



Progetto per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da **fonte eolica**, ai sensi del Dlgs. n.387 del 2003, composto da n°10 aerogeneratori, per una potenza di 60 MW, sito nel comune di **Cellere(VT)**



REGIONE  
LAZIO

PROPONENTE



COMUNE DI  
CELLERE

**Cogein**  
energy

**Cogein Energy S.r.l.**

Via Diocleziano, 107 - 80125 Napoli

Tel. 081.19566613 - Fax. 081.7618640

www.newgreen.it

compinvestimenti@libero.it

cogeinenergy@pec.it



COMUNE DI  
PIANSANO

ELABORATO

**ELAB.4** STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING



COMUNE DI  
ARLENA DI  
CASTRO

SCALA

REVISIONE

**0**

DATA

**03/2022**

PROGETTAZIONE

**Arch. Raimondo Cascone**

REDATTO

**Dott. Rino Castaldo**  
**Ing. Federica Mallozzi**

VERIFICATO

**Ing. Federica Mallozzi**

APPROVATO

**Arch. Raimondo Cascone**



COMUNE DI  
TUSCANIA

# Shadow flickering

---

## *Indice*

1	<i>Introduzione allo shadow flickering</i> .....	2
2	<i>Principali parametri richiesti per il calcolo dello shadow flickering e software utilizzati</i> .....	4
3	<i>Aspetti normativi per il calcolo dello Shadow Flickering</i> .....	5
4	<i>Modello calcolo degli effetti di Shadow Flickering del parco eolico</i> .....	6
5	<i>Individuazione dei recettori sensibili</i> .....	8
6	<i>Risultati delle elaborazioni e conclusioni</i> .....	9

## 1 *Introduzione allo shadow flickering*

Lo shadow flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impegnata per descrivere l'effetto stroboscopico causato dal passaggio delle pale di una o più turbine eoliche attraverso i raggi del sole rispetto a recettori sensibili posti nelle loro immediate vicinanze. Il periodico cambiamento dell'intensità della luce in prossimità dei recettori sensibili deve essere calcolato in modo da determinare il potenziale periodo di ombreggiamento generato dalle turbine. Il fenomeno generato si traduce in una variazione alternativa dell'intensità luminosa, che a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni, in seguito recettori, le cui finestre risultino esposte al fenomeno.

L'effetto sugli individui è simile a quello che si sperimenterebbe in seguito alle variazioni di intensità luminosa di una lampada ad incandescenza a causa di continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica, in particolare le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5Hz ed i 20Hz (Verkuijlen and Westra, 1984). A tal proposito è utile sottolineare, che i più recenti aerogeneratori tripala operano con un velocità di rotazione inferiore ai 25giri al minuto (rpm), corrispondente ad una frequenza di passaggio di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1.7 Hz, quindi minore della frequenza critica dei 2.5Hz.

Nella fattispecie gli aerogeneratori utilizzati raggiungono una velocità di rotazione massima di 14rpm quindi ampiamente inferiore di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

La lunghezza dell'ombra, generata dal passaggio delle pale attraverso i raggi del sole, dipende non solo dall'altitudine, ma dalla posizione del sole.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno dalle abitazioni, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestre rivolte verso le ombre. L'intensità del fenomeno, è definita come la differenza di luminosità che si percepisce in presenza ed in assenza di flickering in una data posizione. In generale si può affermare che:

- Avendo le pale una forma rastremata con spessore che cresce verso il mozzo, il fenomeno risulterà tanto più intenso quanto maggiore sarà la porzione di disco solare coperta dalla pala stessa e quanto minore la distanza dal recettore.
- L'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale.
- Maggiori distanze tra generatore e ricettore determinano ombre meno nette, in tal caso l'effetto risulterà meno intenso e distinto.
- La presenza di schermature locali (come alberi interposti tra il recettore e la sorgente d'ombra) favorisce una diminuzione dell'effetto.

Il calcolo del potenziale periodo di ombreggiamento consiste nel determinare, attraverso software specifici, *le ore di intermittenza annue* cui ciascun recettore è sottoposto. Queste informazioni possono essere utilizzate per progettare e gestire la centrale eolica in modo da ridurre al minimo il disturbo causato alle persone.

