

TITLE: STUDIO SUGLI EFFETTI SHADOW-FLICKERING

AVAILABLE LANGUAGE: IT

**“IMPIANTO EOLICO DI 43,4 MW IN LOCALITÀ SANT'ANTONIO”
COMUNI DI SINDIA E MACOMER (NU)**

Progetto definitivo

Studio sugli effetti shadow-flickering

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido



File:C21BLN001CWR06101_Studio sugli effetti shadow-flickering

| REV. | DATE | DESCRIPTION | PREPARED | VERIFIED | APPROVED |
|------------------------------|------------|--|-------------------|---------------|--------------|
| 00 | 30/05/2022 | Seconda emissione | D. Baratta | M. Cianfarani | L. Sblendido |
| 00 | 28/04/2022 | Prima emissione | D. Baratta | M. Cianfarani | L. Sblendido |
| VALIDATION | | | | | |
| COLLABORATORS | | VERIFIED BY | | VALIDATED BY | |
| PROJECT / PLANT EO SINDIA | | INTERNAL CODE C21BLN001CWR06101 | | | |
| CLASSIFICATION COMPANY | | | UTILIZATION SCOPE | | |



INDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUZIONE | 3 |
| 2. NORMATIVA E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO | 4 |
| 3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE | 5 |
| 4. METODO DI CALCOLO..... | 11 |
| 4.1 INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI | 13 |
| 4.1.1 LOCALIZZAZIONE DEI POTENZIALI RECETTORI..... | 14 |
| 5. RISULTATI | 14 |
| 6. CONCLUSIONI | 18 |
| 7. ALLEGATI..... | 20 |
| A.1: ELENCO DEI RECETTORI..... | 20 |
| A.2: MAPPA DEI RECETTORI | 21 |
| A.3: RISULTATI DELL'ANALISI DELLA FLUTTUAZIONE D'OMBRA (<i>WORST CASE</i>) | 22 |
| A.4: CONFRONTO TRA <i>WORST CASE</i> E <i>STATISTICAL REAL CASE</i> | 25 |
| A.5: MAPPA DEI RECETTORI PER I QUALI VIENE SUPERATO IL VALORE N° ORE/ANNO | 26 |
| A.6: MAPPA DI ISO OMBREGGIAMENTO (<i>WORST CASE</i>) | 27 |

1. INTRODUZIONE

Lo *Shadow-flickering* consiste nell'oscillazione dell'ombra prodotta dal rotore di un aerogeneratore che, in prossimità di abitazioni o edifici commerciali, potrebbe causare degli effetti di disturbo anche di notevole intensità. Quest'ombra (*shadow*) proiettata su di un'abitazione apparirà attraverso la finestra in maniera intermittente (*flicking* in inglese), causando, appunto, il fenomeno dello *Shadow-flickering* (letteralmente tradotto con "ombreggiamento intermittente").

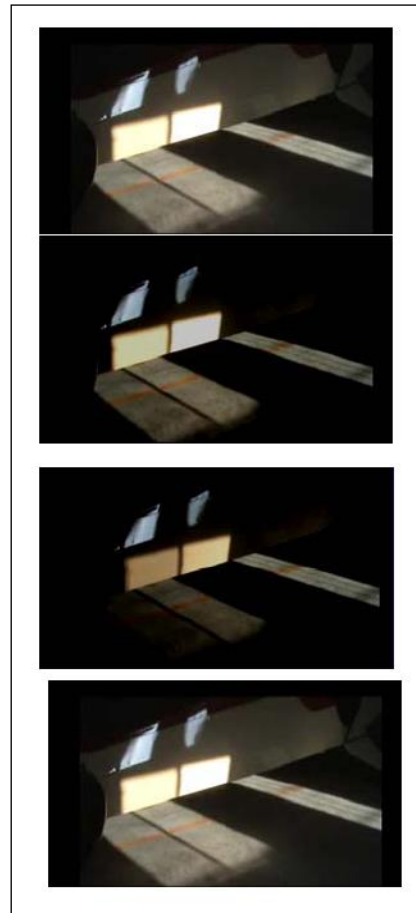


Figura 1 -Esempio di effetto *shadow-flickering* attraverso una finestra di abitazione: dal fotomontaggio si nota l'intermittenza della luce che filtra dalla finestra dovuta alla rotazione della pala.

La probabilità e l'intensità del fenomeno dipende dalla combinazione dei seguenti parametri:

- Direzione dell'abitazione rispetto alla turbina o alle turbine;
- distanza dalla turbina, in quanto maggiore è la distanza dell'osservatore dalla turbina, minore sarà l'intensità dell'effetto di *flickering*;
- altezza della turbina e diametro del rotore;
- periodo dell'anno e ora del giorno;
- condizioni meteo (le giornate nuvolose riducono la probabilità che tale fenomeno si manifesti).

La frequenza o la velocità dell'intermittenza (*flickering*) dipende anche dalla velocità di rotazione del rotore e dal numero di pale da esso montate: tipicamente, i moderni aerogeneratori a 3 pale avranno una frequenza di rotazione al di sotto dei 20 rpm (rotazioni al minuto). Questo significa che la massima frequenza di *flickering* sarà di circa 1HZ o un ciclo al secondo. Con queste basse frequenze, l'intermittenza non causa comunque problemi di salute (ad esempio, secondo la *British Epilepsy Foundation*, per causare attacchi a persone sensibili ad epilessia fotosensibile, le frequenze di *flickering* devono essere superiori ai 3 Hz).

Le raccomandazioni generali in questi casi sono che la frequenza del *flickering* non debba essere superiore a 2,5 Hz che significa, per una turbina a tre pale, una velocità di rotazione di 50 rpm.

Essendo un fenomeno dipendente dalla combinazione di una serie di parametri fisici, è possibile in ogni caso calcolare la probabilità di occorrenza di tale fenomeno e la sua intensità, come verrà in seguito illustrato nel presente elaborato.

Le opere del parco eolico (impianto ed opere di connessione) oggetto della presente trattazione, costituito da N.7 aerogeneratori, di potenza nominale singola pari a 6,2 MW, per una potenza nominale complessiva di 43,4 MW, ricadono nel territorio comunale di Sindia, in provincia di Nuoro.

L'energia elettrica prodotta sarà convogliata dall'impianto, mediante cavidotto a 36 kV, alla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ittiri-Selagius", ubicata nel comune di Macomer.

2. NORMATIVA E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

L'effetto *shadow-flickering* è più pronunciato, alle latitudini settentrionali durante i mesi invernali. In particolare, nel Nord Europa, il sole splende in un angolo obliquo per più ore del giorno e più giorni l'anno.

Alcuni paesi hanno adottato dei limiti relativi all'esposizione all'effetto in questione.

Alcuni studi e le linee guida di vari paesi del Nord Europa e dell'Australia hanno proposto 30 ore di effetto *shadow-flickering* per anno come soglia di impatto significativo, ovvero il limite per cui l'effetto ombra è comunemente percepito come fastidioso.

L'Italia non si è ancora dotata di una normativa specifica relativa al fenomeno dello *shadow-flickering*, a differenza di altri paesi che hanno basato i propri regolamenti sulle linee guida tedesche ("*Länderausschuss für Immissionsschutz – 2002- Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-SchattenwurfHinweise*" – Linee Guida per l'identificazione e la valutazione delle emissioni ottiche delle turbine eoliche).

Le linee Guida World Bank Group (*Environmental, Health, and Safety (EHS) Guidelines* – Agosto 2015) ricalcano le linee guida sopra richiamate, raccomandando che la durata prevista degli effetti di *shadow-flickering* su un recettore sensibile non superi le 30 ore all'anno e i 30 minuti al giorno

nel giorno più colpito e per lo scenario peggiore.

Gli impatti generati dallo *shadow-flickering* sono molto dibattuti. Alcuni studi indicano rischi potenziali sulla salute (tra cui il seguente: Harding et al, 2008; Smedley et al., 2010), mentre altri escludono rischi significativi (tra cui: *Update Shadow-Flicker Evidence Base report - UK Department of Energy and Climate Change – 2011*).

In merito all'area di influenza, la maggior parte degli studi e delle linee guida indicano che l'effetto dello *shadow-flickering* sia trascurabile ad una distanza superiore a 10 volte il diametro dell'aerogeneratore.

