delle correnti reattive.

L'impianto di terra sarà costituito, conformemente alle prescrizioni della Norma CEI EN 50522 ed alle prescrizioni della Guida CEI 99-5, da una maglia di terra realizzata con conduttori nudi in rame elettrolitico di sezione pari a 120 mm², interrati ad una profondità di almeno 0,7 m. Per le connessioni agli armadi verranno impiegati conduttori di sezione pari a 70 mm². La scelta finale deriverà dai calcoli effettuati in fase di progettazione esecutiva.

La RTU sarà comandabile in locale dalla sottostazione tramite un quadro sinottico che riporterà lo stato degli organi di manovra di tutta la rete AT, i comandi, gli allarmi, le misure delle grandezze elettriche.

4. IL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKER

Le turbine eoliche, come tutte le strutture elevate, in condizioni soleggiate proiettano delle ombre sulle aree circostanti la loro ubicazione che variano di lunghezza, secondo l'altitudine del Sole, e la posizione, secondo l'azimuth del Sole stesso (Bearing). Nel momento in cui le pale di una turbina eolica ruotano in condizioni assolate, mentre il rotore è in movimento, esse possono intercettare la luce solare in maniera diretta, proiettando delle ombre mobili sulle aree adiacenti e causando un effetto di lampeggiamento tremulo (o sfarfallio), con conseguenti cambiamenti alternati d'intensità luminosa. Questo fenomeno è chiamato "Shadow Flicker", ovvero l'ombreggiatura intermittente del Sole da parte delle pale della turbina. Se la durata dello Shadow Flicker è eccessiva, questo effetto di sfarfallio può arrecare un disturbo visivo, legato alla percezione dell'intermittenza luce/ombra, alle abitazioni situate nelle immediate



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



vicinanze delle aree in cui le ombre vengono proiettate, e i suoi effetti devono essere considerati nella progettazione di un parco eolico. Lo Shadow Flicker (trad.: "intermittenza dell'ombra") è un'ostruzione periodica della luce ed è il termine usato per descrivere cosa accade quando le pale rotanti di una turbina si presentano fra un osservatore e il Sole, causando un'ombra intermittente (Figura 8).

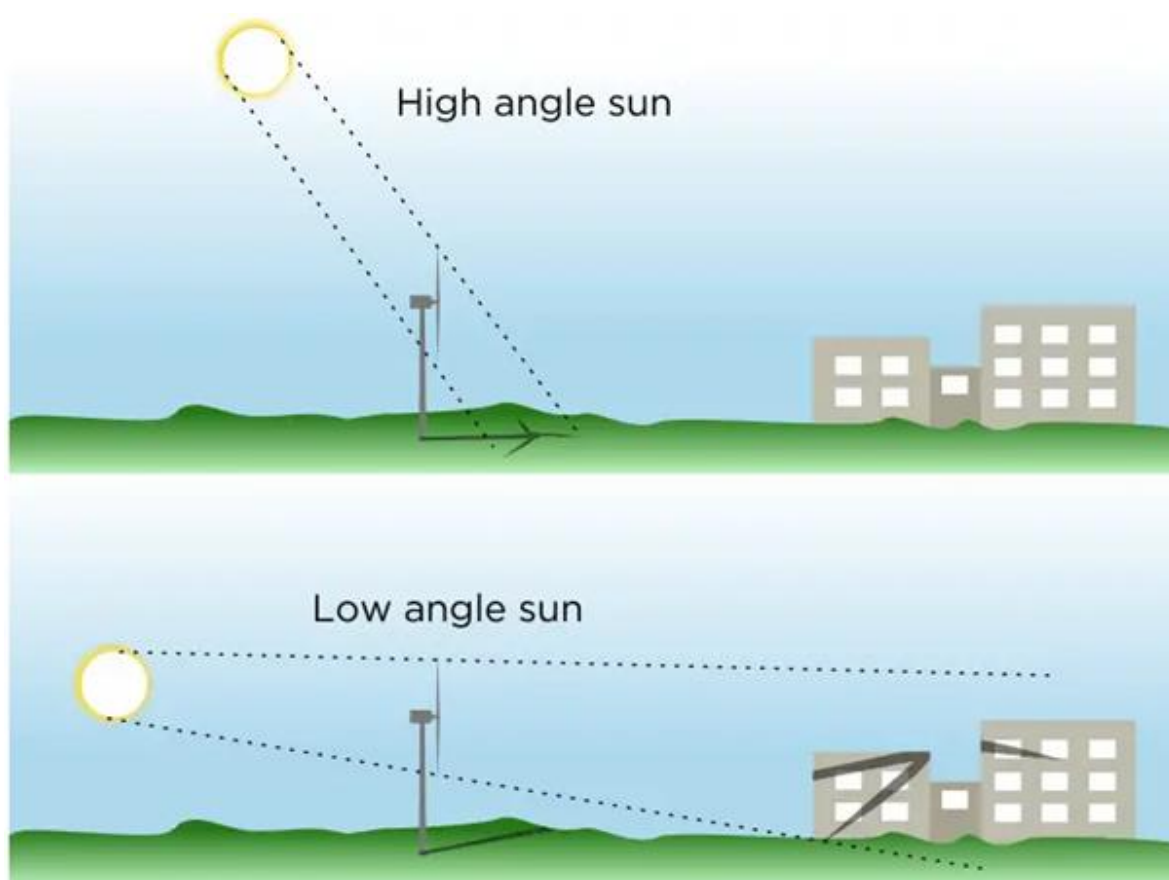


Figura 8. Lo Shadow Flicker si verifica quando le pale rotanti di una turbina si presentano fra un osservatore e il Sole, causando un'ombra intermittente

Il fenomeno si verifica quando una combinazione particolare di circostanze viene a coincidere in posizioni specifiche e in tempi particolari di un giorno e di un anno. Un esempio di Shadow Flicker con cui molta gente ha familiarità, è ciò che accade mentre si guida oltrepassando delle file di alberi spaziate regolarmente durante il tramonto, con il Sole basso dietro gli alberi. Con particolare riferimento alle turbine eoliche, lo sfarfallio avviene quando il Sole è basso nel cielo e illumina la struttura venendosi a trovarsi dietro il rotore della turbina; ciò può indurre la proiezione dell'ombra delle pale su una struttura in un fenomeno d'intermittenza, sembrando così di passare rapidamente dall'ombreggiamento alle condizioni naturali di illuminazione mentre la turbina gira. Quando un'ombra intermittente che passa rapidamente è



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



osservata da un'apertura stretta (una finestra, un lucernaio, ecc.), questa è conosciuta come Flickering.

Per esempio, un soggetto all'interno di una struttura può percepire l'alternanza dell'ombra come una riduzione momentanea dell'intensità della luce naturale. Se i cambiamenti nei normali livelli d'intensità della luce sono alti, il Flicker può causare un fastidio percettivo. La distanza fra una turbina eolica e un ricevitore potenziale dello Shadow Flicker influisce sull'intensità delle ombre proiettate dalle pale e quindi sull'intensità di sfarfallio. Più vicino è il ricevitore alla turbina, più forte sarà lo sfarfallio. Questo dipende dal fatto che una maggiore porzione del disco solare è ostruita in maniera intermittente dalle pale che ruotano. Inoltre, lo sfarfallio è più intenso se le pale sono più vicine al mozzo della turbina e più lontane dalla punta. Per esempio, se il Sole è dietro la turbina e il ricevitore è davanti, lo sfarfallio sarà più forte quando le pale passeranno vicino al mozzo che quando passeranno vicino alla punta.

L'intensità dell'ombra proiettata diminuisce con l'aumento della distanza tra la turbina e il ricevitore, ma non in modo proporzionale. Anche la risposta umana ai livelli di luce varia in modo diverso. Per esempio, durante l'eclissi solare o al tramonto, il Sole deve essere quasi completamente coperto per far notare un cambiamento di luce all'occhio umano. Questo fenomeno riduce ulteriormente la percezione dello Shadow Flicker.