Le condizioni per cui si formi l'ombra, e il recettore sia interessato da quest'ultima sono mostrate in Figura 1. Da questa figura si evince che, affinché il recettore sia interessato dall'ombra, si necessita che quest'ultimo abbia una finestra in direzione del campo eolico, il sole sia relativamente basso nel cielo e sia posizionato dietro la torre.

L'analisi dello studio dell'ombreggiamento dei parchi eolici ha lo scopo di ridurre al minimo il disturbo causato dalle turbine ai recettori sensibili e consente di fornire al controller delle turbine o allo SCADA system la data e le ore in cui lo shadow flicker si manifesta così da poter, in caso di effetti prolungati nel tempo, di fermare le turbine durante questi momenti.

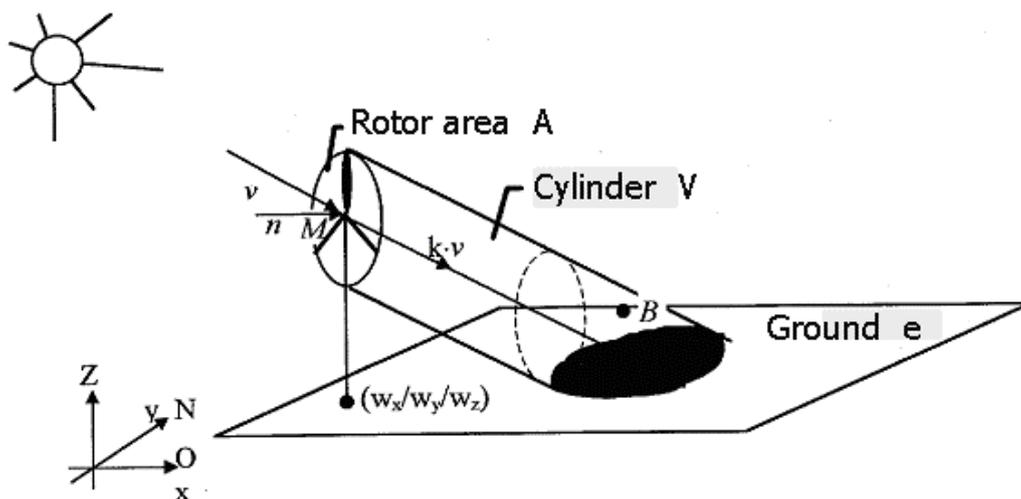
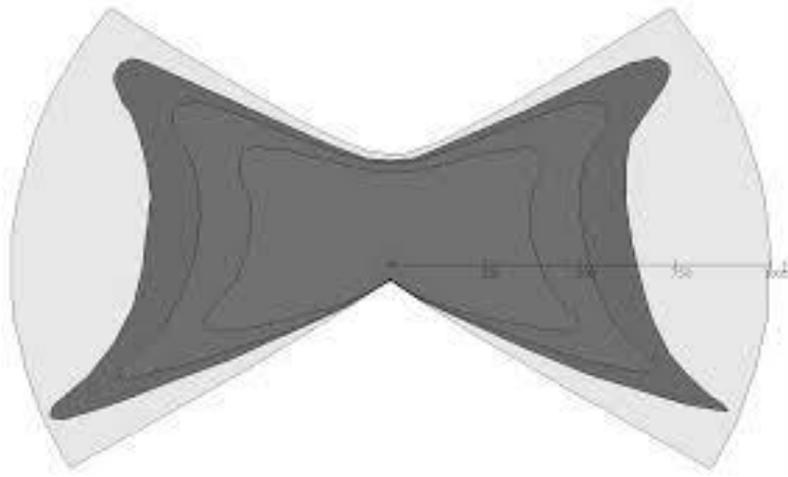


Figura 1 - Formazione dell'ombra sul terreno

La figura successiva riporta l'evoluzione annuale dell'ombra di una turbina considerando il caso peggiore di pale sempre in rotazione intorno al mozzo, e orientate sempre ortogonalmente al sole durante la sua evoluzione giornaliera. Come si può evincere dal grafico, le ore annue di ombra sono sempre minori con l'aumentare della distanza dal pilone secondo una particolare geometria dettata dalla posizione geografica; da osservare che l'ombra arriva a proiettarsi anche sino ad una distanza di 1000m, anche se solo per pochi minuti all'anno.



