



REGIONE
LAZIO



COMUNE DI
CELLENO



COMUNE DI
MONTEFIASCONE



COMUNE DI
VITERBO



PROVINCIA DI
VITERBO

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Titolo elaborato

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Codice elaborato

F0532BR05A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)



Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Mariagrazia LOVALLO
Ing. Gerardo SCAVONE
Ing. jr- Flavio TRIANI
Arch. Gaia TELESCA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

Committente

APOLLO Wind srl

Via della Stazione 7 39100
Bolzano (Bz)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Maggio 2023	Prima emissione	DGE	GMA	GZU

Sommario

1	Informazioni essenziali	3
2	Premessa	4
3	Il fenomeno dello shadow flickering	5
4	Individuazione dei ricettori	8
5	Modello di calcolo	17
6	Risultati	19

1 Informazioni essenziali

Potenza nominale aerogeneratore	6.x MW
Altezza hub	115 m
Diametro rotore	170 m
Altezza totale	200 m
Area spazzata	22698 m ²
Direzione rotazione	Senso orario
Numero di pale	3

2 Premessa

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il fenomeno dello 'shadow flickering' e di valutare il suo effetto nell'area circostante determinato dalla realizzazione del parco eolico "Acquaforte". Il progetto prevede l'installazione di 7 aerogeneratori di potenza pari a 6.x MW per un totale di 47.6 MW.

La società proponente "Apollo Wind s.r.l." è una holding di partecipazioni presente da anni nel mercato dell'energia; in particolare impegnata nello sviluppo, la realizzazione e la gestione di impianti eolici, fotovoltaici, a biomasse nonché nella vendita di energia elettrica e gas. Possiede come missione quella di crescere in armonia con l'ambiente, produrre e vendere energia elettrica ai clienti finali, grazie alla progettazione, costruzione e gestione di impianti alimentati da fonti rinnovabili.

L'intervento proposto consiste nella realizzazione di un nuovo parco eolico, denominato "Acquaforte", localizzato nei territori comunali di Celleno, Montefiascone e Viterbo in provincia di Viterbo. L'impianto sarà composto da n. 7 aerogeneratori della potenza nominale di 6.x MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 47.6 MW, in accordo con quanto previsto nella STMG Terna ID 202202454. Le relative opere di connessione saranno ubicate nel Comune di Viterbo (Vt).

L'aerogeneratore preso come riferimento per la presente verifica e previsto in progetto è del tipo **SG 170 Hhub 115 – 6.X o similare**, caratterizzati, rispettivamente, da un diametro massimo del rotore pari a 170 m e da un'altezza della torre al mozzo di 115 m, quindi si tratterà di macchine di grande taglia.

3 Il fenomeno dello shadow flickering

Gli aerogeneratori, al pari di tutte le altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un'ombra sulle aree circostanti in presenza di irraggiamento solare diretto.

Lo shadow flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) 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 è generato dalla proiezione, al suolo o su un ricettore (abitazione), dell'ombra prodotta dalle pale degli aerogeneratori in rotazione allorché il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

Il fenomeno, dal punto di vista di un potenziale ricettore, si traduce in una variazione alternata e ciclica di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. 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.

In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2,5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra, 1984), 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.

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.

