

**Regione Sicilia**  
**Libero consorzio di Caltanissetta**  
**Comune di Butera**



Regione Siciliana



Titolo del progetto

**PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO EOLICO DENOMINATO "BUTERA" DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 39,6 MW E DELLE RELATIVE OPERE CONNESSE, DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI BUTERA (CL)**

Timbro e firma del progettista

Titolo elaborato

**Studio degli effetti dello SHADOW-FLICKER**

Codice elaborato

**Rel013**

Stato del progetto

DEFINITIVO

Scala del disegno

Ingegneria



Proponente



GREEN ENERGY 6 S.r.l. Corso Europa, 13  
20122 Milano (MI) P. IVA: 12889050964

Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
0	Emissione	15/11/2023	L.Rezoagli	A.Zanini	G.De Simone

---

## **INDICE**

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ASPETTI TECNICI DELLO SHADOW-FLICKER.....</b>	<b>4</b>
<b>3. INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI .....</b>	<b>5</b>
<b>4. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI.....</b>	<b>6</b>
<b>5. CONCLUSIONI.....</b>	<b>12</b>

---

## 1. INTRODUZIONE

---

La presente relazione è stata effettuata al fine della valutazione degli effetti di shadow-flicker prodotti dalla centrale eolica da 39,6 MVA. Nella configurazione finale dell'impianto eolico è previsto che, nel territorio comunale vengano installati n° 6 aerogeneratori ad asse orizzontale (WTG) della potenza elettrica nominale di 6.600 kW cadauno. La potenza elettrica installata, considerando l'impianto composto da n° 6 macchine da 6.600 kW, risulta essere pari quindi a 39,6 MW.

Lo "shadow-flicker" (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere l'effetto stroboscopico delle ombre proiettate dalle pale rotanti degli aerogeneratori eolici allorché il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura 1).



Figura 1 –schematizzazione effetti di shadow flicker

---

## **2. ASPETTI TECNICI DELLO SHADOW-FLICKER**

---

Gli aerogeneratori, al pari di tutte le opere e oggetti che si elevano rispetto al piano del terreno, proiettano un'ombra sulle aree circostanti in presenza di irraggiamento solare diretto.

Lo shadow-flickering è l'espressione comunemente impiegata per descrivere una fluttuazione periodica dell'intensità luminosa osservata. Tale effetto stroboscopico è causato dalla proiezione, su una generica superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento.

Nel caso specifico di un impianto eolico il fenomeno da valutare è la proiezione dell'ombra prodotta dalle pale degli aerogeneratori in rotazione sui ricettori sensibili che si trovano nelle immediate vicinanze del parco eolico.

Il fenomeno, dal punto di vista di un potenziale ricettore, si traduce in una variazione ciclica di intensità luminosa che disturba l'occhio umano tanto più è intensa la variazione periodica. Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o dalla nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale dell'aerogeneratore non sono in rotazione.

La maggiore intensità della variazione si ottiene nelle ore in cui è maggiore l'irraggiamento solare, nella parte centrale della giornata e minore nelle prime ore del mattino e alla sera quando la luminosità è meno intensa e le ombre sono più tenui.

Le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5 ed i 20 Hz.

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione di molto inferiore ai 35 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1.75 Hz minore, quindi, della frequenza critica di 2.5 Hz riportata in letteratura. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 15 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

Nel caso in oggetto, viene considerata una velocità massima di rotazione degli aerogeneratori pari a 12,1 giri al minuto, a cui corrisponde una frequenza di passaggio delle pale per rotore tripala di 0,6 Hz, che non va ad interferire con la fascia di maggior fastidio compresa tra i 2.5 ed i 20 Hz.

