



REGIONE SICILIA

CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

PROGETTO:

Località Impianto
COMUNE DI PARTINICO (PA) CONTRADA BOSCO
COMUNE DI MONREALE (PA) CONTRADA CAMBUCA
Località Connessione
COMUNE DI PARTINICO (PA) CONTRADA TAMMI'

Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO

Realizzazione impianto eolico
denominato "S&P 16" di 109,4 MW

CODICE ELABORATO:

PROPONENTE	TIPOLOGIA DOCUMENTO	PROGRESSIVO	REV
SP16	REL	033	00

EPD = ELABORATO DEL PROGETTO DIGITALE; REL = RELAZIONE;
ADD = ALTRA DOCUMENTAZIONE; IST = ISTANZA

DATA:

12/04/2024

ELABORATO:

SP16REL033_00-
Relazione_shadow_flickering

TAV:

REL033

PAG:

23

Rev.	Data Rev.	Data Rev.

PROGETTISTI:

Ing. Sapienza Angelo



Ing. Rizzuto Vincenzo



SPAZIO RISERVATO PER LE APPROVAZIONI

SOCIETA':

S&P 16 S.R.L.

SICILIA E PROGRESSO
sede legale: Corso dei Mille 312, 90047 Partinico (PA)
P.iva.: 07035610828 tel.: 0915567418
email: sviluppousep16@gmail.com
pec: sviluppousep16@pec.it



INDICE

INDICE.....	2
1. PREMESSA	3
2. INTRODUZIONE ALLO SHADOW FLICKERING	8
3. ASPETTI NORMATIVI	10
4. MODELLO CALCOLO E SOFTWARE UTILIZZATO	11
5. INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI SENSIBILI	13
6. METODOLOGIE DI CALCOLO.....	18
6.1 Analisi del “Worst Case”	18
6.2 Analisi del “Real Case”	18
6.3 Risultati di calcolo	18
7. MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI DI SHADOW-FLICKERING	22
8. CONCLUSIONI	23

1. PREMESSA

S&P 16 s.r.l. è una società attiva nella produzione di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, in particolar modo dall'eolico e dal solare fotovoltaico.

L'impianto che la S&P 16 S.r.l. presenta in autorizzazione è composto da:

- N. 19 turbine eoliche, ricadenti in C. da Bosco (Partinico, PA) e in C. da Cambuca (Monreale, PA);
- Stazione Utente-Rete, ricadente in C. da Tammi (Partinico, PA), denominata "Partinico 2";
- Stazione di distribuzione, ricadente in C. da Bosco nel comune di Partinico (PA);
- Cavidotti di collegamento MT (30 kV), ricadenti nei territori dei Comuni di Partinico e Monreale (PA);
- Cavidotti di collegamento AT (220 kV), ricadenti nel Comune di Partinico (PA).
- Le coordinate geografiche delle turbine eoliche, della stazione di Utenza e della stazione di Rete sono:

Cod. Turbina	Potenza aerogeneratore	Comune	Coordinate	
			Latitudine	Longitudine
WTG-1	6.6 MW	Partinico	37°59'16.28"N	13°1'43.77"E
WTG-2	6.6 MW	Partinico	37°59'23.08"N	13°2'2.85"E
WTG-3	6.6 MW	Partinico	37°58'55.23"N	13°2'16.37"E
WTG-4	5 MW	Partinico	37°59'11.39"N	13°2'46.58"E
WTG-5	5 MW	Partinico	37°58'55.26"N	13°3'4.71"E
WTG-6	5 MW	Partinico	37°59'1.58"N	13°3'20.00"E
WTG-7	6.6 MW	Partinico	37°59'18.11"N	13°4'10.65"E
WTG-8	5 MW	Partinico	37°58'58.54"N	13°4'8.80"E
WTG-9	6.6 MW	Monreale	37°58'59.89"N	13°4'36.36"E
WTG-10	6.6 MW	Partinico	37°58'33.21"N	13°2'50.00"E
WTG-11	5 MW	Partinico	37°58'19.84"N	13°2'34.44"E
WTG-12	5 MW	Partinico	37°58'3.74"N	13°2'30.40"E
WTG-14	6.6 MW	Partinico	37°58'5.34"N	13°3'17.28"E
WTG-16	6.6 MW	Partinico	37°58'22.72"N	13°3'32.66"E
WTG-17	5 MW	Partinico	37°58'38.43"N	13°4'6.58"E
WTG-19	5 MW	Partinico	37°58'21.36"N	13°4'27.42"E

WTG-20	5 MW	Monreale	37°58'40.47"N	13°5'10.40"E
WTG-21	5 MW	Monreale	37°58'27.21"N	13°5'27.47"E
WTG-22	6.6 MW	Monreale	37°58'51.66"N	13°5'29.09"E
Stazione Utente- Rete "Partinico 2"		Partinico	38°2'9.53"N	13°4'38.95"E

I siti degli impianti sono individuati nella Tavoletta "Alcamo", Foglio N°258, Quadrante IV, Orientamento N.O., nella Tavoletta "Palermo", Foglio N° 249, Quadrante III, Orientamento S.E. e nella Tavoletta "Alcamo", Foglio N°. 258, Quadrante IV, Orientamento N.E. della Carta d'Italia scala 1: 25.000 edita dall'I.G.M., e nelle sezioni 607010 (sito Bosco, parte di impianto eolico ricadente a Partinico), 607020 (parte di impianto eolico ricadente a Monreale) e 594130 (Stazione Utente-Rete), della Carta Tecnica Regionale in scala 1: 10.000 (Figure 4-5).