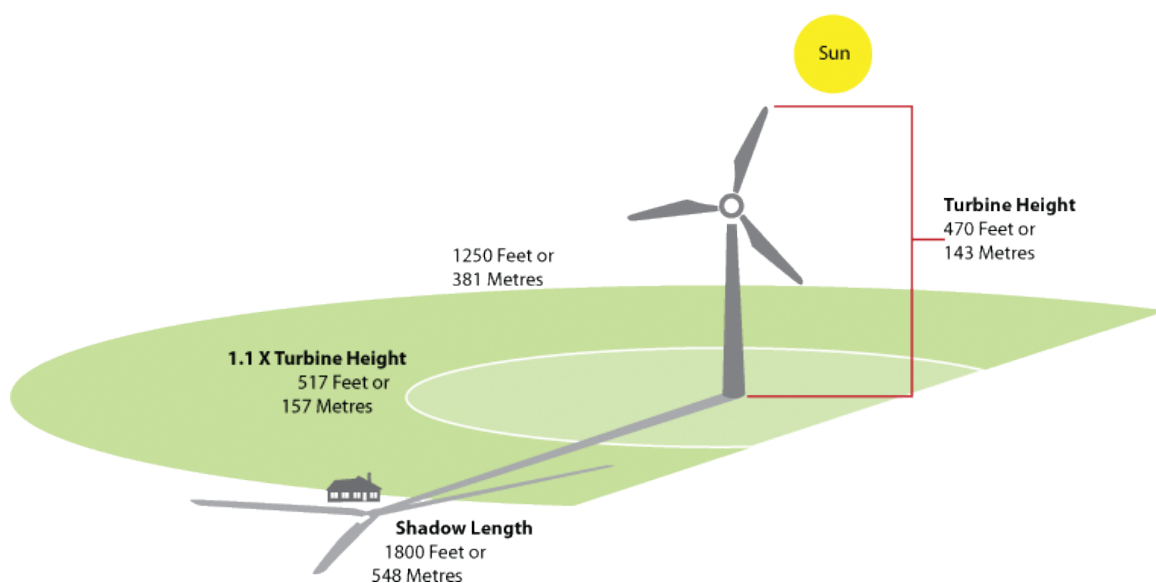


Figura 1: Rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flickering

Tale fenomeno, se sperimentato da un ricettore per periodi di tempo prolungati, può generare un disturbo, nelle seguenti condizioni:

- presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ovvero in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- assenza di ostacoli sulla congiungente ricevitore - aerogeneratore: la presenza di vegetazione e/o edifici interposti all'ombra generata da questi ultimi annullerebbe il fenomeno. Quindi, condizione favorevole affinché il fenomeno in esame si verifichi, è quella rappresentata dall'orientamento perpendicolare delle finestre di un'abitazione rispetto alla linea congiungente il ricevitore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc...);
- orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - ricevitore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricevitore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "disco" che induce un effetto non trascurabile di shadow flickering; viceversa, nel caso in cui il piano del rotore risulti essere in linea con il sole, l'ombra proiettata risulterebbe molto assottigliata e di bassa intensità per cui l'effetto di shadow flickering sarebbe del tutto trascurabile.

Inoltre, affinché lo shadow flickering, abbia un'intensità non trascurabile è necessario che:

- le pale del rotore siano ovviamente in rotazione;
- l'aerogeneratore ed il potenziale ricevitore 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 ricevitore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricevitore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricevitore, 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.

Alla luce di quanto sopra esposto, le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricevitore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker. Per distanze dell'ordine dei 400-500 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe e la radiazione diretta è di minore intensità per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro apparente del sole diventa molto piccolo. Quindi, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulti ortogonale alla congiungente ricevitore – sole; infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari a quello del rotore del generatore eolico.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate rivolte verso le ombre. In generale, l'area soggetta a shadow flicker non si estende oltre i 500÷1000 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 500 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 200 ore all'anno; il flickering, se presente, non supera in genere i 30/40 minuti di durata potenziale nell'arco di una giornata.

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 definitiva, si può affermare che:

- avendo le pale una forma rastremata con lo 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 ricevitore;
- l'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;

- maggiori distanze tra generatore e ricevitore determinano ombre meno nette; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

La presente relazione ha lo scopo di stimare le aree potenzialmente interessate dal fenomeno in relazione agli aerogeneratori che costituiscono il parco eolico in oggetto.

Nello specifico, quando si valuta l'impatto da shadow flickering, lo stesso può essere realizzato attraverso l'analisi di due casi specifici:

- il **worst case**, in cui viene valutata 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 ricevitore;
- il **real case**, in cui viene valutata la durata realistica del fenomeno, tenendo conto del soleggiamento effettivo dell'area e delle specifiche condizioni anemologiche che determinano la reale operabilità degli aerogeneratori.

In Italia, dove questo fenomeno è meno importante rispetto alle latitudini più settentrionali (come ad esempio Danimarca, Germania, Olanda e Svezia), non esiste alcuna normativa regolamentare che regoli questo aspetto a livello nazionale.

La maggior parte dei paesi che hanno adottato specifiche linee guida o regolamenti in materia si sono basati sulle norme di riferimento tedesche e sui limiti di accettabilità da esse introdotti. In assenza di una specifica normativa o linea guida, nazioni quali Austria, Brasile, Canada, India, Giappone e Polonia, impiegano, come buona pratica, le indicazioni contenute nelle linee guida tedesche.