Il fenomeno dello shadow-flickering è comunque apprezzabile soltanto in presenza di:

1. assenza di ostacoli sulla congiungente ricettore - aerogeneratore: la presenza di
2. vegetazione, colline, edifici ecc. interposti all'ombra generata da questi ultimi annullerebbe il fenomeno;
3. orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - ricettore: infatti, quando il piano del rotore è parallelo alla linea sole-ricettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta molto assottigliata e di bassa intensità per cui l'effetto di shadow flickering è del tutto trascurabile;
4. la posizione del sole sia tale da produrre una luminosità sufficiente; tale condizione si verifica solo per le ore centrali della giornata e non al mattino e alla sera in cui l'altezza solare è limitata ed essendo la luminosità meno intensa le ombre sono più tenui;

- 
5. le pale del rotore siano ovviamente in rotazione, condizione che può verificarsi solo in presenza di vento (circa 300 giorni all'anno su 365);
  6. l'aerogeneratore ed il potenziale ricettore non siano troppo distanti: infatti, le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità rispetto a quelle proiettate ad una distanza crescente. Tale condizione deriva dal fatto che in presenza di un ricettore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricettore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricettore, le pale, durante il loro moto di rotazione, andranno a coprire una porzione sempre più piccola del disco solare, inducendo un effetto di flicker di minore intensità. Per questo motivo ha senso considerare ai fini dello shadow-flicker soltanto i ricettori sensibili compresi entro distanze dell'ordine dei 400-500 m.

### **3. INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI**

---

I ricettori individuati sono riportati nello specifico elaborato di progetto cui si rimanda per brevità. Essi sono gli stessi individuati anche al fine delle verifiche sul quadro acustico.

---

## 4. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI

---

Al fine di verificare la presenza e l'intensità del fenomeno dello shadow-flickering indotto dal parco eolico in progetto è stata eseguita una modellazione tridimensionale del territorio ed applicato un modello di calcolo specialistico che ha tenuto conto:

- della latitudine locale, allo scopo di considerare il corretto diagramma solare;
- della geometria effettiva delle macchine previste (altezza del mozzo e raggio del rotore);
- dell'orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- della posizione dei ricettori individuati sul territorio e degli aerogeneratori.

Le valutazioni a seguire sono state effettuate nel così detto "worst case" e cioè valutando la massima durata del fenomeno, ovvero quella astronomica, che corrisponde alle condizioni di cielo sempre sgombro da nubi, di rotore in movimento continuo e di perpendicolarità tra quest'ultimo ed il potenziale ricettore.

Il risultato del calcolo è sintetizzato in figura 2, in cui:

- I cerchi indicano la posizione dei ricettori sul territorio, come da nomenclatura di cui allo specifico elaborato di progetto inerente all'individuazione sul territorio dei ricettori sensibili;
- I triangoli indicano la posizione degli aerogeneratori sul territorio come da progetto;
- La scala di colorazione indica il numero di ore massimo nel corso dell'anno in cui ciascun ricettore potrebbe essere interessato dal fenomeno nel corso dell'anno nel "worst case".