La S&P 16 s.r.l. ha ottenuto dal gestore di rete Terna la soluzione tecnica minima generale (STMG) per connettere 100 MW sul territorio di Partinico in data 20/10/2021 (cod. pratica 202200048), la quale prevede che il parco fotovoltaico venga collegato alla Linea AT del distributore tramite la costruenda stazione AT da 220 kV.

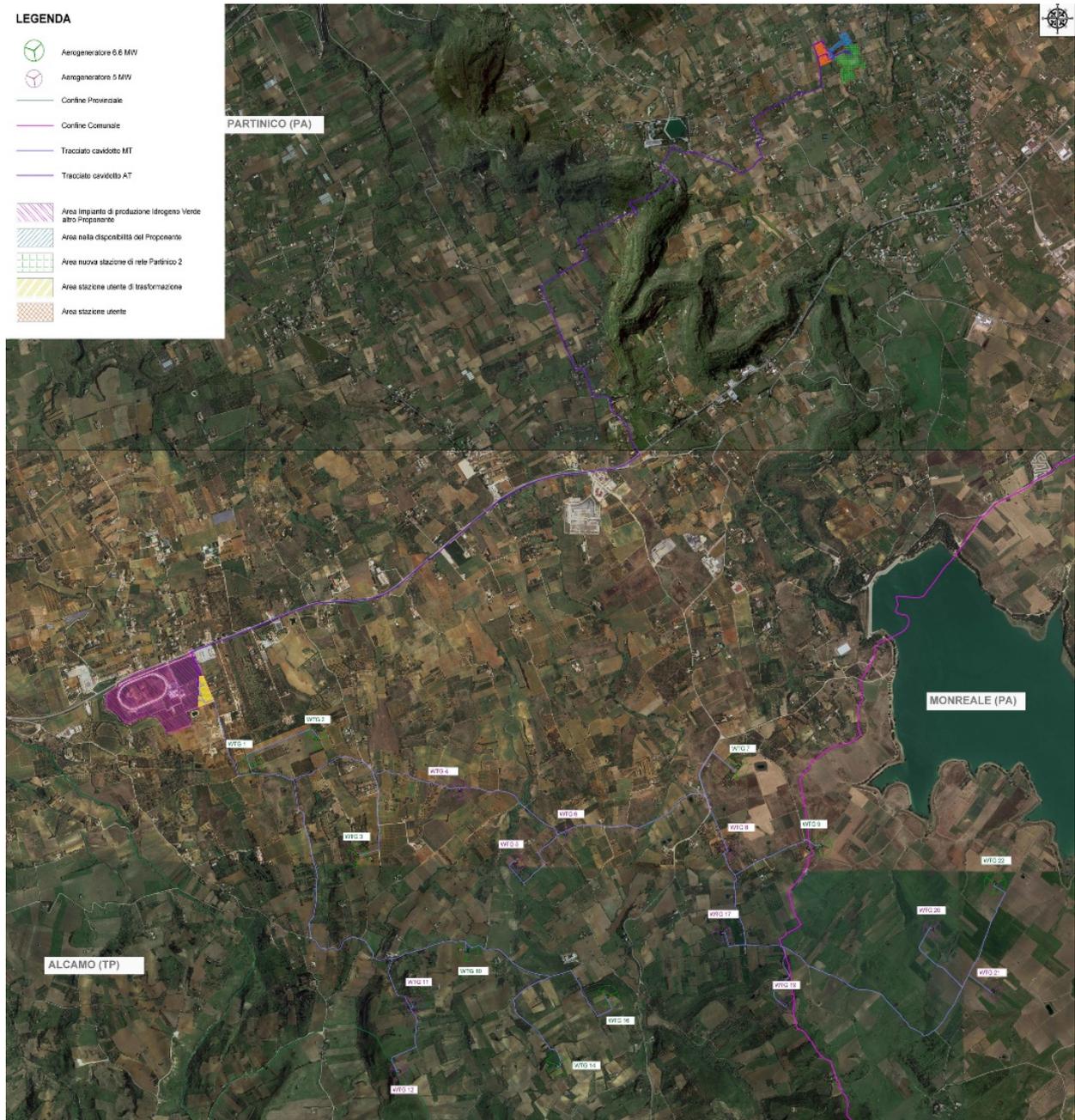


Figura 1 - Ortofoto dell'area di impianto, della stazione Utente-Rete e della stazione di trasformazione ricadenti in Contrada Bosco e Contrada Tammi (Partinico, PA) e Contrada Cambuca (Monreale, PA)