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di intervento, riferita all'ubicazione degli aerogeneratori, è collocata nel territorio comunale di Sindia, in provincia di Nuoro, regione Sardegna.



Figura 2 - Localizzazione degli aerogeneratori su immagine satellitare

Si riporta di seguito uno stralcio cartografico dell'area di interesse.

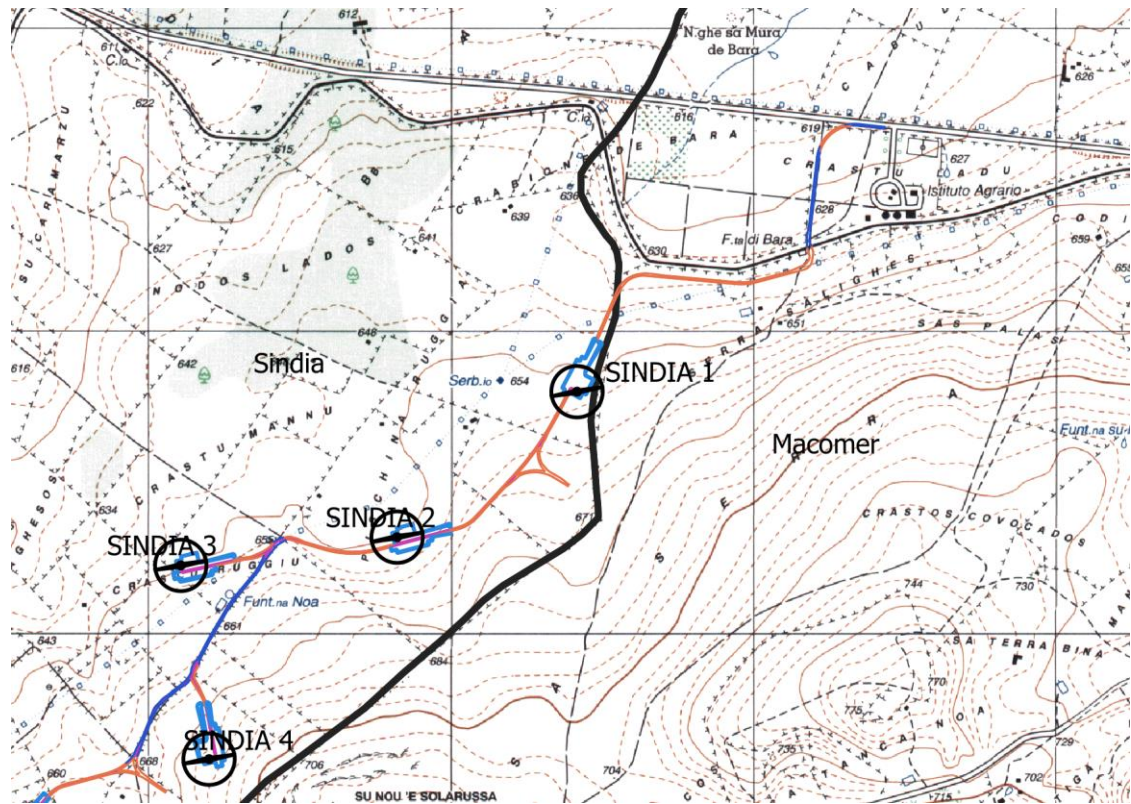
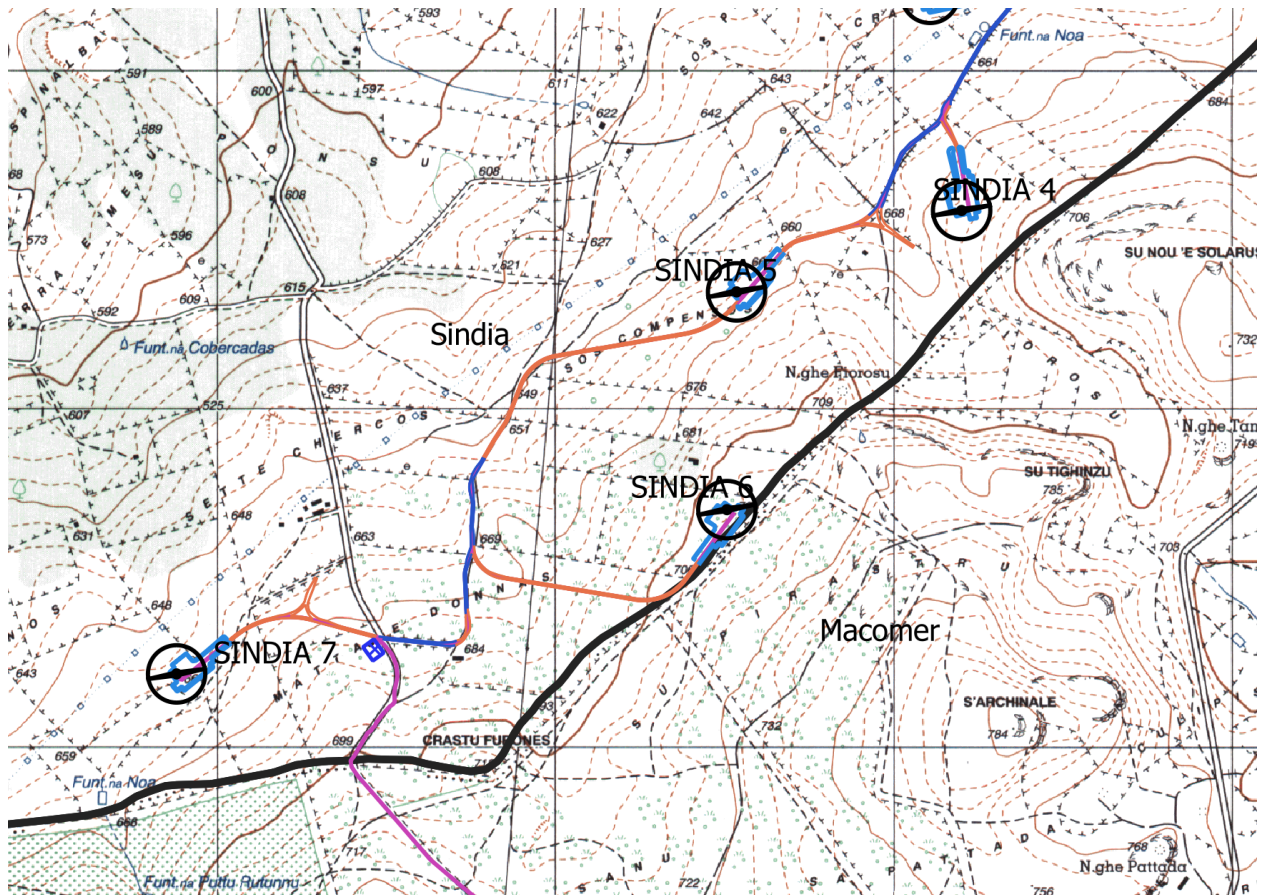


Figura 3 - Primo inquadramento su cartografia IGM 1:25000 delle WTG, della viabilità di impianto e del Cavidotto AT 36 kV