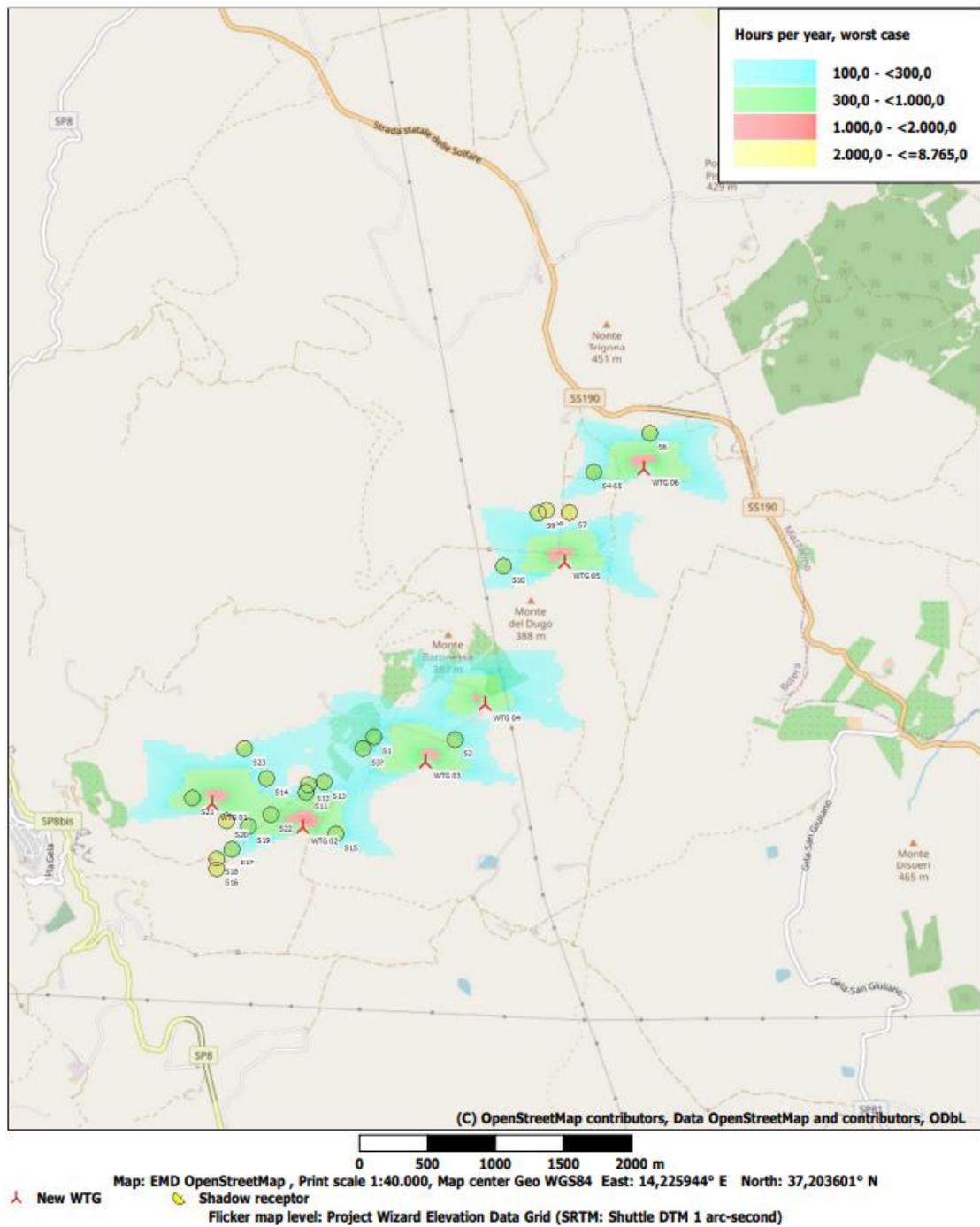


Figura 2 – Rappresentazione grafica degli effetti di shadow-flicker

E' stata poi eseguita un'analisi per ciascun ricettore per individuare non soltanto il numero di ore di potenziale interessamento agli effetti di shadow-flicker ma anche il giorno e l'ora in cui tale potenziale fenomeno potrebbe verificarsi, i risultati per ciascun ricettore sono riportati nei diagrammi a seguire.