Le moderne turbine eoliche sono tipicamente delle macchine tripala che girano a una velocità tra 11 e 24 giri al minuto (RPM). Se, per esempio, la luce solare colpisce il rotore di una turbina eolica tripala che gira a 20 giri/min., la luce sfarfallerà a una frequenza di $3 \times 20 = 60$ sfarfalli al minuto, cioè 1 al secondo, o 1 Hertz (Hz).

[Studi scientifici condotti nel Regno Unito¹](#) hanno dimostrato che le frequenze di sfarfallio che disturbano la vista umana sono quelle superiori ai 2,5 Hz. Questo vale per la maggior parte delle persone, comprese quelle che soffrono di epilessia. Solo una piccola percentuale di persone ha mostrato una sensibilità maggiore alle frequenze di sfarfallio tra 2,5 e 3,0 Hz. Queste frequenze sono molto più alte di quelle prodotte dalle turbine eoliche, che sono al massimo di 1 Hz. Quindi, le turbine eoliche non causano problemi di salute o sicurezza legati allo sfarfallio.

¹[Wind Turbine Shadow Flicker: What Causes This Phenomenon - Energy Follower](#)



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



4.1 FENOMENI DI GLINT, FLICKER, E SHADOW

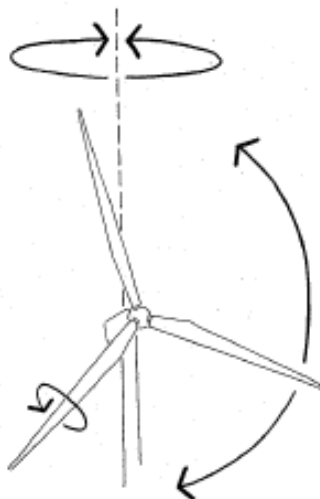


Figura 9. Le turbine eoliche, le navicelle, e le pale possono tutte adottare differenti passi, rotazioni, e orientamenti differenti.

Una ricerca sulla percezione visiva del movimento delle turbine condotta negli Stati Uniti [Thayer & Freeman, 1987], ha stabilito che: «da una parte la gente trova i rotori in movimento più attraenti di quelli statici, in questo modo il movimento è stato identificato con un effetto visivo percepito in maniera più blanda da alcuni commentatori. Mentre altrove sembra esserci consenso che il movimento renda le turbine più visibili di ciò che sarebbero al contrario». È difficile modellare o predire in maniera accurata l'impatto di questi effetti; tuttavia, si possono identificare e notare alcuni aspetti per capirne il potenziale effetto.

FENOMENO DEL GLINT

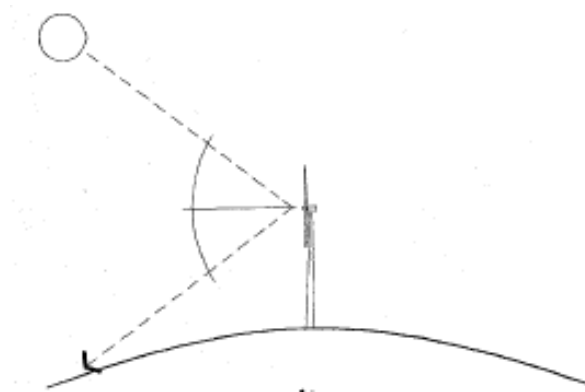


Figura 10. Il Glint è causato dal riflesso dei raggi solari sulle pale della turbina.



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Il Glint è causato dal riflesso dei raggi solari sulle pale rotanti di una turbina eolica con una superficie lucida, che può causare un effetto "lampeggiante" (Figura 10). La ricerca ha indicato che il Glint dalle superfici altamente riflettenti può essere osservato fra i 10 e i 15 km. Nel caso di una turbina eolica, assumendo che la superficie della turbina sia riflettente, ciò dipenderebbe dai seguenti fattori:

- Angolo del Sole: più il Sole è basso, più è probabile che le pale riflettano la luce verso un osservatore;
- Orientamento della turbina: se la turbina è allineata con la direzione del Sole, il Glint sarà più forte;
- Passo della pala: il passo è l'angolo tra la pala e il piano orizzontale; se il passo è basso, la pala sarà più inclinata e rifletterà più luce; Riflettività delle superfici della navicella e della pala;
- Riflettività delle superfici della navicella e della pala: se le superfici sono lucide o verniciate di colori chiari, il Glint sarà più intenso;
- Velocità di rotazione delle pale: più le pale girano veloci, più il Glint sarà frequente.

Per esempio, se una turbina ha una superficie lucida, un passo basso, una velocità di rotazione alta, e si trova in una posizione dove il Sole è basso e allineato con la turbina, il Glint sarà molto evidente.

FENOMENO DEL FLICKER

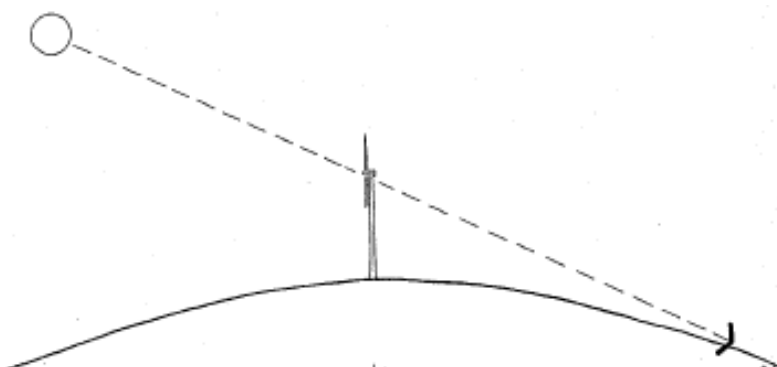


Figura 11. Il Flicker si verifica quando i raggi solari sono osservati tramite le pale rotanti di una turbina eolica.

Il Flicker si verifica quando i raggi solari vengono intercettati tramite le pale rotanti di una turbina eolica



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



(Figura 11). Questo effetto dipende da un certo numero di fattori, quali:

- Angolo del Sole;
- Orientamento della turbina eolica;
- Passo della pala;
- Velocità di rotazione.

Questo effetto è comunemente apprezzabile quando le pale della turbina si trovano di fronte a un angolo solare basso, oltre una distanza di 350-500 metri, mentre si collima attraverso le pale.

FENOMENO DELLO SHADOW

Lo Shadow Flicker è diverso dal fenomeno stroboscopico causato dal taglio intermittente della luce solare dietro le pale rotanti delle pale eoliche. L'intensità dello Shadow Flicker è definita come la differenza o variazione di luminosità in una determinata posizione in presenza e in assenza di ombra.

Anche se i problemi causati dallo Shadow Flicker sono rari, per i siti in cui questo fenomeno può essere un problema, è necessario eseguire un'analisi per quantificarne l'effetto. L'impatto stimato dello Shadow Flicker causato da una turbina eolica dipende da numerosi fattori; la probabilità di questo avvenimento e la durata di tale effetto sono condizionati da:

- Il periodo dell'anno;
- La posizione del Sole nel cielo;
- La frequenza delle giornate con cielo sereno e poco nuvoloso (specialmente alle basse elevazioni sopra l'orizzonte);
- La direzione prevalente del vento (determina la direzione in cui si orienterà il rotore);
- I periodi e la durata del funzionamento della turbina;
- La proporzione di ore diurne durante le quali le turbine sono operative;
- L'altezza dell'hub e il diametro rotore della turbina;
- La direzione e la distanza del recettore rispetto alla/e turbina/e;
- Il terreno e il paesaggio di un'area;



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



- Gli ostacoli, quali gli alberi e le costruzioni, nella linea di mira, e la dimensione e la posizione di una zona di osservazione, quali una finestra o un patio.