Sindia







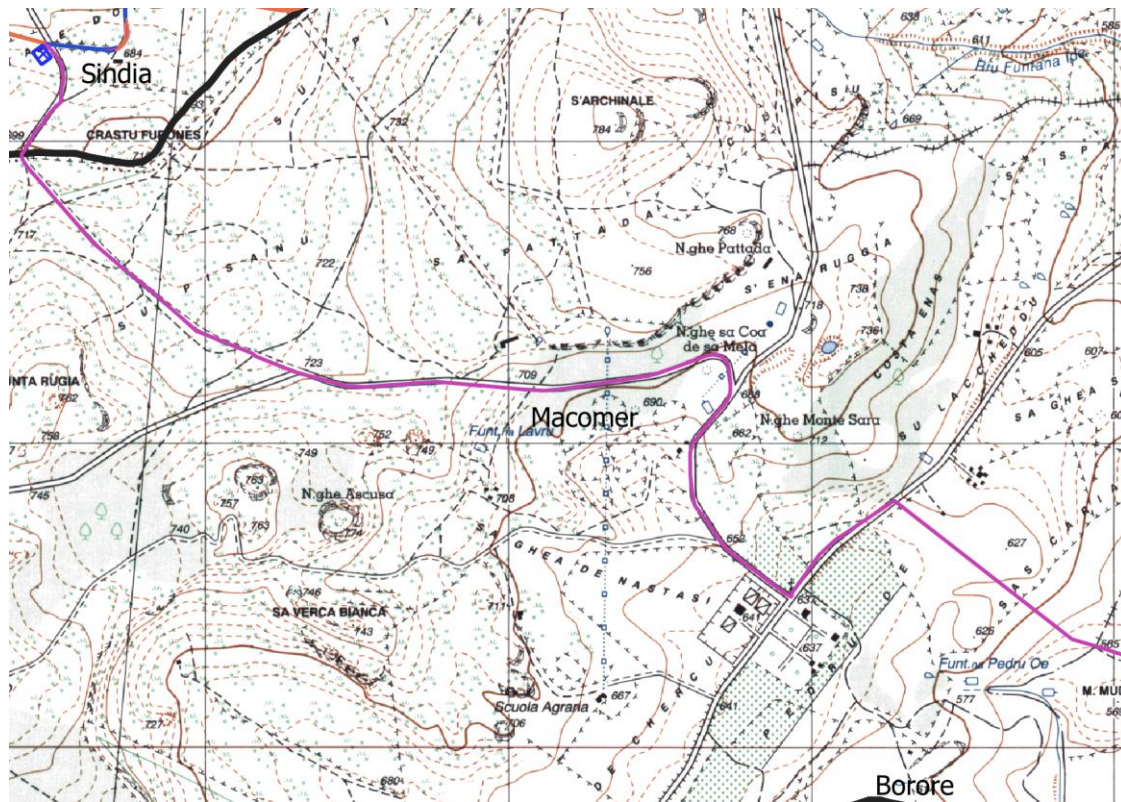
-  Aerogeneratore
-  Area a servizio della connessione d'impianto
-  Piazzole
-  Strada Da Adeguare
-  Strada di Nuova Realizzazione
-  Cavidotto AT 36kV

Figura 4 - Secondo inquadramento su cartografia IGM 1:25000 delle WTG, della viabilità di impianto, del Cavidotto AT 36 kV



Sindia

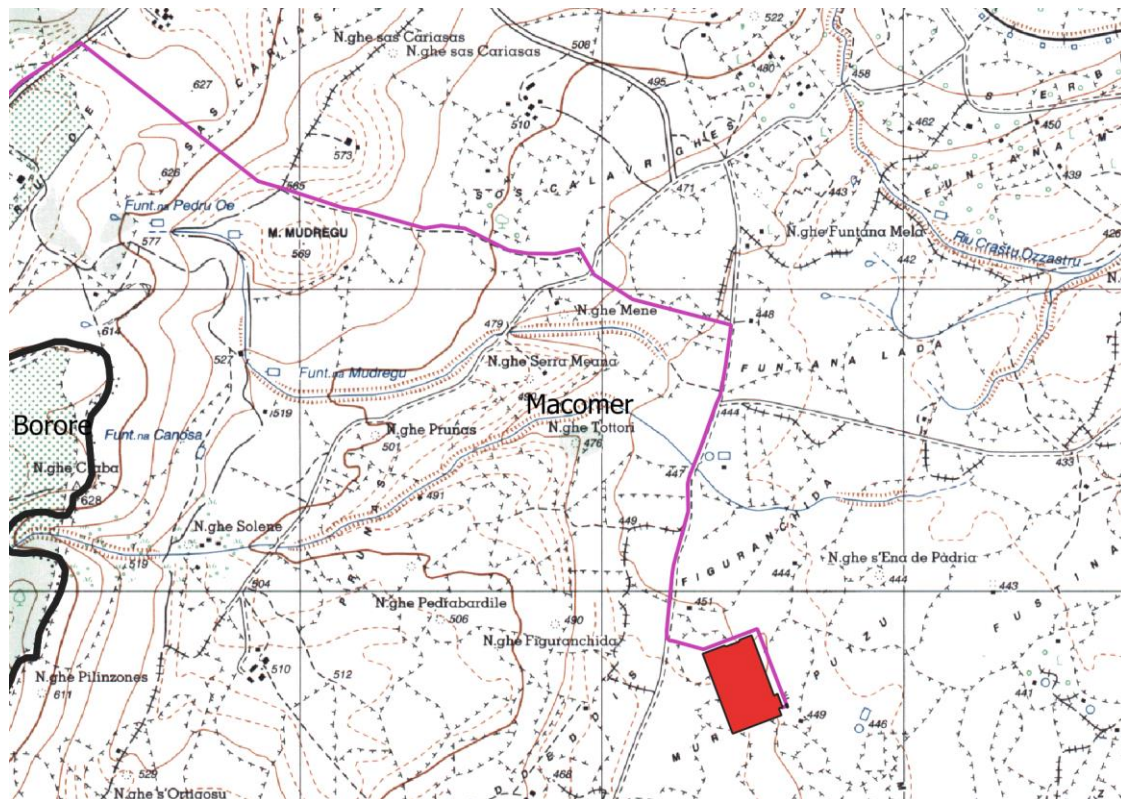
 Area a servizio della connessione d'impianto

 Strada Da Adeguare


 Strada di Nuova Realizzazione

 Cavidotto AT 36kV

Figura 5 - Terzo inquadramento su cartografia IGM 1:25000 delle WTG, della viabilità di impianto, del Cavidotto AT 36 kV



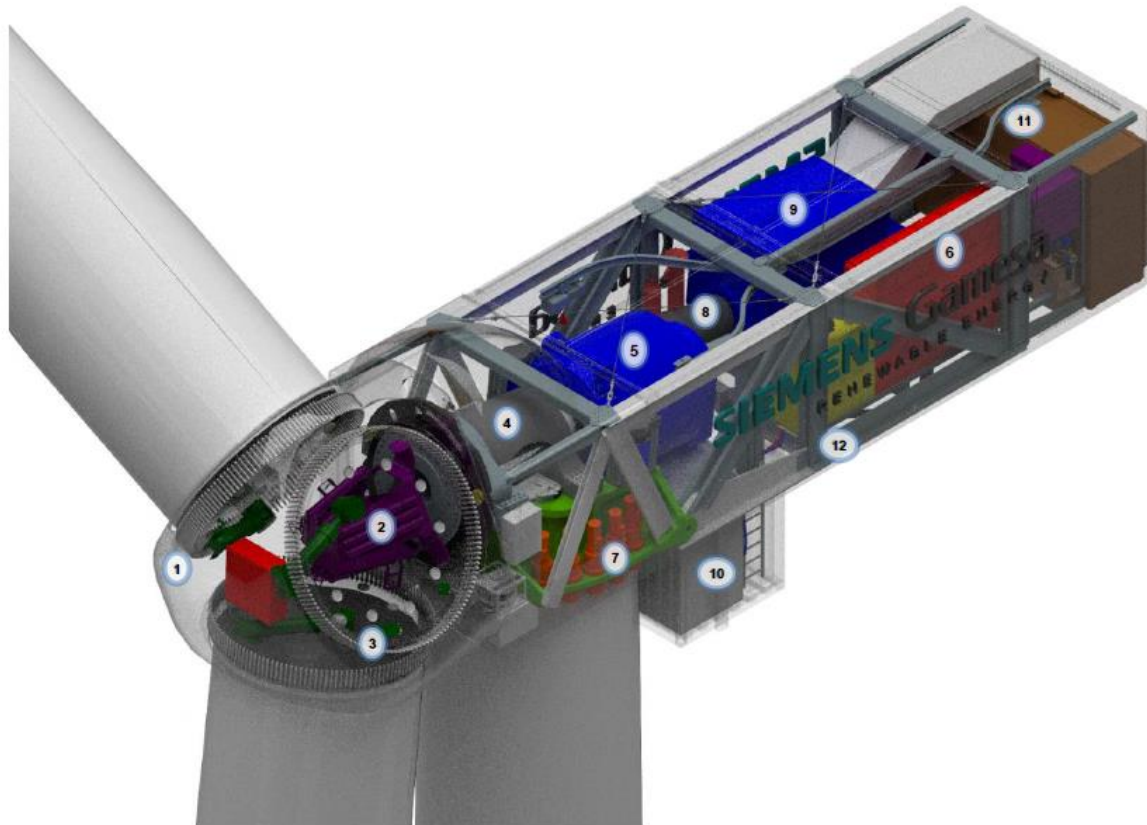
Sindia

 Futura SE Terna 380/150/36 kV "Macomer 380"