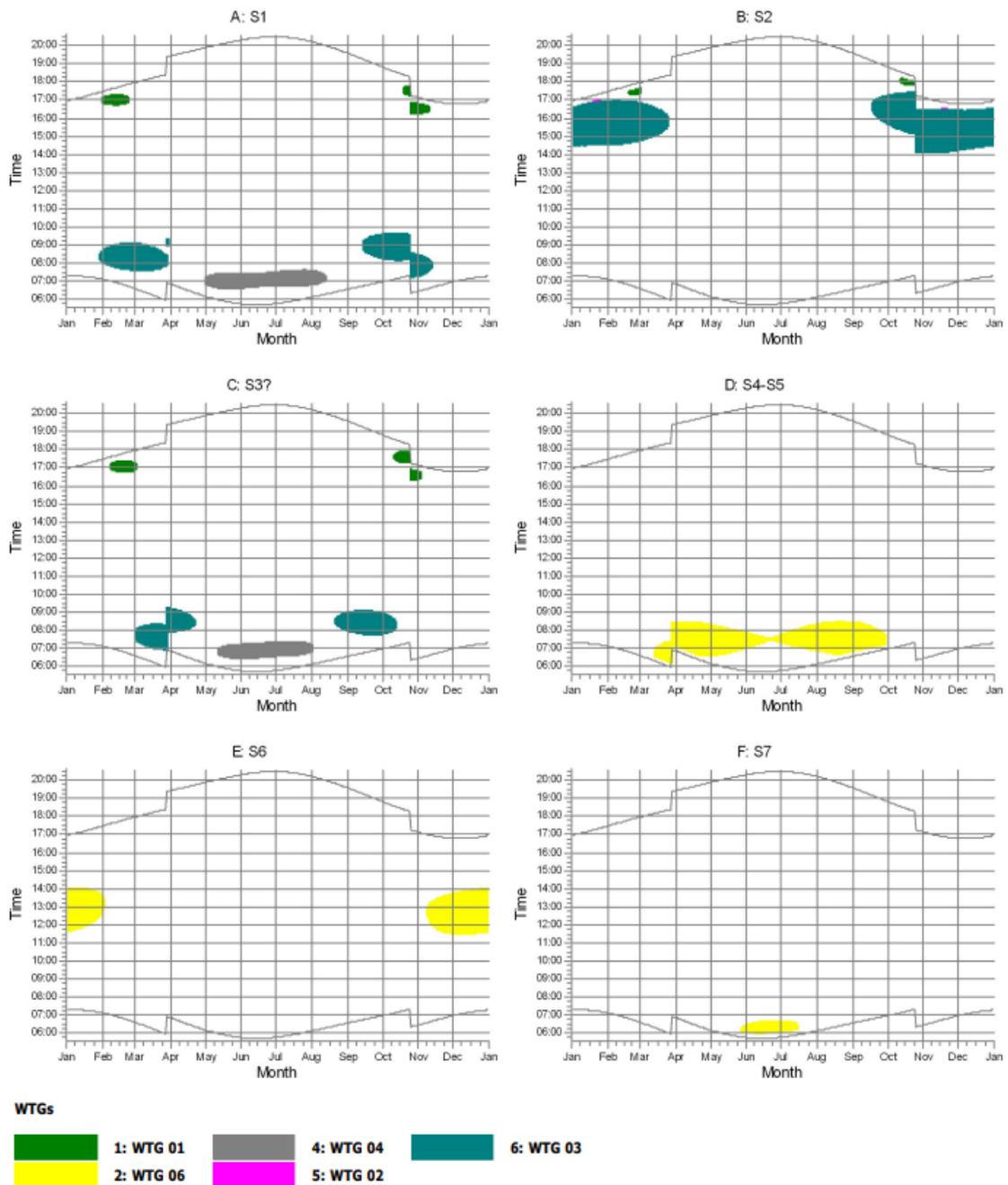


Figura 3 – Rappresentazione dei diagrammi di possibile manifestazione dello shadow-flicker ai ricettori