**Figura 2** - Evoluzione annuale tipo dell'ombra di una pala

## ***2 Principali parametri richiesti per il calcolo dello shadow flickering e software utilizzati***

I pacchetti software impegnati per la progettazione di un parco eolico contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering. I parametri principali richiesti dai modelli di calcolo per la determinazione degli effetti dovuti allo shadow flickering del parco eolico sono:

1. La posizione delle turbine (coordinate  $x, y, z$ ).
2. L'altezza al mozzo e il diametro del rotore della turbina scelta.
3. La posizione dei recettori sensibili (coordinate  $x, y, z$ ).
4. Le dimensioni delle finestre dei recettori ed il loro orientamento.
5. L'orientamento rispetto al sud e l'angolo di tilt delle finestre dei recettori.
6. La posizione geografica (latitudine e longitudine), il fuso orario e l'ora legale della zona di interesse.
7. Un modello di simulazione contenente informazioni riguardo l'orbita della terra e la rotazione rispetto al sole .
8. Statistica di probabilità mensile di presenza del sole.
9. Un modello digitale del terreno.
10. L'angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento
11. La distanza massima di estensione dell'ombra dietro la turbina
12. Percentuale di copertura del sole dalla pala
13. Intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento.
14. Scelta della rappresentazione del sole come "punto" o come "disco".

Questi parametri vengono usati per determinare l'accuratezza del calcolo e/o per specificare alcune restrizioni ai calcoli nel caso dei parametri relativi ai recettori.

I software utilizzati per il calcolo dello shadow flickering sono molteplici, sviluppati da diversi sviluppatori.

Per questo studio viene considerato il software WindFarmer di Garrad Hassan and Partners Ltd. Questo software, tramite il modulo “*intermittenza dell'ombra*”, consente di creare mappe per l'intermittenza dell'ombra e di analizzare l'intermittenza in punti specifici (recettori) attraverso la generazione di isolinee. Inoltre il software genera un *calendario* per ogni specifico recettore, il quale indica l'esatto giorno e l'ora in cui il recettore sarà interessato dall'ombreggiamento.

La procedura di calcolo dell'intermittenza dell'ombra impostata come *predefinita*, assume che il sole possa essere approssimato come un punto. E' possibile selezionare l'opzione per modellare il sole come un disco. Questo caso peggiorativo, porta ad un numero di eventi di intermittenza d'ombra più alto, specialmente in prossimità delle turbine.

Nel presente studio verrà analizzato per primo, il **worst-case** (il caso peggiore) impostando tutti i parametri del software su tale condizione. Il caso peggiore si ottiene considerando, innanzitutto, **il rotore** assimilato ad una vera e propria sfera con un off-set tra asse e rotore, **il sole** come disco e con l'asse del rotore allineato col sole e col punto recettore. Statisticamente questa potrebbe non essere la migliore rappresentazione della realtà, in quanto la distribuzione del vento, nei diversi settori della rosa dei venti, fa sì che il rotore non sia sempre orientato in corrispondenza dei recettori e soprattutto non sia sempre in movimento. Tali aspetti ci posizionano in un caso ideale di massima sicurezza ma comunque mai verificabile date le variazioni costanti della direzione del vento e le variazioni di velocità e calma della turbina nell'arco di una singola giornata ed ora.

### ***3 Aspetti normativi per il calcolo dello Shadow Flickering***

Il presente documento si riferisce al progetto di una centrale eolica nel Comune di Castelpagano nel territorio della Regione Campania, in provincia di Benevento. La normativa Regionale in materia di calcolo dell'ombreggiamento provocato da turbine eoliche risulta essere estremamente carente. Le linee guida Regionali che regolano l'inserimento degli impianti eolici nel territorio della Regione Campania richiedono di presentare come elaborato tecnico 'Effetti di Shadow Flickering' senza però precisare i parametri indispensabili per il calcolo dello stesso, né i limiti definiti come ore/anno di ombreggiamento per singolo recettore.