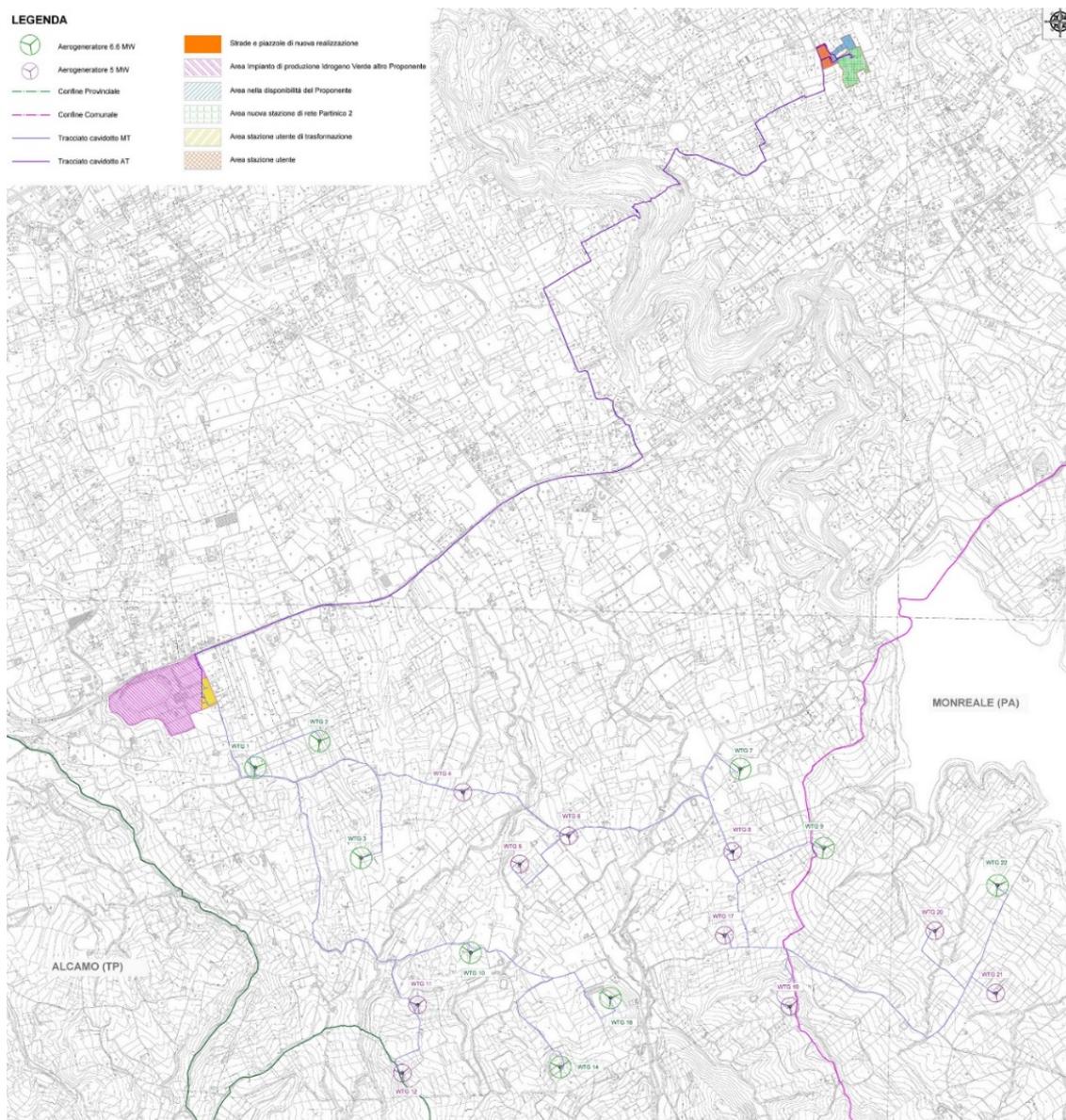


Figura 2 – Inquadramento territoriale dell'area del parco eolico e delle stazioni di trasformazione e rete-utente

L'impianto eolico convoglierà l'energia prodotta alla stazione di trasformazione che la eleverà da 30 kV a 220 kV. Tutta l'energia elettrica prodotta i verrà poi trasferita tramite cavidotti AT alla costruenda Stazione Elettrica RTN, dove verrà dunque consegnata alla rete.

Gli aerogeneratori che verranno installati nel nuovo impianto sono stati selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato.

Per il progetto in esame sono state selezionate due tipologie di aerogeneratori:

- Siemens Gamesa SG 5.0-132
- Siemens Gamesa SG 6.6-155.

Per gli aerogeneratori SG 5.0-132 si considera diametro di rotore 132 m e altezza al mozzo 84 m, mentre per gli aerogeneratori SG 6.6-155 si considera diametro di rotore 155 m e altezza al mozzo

122,5 m. Gli aerogeneratori sono connessi tra loro per mezzo del cavidotto interno in MT e le cabine interne alle torri. La presente analisi ha lo scopo di valutare in maniera tecnica l'eventuale impatto generato dall'evoluzione dell'ombra derivante dagli aerogeneratori previsti per l'installazione sull'area di progetto.

2. INTRODUZIONE ALLO SHADOW FLICKERING

Le turbine eoliche, come altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree adiacenti in presenza della luce solare diretta. Il cosiddetto fenomeno dello "shadow flickering" (letteralmente ombreggiamento intermittente), indica l'effetto di lampeggiamento che si verifica quando le pale del rotore in movimento "tagliano" la luce solare in maniera intermittente.

La figura 2 mostra le condizioni per cui si formi l'ombra e il recettore sia interessato da quest'ultima.