 Cavidotto AT 36kV

Figura 6 - Quarto inquadramento su cartografia IGM 1:25000 delle WTG, della viabilità di impianto, del Cavidotto AT 36 kV

Gli aerogeneratori costituenti il parco eolico hanno tutti lo stesso numero di pale (tre) e la stessa altezza. Si riportano a seguire le caratteristiche tecniche riferite all'aerogeneratore considerato nella progettazione definitiva.



| | |
|-----------------------|--------------------|
| 1 Hub | 7 Yaw system |
| 2 Pitch system | 8 High speed shaft |
| 3 Blade bearings | 9 Generator |
| 4 Low speed shaft | 10 Transformer |
| 5 Gearbox | 11 Cooling system |
| 6 Electrical cabinets | 12 Rear Structure |

Figura 7 - Allestimento navicella dell'aerogeneratore

Rotore

Il rotore è costituito da un mozzo (hub) realizzato in ghisa sferoidale, montato sull'albero a bassa velocità della trasmissione con attacco a flangia. Il rotore è sufficientemente grande da fornire spazio ai tecnici dell'assistenza durante la manutenzione delle pale e dei cuscinetti all'interno della struttura.

Diametro: 170 m

Superficie massima spazzata dal rotore: 22.697 m² Numero di pale: 3

Velocità: variabile per massimizzare la potenza erogata nel rispetto dei carichi e dei livelli di rumore.

Torre

Tipo tubolare in acciaio e/o in cemento armato.

Pale

Il materiale di cui risulta costituita la pala è composto da una matrice in fibra di vetro e carbonio pultrusi. La pala utilizza un design basato su profili alari. La lunghezza della singola pala è pari a 83,33 m.

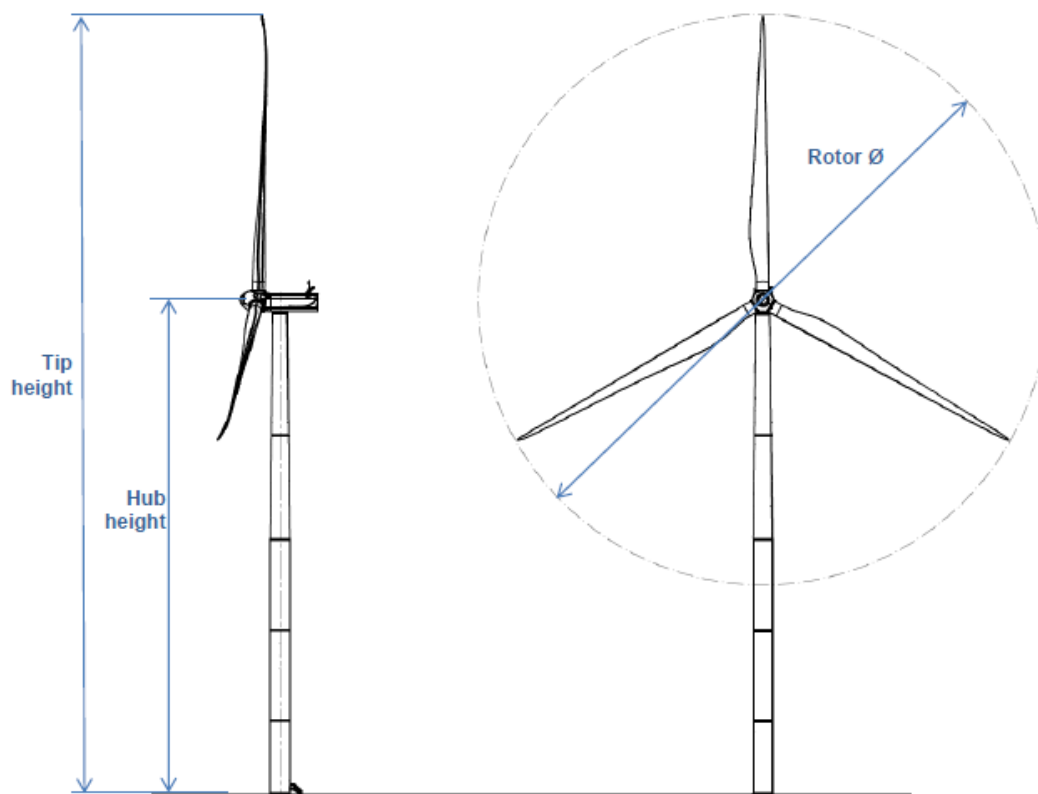


Figura 8 - Dimensioni aerogeneratore tipo

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Altezza della punta (Tip height) | 200 m |
| Altezza del mozzo (Hub height) | 115 m |
| Diametro del rotore (Rotor ϕ) | 170 m |

Tabella 1 - Dimensioni aerogeneratore tipo

Generatore

Tipo DFIG asincrono, potenza massima 6150 kW.

4. METODO DI CALCOLO

Il presente elaborato intende fornire una stima del fenomeno dello *shadow-flickering* correlato all'installazione di un impianto eolico richiamato in premessa. Tale analisi è stata condotta mediante

l'utilizzo del modulo di calcolo *Shadow-flickering* del Software RESoft Windfarm (Version 4.1.2.3).

I dati in input si riferiscono a:

- Modello digitale del terreno dell'area interessata dall'installazione degli aerogeneratori;
- posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori;
- posizione dei recettori.

Inoltre nella verifica con il software vengono considerati i 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 recettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto.

In particolare, il modello numerico utilizzato, al pari degli altri presenti sul mercato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante (*Worst Case*), corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (ore di luce, ca. 4380 h/a), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso dello *shadow-flickering* per l'impossibilità che si generino ombre.

Quindi, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (*Statistical Real Case*), i dati ricavati dal programma andranno analizzati e tarati tenendo conto dei valori di soleggiamento reale e delle ore di funzionamento dell'impianto che saranno discussi nei capitoli successivi.

Nel modello del calcolo sono stati individuati i recettori ricadenti nel buffer di 1km da ogni aerogeneratore.

Si precisa che, alla data di redazione del presente documento, non esistono specifiche distanze limite stabilite da dispositivi normativi o da linee guida regionali, provinciali o comunali in materia di *shadow-flickering*.