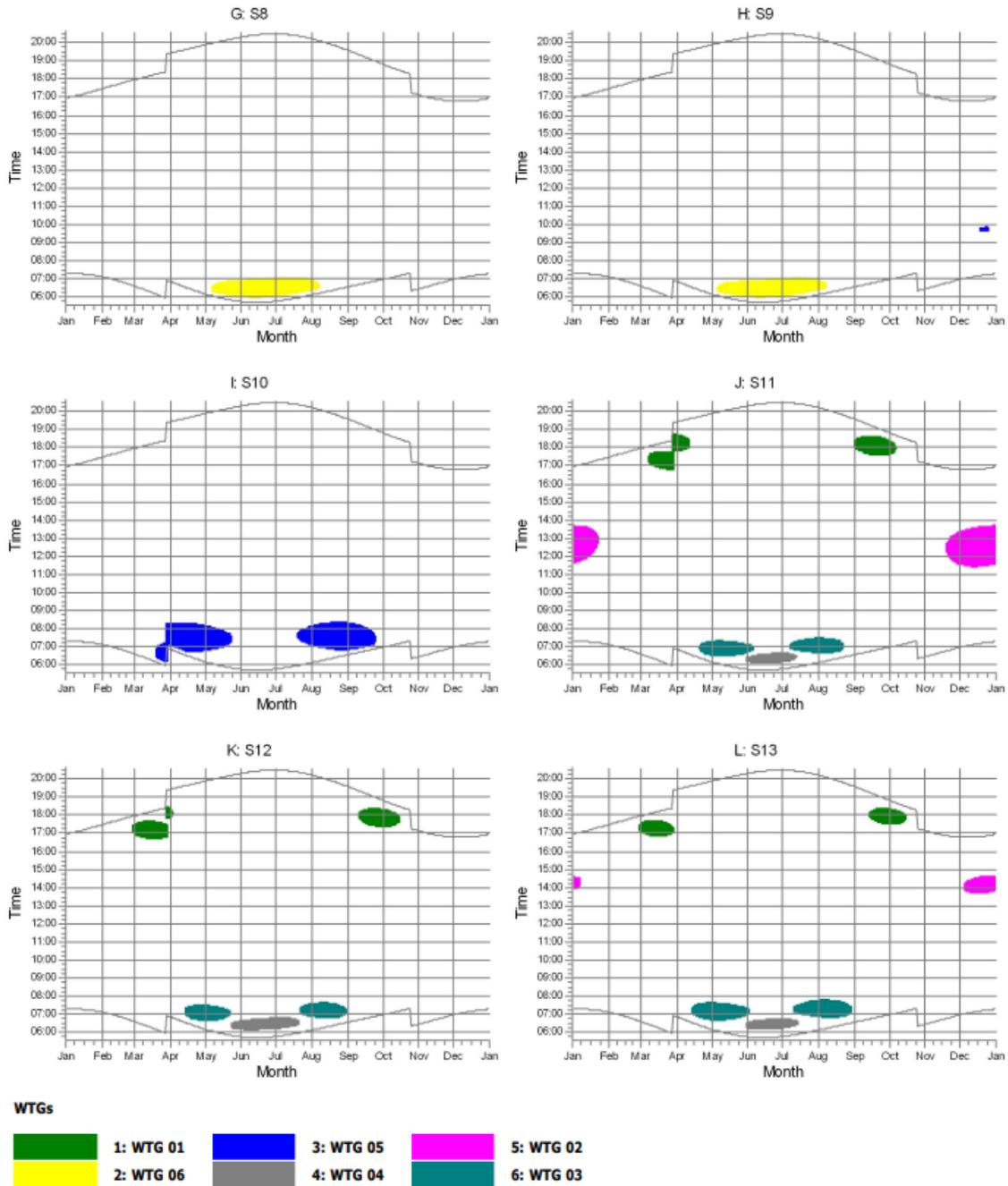


Figura 4 – Rappresentazione dei diagrammi di possibile manifestazione dello shadow-flicker ai ricettori