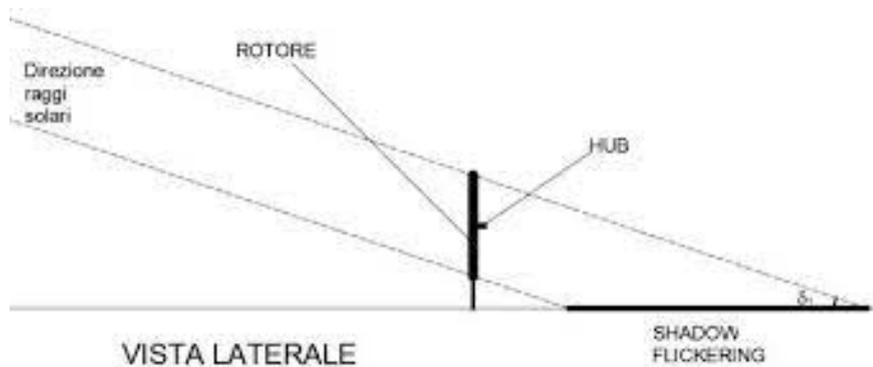


Figura 2 - Formazione dell'ombra sul terreno

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 soprattutto lo stesso si trovi posizionato a valle dell'asse sole turbina. 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.

Nel caso specifico di un impianto eolico il fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un recettore (abitazione), dell'ombra prodotta dalle pale degli aerogeneratori in rotazione allorché il sole si trova alle loro spalle. Tale variazione alternata di intensità luminosa, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Le frequenze che possono provocare un senso di fastidio, da un'attenta analisi della letteratura, sono comprese tra i 2,5 ed i 20 Hz e 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.

Studi condotti sui possibili effetti dello shadow flickering sulla salute umana raccomandano, al fine di ridurre al minimo i fastidi, una velocità di rotazione massima per gli aerogeneratori a tripla pala di 50 rpm.

I più recenti aerogeneratori tripala di grande potenza (dal MW in su) operano ad una velocità di

rotazione che raramente supera i 15 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui. Si può affermare, inoltre, 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.

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.

L'analisi dello studio dell'ombreggiamento dei parchi eolici ha lo scopo di ridurre al minimo il disturbo causato dalle turbine ai recettori sensibili.

3. ASPETTI NORMATIVI

La normativa Regionale in materia di calcolo dell'ombreggiamento provocato da turbine eoliche risulta essere estremamente carente. 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 pari a 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).

Pertanto, per lo studio dell'effetto di ombreggiamento si utilizzeranno i parametri definiti dal metodo di calcolo tedesco, che oltretutto 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 30 ore di ombreggiamento presso un singolo ricettore, tale da non arrecare alcun disturbo.

4. MODELLO CALCOLO E SOFTWARE UTILIZZATO

L'analisi dell'impatto da shadow flickering prodotto da un parco eolico è realizzata, generalmente, attraverso l'impiego di specifici applicativi che modellano il fenomeno in esame. L'analisi si basa necessariamente sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei potenziali 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 (coordinate baricentriche del dominio di calcolo).

Allo scopo di ottenere i risultati si è fatto uso di un software specifico per la progettazione eolica WindPRO che, composto da una serie di moduli, è in grado di simulare una moltitudine di aspetti legati all'operatività del parco. Il modulo che viene utilizzato per la stima del fenomeno di ombreggiamento è Shadow. Quelli che seguono sono i dati utilizzati come input, ovvero:

- Il modello DTM del terreno;
- Per gli aerogeneratori: posizione geografica; modello; caratteristiche dimensionali;
- definizione di aree sensibili o recettori con relative: posizione geografica; caratteristiche dimensionali dell'area disturbata (finestra, patio, area esterna);
- caratteristiche anemologiche dell'area (funzionali al calcolo di real case basato sulla effettiva distribuzione statistica dei dati del vento in relazione alle ore di funzionamento ed al posizionamento della navicella per la proiezione del rotore);
- definizione di dati meteorologici storici di una stazione di riferimento per il calcolo probabilistico delle ore di soleggiamento.

Per la definizione del recettore o "finestra" nel modello bisogna definirne attentamente:

- La posizione sopra il livello del suolo e la sua dimensione (altezza e larghezza);
- L'inclinazione rispetto all'orizzontale (si può scegliere tra finestra verticale, orizzontale e tetto [45°]);
- L'orientamento direzionale rispetto al sud (in gradi, positivi, a ovest).

In alternativa è possibile optare per la modalità "Green house" dando al recettore le caratteristiche di una "serra", il quale riceve ombra da qualsivoglia direzione in quanto totalmente esposto al

fenomeno dell'ombra intermittente: ciò rappresenta certamente un modo altamente cautelativo per quantificare il fenomeno dell'ombreggiamento.

In particolare, il modello numerico utilizzato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante (Worst Case), dove vengono assunte come condizioni rappresentative le seguenti:

- Aerogeneratore sempre in funzione;
- Sole splendente dall'alba al tramonto (altezza minima sull'orizzonte pari almeno a 3° affinché produca il fenomeno di ombreggiamento);
- Aerogeneratore che "insegue" il sole ossia piano di rotazione delle pale sempre perpendicolare alla direttrice sole-aerogeneratore.

Al fine di una massimizzazione del fenomeno già sovrastimato (Worst Case) si procede con:

- Ciascun recettore digitalizzato in "Green house" mode per cui nel calcolo ciascuna parete dello stesso risulterà esposto al fenomeno;
- Trascurare la presenza eventuale di ostacoli e/o alberi che intercettano le ombre diminuendo o annullando l'intensità del fenomeno.