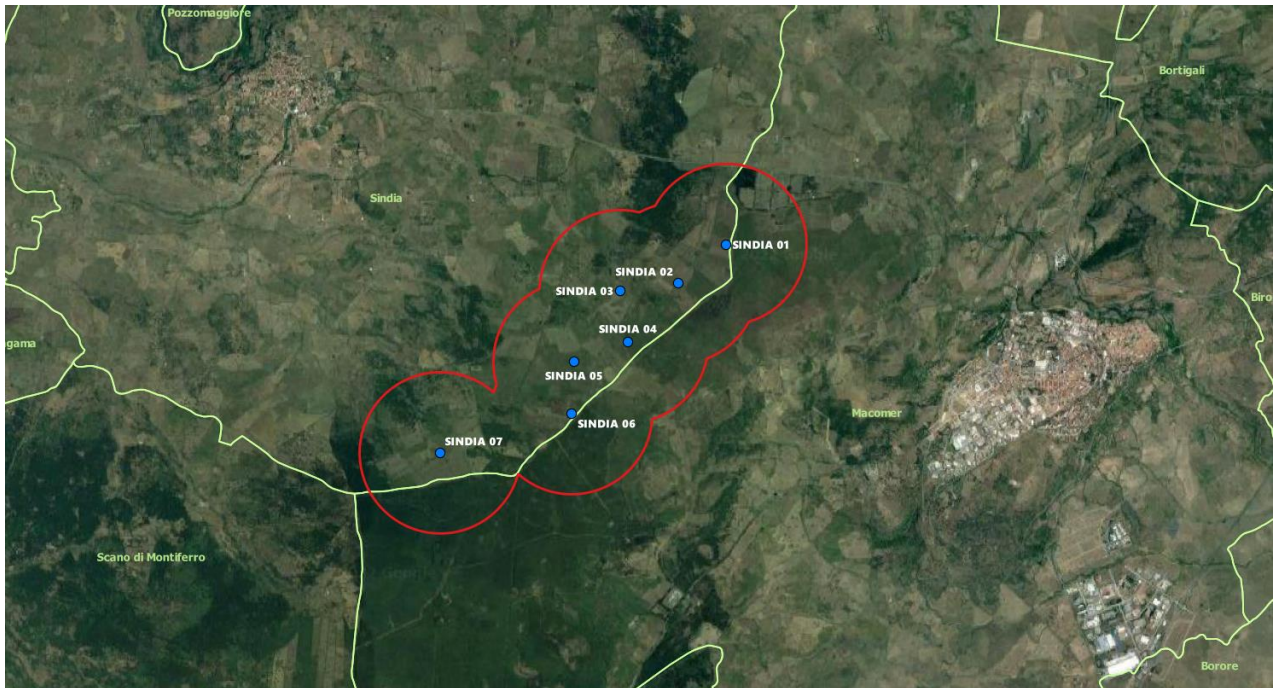


Figura 9 - Buffer di 1km (in rosso) da ciascun aerogeneratore (in blu) entro cui sono state censiti i recettori per l'analisi dello *Shadow-flickering*

4.1 Individuazione dei recettori

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate che si trovano sul prolungamento della direttrice sole-turbina; per questo motivo, sono state considerate nella simulazione la presenza di finestre con altezza e larghezza pari a 1 metro, posizionate ad un'altezza dal suolo pari a 2 metri e disposte secondo i 4 punti cardinali.

Ricadenti nel buffer di 1km da ciascun aerogeneratore risultano 12 edifici. L'individuazione dei recettori è stata condotta attraverso la consultazione della cartografia catastale e, successivamente sono stati considerati, tutti gli elementi presenti nel "catasto fabbricati" che corrispondono ad edifici adibiti ad "ambiente abitativo" e tutti quelli destinati alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzati per le diverse attività umane. Questa operazione ha portato all'individuazione di 12 edifici (vedere allegato A.1: Elenco dei Recettori e allegato A2: Mappa dei Recettori).

4.1.1 Localizzazione dei potenziali recettori

Si riporta a seguire la localizzazione su Google Earth dei recettori considerati nello studio:



Figura 10 - Individuazione dei recettori su immagine satellitare

Nella simulazione dello *shadow-flickering* sono stati considerati 12 recettori.

5. RISULTATI

Le raccomandazioni generali riguardo al fenomeno indicano che lo *shadow-flickering* non ecceda le 30 ore all'anno o i 30 minuti al giorno per ciascuna abitazione.

Queste raccomandazioni sono state tratte da uno studio commissionato a PREDAC (*Promotion of Renewable Energy and Development of Action at a European Level* - un'associazione per la promozione delle migliori pratiche in campo delle energie rinnovabili) dall'Unione Europea sulla base delle esperienze nel campo di Belgio, Danimarca, Francia, Olanda e Germania.

Nella presente trattazione è stato valutato l'effetto della fluttuazione d'ombra per tutte le abitazioni comprese entro un buffer di 1000 m da ciascun aerogeneratore.

Al fine di verificare la sussistenza del fenomeno dello *shadow-flickering* indotto dal parco eolico in progetto sono state effettuate una serie di simulazioni che hanno tenuto conto:

- Del diagramma solare riferito alla latitudine di installazione del parco;
- della posizione degli aerogeneratori e dell'altezza complessiva della macchina, intesa

quale somma tra l'altezza del mozzo e la lunghezza della pala;

- della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- della posizione dei possibili recettori rientranti in un buffer di 1000m da ogni aerogeneratore del parco.

Le simulazioni sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi e foschia; nessun ostacolo interposto tra i recettori individuati e gli aerogeneratori in progetto, rotore in movimento continuo e luce diretta.

Per ogni recettore sono state considerate 4 finestre distribuite sui 4 punti cardinali,

I risultati della simulazione effettuata sui 12 recettori sono riassunti nell'allegato A3: "Risultati dell'analisi della fluttuazione d'ombra" riportato in calce al documento. Nella tabella sono riportate le coordinate e l'altitudine dei recettori, i dati delle relative finestre (altezza, larghezza, altezza del baricentro dal suolo, angolo di inclinazione e gradi rispetto al nord), il numero di giorni annui interessati dal fenomeno, il numero massimo di ore in un giorno, la media delle ore al giorno ed il n° totale di ore annue.

I risultati della simulazione con il programma WindFarm sono estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica in quanto considera che:

- 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 (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 il fastidio del *flickering*;
- Sono state inserite finestre sui 4 lati degli edifici.

Dal momento che il fenomeno dello *shadow-flickering* è prodotto dalla contemporanea presenza di sole libero da nubi (potenzialità di generare ombre) e funzionamento delle WTG (rotore permanentemente in moto) allo scopo di pervenire a valori più realistici, prossimi al caso reale (*Statistical Real Case*), si tiene conto dell'eliofania locale e delle ore stimate di funzionamento dell'impianto eolico nell'arco dell'anno.

Per quanto riguarda i valori di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno, il dato è stato ricavato dalla "Carta dell'eliofania assoluta media annua in Italia" (Figura 9).

Per l'area in esame tale valore corrisponde a circa 2599 h/a; quindi, considerando che le ore totali

in cui il sole si trova sopra l'orizzonte sono 4380, i risultati del calcolo potrebbero, ragionevolmente, essere presi in considerazione nella misura del 59,33% ($2599/4380 = 59,33\%$).

In altri termini, rispetto al *Worst Case*, la probabilità di occorrenza del fenomeno di *shadow-flickering* si riduce, per l'area in esame, al 59,33% che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

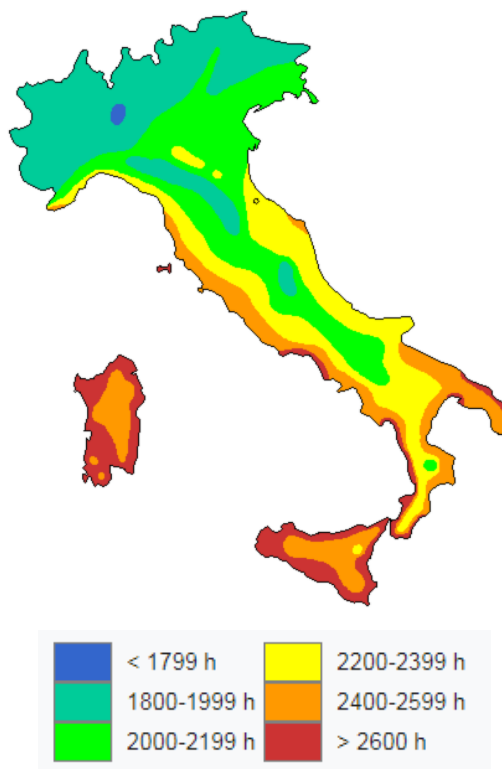


Figura 11 - Carta dell'eliofania assoluta media annua in Italia di Mario Pinna (*M. Pinna, Contributi di climatologia, Roma, Società geografica italiana, 1985, p. 28*)

Per quanto riguarda le ore annue di funzionamento delle WTG rispetto al totale delle ore in un anno (8760 h) queste risultano pari a 2796. Quindi la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è dell'ordine del 31,91% (pari al rapporto $2796/8760$).

In definitiva, per quanto finora detto, la probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in moto (vento) e sole libero da nubi (ombre), è pari al 18,93% ($59,33\% \times 31,31\% = 18,93\%$) essendo i due fenomeni stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità.

Nell'allegato A.4: "Confronto tra *Worst Case* e *Statistical Real Case*" riportato in appendice, vengono restituiti il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (*Worst Case*) e il valore reale atteso di ore l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi

(*Statistical Real Case*).

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.