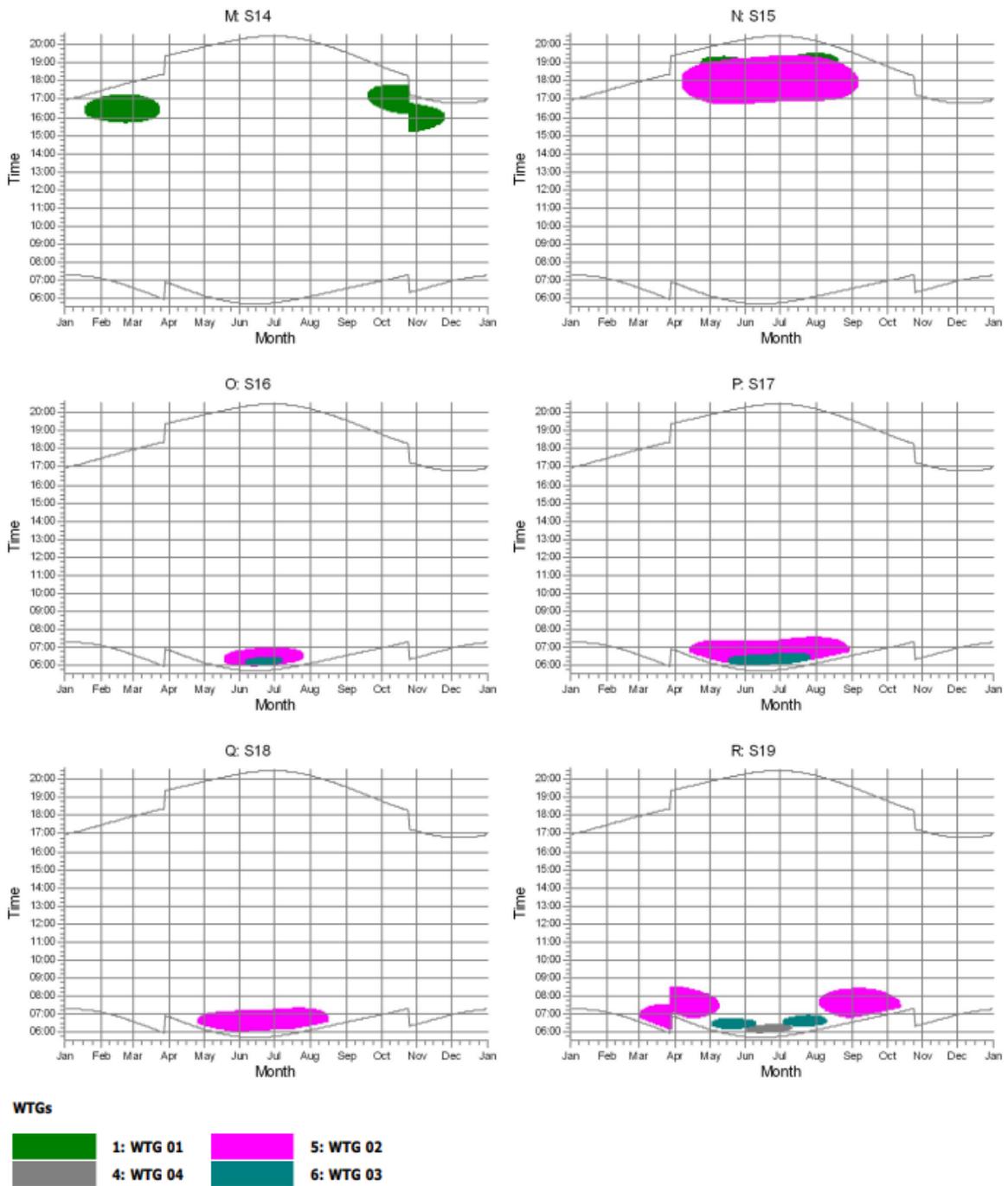


Figura 5 – Rappresentazione dei diagrammi di possibile manifestazione dello shadow-flicker ai ricettori