Ogni latitudine sul globo ha la propria firma d'ombra in termini di area influenzata entro un determinato periodo di ombre da un oggetto (Figura 12). Vicino all'Equatore la firma assomiglia ad una farfalla, mentre più lontano dall'Equatore diventa più a forma di rene e vicino ai poli si trasforma quasi in un cerchio.

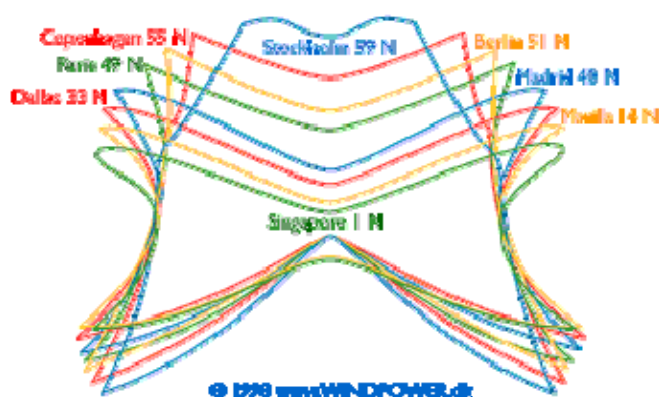


Figura 12. Firma d'ombra in termini di area influenzata al variare della latitudine

La dimensione dell'ombra del rotore e il numero dei minuti d'ombra all'anno nelle vicinanze della turbina variano in proporzione alla zona del rotore, secondo le indicazioni delle tre immagini riportate in Figura 13. Le zone rosse indicano i modelli annuali dell'ombra con più di 30 ore di ombra ("Caso peggiore") dai rotori di turbina del vento di 43 m, 53 m, e 63 m montate sulle torri da 50 m e computate per 55° di latitudine.



Figura 13. La dimensione dell'ombra del rotore e il numero dei minuti d'ombra all'anno nelle vicinanze della turbina variano in proporzione alla zona del rotore

L'altezza del mozzo di una turbina eolica è d'importanza secondaria per l'ombra dal rotore. La stessa ombra sarà estesa per una più grande zona, in modo tale che nelle vicinanze della turbina per esempio fino a 1.000 m, il numero dei minuti all'anno con le ombre diminuiranno realmente. Le quattro immagini riportate in Figura 14. mostrano l'ombra proiettata durante un anno ("Caso peggiore") da una turbina eolica con un diametro del rotore di 43 m, disposta con quattro altezze differenti del mozzo e computata per 55° di latitudine. Le zone rosse rappresentano le zone con più di 30 ore delle ombre. Se si è più lontani di circa





PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



500-1.000 m da un rotore di una turbina eolica, esso non sembrerà tagliare la luce, ma la turbina sarà considerata come un oggetto con il sole dietro di esso. Di conseguenza, non è necessario generalmente da considerare la proiezione dell'ombra a tali distanze.

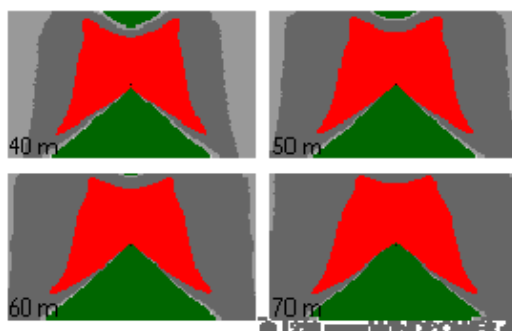


Figura 14. L'altezza del mozzo di una turbina eolica è di importanza secondaria per l'ombra dal rotore.

Quanto più l'osservatore sarà lontano dalla turbina, tanto meno pronunciato sarà l'effetto. Esistono tre diversi motivi per questo:

- Ci sono pochi periodi dell'anno in cui il Sole è abbastanza basso per proiettare un'ombra lunga;
- Quando il Sole è basso è più probabile che sia oscurato dalle nuvole sull'orizzonte o per la presenza di costruzioni e di vegetazione;
- il centro dell'ombra del rotore passa più rapidamente sopra la terra riducendo la durata dell'effetto.

A distanza, le pale non coprono il Sole ma lo mascherano solo parzialmente, sostanzialmente indebolendo l'ombra. Questo effetto si presenta in primo luogo con l'ombra dalla punta della pala, le punte in sezione sono più sottili che nel resto della pala. Le ombre dalle punte si estendono più lontano e così soltanto un effetto molto debole può essere osservato a distanza dalle turbine.

Il Report "Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel (January 2012) Prepared for: Massachusetts Department of Environmental Protection, Massachusetts Department of Public Health", al Paragrafo 3.4.b: "3.4.b. Shadow Flicker Considerations and Potential Health Effects" riporta quanto segue: «*Lo shadow flicker è causato quando accadono variazioni di intensità luminosa dalle pale rotanti delle pale eoliche, che proiettano ombre rotanti. Queste ombre si muovono sulla terra, sugli edifici e sulle strutture e variano in termini ritmo di frequenza e intensità.*



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Lo shadow flicker può variare significativamente in funzione della velocità del vento e della durata, dalla posizione geografica della luce solare, e dalla distanza delle pale della turbina da strutture o edifici pertinenti.

In generale, i rami dello shadow flicker fuori dalla turbina eolica, in una caratteristica area geografica a forma di ala di farfalla declinante, presenterà quantità elevate di sfarfallio vicino alla turbina e meno sfarfallio nelle parti esterne dell'area geografica (New England Wind Energy Education Project (NEWEET), 2011; Smedley et al., 2010).

Lo shadow flicker si verifica fino a circa 1.620 m dalla turbina eolica, ma il più forte sfarfallio è fino a circa 400 m dalla turbina, quando si verifica (NEWEET, 2011).

Lo shadow flicker solito si verifica al mattino e alla sera, in prossimità dell'alba e del tramonto, quando le ombre sono più lunghe. Inoltre, lo shadow flicker può variare nelle diverse stagioni dell'anno a seconda della posizione geografica della turbina eolica, così che in alcuni siti lo sfarfallio si verificherà solo durante i mesi invernali, mentre in altri lo shadow flicker si verificherà durante quelli estivi.

Altri fattori che determinano percentuali di shadow flicker e intensità includono oggetti del paesaggio (ad esempio, gli alberi e le altre ombre esistenti) e modelli climatici. Ad esempio, non c'è shadow flicker nelle giornate nuvolose senza sole rispetto alle giornate di sole. Inoltre, la velocità di shadow flicker (passaggio di ombre al secondo) aumenta con la velocità del rotore (NRC, 2007). In più, quando più turbine si trovano relativamente vicine le une alle altre, si possono verificare sfarfallii combinati dalle diverse pale delle diverse turbine eoliche e, viceversa, se ci si trova su diverse aree geografiche attorno alle strutture, lo shadow flicker può verificarsi in diversi momenti della giornata sullo stesso sito dalle diverse turbine; pertanto, la progettazione preliminare della localizzazione delle turbine è molto importante (Harding et al., 2008).».

Lo Shadow Flicker è funzione di diversi fattori, compresa la posizione delle persone rispetto alla turbina eolica, la velocità e la direzione del vento, la variazione diurna variazione della luce solare, la latitudine geografica della locazione, la topografia locale, e la presenza di eventuali ostacoli (A. Nielsen, 2003).

Lo shadow flicker non è importante in siti distanti (per esempio, maggiore di 1.000 piedi da una turbina, ovvero circa 305 metri), eccetto durante la mattina e la sera, quando le ombre sono lunghe. Tuttavia, l'intensità della luce solare è anche inferiore durante la mattina e la sera; questo tende a ridurre gli effetti delle ombre e dello Shadow Flicker. La velocità dello Shadow Flicker aumenta con la velocità del rotore della turbina eolica.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



FISICA DEL FENOMENO DELLO SHADOW FLICKER

Di seguito si riporta la sintesi dell'Appendice B: "Appendix B Wind Turbines - Shadow Flicker - AB.1 Shadow Flicker and Flashing" del Report "Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel (January 2012) Prepared for Massachusetts Department of Environmental Protection, Massachusetts Department of Public Health" in merito alla fisica del fenomeno dello Shadow Flicker.