Nel caso reale (*Statistical Real Case*), in 1 superficie finestrata non risulta soddisfatto il valore limite di riferimento di 30 ore/anno.

| ID | ID WindFarm/Finestra | Worst Case | | Statistical Real Case | |
|----|----------------------|------------|--------------|-----------------------|------------|
| R6 | 6/2 | 1 h 12 min | 184 h 54 min | 0 h 14 min | 35 h 0 min |

Tabella 2 - Recettori/finestre che superano i limiti di shadow- flickering

Di seguito vengono riportati i dati identificativi del recettore:

| ID WindFarm | ID Recettore | Coord X | Coord_Y | Comune | Foglio | Particella | Categoria | Distanza da WTG più vicina |
|-------------|--------------|---------|---------|--------|--------|------------|-----------|----------------------------|
| 6 | R6 | 474133 | 4457573 | Sindia | 40 | 38 | D/10 | 529 m da WTG 05 |

| Categoria | Tipologia accatastamento |
|-----------|--|
| D/10 | Fabbricati per funzioni produttive e connesse alle attività agricole |

Tabella 3 - Categorie catastali dei recettori interessati dal superamento del limite di shadow-flickering

Per il recettore in questione, quale l'effetto di *shadow-flickering* risulta superiore a 30 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).

Si precisa che il grafico a seguire è relativo al caso peggiore (*Worst Case*) quindi è rappresentativo del periodo in cui il fenomeno dello *shadow-flickering* è fisicamente possibile che si verifichi, pur risultando di intensità minore (in termini di numeri giorni e ore totali) nel caso reale. Inoltre, il superamento del valore limite (30 ore/anno) interessa la finestra di un recettore che risulta essere principalmente un fabbricato connesso alle attività agricole.

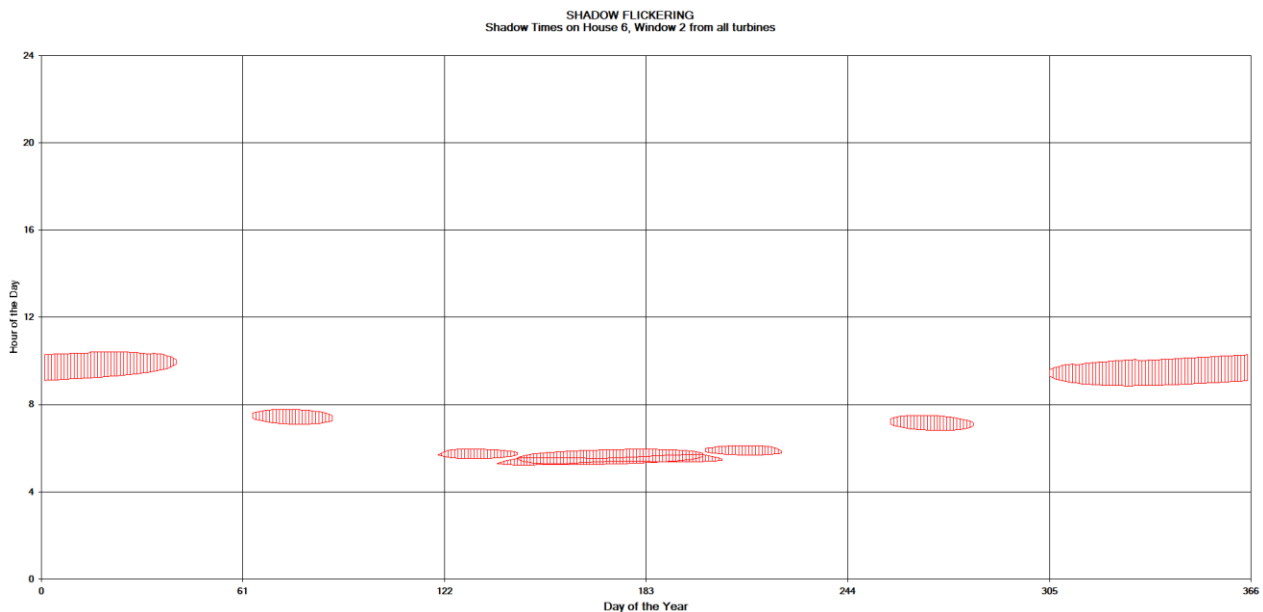


Figura 12 - Grafico che mostra per il recettore 6 il manifestarsi del fenomeno dell'oscillazione d'ombra sulla finestra 2

La finestra n° 2 del recettore 6 risulta essere investita dall'ombra proveniente dalle WTG 01 – 02 - 03 - 04 e 05. Mostra la persistenza del fenomeno nelle ore mattutine della giornata.

L'analisi del grafico mostra la persistenza del fenomeno sia nei mesi autunnali/invernali, che primaverili/estivi. Non si omette di sottolineare che i mesi autunnali/invernali risultano caratterizzati dalle peggiori condizioni metereologiche dell'anno e quindi da una maggiore probabilità di cielo coperto rendendo ancora più plausibili le considerazioni fatte a proposito del "caso reale" in cui si è tenuto conto di un fattore correttivo dovuto possibilità di avere cielo nuvoloso.

Per quanto riguarda l'analisi dei mesi primaverili/estivi, l'oscillazione dell'ombra si concentra principalmente nelle ore in prossimità del sorgere del sole rendendo quindi minimi anche in questo periodo gli effetti causati.

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, all'ipotesi di finestre poste su tutti e quattro lati degli edifici, il fenomeno dello *shadow-flickering* si potrebbe verificare su una finestra relativa ad un recettore che risulta essere principalmente un fabbricato per funzioni produttive e

connesse alle attività agricole.

Va sottolineato comunque che:

- La velocità di rotazione delle turbine che verranno montate è 8,8 rpm (rotazioni al minuto), quindi nettamente inferiore a 50 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere;
- non sussiste una normativa italiana in materia, per cui il progetto non si pone in difformità a prescrizioni normative o prassi.