I risultati derivanti dal Worst Case si confrontano poi con quelli del Real Case il quale permette di ricavare un numero di ore di ombreggiamento più realistico tenendo conto di:

- Reale presenza del sole;
- Ore di funzionamento della turbina nell'arco di un anno in funzione della direzione del vento che influisce sull'orientamento delle pale rispetto al sole e di conseguenza sull'ombra proiettata sui recettori.

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. In particolare, sono stati considerati tutti gli edifici presenti nella cartografia catastale, rientranti nella distanza di 1000 m da ogni aerogeneratore e 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:

Recettore	Categoria catastale	Coordinate UTM zone 33	
		Long E	Lat N
R1	A3	327451.02	4204271.40
R2	A3	327428.4	4204207.51
R3	A4	327525.03	4203751.89
R4	A4	327947.81	4203170.97
R5	A3	331152.08	4204464.78
R6	A3	331096.12	4204546.54
R7	D10	332121.54	4203727.39
R8	A7	332048.72	4203717.46
R9	D10	331998.71	4203760.33
R10	A4	331985.22	4203769.06
R11	D10	331963.68	4203787.81
R12	A7	332156.07	4204343.14
R13	A7	326244.66	4207088.96
R14	A7	326287.63	4207122.95
R15	A7	326314.59	4207127.25
R16	A7	326367.33	4207172.17
R17	A7	326406.01	4207195.61
R18	A7	326426.32	4207194.44
R19	A7	326485.31	4207226.87
R20	A4	326510.32	4207231.56
R21	A4	326526.33	4207220.03
R22	A7	326632.99	4207255.39
R23	A3	326373.29	4206830.63
R24	A3	326326.41	4206801.72
R25	A3	326276.4	4206730.61
R26	A4	325971.77	4206504.71
R27	A4	325981.25	4206505.88
R28	A4	326009.86	4206488.79
R29	A4	325985.93	4206477.56
R30	A7	326057.62	4206248.03
R31	A4	326017.38	4206307.03
R32	A4	326023.63	4206295.70
R33	A4	326013.09	4206333.20
R34	A3	326039.65	4206333.98
R35	A3	326002.54	4206438.68
R36	A7	326728.31	4207060.25
R37	A7	326625.96	4206962.58
R38	A7	326586.89	4206913.74
R39	A7	326610.33	4206915.70

R40	D10	326883.8	4207182.53
R41	D10	326895.52	4207139.55
R42	D10	326943.57	4207100.09
R43	A7	326948.65	4207078.61
R44	A4	327369.9	4207002.23
R45	A3	326989.38	4206947.73
R46	A7	326610.62	4206868.82
R47	A7	326659.46	4206840.10
R48	A7	326727.43	4206783.84
R49	B1	326653.21	4206571.71
R50	B1	326672.35	4206548.27
R51	D10	326727.82	4206653.36
R52	D10	326808.69	4206683.05
R53	D10	326824.71	4206676.80
R54	A4	326611.31	4206412.70
R55	A7	327125.04	4206634.80
R56	A7	327133.64	4206662.93
R57	A4	327152.97	4206649.45
R58	A4	327151.22	4206639.29
R59	A3	327172.8	4206622.50
R60	A3	327182.37	4206619.86
R61	A4	327192.04	4206634.90
R62	A4	327181.1	4206659.22
R63	A7	327181.49	4206671.33
R64	A4	327562.79	4206645.15
R65	A7	327613.38	4206577.18
R66	A7	327604.79	4206538.11
R67	A7	327608.31	4206489.67
R68	A4	327373.41	4207431.48
R69	A7	327403.89	4207401.79
R70	A7	327420.29	4207423.67
R71	A7	327432.01	4207455.70
R72	A2	327464.05	4207443.59
R73	A7	327472.64	4207480.32
R74	A4	327477.33	4207325.22
R75	A4	327462.1	4207316.92
R76	A7	327581.25	4207122.95
R77	A7	327633.99	4206999.89
R78	A7	327642.59	4206999.89
R79	A7	327649.23	4206999.50
R80	A7	327634.38	4206989.73
R81	A7	328039.51	4207042.86
R82	A7	328012.55	4206972.54
R83	A4	327736.06	4206523.65
R84	A4	328592.61	4207008.97
R85	A7	328617.22	4207019.13
R86	A4	328643.79	4207005.45
R87	A4	328650.82	4207012.88
R88	A4	328651.21	4206991.39
R89	A4	328653.94	4206998.42
R90	A7	330356.96	4207281.07
R91	A7	330889.44	4206774.59
R92	A4	330562.02	4206892.46