«Il fenomeno dello shadow flicker si verifica durante un periodo limitato di tempo in un anno, a seconda dell'altitudine del sole, α_s ; l'altezza della turbina, H , il raggio del rotore, R , e l'altezza, la direzione, e la distanza al punto di osservazione.

In qualsiasi momento, la massima distanza alla quale si estenderà un'ombra tremolante da una turbina eolica, sarà data da:

$$X_{shadow,ax} = (H + R - h_{view}) / \tan(\alpha_s) \quad (1)$$

Dove h_{view} è l'altezza del punto di osservazione.

L'altitudine solare dipende dalla latitudine, il giorno dell'anno, e il tempo come indicato nelle seguenti equazioni (Duffie e Beckman, 2006):

$$\alpha_s = 90^\circ - \cos^{-1}[(\cos(\delta)\cos(\Phi)\cos(\omega) + \sin(\delta)\sin(\Phi))] \quad (2)$$

Dove δ = declinazione dell'asse, Φ = latitudine della terra e ω = l'angolo orario. La declinazione è trovata dalla seguente equazione:

$$\delta = 23,4 \sin(365(28 + 2)/365) \quad (3)$$

Dove n = giorno dell'anno.

L'angolo orario è trovato dalle ore da mezzogiorno (ora solare, negativa prima di mezzogiorno, positiva dopo mezzogiorno), diviso per 15 per convertirlo in gradi.

Un altro angolo rilevante è l'azimut solare. Questo indica l'angolo del sole rispetto alla direzione di riferimento determinato (generalmente il Nord) in un particolare momento. Ad esempio, il Sole è sempre



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



nel Sud nel mezzogiorno solare, quindi la sua azimutale è di 180° in quel momento. L'azimut solare è importante poiché determina l'angolo dell'ombra della turbina eolica rispetto alla torre (vedere gli studi di Duffie e Beckman (2006) per i dettagli sul calcolo dell'azimut solare).

I siti sono tipicamente caratterizzati da grafici come quello illustrato in Figura 15 per una localizzazione in Danimarca (EWEA, 2004). Il grafico indica il numero di ore per anno di shadow flicker in funzione della direzione e della distanza (misurata in unità di altezza del mozzo). Nell'esempio mostrato, sono considerati due punti di osservazione. Uno di loro (A) è direttamente a Nord della turbina, a una distanza di 6 volte l'altezza del mozzo. L'altra (B) si trova a Sud-Est a una distanza di 7 volte l'altezza del mozzo. La Figura mostra che il primo punto di osservazione sperimenterà lo shadow flicker dalla turbina per 5 ore all'anno, mentre il secondo punto sperimenterà lo shadow flicker dalla turbina per 12 ore all'anno. (...)».

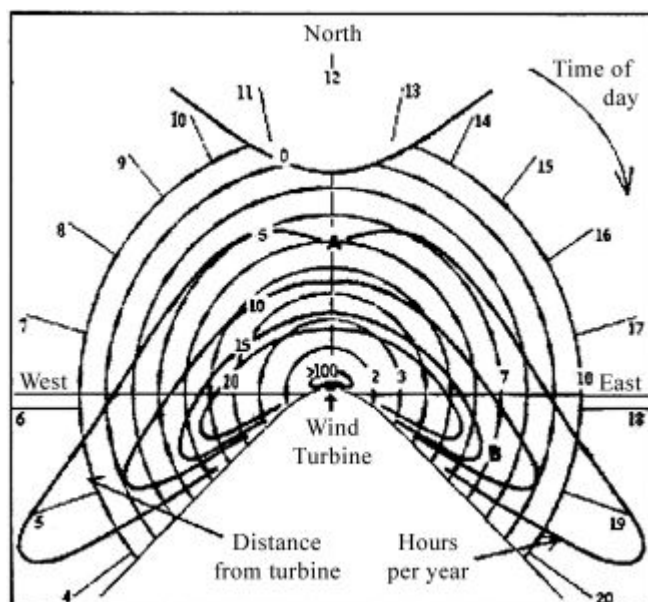


Figura 15. Diagramma dello Shadow Flicker (EWEA, 2004). A e B sono i punti di osservazione. Si noti che le equazioni assumono condizioni di cielo sereno e assenza di pioggia, nuvole, ecc.





PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



4.2 LIMITI DI ESPOSIZIONE ALLO SHADOW FLICKER NELLA NORMATIVA INTERNAZIONALE E NELLA LETTERATURA DI SETTORE

Le pale delle turbine eoliche, ruotando, proiettano ombre in movimento che potrebbero, sotto certe condizioni, provocare il fenomeno Flicker. Una valutazione utile dello Shadow Flicker è data da Clarke (A.D Clarke, “*A case of Shadow Flicker/flashing: assessment and solution*”, Techno Policy group, Open University, Walton Hall, Milton Keynes). Lo Shadow Flicker è misurato solitamente attraverso il numero di ore all’anno durante le quali una dimora sarebbe esposta al Flickering da parte delle turbine eoliche poste nelle vicinanze. Mentre questo è soprattutto un aspetto geometrico, altri fattori devono essere presi in considerazione; anche occasionalmente, quando il Sole è allineato geometricamente con la turbina e il ricettore, vari fattori possono impedire il Flicker. Per esempio, ***non è possibile che lo Shadow Flicker possa verificarsi quando il Sole non è visibile, cioè durante i giorni nuvolosi o nebbiosi, o se il rotore della turbina è fermo. Gli ostacoli situati fra una turbina eolica e l’osservatore, quali gli alberi, le colline e le costruzioni, ridurranno o elimineranno la durata e/o l’intensità dello Shadow Flicker.***

Fortunatamente, è possibile predire abbastanza esattamente la probabilità di quando e per quanto tempo si può verificare un effetto di Flicker; infatti, ricorrendo all’astronomia e alla trigonometria è possibile computare un probabile scenario “Caso peggiore” (o “Worst Case”), cioè una situazione in cui c’è sempre il Sole, il vento sta soffiando continuamente e quando il vento e il rotore della turbina seguono il Sole deviandola turbina esattamente come i movimenti del Sole.

È importante notare che gli effetti di Shadow, Flicker e Glint sono spesso descritti come causanti di un effetto stroboscopico che può causare fastidio alla gente all’interno della zona adiacente al parco eolico. Mentre questo effetto può accadere con le piccole turbine eoliche, che funzionano a più alti giri al minuto, la velocità di funzionamento delle grandi turbine tradurrebbe un effetto visivo molto più lento, limitando il potenziale fastidio.

Lo Shadow Flicker si presenta quando le pale del rotore proiettano delle ombre o delle sagome in movimento, attraverso il paesaggio o le dimore poste nelle vicinanze. La preoccupazione principale è l’impatto sulle costruzioni vicine e i possibili effetti psicologici su chi soffre di epilessia (in questo momento il 2% della popolazione del Regno Unito).

Studi europei e statunitensi di settore hanno suggerito che nello scenario “Worst Case” il limitato Shadow Flicker debba essere stabilito pari a 100 minuti/anno.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Tuttavia, lo Shadow Flicker è raramente considerato un problema con riferimento ad una wind farm; esso diventa un potenziale problema solo durante i periodi in cui la gente che dimora nelle abitazioni, localizzate nei pressi degli aerogeneratori, è sveglia, le finestre non sono oscurate (tende, infissi, ecc.) e una o più turbine eoliche sono in vista. Se una turbina eolica non è in vista durante le ore dello Shadow Flicker stimato, allora il fenomeno del Flicker passerà inosservato; perciò, non esistendo una procedura standard per la valutazione del fenomeno, non esistono delle linee guida disponibili su quanto l'esposizione all'ombreggiamento indotto possa essere accettabile, dunque il fenomeno dello Shadow Flicker non è generalmente regolato esplicitamente dalle autorità competenti per l'assetto territoriale.