Se ci riferissimo all'Europa, ad oggi, solo la Germania ha emesso dettagliate linee guida contenenti limiti e condizioni per il calcolo dell'impatto derivante dallo Shadow Flickering.

Le linee guida Tedesche fissano i parametri per il calcolo dell'ombreggiamento, come di seguito riportati:

- L'angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento deve essere almeno 3°
- La percentuale di copertura del sole dalla pala deve essere almeno del 20%

Inoltre vengono definiti, anche i valori limite espressi in ore/anno di ombreggiamento presso un recettore prossimo ad una centrale eolica:

- Massimo 30 ore/annue di massima ombra astronomica (caso peggiore)
- Massimo 30 min/giorno di massima ombra astronomica (caso peggiore)
- Se è utilizzata una regolazione automatica sono previste come impatto d'ombra massimo 8 ore/annue

Pertanto, anche nel caso del calcolo in esame, affinché sia possibile effettuare uno studio dello Shadow Flickering abbastanza preciso, la normativa italiana dovrebbe fornire i seguenti parametri principali:

- L'angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento
- La distanza limite fino a cui calcolare l'ombreggiamento dalla turbina
- Percentuale di copertura del sole dalla pala
- Intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento

Sulla base di quanto descritto, si evidenzia la carenza della Normativa Italiana e, nel caso in esame, di quella Campana, per la definizione dei parametri necessari al calcolo dell'ombreggiamento.

Pertanto, per lo studio dell'effetto di ombreggiamento del parco eolico di Castelpagano, si utilizzeranno i parametri definiti dal metodo di calcolo tedesco, che oltretutto, come spiegato in dettaglio successivamente, risultano essere tra i più restrittivi che si possano considerare.

In ogni caso può considerarsi pienamente accettabile come valore limite di ore/anno di ombreggiamento, un valore massimo di **50 ore** di ombreggiamento presso un singolo ricettore, tale da non arrecare nessun disturbo.

#### ***4 Modello calcolo degli effetti di Shadow Flickering del parco eolico***

La presente relazione è stata redatta con lo scopo di analizzare l'effetto flickering indotto dagli aerogeneratori sui singoli recettori, rappresentati dai nuclei abitativi o dalle singole abitazioni.

Il calcolo degli effetti di shadow flickering per il parco eolico, è stato condotto grazie all'utilizzo del software WindFarmer di Garrad Hassan. Il modulo che ha permesso il calcolo è "Intermittenza dell'ombra".

L'analisi si basa sull'impegno di un modello digitale del terreno per la simulazione dell'orografia del suolo.

I parametri utilizzati per il calcolo e inseriti nel software sono i seguenti:

1. Angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento pari a 3°
2. Distanza limite fino a cui calcolare l'ombreggiamento dalla turbina uguale a 1000m.

3. Percentuale di copertura minima del sole dalla pala = 20%
4. Intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento = 1 minuto
5. Statistica di probabilità mensile di presenza di sole dedotta (descritta in seguito)
6. Modello DTM del terreno
7. Modello delle turbine

In relazione al punto 1 il valore di 3° è stato desunto da bibliografia e risulta anche essere il parametro di default impostato dal software, nonché il dato imposto dalla normativa Tedesca. Si usa in genere questo valore poiché per angoli inferiori la luce, dovendo attraversare uno strato di atmosfera maggiore, diventa molto diffusa e non riesce quindi a formare un'ombra. Il parametro risulta molto restrittivo ai fini del calcolo.

In relazione al punto 2 la scelta di considerare un valore di 1000m è stata fatta prendendo spunto dalle Linee guida Tedesche, che come da bibliografia, riportano che ad una distanza massima di 2 Km, in piano, gli effetti dell'ombreggiamento risultano trascurabili. Altre fonti citano che l'ombreggiamento dovrebbe diventare non percepibile a distanze prossime ai 10 rotori di diametro circa quindi 1000 metri. Questa scelta arbitraria è stata fatta sulla base del fatto che non è ancora stabilito dalla normativa qual è la distanza massima dalla turbina a cui si risente ancora dell'ombreggiamento. La scelta di considerare 1 Km in questo calcolo è stata fatta in relazione alla elevata complessità della morfologia del territorio del sito in esame e alla diversa altitudine delle turbine rispetto ai recettori sensibili. In relazione al punto 3 il valore assunto, anch'esso, è stato dedotto dalle Linee guida Tedesche e risulta anche essere il parametro di default settato dal software, e risulta essere un valore restrittivo ai fini del calcolo.