Il Tecnico

Ing, Leonardo Sblendido



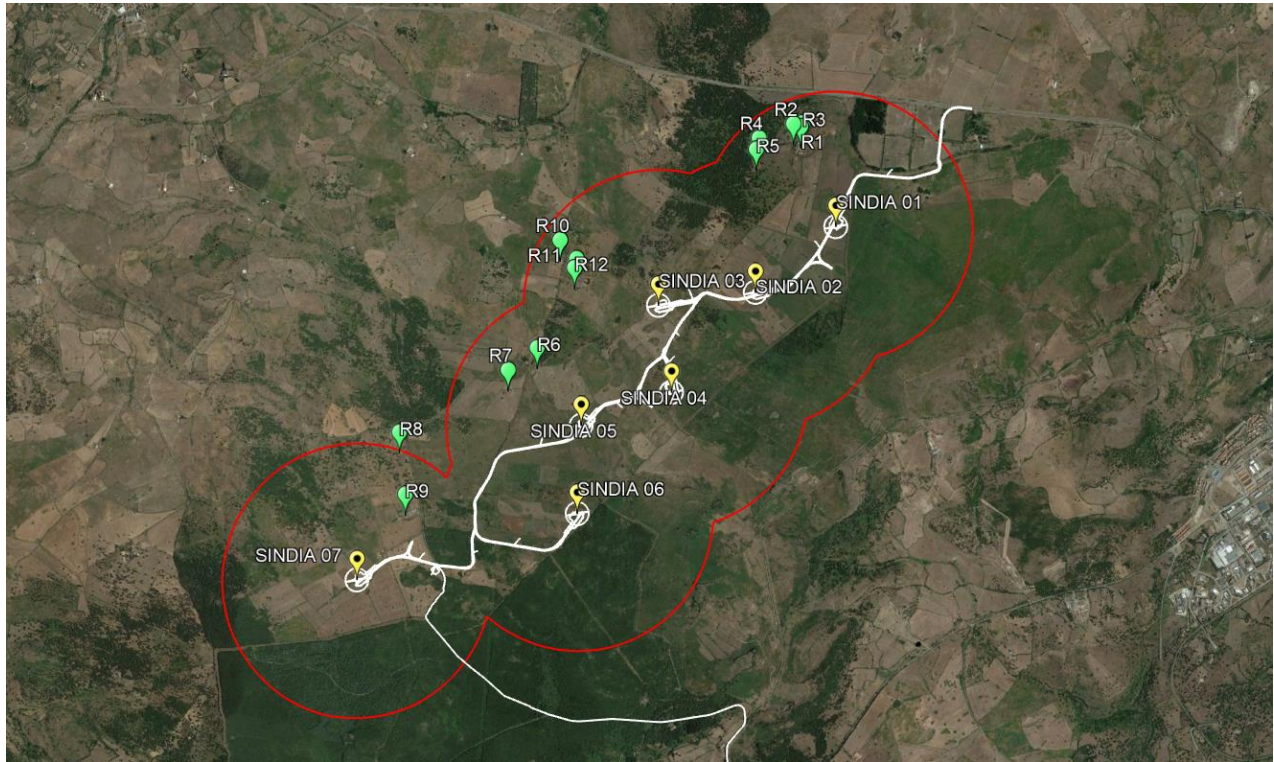

7. ALLEGATI

A.1: ELENCO DEI RECETTORI

| ID WindFarm | ID Recettore | Coord X | Coord_Y | Comune | Foglio | Particella | Categoria | Distanza da WTG più vicina |
|-------------|--------------|---------|---------|--------|--------|------------|-----------|----------------------------|
| 1 | R1 | 476087 | 4459194 | Sindia | 35 | 142 | D/10 | 636 m da WTG 01 |
| 2 | R2 | 476033 | 4459214 | Sindia | 35 | 143 | D/10 | 678 m da WTG 01 |
| 3 | R3 | 476099 | 4459221 | Sindia | 35 | 144 | D/10 | 656 m da WTG 01 |
| 4 | R4 | 475779 | 4459111 | Sindia | 35 | 135 | D/10 | 753 m da WTG 01 |
| 5 | R5 | 475758 | 4459028 | Sindia | 35 | 136 | D/10 | 718 m da WTG 01 |
| 6 | R6 | 474133 | 4457573 | Sindia | 40 | 38 | D/10 | 529 m da WTG 05 |
| 7 | R7 | 473916 | 4457410 | Sindia | 39 | 45 | D/10 | 599 m da WTG 05 |
| 8 | R8 | 473110 | 4456954 | Sindia | 38 | 119 | D/10 | 978 m da WTG 07 |
| 9 | R9 | 473158 | 4456498 | Sindia | 38 | 107 | D/10 | 592 m da WTG 07 |
| 10 | R10 | 474304 | 4458367 | Sindia | 34 | 61 | D/10 | 799 m da WTG 03 |
| 11 | R11 | 474426 | 4458229 | Sindia | 35 | 108 | D/10 | 635 m da WTG 03 |
| 12 | R12 | 474411 | 4458163 | Sindia | 35 | 109 | D/10 | 633 m da WTG 03 |

| Categoria | Tipologia accatastamento |
|-----------|--|
| D/10 | Fabbricati per funzioni produttive e connesse alle attività agricole |

A.2: MAPPA DEI RECETTORI



A.3: RISULTATI DELL'ANALISI DELLA FLUTTUAZIONE D'OMBRA (WORST CASE)

| Num. Recettori | ID | ID WindFarm /Finestra | Est | Nord | Larghezza finestra (m) | Altezza Finestra (m) | Baricentro Finestra dal suolo (m) | Gradi dal Nord | Angolo inclinazione | Num. di giorni annui | Max ore al giorno | Ore medie al giorno | Totale ore annue |
|----------------|----|-----------------------|--------|---------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| 1 | R1 | 1/1 | 476087 | 4459194 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 1/2 | 476087 | 4459194 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 1/3 | 476087 | 4459194 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 1/4 | 476087 | 4459194 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 2 | R2 | 2/1 | 476033 | 4459214 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 2/2 | 476033 | 4459214 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 2/3 | 476033 | 4459214 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 2/4 | 476033 | 4459214 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 3 | R3 | 3/1 | 476099 | 4459221 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 3/2 | 476099 | 4459221 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 3/3 | 476099 | 4459221 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 3/4 | 476099 | 4459221 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 4 | R4 | 4/1 | 475779 | 4459111 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 4/2 | 475779 | 4459111 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 89 | 0 h 54 min | 0 h 46 min | 68 h 54 min |
| | | 4/3 | 475779 | 4459111 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 89 | 0 h 54 min | 0 h 46 min | 68 h 54 min |
| | | 4/4 | 475779 | 4459111 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 5 | R5 | 5/1 | 475758 | 4459028 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | | 5/2 | 475758 | 4459028 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 116 | 0 h 55 min | 0 h 47 min | 90 h 18 min |
| | | 5/3 | 475758 | 4459028 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 116 | 0 h 55 min | 0 h 47 min | 90 h 18 min |
| | | 5/4 | 475758 | 4459028 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |

| Num. Recettori | ID | ID WindFarm /Finestra | Est | Nord | Larghezza finestra (m) | Altezza Finestra (m) | Baricentro Finestra dal suolo (m) | Gradi dal Nord | Angolo inclinazione | Num. di giorni annui | Max ore al giorno | Ore medie al giorno | Totale ore annue |
|----------------|-----|-----------------------|--------|---------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| 6 | R6 | 6/1 | 474133 | 4457573 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 105 | 0 h 39 min | 0 h 29 min | 50 h 54 min |
| | | 6/2 | 474133 | 4457573 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 258 | 1 h 12 min | 0 h 43 min | 184 h 54 min |
| | | 6/3 | 474133 | 4457573 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 153 | 1 h 12 min | 0 h 53 min | 134 h 0 min |
| | | 6/4 | 474133 | 4457573 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 7 | R7 | 7/1 | 473916 | 4457410 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 90 | 0 h 26 min | 0 h 20 min | 30 h 36 min |
| | | 7/2 | 473916 | 4457410 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 224 | 1 h 5 min | 0 h 34 min | 127 h 0 min |
| | | 7/3 | 473916 | 4457410 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 134 | 1 h 5 min | 0 h 43 min | 96 h 6 min |
| | | 7/4 | 473916 | 4457410 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 8 | R8 | 8/1 | 473110 | 4456954 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 129 | 0 h 41 min | 0 h 22 min | 47 h 6 min |
| | | 8/2 | 473110 | 4456954 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 170 | 0 h 41 min | 0 h 22 min | 63 h 18 min |
| | | 8/3 | 473110 | 4456954 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 41 | 0 h 31 min | 0 h 23 min | 16 h 0 min |
| | | 8/4 | 473110 | 4456954 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 9 | R9 | 9/1 | 473158 | 4456498 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 120 | 0 h 33 min | 0 h 25 min | 50 h 54 min |
| | | 9/2 | 473158 | 4456498 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 120 | 0 h 33 min | 0 h 26 min | 51 h 6 min |
| | | 9/3 | 473158 | 4456498 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 61 | 0 h 55 min | 0 h 44 min | 44 h 24 min |
| | | 9/4 | 473158 | 4456498 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 61 | 0 h 55 min | 0 h 44 min | 44 h 36 min |
| 10 | R10 | 10/1 | 474304 | 4458367 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 30 | 0 h 22 min | 0 h 16 min | 8 h 6 min |
| | | 10/2 | 474304 | 4458367 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 129 | 0 h 51 min | 0 h 32 min | 70 h 6 min |
| | | 10/3 | 474304 | 4458367 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 98 | 0 h 51 min | 0 h 38 min | 61 h 48 min |
| | | 10/4 | 474304 | 4458367 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 11 | R11 | 11/1 | 474426 | 4458229 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 32 | 0 h 23 min | 0 h 18 min | 9 h 36 min |
| | | 11/2 | 474426 | 4458229 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 123 | 1 h 22 min | 0 h 45 min | 92 h 30 min |
| | | 11/3 | 474426 | 4458229 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 91 | 1 h 22 min | 0 h 55 min | 82 h 36 min |