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



5. INDAGINE E LOCALIZZAZIONE DEI POTENZIALI RICETTORI SENSIBILI

Compatibilmente con il livello di dettaglio richiesto per l'analisi dei *potenziali* Ricettori sensibili allo Shadow Flicker prodotto dall'impianto di progetto, si è proceduto all'indagine e successiva localizzazione su base cartografica di tutti gli elementi antropici ubicati entro l'Area d'indagine dello Shadow Flicker che rispondono alla descrizione di "ricettore".

Per la definizione di "**ricettore**" si è ritenuto opportuno mutuare quella fornita dal p.to 3.1.13 del Par. 3.1 "Termini e definizioni di carattere generale", Cap. 3 "TERMINI E DEFINIZIONI" della UNI/TS 11143-7:2013 "Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 7: Rumore degli aerogeneratori", ovvero: «**Qualsiasi edificio adibito ad "ambiente abitativo", comprese le relative aree esterne di pertinenza.**»; mentre la definizione di "**ambiente abitativo**" è quella fornita dall'art. 2 "Definizioni", comma 1., lettera b), della Legge 26 ottobre 1995, n. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico" (pubblicata su G.U.R.I. n. 254 del 30 ottobre 1995, S.O. n. 125): «**ambiente abitativo: ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane (...Omissis...)**».

Sulla scorta di tali considerazioni, la metodologia d'indagine adottata è consistita nei seguenti *step* operativi:

- 1) Su base cartografica "Ortofoto" è stata indagata l'Area d'indagine dello Shadow Flicker (ottenuta dall'involuppo delle aree buffer circolari di 1 km di raggio centrate nei n. 11 aerogeneratori di progetto modello di turbina eolica VESTAS V162-5,6 MW).
- 2) (**1° fase**) I ricettori sono stati individuati calcolando l'involuppo delle circonferenze di raggio pari a 1 km con centro geometrico corrispondente alle coordinate geografiche delle turbine, precedentemente indicate (vedi Tabella 1).

Con questa modalità operativa, **all'interno dell'Area d'indagine sono stati individuati i potenziali Ricettori sensibili allo Shadow Flicker** (Allegato n. 1: Shadow receptor) le cui coordinate, espresse secondo la proiezione UTM WGS84 - Fuso 33, sono state successivamente riportate su base cartografica IGM (Scala: 1:25.000) in ambiente di lavoro "*Designer*" del software WindFarm R5.



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



5.1 Individuazione dei ricettori

Ai fini della previsione degli impatti indotti sulle abitazioni e sugli edifici lavorativi dall'impianto eolico in progetto, sono stati censiti i ricettori presenti nel raggio di 1km dagli aerogeneratori. Distanza oltre la quale si può ipotizzare essere nullo il fenomeno di shadow flickering.

Per snellire il modello di calcolo, considerato che il software di analisi WindFarm R5 non è in grado di tenere conto delle zone d'ombra prodotte reciprocamente da edifici ravvicinati, le quali di fatto annullano il fenomeno di shadow flickering dovuto alle turbine, nel caso di più edifici molto ravvicinati tra loro si prendono in considerazione i soli ricettori perimetrali.

Sono stati quindi censiti un totale di 26 edifici, appartenenti ai Comuni di Esterzili, Escalaplano Figura 16, i quali risultano essere adibiti ad abitazione, edifici lavorativi o depositi agricoli/box/ruderi per lo più in stato di abbandono.

In particolare, dal censimento risultano 8 edifici lavorativi, 1 residenziale e 17 ruderi, box o depositi agricoli.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti abitativi o lavorativi con finestrate che si trovano sul prolungamento della direttrice sole-turbina, per questo motivo, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza 1 metro e larghezza 1 metro posizionate ad altezza dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici.



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

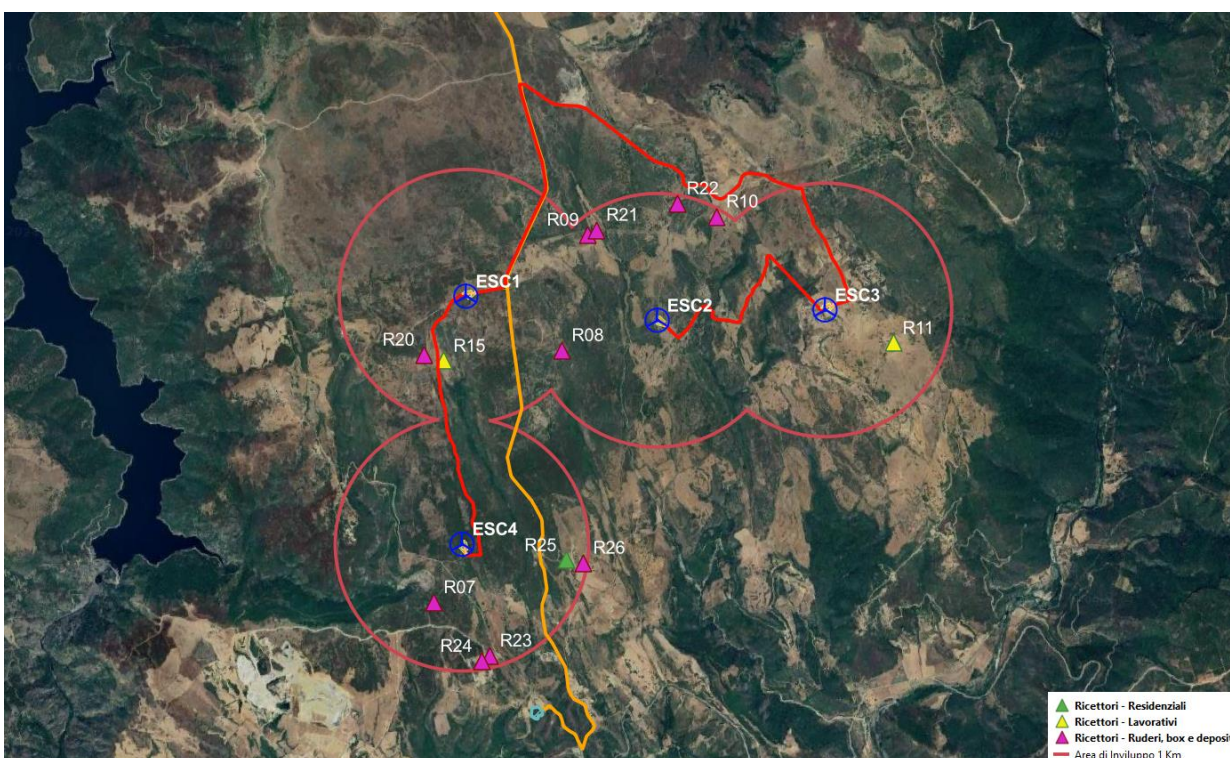
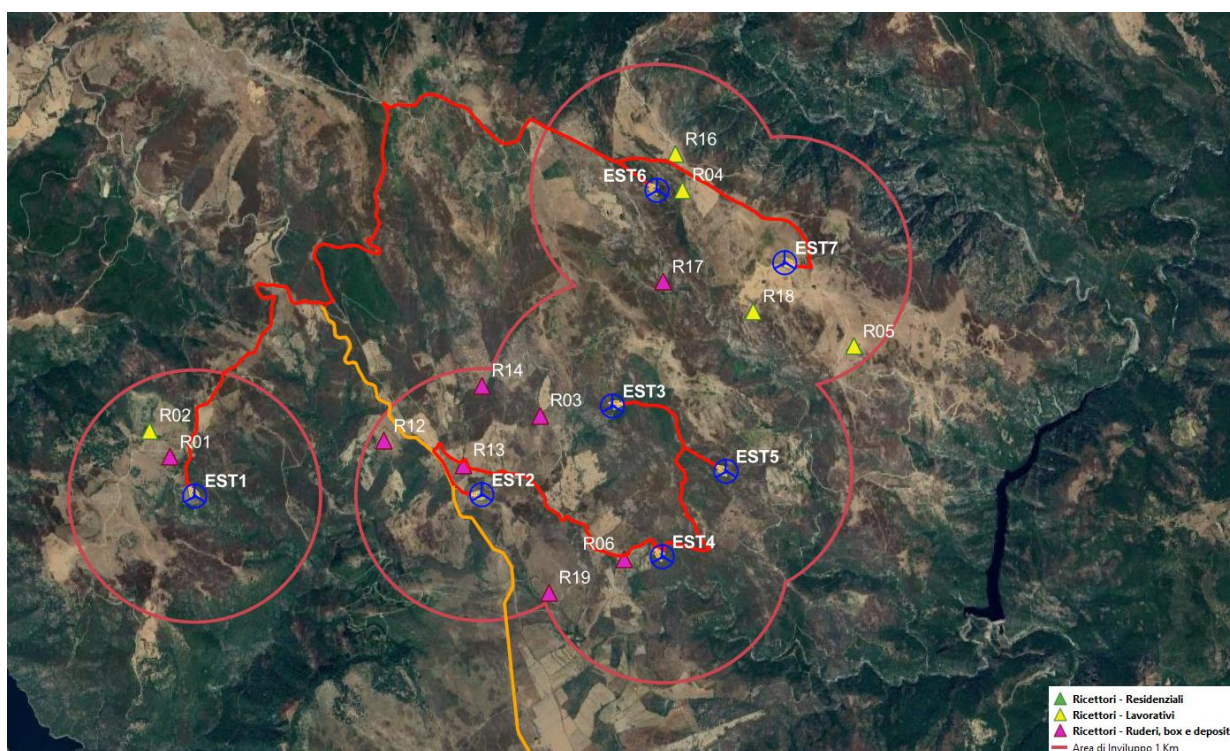