R93	A4	330575.91	4206908.74
R94	A7	326169.45	4205914.01
R95	A7	326182.74	4205897.99
R96	A7	326443.61	4206085.71
R97	A4	326362.54	4205717.60
R98	A7	326410.21	4205683.22
R99	A4	326348.48	4205645.71
R100	A4	326443.02	4205611.33
R101	A7	326457.09	4205575.39
R102	A3	326450.06	4205528.51
R103	A4	326523.5	4205457.41
R104	A3	326591.48	4205642.59
R105	A3	326585.23	4205655.87
R106	A3	326585.62	4205642.78
R107	A4	326750.68	4205646.30
R108	A4	326746.38	4205651.96
R109	A4	326677.82	4205369.12
R110	A3	326723.53	4205365.60
R111	A7	326730.95	4205391.38
R112	A7	327604.01	4206324.61
R113	A3	327613.38	4206295.70
R114	A4	327443.54	4206165.31
R115	A7	327506.83	4206065.30
R116	A7	327695.13	4206126.24
R117	A7	327758.42	4206147.34
R118	A7	327473.23	4205987.55
R119	A7	327475.96	4205980.13
R120	A7	327478.7	4205971.14
R121	A7	327628.33	4205901.60
R122	A7	327647.86	4205899.26
R123	A7	327634.97	4205889.49
R124	A7	327647.08	4205893.40
R125	A7	327649.03	4205887.54
R126	A7	327648.25	4205883.63
R127	D10	327647.47	4205830.50
R128	B5	326946.6	4205657.43
R129	B5	326964.57	4205588.67
R130	A7	327539.2	4205282.97
R131	A4	327359.3	4205185.30
R132	A7	327033.09	4205208.74
R133	A7	327060.82	4205157.18
R134	A3	328036.78	4205891.84
R135	A7	328152.27	4205705.68
R136	A4	327976.86	4205493.55
R137	A4	328249.06	4205126.90
R138	A4	328938.5	4205744.94
R139	A4	328955.69	4205731.66
R140	A4	328908.64	4205250.99
R141	A4	329158.27	4205286.71
R142	A4	328915.78	4204896.58
R143	A3	329232.89	4204868.80
R144	A7	329331.31	4205045.81
R145	A7	329355.92	4205061.68

R146	A4	329411.08	4204920.79
R147	A7	329575.69	4204784.07
R148	A7	329491.3	4205902.39
R149	A7	329996.08	4206334.06
R150	A4	329849.93	4206196.49
R151	A4	329396	4205448.63
R152	A7	329428.15	4205390.29
R153	A7	329732.26	4205744.21
R154	A7	329891.87	4206843.23
R155	A3	330073.14	4206666.93
R156	A7	330136.43	4207004.87
R157	A7	330194.25	4207102.54
R158	A4	330193.47	4207129.88
R159	A4	330190.34	4207145.51
R160	A7	330186.44	4207152.93
R161	A7	330216.32	4207111.52
R162	A7	330330.01	4207206.65
R163	A7	330337.43	4207205.87
R164	A7	330419.86	4207115.43
R165	A7	330393.75	4206659.10
R166	A7	330523.52	4206699.98
R167	A7	330030.11	4206229.04
R168	A7	330145.01	4205720.39
R169	A7	330180.72	4205724.76
R170	A7	330327.96	4205796.99
R171	A7	330875.55	4206669.42
R172	A7	331088.28	4206760.31
R173	A7	329662.31	4205017.63
R174	A4	329723.82	4205101.76
R175	A7	329727.39	4205241.86
R176	A7	329814.71	4205296.63
R177	A4	330214.76	4205428.39
R178	A7	330494.95	4205479.99
R179	A4	327067.08	4205100.53
R180	A7	327033.09	4205032.55
R181	A4	327187.6	4204847.96
R182	A4	327198.15	4204848.74
R183	A7	327194.24	4204802.25
R184	A3	327354.81	4204821.00
R185	A4	327501.7	4204840.14
R186	A7	327352.85	4204703.80
R187	A7	327234.09	4204678.80
R188	A7	327564.21	4204689.73
R189	A7	327636.87	4204938.20
R190	A7	327094.43	4204213.31
R191	A3	327462.92	4204526.25
R192	A4	327866.35	4204678.05
R193	A3	328055.95	4204761.44
R194	A7	328062.3	4204697.55
R195	A4	328082.94	4204701.91
R196	A4	328094.85	4204636.03
R197	D10	328350.04	4204846.77
R198	D10	328433.58	4204938.25

R199	A4	328724.09	4204869.59
R200	A7	328127.99	4204433.43
R201	D10	328723.7	4204759.26
R202	A7	328709.41	4204345.72
R203	A4	329311.87	4204719.18
R204	A7	329484.01	4204820.58
R205	A4	329748.13	4204374.29
R206	A3	328762.74	4204068.75
R207	A7	330538.51	4204932.89
R208	A7	330720.28	4204645.36
R209	A7	330223.98	4204308.41
R210	A7	329828.79	4203902.51
R211	A7	329618.85	4203777.10
R212	A4	329650.6	4203303.62
R213	A7	329210.81	4203871.45
R214	A7	329312.81	4203719.05
R215	A7	329866.2	4204261.38
R216	A7	331160.81	4204015.02

Tabella 1 - Tabella riepilogativa recettori sensibili

6. METODOLOGIE DI CALCOLO

Le elaborazioni per il calcolo dell'ombreggiamento provocato dalle turbine eoliche sono state condotte considerando un totale di 216 recettori sensibili posti nell'area ricadente 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 infinitesimamente piccolo, da poter essere trascurato. Siccome non vi è un valore, generalmente accettato, per questa distanza massima, nel caso specifico è stata considerata un'area buffer intorno alla turbina di 1000 m.

6.1 Analisi del "Worst Case"

Il modello numerico utilizzato produce in output una mappa dell'impatto dell'ombra sul terreno, nel caso più penalizzante denominato "Worst Case":

- ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (circa 4380 h/a di luce), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso di shadow flickering per impossibilità che si generi il fenomeno di flickering;
- turbine sempre in movimento ed alla massima rotazione del rotore.

6.2 Analisi del "Real Case"

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. I dati ricavati dal programma sono stati analizzati e tarati tenendo conto dei valori di soleggiamento reale e delle ore di funzionamento dell'impianto.