Wind Energy
Sindia Srl

grEen &
grEen
WE ENGINEERING

CODE

C21BLN001CWR06100

PAGE

24 di/of 27

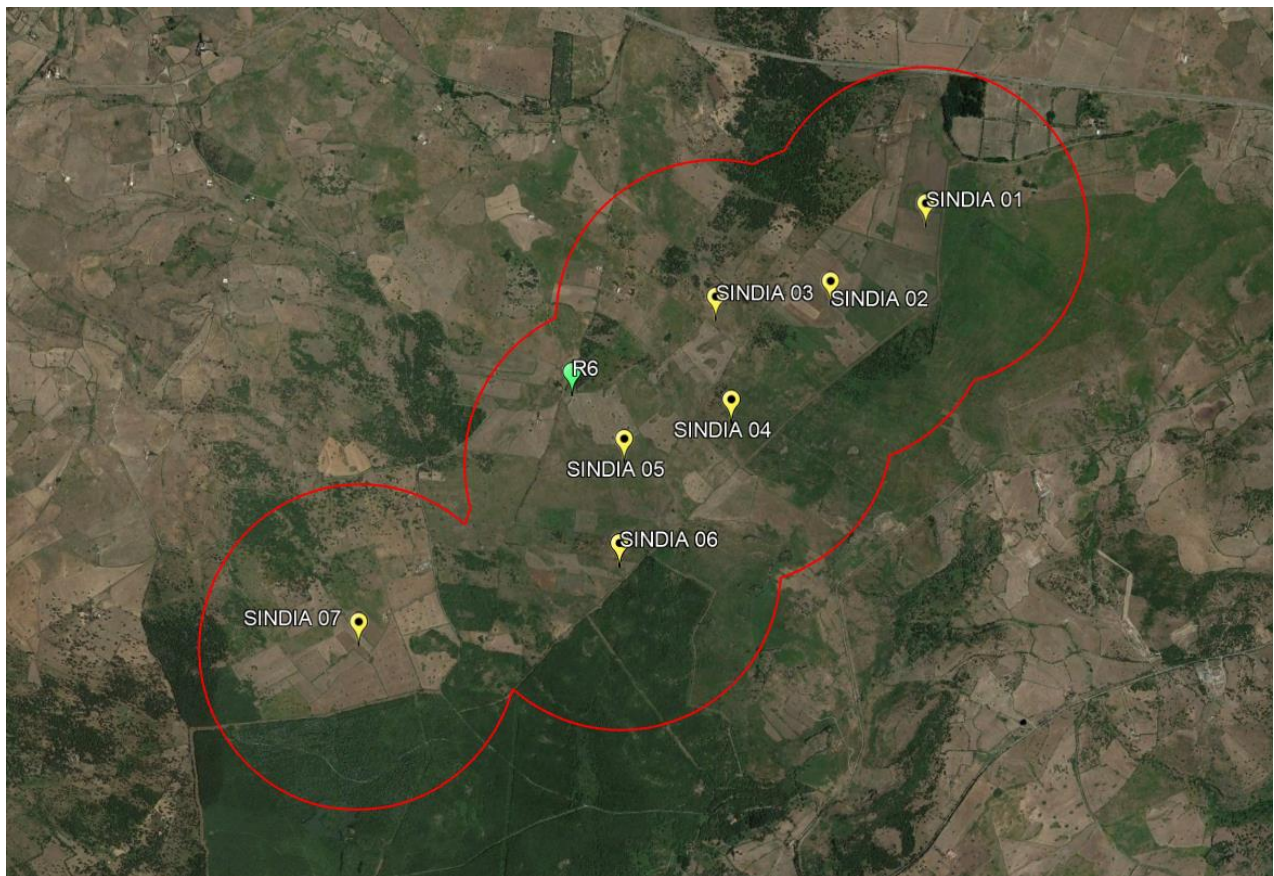
| Num. Recettori | ID | ID WindFarm /Finestra | Est | Nord | Larghezza finestra (m) | Altezza Finestra (m) | Baricentro Finestra dal suolo (m) | Gradi dal Nord | Angolo inclinazione | Num. di giorni annui | Max ore al giorno | Ore medie al giorno | Totale ore annue |
|----------------|-----|-----------------------|--------|---------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| | | 11/4 | 474426 | 4458229 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| 12 | R12 | 12/1 | 474411 | 4458163 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 33 | 0 h 22 min | 0 h 18 min | 9 h 48 min |
| | | 12/2 | 474411 | 4458163 | 1 | 1 | 2 | 90 | 0 | 159 | 1 h 29 min | 0 h 42 min | 111 h 6 min |
| | | 12/3 | 474411 | 4458163 | 1 | 1 | 2 | 180 | 0 | 126 | 1 h 29 min | 0 h 48 min | 100 h 54 min |
| | | 12/4 | 474411 | 4458163 | 1 | 1 | 2 | 270 | 0 | 0 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |

A.4: CONFRONTO TRA WORST CASE E STATISTICAL REAL CASE

| ID | ID WindFarm/Finestra | Worst Case | | Statistical Real Case | |
|-----|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | | Max ore al giorno | Totale ore annue | Max ore al giorno | Totale ore annue |
| R1 | 1/1 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 1/2 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 1/3 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 1/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R2 | 2/1 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 2/2 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 2/3 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 2/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R3 | 3/1 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 3/2 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 3/3 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 3/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R4 | 4/1 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 4/2 | 0 h 54 min | 68 h 54 min | 0 h 10 min | 13 h 3 min |
| | 4/3 | 0 h 54 min | 68 h 54 min | 0 h 10 min | 13 h 3 min |
| | 4/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R5 | 5/1 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| | 5/2 | 0 h 55 min | 90 h 18 min | 0 h 10 min | 17 h 6 min |
| | 5/3 | 0 h 55 min | 90 h 18 min | 0 h 10 min | 17 h 6 min |
| | 5/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R6 | 6/1 | 0 h 39 min | 50 h 54 min | 0 h 7 min | 9 h 38 min |
| | 6/2 | 1 h 12 min | 184 h 54 min | 0 h 14 min | 35 h 0 min |
| | 6/3 | 1 h 12 min | 134 h 0 min | 0 h 14 min | 25 h 22 min |
| | 6/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R7 | 7/1 | 0 h 26 min | 30 h 36 min | 0 h 5 min | 5 h 48 min |
| | 7/2 | 1 h 5 min | 127 h 0 min | 0 h 12 min | 24 h 2 min |
| | 7/3 | 1 h 5 min | 96 h 6 min | 0 h 12 min | 18 h 12 min |
| | 7/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R8 | 8/1 | 0 h 41 min | 47 h 6 min | 0 h 8 min | 8 h 55 min |
| | 8/2 | 0 h 41 min | 63 h 18 min | 0 h 8 min | 11 h 59 min |
| | 8/3 | 0 h 31 min | 16 h 0 min | 0 h 6 min | 3 h 2 min |
| | 8/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R9 | 9/1 | 0 h 33 min | 50 h 54 min | 0 h 6 min | 9 h 38 min |
| | 9/2 | 0 h 33 min | 51 h 6 min | 0 h 6 min | 9 h 40 min |
| | 9/3 | 0 h 55 min | 44 h 24 min | 0 h 10 min | 8 h 24 min |
| | 9/4 | 0 h 55 min | 44 h 36 min | 0 h 10 min | 8 h 27 min |
| R10 | 10/1 | 0 h 22 min | 8 h 6 min | 0 h 4 min | 1 h 32 min |
| | 10/2 | 0 h 51 min | 70 h 6 min | 0 h 10 min | 13 h 16 min |

| ID | ID WindFarm/Finestra | Worst Case | | Statistical Real Case | |
|-----|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | | Max ore al giorno | Totale ore annue | Max ore al giorno | Totale ore annue |
| | 10/3 | 0 h 51 min | 61 h 48 min | 0 h 10 min | 11 h 42 min |
| | 10/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R11 | 11/1 | 0 h 23 min | 9 h 36 min | 0 h 4 min | 1 h 49 min |
| | 11/2 | 1 h 22 min | 92 h 30 min | 0 h 15 min | 17 h 31 min |
| | 11/3 | 1 h 22 min | 82 h 36 min | 0 h 15 min | 15 h 38 min |
| | 11/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |
| R12 | 12/1 | 0 h 22 min | 9 h 48 min | 0 h 4 min | 1 h 51 min |
| | 12/2 | 1 h 29 min | 111 h 6 min | 0 h 17 min | 21 h 2 min |
| | 12/3 | 1 h 29 min | 100 h 54 min | 0 h 17 min | 19 h 6 min |
| | 12/4 | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min | 0 h 0 min |

A.5: MAPPA DEI RECETTORI PER I QUALI VIENE SUPERATO IL VALORE N° ORE/ANNO



A.6: MAPPA DI ISO OMBREGGIAMENTO (WORST CASE)