Figura 16. Censimento dei ricettori all'interno dell'ambito di studio



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Per lo stesso motivo, seppur censiti per completezza, **sono stati esclusi dall'analisi box, depositi e ruderi** in quanto non sensibili al fenomeno indagato.

In ALLEGATO 1 sono riportati i riferimenti geografici, l'uso in atto dei fabbricati, la distanza dall'aerogeneratore più vicino e l'orientamento delle finestre ipotizzato.

Le celle evidenziate in tabella in giallo e verde rappresentano rispettivamente i ricettori di tipo "Lavorativo" e "Residenziale" per i quali è stata eseguita l'analisi dell'interferenza da shadow flickering in quanto a destinazione d'uso residenziale o lavorativa.



Figura 17. Esempio di identificazione dell'orientamento delle finestre dei ricettori





PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Data l'entità dei ricettori in studio, è stata ipotizzata una disposizione fissa delle finestre rispetto al nord pari a 0, 90, 180 e 270 gradi (Figura 17).

In questo modo sono state prese in considerazione tutte le possibili esposizioni delle finestre al fenomeno di shadow flickering, rendendo i risultati dell'analisi ancor più cautelativi e completi.

5.2 Metodologia di calcolo e software utilizzato

L'analisi dell'impatto da shadow flickering prodotto da un campo eolico è realizzata, generalmente, attraverso l'impiego di specifici applicativi che modellano il fenomeno in esame. I pacchetti software impiegati per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering.

L'analisi si basa sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei ricettori sensibili, nonché sui dati che correlano la posizione del sole nell'arco dell'anno con le condizioni operative delle turbine nello stesso arco di tempo.

Al fine di calcolare la posizione relativa del sole nell'arco di un anno rispetto al parco eolico ed ai ricettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto.

Nello specifico, la valutazione tecnica è stata eseguita con l'ausilio del software WindFarm 5 della ReSoft Ltd, software di simulazione specifico per la progettazione di impianti eolici.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW

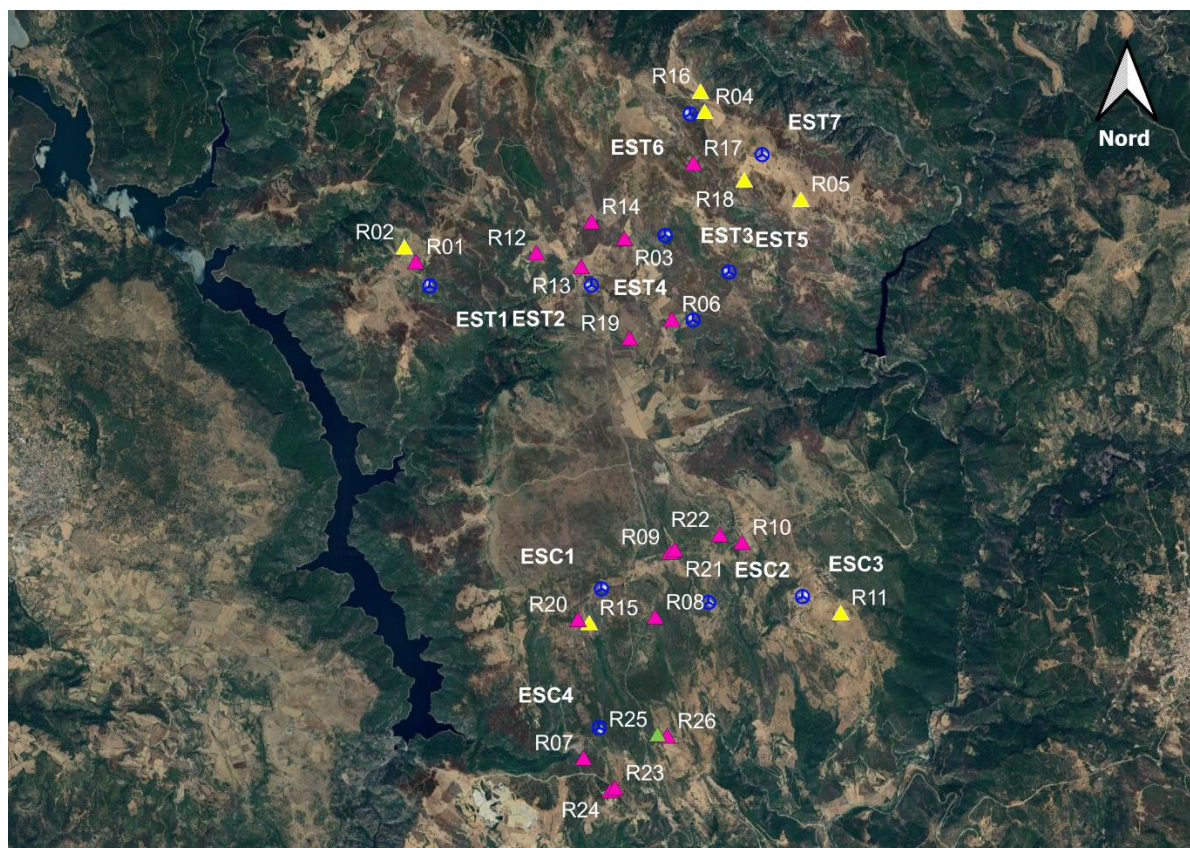


Figura 18. Stralcio dell'area di studio: ricettori (Viola, Giallo e Verde) e aerogeneratori (Blu)

Il Software consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno per identificare i tempi in cui ogni turbina può proiettare ombre sulle finestre delle abitazioni vicine. In particolare, il modello permette di:

- calcolare il potenziale per le ombre intermittenti alle finestre delle abitazioni;
- creare mappe di impatto potenziale che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine (curve di isodurata) nell'arco dell'anno.