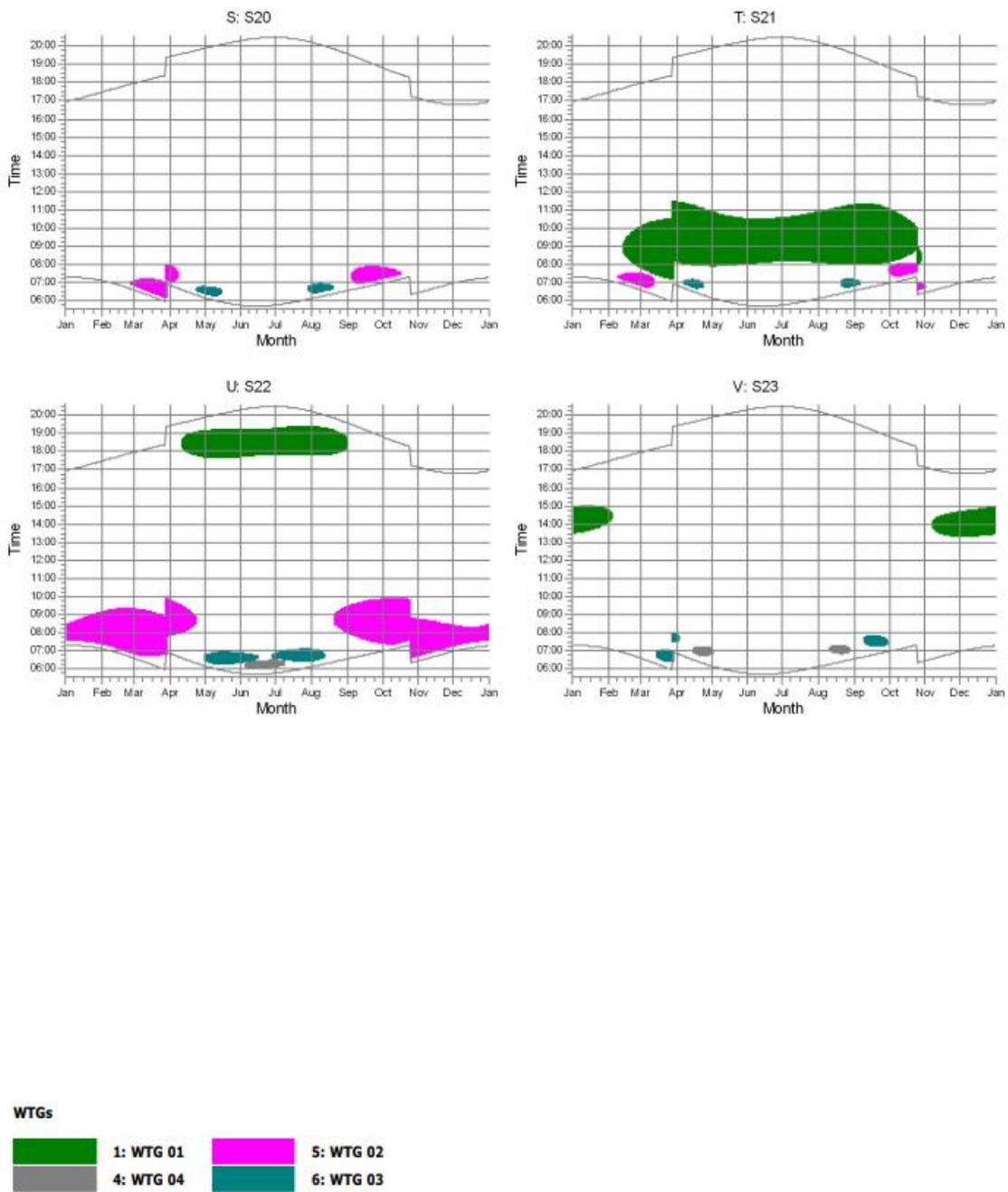


Figura 6 – Rappresentazione dei diagrammi di possibile manifestazione dello shadow-flicker ai ricettori

---

## 5. CONCLUSIONI

---

La presente relazione è stata effettuata al fine della valutazione degli effetti di shadow-flicker prodotti dalla centrale eolica da 39,6 MVA. Nella configurazione finale dell'impianto eolico è previsto che, nel territorio comunale vengano installati n°6 aerogeneratori ad asse orizzontale (WTG) della potenza elettrica nominale di 6.600 kW cadauno. La potenza elettrica installata, considerando l'impianto composto da n° 6 macchine da 6.600 kW, risulta essere pari quindi a 39,6 MW.

Le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc. e nessun ostacolo interposto tra i ricettori individuati e gli aerogeneratori previsti in progetto e condizione di funzionamento dell'aerogeneratore per il 100% del tempo annuo sempre con l'orientamento più sfavorevole alla manifestazione del fenomeno.

I risultati ottenuti riportati nel paragrafo 4 andrebbero quindi ridotti di un fattore compreso tra il 60 e l'80 per cento per tenere in conto:

1. Di ostacoli sulla congiungente ricettore - aerogeneratore: la presenza di vegetazione a medio fusto in prossimità dei ricettori sarebbe già sufficiente ad annullare il fenomeno;
2. dell'orientamento del rotore rispetto alla congiungente sole – ricettore dipende dalla direzione di provenienza del vento e solo in pochi casi si avranno le condizioni peggiori di perpendicolarità considerate nello studio (come già detto, quando il piano del rotore è parallelo alla linea sole-ricettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta molto assottigliata e di bassa intensità per cui l'effetto di shadow flickering è del tutto trascurabile);
3. che le pale del rotore siano ovviamente in rotazione, condizione che può verificarsi solo in presenza di vento (circa 300 giorni all'anno su 365) e in assenza di guasti agli aerogeneratori o alla rete;
4. effetti meteorologici (giornate nuvolose, nebbia, foschia ecc.).

Risulta inoltre evidente dai diagrammi calcolati che il fenomeno può verificarsi solo nelle prime ore del mattino e alla sera, sostanzialmente per posizioni del sole che determinano una ridotta luminosità e mai, invece, nelle ore centrali della giornata.

Tutto ciò consente di affermare che l'effetto dello shadow-flicker si può considerare trascurabile per via della scarsa durata ed intensità fenomeno che si riduce, nel caso realistico, a poche ore l'anno ed in orari (nelle prime ore del mattino e alla sera) in cui la luminosità è naturalmente meno intensa le ombre sono più tenui, se non del tutto impercettibili.

---

Alla luce dei risultati ottenuti dalla verifica, appare evidente che, il layout scelto risulta adeguato a garantire un corretto inserimento dell'impianto sul territorio, nel rispetto degli insediamenti abitativi preesistenti e della popolazione residente.