In relazione al punto 4 l'intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento risulta essere per tutte le linee guida di 1 minuto e quindi è stato assunto, anche in questo caso, come tale.

In relazione al punto 5 la statistica di probabilità mensile di presenza del sole è stata dedotta da una stazione meteorologica nei pressi del sito in cui sono state misurate le ore mensili di soleggiamento (tabella sottostante) da cui sono state dedotte le probabilità mensili di soleggiamento qui di seguito riportate:

Mesi	Valori medi mensili delle ore giornaliere di soleggiamento (ore/giorno)	ore di soleggiamento mensili	ore totali mensili	% di soleggiamento mensile
Gennaio	4,3	129	720	18%
Febbraio	5,3	159	720	22%
Marzo	6	180	720	25%
Aprile	7	210	720	29%
Maggio	8,7	261	720	36%
Giugno	10	300	720	42%
Luglio	11,1	333	720	46%

<b>Agosto</b>	10,2	306	720	43%
<b>Settembre</b>	7,9	237	720	33%
<b>Ottobre</b>	6,4	192	720	27%
<b>Novembre</b>	4,7	141	720	20%
<b>Dicembre</b>	3,9	117	720	16%

Tabella 1 - Ore di soleggiamento mensile zona di Cellere

Il calcolo dell'ombreggiamento è stato fatto utilizzando le condizioni al contorno semplificate, che comportano una situazione quanto più peggiorativa possibile rispetto al caso reale (Worst-case), in particolare:

- Il cielo è considerato sempre chiaro e limpido e quindi non si considerano nubi, nebbia o qualsiasi ostacolo;
- Le turbine sono sempre in rotazione;
- Il rotore delle turbine è sempre orientato in direzione del recettore;
- Non sono considerati eventuali ostacoli come alberi o palazzi;
- Asse del rotore allineato con il sole.

Inoltre, per la simulazione, ogni singolo recettore viene considerato in modalità "green house", cioè come se tutte le pareti esterne fossero esposte al fenomeno, senza considerare la presenza di finestre e/o porte dalle quali l'effetto arriva realmente all'interno dell'abitazione. I calcoli effettuati per l'ombreggiamento rappresentano un approccio molto conservativo e peggiorativo, denominato "**worst case**", in cui la situazione reale risulterà ben al di sotto dei risultati ottenuti.

## **5 Individuazione dei recettori sensibili**

Ai fini della previsione degli impatti indotti dell'impianto in oggetto sono stati individuati i "recettori sensibili" nelle immediate vicinanze del parco eolico che possono essere soggetti a tale fenomeno. Tali ricettori rappresentano abitazioni e fabbricati rurali definiti come tali dalle visure catastali. In particolare, sono stati considerati tutti gli edifici rientranti nella distanza di 1000 mt da ogni aerogeneratore e tutti quelli classificati alle categorie catastali da A1 a A10 e quelle classificate come B1-B2-B5-D4-D10.

Di seguito sono stati riportati i riferimenti geografici dei recettori individuati:

RICETTORE	NORD WGS84	EST WGS84
SF1	4709840	731536
SF2	4709801	731047
SF3	4710648	730607
SF4	4710379	732137
SF5	4710988	732253
SF6	4711435	732346
SF7	4711002	730326
SF8	4712290	731643
SF9	4712306	731688
SF10	4712574	730646
SF11	4712521	730242
SF12	4712121	730156
SF13	4713317	730231
SF14	4713126	729585
SF15	4713167	729466
SF16	4713558	730553
SF17	4714450	730057
SF18	4714549	729131
SF19	4713814	728807
SF20	4713154	728704
SF21	4713079	728661
SF22	4712940	728377
SF23	4712383	728002
SF24	4712773	729111
SF25	4711307	728377
SF26	4710947	728426
SF27	4710700	728312

**Tabella 2** - Tabella riepilogativa dei recettori sensibili

## **6 Risultati delle elaborazioni e conclusioni**

L'elaborazioni per il calcolo dell'ombreggiamento provocato dalle turbine del parco eolico è stato condotto considerando 84 recettori sensibili posti nell'area circostante il parco.