Per l'area in esame tale valore di soleggiamento corrisponde a circa 2600 h/a (rispetto alle 4380 h/a considerate nel Worst Case). I risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere presi in considerazione nella misura del 59,36% ($2600/4380 = 59,36\%$). In altri termini, rispetto al Worst Case, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce, per l'area in esame, al 59,36% che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

Per quanto riguarda le ore annue di funzionamento delle WTG rispetto al totale delle ore in un anno (8760 h) queste risultano pari a 7103. Quindi la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è dell'ordine del 81,08 % (pari al rapporto $7103/8760$). 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 48,13% ($59,36\% \times 81,08 = 48,13\%$) essendo i due fenomeni stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità.

6.3 Risultati di calcolo

Nel Worst Case per 145 recettori non risulta soddisfatto il valore limite di riferimento di 30 ore/anno; nel Real Case invece il valore scende a 106 recettori, come riportato nella tabella seguente.

Recettore	Worst Case (h/a)	Real Case (h/a)	Recettore	Worst Case (h/a)	Real Case (h/a)	Recettore	Worst Case (h/a)	Real Case (h/a)
R1	101:56	61:46	R73	0:00	0:00	R145	130:48	66:06
R2	72:18	42:35	R74	0:00	0:00	R146	254:17	126:59
R3	09:03	5:53	R75	0:00	0:00	R147	287:05	161:38
R4	0:00	0:00	R76	0:00	0:00	R148	256:51	143:34
R5	193:41	132:27	R77	0:39	0:15	R149	146:56	80:13
R6	269:46	176:46	R78	0:00	0:00	R150	168:12	89:54
R7	0:00	0:00	R79	0:00	0:00	R151	144:48	82:24
R8	0:00	0:00	R80	1:46	0:43	R152	160:20	95:01
R9	0:00	0:00	R81	66:05	28:32	R153	140:57	80:55
R10	0:00	0:00	R82	82:27	36:26	R154	47:46	20:39
R11	0:00	0:00	R83	220:04	128:33	R155	107:35	48:18
R12	10:00	6:27	R84	20:15	9:37	R156	3:40	1:43
R13	19:58	9:46	R85	22:26	10:59	R157	3:50	1:45
R14	23:01	11:01	R86	21:45	10:44	R158	4:14	1:54
R15	24:51	11:50	R87	21:00	10:25	R159	4:53	2:09
R16	37:31	16:50	R88	22:27	11:02	R160	5:20	2:19
R17	39:44	17:29	R89	21:52	10:48	R161	3:40	1:41
R18	40:11	17:38	R90	3:46	1:34	R162	2:59	1:20
R19	34:05	14:41	R91	36:15	15:14	R163	2:50	1:16
R20	31:32	13:30	R92	0:57	0:29	R164	1:43	0:48
R21	32:29	13:55	R93	0:59	0:29	R165	40:53	16:59
R22	11:08	4:49	R94	32:41	18:52	R166	10:07	4:17
R23	67:04	30:45	R95	28:26	15:48	R167	209:30	131:47
R24	82:11	37:44	R96	68:17	44:55	R168	235:02	141:28
R25	88:34	42:27	R97	24:06	12:12	R169	285:36	172:24
R26	42:40	23:23	R98	25:47	13:10	R170	610:50	307:55
R27	43:27	23:47	R99	19:59	10:45	R171	98:12	43:24
R28	45:50	25:14	R100	24:30	13:14	R172	62:00	27:05
R29	43:27	24:04	R101	23:55	13:19	R173	153:31	79:15
R30	54:58	34:08	R102	22:02	12:36	R174	124:54	70:23
R31	49:41	29:58	R103	8:01	3:45	R175	105:30	59:38
R32	50:54	30:54	R104	31:11	16:26	R176	112:58	61:37
R33	48:29	28:49	R105	30:30	16:04	R177	124:06	72:07
R34	51:19	30:33	R106	31:28	16:33	R178	91:17	61:49
R35	45:06	25:27	R107	35:10	20:19	R179	23:24	11:52
R36	56:18	24:38	R108	34:15	19:47	R180	21:07	11:10
R37	45:26	21:54	R109	40:23	24:46	R181	25:54	14:18
R38	37:25	18:43	R110	46:55	28:58	R182	26:13	14:28
R39	40:08	19:57	R111	47:41	29:00	R183	28:44	15:34
R40	12:22	5:14	R112	73:34	40:56	R184	38:54	21:39
R41	12:09	5:16	R113	74:18	42:02	R185	61:34	33:41