Il software utilizza una serie di dati di input caratterizzanti quali:

- l'altimetria della zona simulata (formato GTH, (vedi Figura 19);
- la disposizione geografica delle turbine e dimensione geometrica dei loro componenti (torre e pale);
- la disposizione geografica dei ricettori sensibili al fenomeno indagato (abitazioni/edifici lavorativi e relative finestre);



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



- la latitudine e longitudine dell'area interessata.

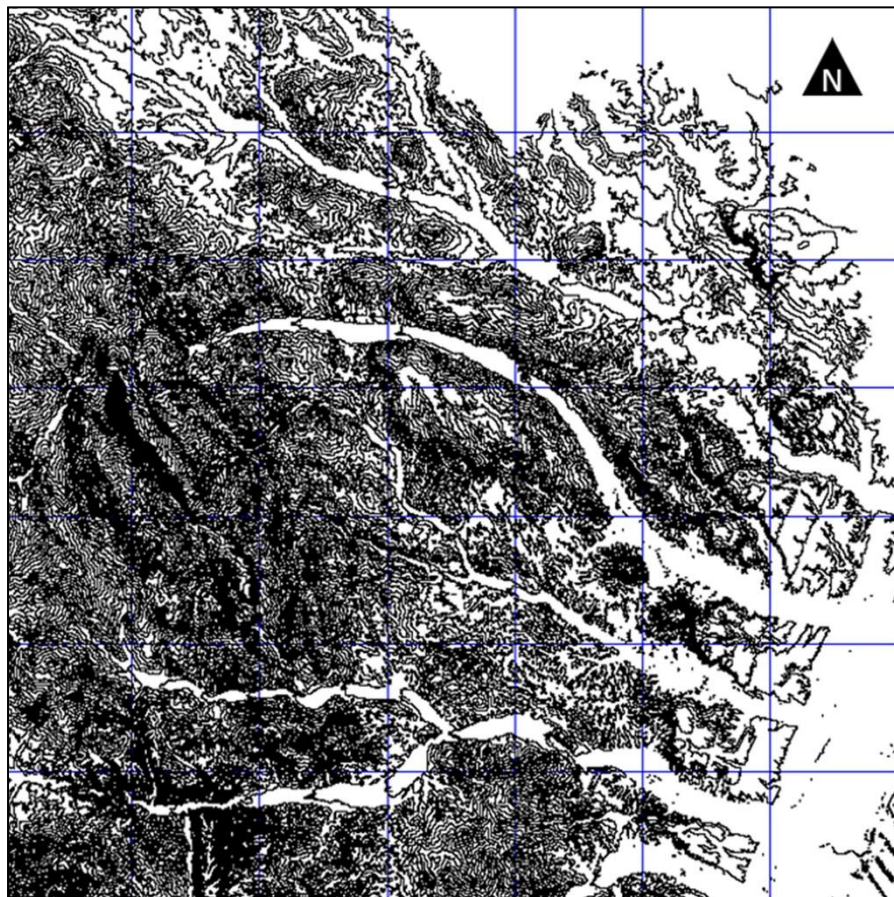


Figura 19. Esempio di curve di livello del terreno in WindFarm

Sulla base di questi dati il software calcola il numero di ore annue di esposizione allo shadow flickering per ciascun nodo del grigliato che copre l'intera area, nonché il numero di ore di esposizione per gli ambienti abitativi/lavorativi attraverso le finestre.



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL
Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Project	: ESCALAPLANO					
Run Name	: ESCALAPLANO SHF.WFK					
Title	: ESCALAPLANO SHF					
Time	: 18:31:51, 21 Jul 2022					
SUMMARY OF MERGED SHADOW TIMES ON EACH HOUSE FROM ALL TURBINES						
House	Easting	Northing	Days per year	Max hours per day	Mean hours per day	Total hours
1	1526517	4397015	137	1.62	1.23	168.2
2	1526345	4397212	75	1.31	1.05	79.1
3	1527258	4397636	105	1.58	1.31	137.9
4	1527279	4398006	158	1.43	1.14	180.9
5	1528148	4398071	73	1.01	0.83	60.9
6	1529421	4397538	221	2.65	1.77	391.9
7	1530427	4399392	125	1.57	1.22	153.1
8	1531859	4398252	0	0.00	0.00	0.0
9	1530160	4396450	97	1.14	0.88	85.7
10	1530322	4395445	179	1.05	0.73	130.7

Figura 20. Esempio di output elaborato tramite WindFarm5

Per l'esecuzione della simulazione sono stati fissati i seguenti parametri:

- coordinate geografiche baricentriche (UTM): 529418.10 m - Est, 4394835.81 m -Nord
- coordinate geografiche delle turbine considerate (vedi Tabella 1)
- coordinate geografiche dei ricettori considerati e disposizione delle finestre (vedi ALLEGATO 1)
- estensione area simulata: 10 km x 5 km (50 km²)
- risoluzione di calcolo: 10 m
- raggio d'influenza massimo: 1 km dal punto di installazione dell'aerogeneratore;
- altezza del punto di vista dell'osservatore: 2 m
- parametri turbina (cfr. Tabella 2):
 - ✓ diametro rotore: 162 m
 - ✓ altezza torre: 119 m
 - ✓ larghezza media della pala: 3 m





PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Il modello numerico utilizzato, produce in output una mappa di impatto, e prende in considerazione un caso molto cautelativo relativo, ad una configurazione puramente teorica che vede la costante e contemporanea presenza dei fattori di attivazione del fenomeno, ossia sole scevro da nubi (potenzialità di generare ombre) e velocità del vento superiore a quella di cut-in (rotore in moto).

5.3 Ipotesi di calcolo

Di seguito vengono riportate tutte le ipotesi utilizzate per il calcolo del fenomeno di shadow flickering (vedi "caso peggiore" in Tabella 3) effettuato tramite il software WindFarm:

- il sole splende per tutta la giornata, dall'alba al tramonto (cioè si è sempre in assenza di copertura nuvolosa);
- il piano di rotazione delle pale è sempre perpendicolare alla direttrice sole - aerogeneratore (ovvero l'aerogeneratore "insegue" il sole);
- gli aerogeneratori sono sempre operativi;
- non sono presenti alberi o altri ostacoli che, intercettando l'ombra degli aerogeneratori, riducano o annullino l'effetto di flickering.

Ciò considerato si evince che i risultati ai quali si perverrà sono estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica. Allo scopo di pervenire a valori più realistici, prossimi al caso reale, è stato corretto il dato di output prendendo in considerazione l'eliofania locale e le ore stimate di funzionamento dell'impianto eolico nell'arco dell'anno.

Nel caso in analisi, sapendo che il tempo in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno è di circa 4380 ore; tenendo conto dell'eliofania media locale (3669 h/anno), ovvero il numero di ore in cui il cielo è libero da nubi durante il giorno e a partire dalle registrazioni anemometriche relative alla stazione meteorologica più vicina all'area di studio e climaticamente compatibile, ovvero quella di Tortoli (OG), si è stimato che l'impianto eolico sarà in funzione per circa il 60% del tempo nell'arco dell'anno, corrispondente a 2633 ore.

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno) sono desunti in funzione della probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in moto (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



5.4 Risultati

La seguente tabella riassume i risultati dell'analisi eseguita, sui 9 ricettori lavorativi e residenziali, secondo la metodologia di calcolo descritta nel paragrafo precedente.

Tabella 3. Risultati di calcolo

Ric.	Caso Peggior		Caso Reale
	Giorni / Anno	Ore/ anno	
R02	75	79	47
R04	125	153	92
R05	0	0	0
R11	126	175	105
R15	55	42	25
R16	99	92	55
R18	144	97	58
R25	88	148	64
R26	58	44	26

In particolare, nella Tabella 3 vengono riportati il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore reale atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi (caso reale).

A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso reale, calcolato tenendo conto dell'eliofania locale e delle ore di funzionamento dell'impianto, è comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra.





PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Sempre dalla Tabella 3 si evince che presso 1 fabbricato non si manifesta il fenomeno in analisi mentre per i restanti 8 potrebbe verificarsi.

Tuttavia, tale effetto si può considerare trascurabile per via della scarsa durata del fenomeno che si riduce, nel caso reale, ad un numero esiguo di ore l'anno.

Per il fabbricato evidenziato all'interno della sopracitata Tabella 3, presso il quale l'effetto di shadow flickering potrebbe essere superiore a 100 ore l'anno, è stato elaborato un calendario dell'ombra che riporta in maniera grafica i periodi dell'anno in cui è possibile il verificarsi del fenomeno (condizioni del caso peggiore).

Al fine di garantire una più chiara comprensione di tali grafici, prima di effettuarne la disamina, si riporta una guida alla lettura degli stessi:

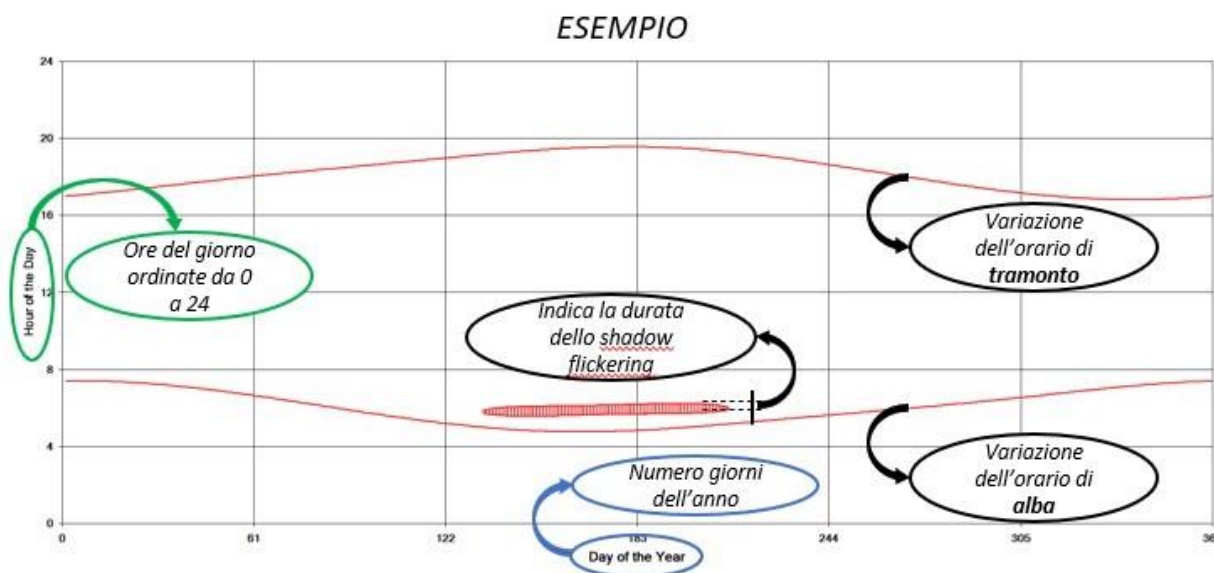


Figura 21. Esempio di output grafico dei risultati di simulazione del fenomeno di shadow flickering

Le curve di colore rosso indicano l'ora dell'alba e del tramonto mentre le aree campite il periodo in cui è possibile che il fenomeno si verifichi.

Inoltre, sull'asse delle ordinate sono riportati i giorni dell'anno e su quello delle ascisse l'ora del giorno (ora solare) vedi Figura 21.



ETANNRG SRL
Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



6. CONCLUSIONI

A seguito di quanto descritto nei paragrafi precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa, in quanto non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al piano di rotazione delle pale non sempre ortogonale alla direttrice sole-finestra e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e la finestra, il fenomeno dello shadow flickering si può verificare su 8 dei 9 fabbricati considerati ai fini dell'analisi (vedi Tabella 3). L'incidenza di tale fenomeno sulla qualità della vita può ritenersi trascurabile in quanto, il valore di durata simulato ed atteso del fenomeno è nella maggior parte dei casi (3 su 9 fabbricati) inferiore a 30 ore l'anno ed esclusivamente su un fabbricato (R11) superiore marginalmente alle 100 ore annue. Se si rapporta tale valore a quello di eliofania media locale dell'area (3669 ore/anno) si avrebbe un'incidenza percentuale del fenomeno mediamente inferiore all'1%, in un unico caso di poco superiore al valore di norma.

A tali considerazioni va altresì sottolineato che:

- La velocità di rotazione della turbina è 12,1 rpm, quindi nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere.
- Il ricettore maggiormente interessato al fenomeno, ovvero quello con valore di shadow flickering maggiore ad 100 ore/anno (R11), risulta essere un edificio lavorativo con scarsa densità abitativa durante l'anno. Comunque, l'incidenza di tale fenomeno di poco superiore al valore di soglia (5 ore/anno), ma inferiore se si tiene conto degli effetti mitigativi citati in precedenza e di conseguenza si ritiene trascurabile.
- Le turbine in progetto sono molto lontane dai recettori, essendo le distanze comprese tra 222 m e 985 m. In tali circostanze l'effetto dell'ombra è trascurabile poiché il rapporto tra lo spessore della pala e la distanza dal recettore è molto ridotto;

Stante tutto quanto sopra riportato è possibile concludere come l'interferenza tra la componente in esame, relativa allo Shadow flickering, sui ricettori presi in considerazione possa considerarsi trascurabile.



ETANNRG SRL

Via Pietro Cossa 5



LEONARDO ENGINEERING SRL

Viale Lamberti 29



PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Allegato n. 1: Shadow Receptor

Ricettori	Distanza dall'aerogeneratore più vicino [m]	Aerogeneratore	Coordinate UTM		Uso in atto	Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]		
R01	394	EST1	526492	4397008	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R02	644	EST1	526319	4397204	Lavorativo	4(0 – 90 – 180 - 270)
R03	624	EST3	529395	4397530	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R04	214	EST6	530401	4399385	Lavorativo	4(0 – 90 – 180 - 270)
R05	871	EST7	531833	4398244	Lavorativo	4(0 – 90 – 180 - 270)
R06	337	EST4	530134	4396443	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R07	510	ESC4	529310	4390212	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R08	788	ESC2	530183	4392253	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R09	875	ESC2	530328	4393176	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R10	950	ESC2	531329	4393383	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R11	601	ESC3	532780	4392487	Lavorativo	4(0 – 90 – 180 - 270)
R12	912	EST2	528172	4397248	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R13	291	EST2	528813	4397097	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R14	880	EST2	528917	4397735	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R15	543	ESC1	529263	4392111	Lavorativo	4(0 – 90 – 180 - 270)





PARCO EOLICO "ESTERZILI/ESCALAPLANO"
11 AEROGENERATORI DA 5,6 MW
POTENZA COMPLESSIVA 61,6 MW



Ricettori	Distanza dall'aerogeneratore più vicino [m]	Aerogeneratore	Coordinate UTM		Uso in atto	Numero finestre e orientamento rispetto al NORD
			Long. E [m]	Lat. N [m]		
R16	329	EST6	530323	4399665	Lavorativo	4(0 – 90 – 180 - 270)
R17	740	EST6	530291	4398652	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R18	480	EST7	531020	4398464	Lavorativo	4(0 – 90 – 180 - 270)
R19	964	EST4	529561	4396137	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R20	575	ESC1	529101	4392145	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R21	862	ESC2	530394	4393215	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R22	941	ESC2	531011	4393469	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R23	910	ESC4	531011	4393469	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R24	913	ESC4	531011	4393469	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)
R25	964	ESC4	531011	4393469	Residenziale	4(0 – 90 – 180 - 270)
R26	834	ESC4	531011	4393469	Ruderi, box e depositi	4(0 – 90 – 180 - 270)