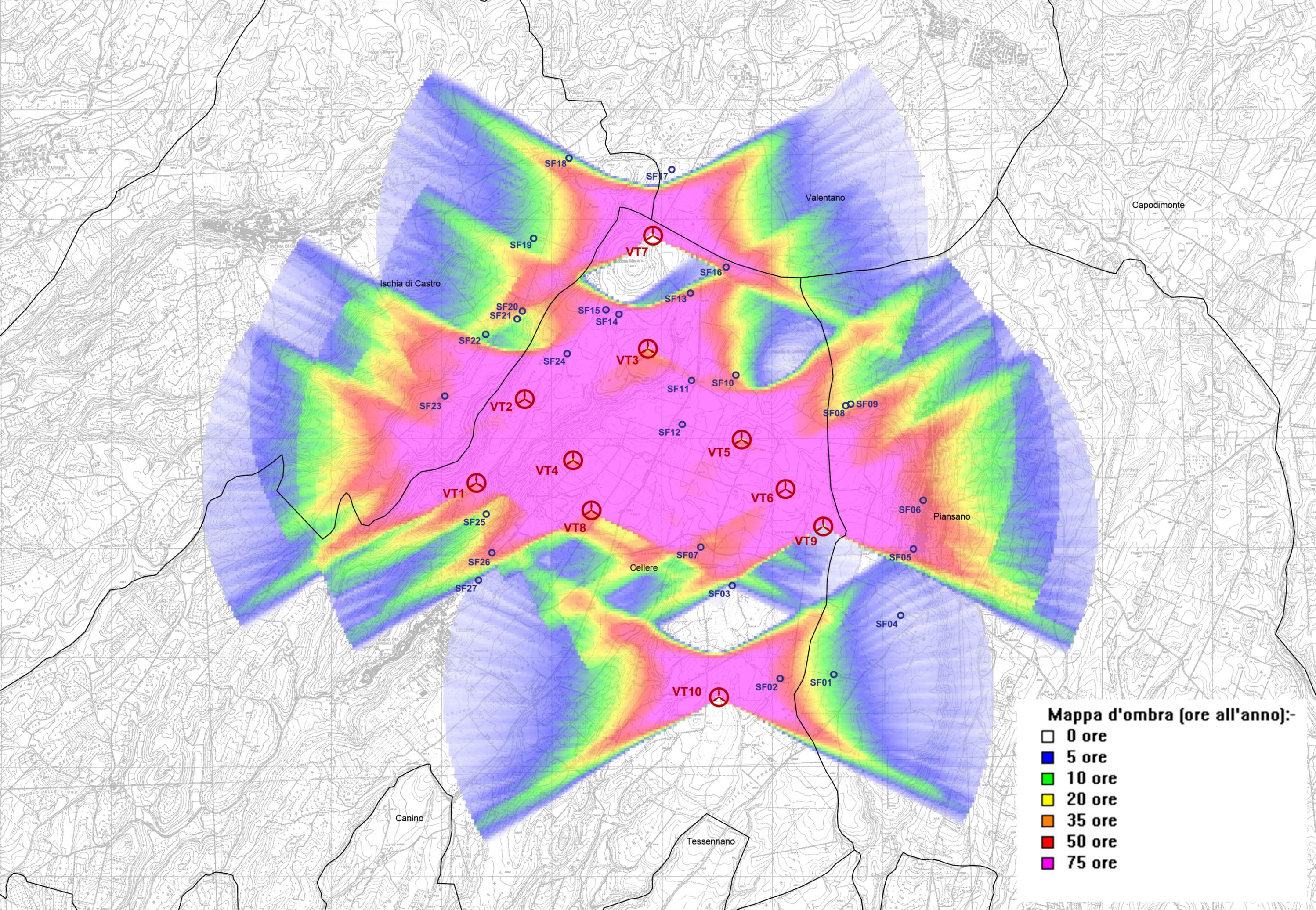
Al di là di una certa distanza, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro del sole diventa piccolo. Siccome non vi è un valore, generalmente accettato, per questa distanza massima, il modulo utilizzato permette di specificare il limite in metri o multipli del diametro della turbina.