R42	12:35	5:30	R114	140:16	92:53	R186	41:09	23:29
R43	15:49	6:52	R115	130:21	81:57	R187	48:16	24:14
R44	10:18	4:20	R116	78:08	47:58	R188	87:14	51:21
R45	82:19	35:54	R117	73:15	43:24	R189	113:14	55:01
R46	37:54	19:20	R118	161:29	82:30	R190	25:06	14:53
R47	42:21	21:43	R119	164:40	83:04	R191	112:48	62:32
R48	51:39	26:46	R120	168:57	83:58	R192	285:59	161:47
R49	246:19	119:01	R121	261:25	129:37	R193	366:53	194:19
R50	282:03	137:32	R122	272:16	135:51	R194	494:43	245:11
R51	149:28	71:02	R123	285:18	140:49	R195	475:41	234:28
R52	103:43	51:10	R124	282:49	140:36	R196	841:07	441:12
R53	111:27	54:59	R125	295:15	146:30	R197	228:57	120:57
R54	270:36	153:20	R126	303:00	150:05	R198	575:19	373:09
R55	356:09	182:10	R127	441:39	219:45	R199	308:00	200:23
R56	333:17	166:52	R128	51:50	30:35	R200	35:16	19:27
R57	375:32	190:06	R129	53:46	33:02	R201	105:56	54:32
R58	385:31	197:04	R130	27:04	14:51	R202	247:56	154:18
R59	442:42	231:28	R131	45:19	21:53	R203	297:34	175:36
R60	462:15	243:04	R132	26:12	12:33	R204	360:25	185:32
R61	455:27	234:59	R133	24:46	12:14	R205	61:49	34:32
R62	414:35	207:18	R134	217:24	110:45	R206	212:53	139:58
R63	419:57	205:37	R135	159:43	92:15	R207	163:55	90:25
R64	448:41	222:40	R136	152:48	96:04	R208	483:48	244:56
R65	329:31	186:55	R137	269:24	132:18	R209	129:07	86:43
R66	440:10	269:33	R138	669:07	370:16	R210	80:28	55:36
R67	448:49	285:48	R139	698:00	385:03	R211	0:00	0:00
R68	0:00	0:00	R140	190:24	90:57	R212	0:00	0:00
R69	0:00	0:00	R141	107:09	55:07	R213	13:34	8:58
R70	0:00	0:00	R142	224:47	138:21	R214	0:00	0:00
R71	0:00	0:00	R143	239:51	127:24	R215	76:06	46:58
R72	0:00	0:00	R144	141:04	70:42	R216	0:01	0:00

Tabella 2 – Risultati ottenuti

Bisogna tenere presente che tale riduzione ottenuta 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.

Ad ulteriore approfondimento dello studio in esame, sono stati effettuati dei sopralluoghi al fine di verificare se i recettori sensibili che subiscono più di 30 ore/anno di ombreggiamento nel "Real case" abbiano schermature mitiganti quali alberi o costruzioni varie che ne riducano l'impatto stesso, verificando inoltre le condizioni dei singoli recettori (destinazione d'uso, utilizzo a scopo abitativo o

meno) ed il posizionamento degli infissi che, qualora non fossero rivolti verso le turbine, porterebbero l'impatto ad annullarsi. Per ulteriori i dettagli si rimanda all'elaborato SP16REL033_00- Allegato1.

7. MITIGAZIONE DEGLI EFFETTI DI SHADOW-FLICKERING

In ragione delle simulazioni proposte possiamo affermare che il fenomeno di ombreggiamento, in considerazione dell'ottica altamente cautelativa con la quale si è giunti ai risultati delle analisi, si manifesta in modo tutto sommato poco marcato e sostanzialmente privo di componenti di criticità. Laddove dovessero sussistere delle motivate esigenze o reiterate problematiche di fastidio, saranno adottare alcune semplici quanto poco onerose misure di mitigazione consistenti in applicazioni (temporanee o permanenti) di apparati schermanti di tipo artificiale (pannelli, pensiline ecc.) o naturali (piantumazione di siepi, alberature, ecc.). In casi estremi ed in relazione alla reale operatività degli impianti, laddove dovessero effettivamente manifestarsi reali condizioni di disagio, sarebbe possibile operare delle preimpostate modifiche operative alle turbine imputate della generazione del fenomeno o del fastidio, limitandone l'operatività esclusivamente per quei periodi in cui il fenomeno può effettivamente verificarsi. Tale eventualità è oggi resa possibile grazie all'utilizzo di sensori che rilevano le effettive condizioni ambientali (velocità del vento e percentuale di copertura nuvolosa) che regolano la pre-programmazione firmware esclusivamente ai casi in cui il fenomeno potrebbe effettivamente verificarsi, riducendo quindi al contempo eventuali inutili limitazioni di produzione energetica quando le condizioni al contorno risultano non incidenti per la produzione del fenomeno dello shadow-flickering.

8. CONCLUSIONI

Attestate le particolari condizioni cautelative di calcolo del fenomeno, il cui valore elaborato è frutto di un calcolo effettuato considerando l'intero corpo della struttura al pari di una calotta totalmente trasparente, ed inoltre considerando che il modello di simulazione non tiene conto delle possibili attenuazioni legate alla presenza di alberi, ostacoli, siepi e quant'altro possa mitigare il fenomeno dell'evoluzione dell'ombra, i risultati della simulazione portano a concludere che il limite di 30 ore/anno imposto dalla normativa estera nei confronti dei ricettori analizzati presso i quali si genera il fenomeno di shadow-flickering viene superato per circa 100 ricettori su 216.

Va sottolineato comunque che:

- la velocità di rotazione delle turbine che verranno montate è 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.

A completamento dello studio effettuato, si allega report fotografico di tutti e 216 i ricettori considerati dal quale si evince che tutti i ricettori sono comunque protetti e/o schermati dalla presenza di alberi, ostacoli e siepi, oppure non sono in realtà abitati, compresi quelli per i quali sono superate le 30 ore/anno. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato SP16REL033_00-Allegato1.

Per tali motivi si ritiene il fenomeno di shadow flickering misurato di entità trascurabile.