Nel caso specifico è stata considerata una distanza dalla turbina di 1000m

Il modello numerico utilizzato, al pari di altri presenti sul mercato, produce in output una mappa dell' impatto dell'ombra sul terreno, nel caso più penalizzante denominato "worst case", corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (**circa 4380h/a di luce**), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso di shadow flickering per impossibilità che si generino le ombre, oltre agli input specificati precedentemente, che rendono il caso in oggetto nettamente peggiorativo portano ad un risultato come in tabella

<b>RICETTORE</b>	<b>Worst case</b> INTERMITTENZA OMBRE DI TUTTE LE TURBINE h/yr
SF1	17
SF2	<b>64</b>
SF3	5
SF4	4
SF5	<b>84</b>
SF6	<b>56</b>
SF7	<b>58</b>
SF8	28
SF9	28
SF10	37
SF11	<b>86</b>
SF12	<b>150</b>
SF13	<b>55</b>
SF14	<b>166</b>
SF15	<b>114</b>
SF16	<b>70</b>
SF17	no flicker
SF18	22
SF19	18
SF20	40
SF21	28
SF22	20
SF23	<b>77</b>
SF24	<b>151</b>
SF25	28
SF26	<b>61</b>
SF27	3

**Tabella 3** - Risultati di calcolo dello shadow flickering - worst case



**Mappa d'ombra (ore all'anno):-**

- 0 ore
- 5 ore
- 10 ore
- 20 ore
- 35 ore
- 50 ore
- 75 ore

I calcoli effettuati hanno determinato che 1 recettore non subisce alcun effetto di ombreggiamento, come riportato nella tabella sopra; mentre 13 recettori evidenziano un valore inferiore alle 50h/yr. I restanti 13 recettori presentano nel caso peggiorativo valori al di sopra della soglia stabilita.

Allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale denominato "**real case**", si è impiegato il valore di eliofania locale. Tale valore definisce il numero di ore di cielo libero da nubi durante la fase diurna di una giornata.

Per l'area di interesse tale valore corrisponde a circa **2565h/yr** (rispetto alle 4380h/yr considerate nel worst - case). Pertanto i risultati possono, ragionevolmente, essere abbattuti di circa il 42%, pari al complemento ad 1 del rapporto  $2565/4380=58\%$ ; in altri termini rispetto al worst - case la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce al 42% . Tale valore corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

Bisogna tenere presente che tale riduzione si è ottenuta solo ed esclusivamente considerando le condizioni meteorologiche assimilabili a quelle reali della zona in esame. In ogni caso, il calcolo nel real-case, è comunque da considerarsi molto cautelativo in quanto nel calcolo vengono comunque utilizzate le condizioni al contorno del worst - case indicate nel capitolo 4.

RICETTORE	Real case INTERMITTENZA OMBRE DI TUTTE LE TURBINE h/yr
SF1	10
SF2	37
SF3	3
SF4	2
SF5	49
SF6	32
SF7	34
SF8	16
SF9	16
SF10	21
SF11	50
SF12	<b>87</b>
SF13	32
SF14	<b>96</b>
SF15	<b>66</b>
SF16	41

SF17	no flicker
SF18	13
SF19	10
SF20	23
SF21	16
SF22	12
SF23	45
SF24	<b>88</b>
SF25	16
SF26	35
SF27	2

**Tabella 4** - Risultati di calcolo dello shadow flickering - real case

Alla luce di quanto descritto e dei calcoli effettuati, dei 13 recettori che superavano la soglia delle 50h/yr, soltanto 4 recettori subiscono un valore maggiore di ombreggiamento tale da determinare approfondimenti specifici.

Ulteriori indagini potranno essere condotte su ogni singolo ricettore al fine di verificare che non si presentino schermature naturali, quali alberi o costruzioni varie che riducono l'impatto stesso, e che la disposizione delle finestre non sia in corrispondenza del rotore della pala; in tal caso l'impatto potrebbe addirittura annullarsi rispetto all'analisi del real-case.