Nello specifico, tali linee guida sono state introdotte nel 2002 dal comitato statale per il controllo dell'inquinamento e, da allora, sono state adottate dalla maggior parte dei Länder e sono comunemente considerate buone pratiche nella valutazione dell'impatto prodotto da un parco eolico. In particolare, tali linee guida, stabiliscono che lo shadow flickering deve essere valutato:

- fino ad una distanza tale che il rotore copra il 20% del disco solare; a distanze superiori il fenomeno è considerato troppo diffuso da poter produrre fastidio;
- per angoli del sole sull'orizzonte superiori a 3 gradi; per angoli inferiori il fenomeno si ritiene schermato dalla presenza di edifici e/o vegetazione;
- ad un'altezza di 2 metri dal suolo;

I valori limite di accettabilità stabiliti dalle suddette linee guida sono un massimo di:

- 30 minuti al giorno;
- 30 ore all'anno.

4 Individuazione dei ricettori

Allo scopo di valutare l'impatto indotto sugli edifici da parte dell'impianto eolico in progetto, sono stati individuati i ricettori potenzialmente sensibili presenti in un'areale corrispondente all'involuppo delle aree buffer circolari di raggio pari a 10 volte il diametro del rotore (nel caso in esame 1700 m) del modello di aerogeneratore previsto in progetto, con centro coincidente con le postazioni delle WTG in oggetto; ciò in accordo con quanto stabilito dalla "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)" (UK, 2011) (PPS22 per l'Inghilterra, TAN8 per il Galles), secondo la quale è improbabile che si verifichi un impatto significativo da shadow flickering a distanze superiori a dieci volte il diametro del rotore. Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno degli edifici, esso risulta evidente e potenzialmente fastidioso in quegli ambienti con finestrate localizzate lungo la direttrice sole-aerogeneratore e, per tale ragione, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza pari a 1,5 metri e larghezza pari ad 1 metro, posizionate ad una quota dal suolo di 2,0 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici considerati, in direzione dei quattro punti cardinali (N-E-S-W).

Di seguito sono riportati i riferimenti geografici dei potenziali ricettori individuati.

Tabella 1: Riepilogo dei ricettori in esame

Nome	Coordinate UTM-WGS 84 fuso33		Categoria	Comune	Foglio	P.IIa
	X	Y				
R001	261991	4713439	A03	Celleno	12	59
R002	262210	4713728	A04	Celleno	12	252
R003	262200	4713669	A03	Celleno	12	209
R004	262019	4713606	A02	Celleno	12	216
R005	261959	4713600	A02	Celleno	12	39
R006	262480	4714028	A02	Celleno	20	127
R007	262984	4713507	A02	Celleno	20	78
R008	263150	4713480	D10	Celleno	20	118
R009	263381	4713626	A07	Celleno	20	74
R010	263452	4713650	A03	Celleno	21	53
R011	263499	4713453	D10	Celleno	21	112
R012	263541	4713344	A07	Celleno	21	72
R013	263745	4713196	A03	Celleno	21	90
R014	263304	4713251	A02	Celleno	13	164
R015	263604	4714370	A07/C06	Celleno	21	122
R016	263528	4714640	A02/C06	Celleno	14	207
R017	263646	4714695	A02/C03	Celleno	14	280
R018	263718	4714687	A07	Celleno	14	282
R019	263511	4714814	A03	Celleno	14	452
R020	263539	4714889	A03/A04	Celleno	14	434
R021	263708	4714967	A07	Celleno	14	212
R022	263719	4714989	A07	Celleno	14	212
R023	263993	4715016	D10	Celleno	14	411
R024	263758	4715230	A02	Celleno	14	59
R025	263230	4715405	A07/F03	Celleno	13	222
R026	263225	4715462	A04	Celleno	13	88

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Nome	Coordinate UTM-WGS 84 fuso33		Categoria	Comune	Foglio	P.IIa
	X	Y				
R027	263208	4715461	A03	Celleno	13	193
R028	263114	4715378	A03	Celleno	13	216
R029	263118	4715426	A02	Celleno	13	247
R030	263037	4715529	A03/C02	Celleno	13	202
R031	262991	4715481	A07/C02	Celleno	13	81
R032	262969	4715437	A02	Celleno	13	199
R033	263009	4715328	A02	Celleno	13	207
R034	263013	4715278	A07	Celleno	13	243
R035	263120	4715174	A02	Celleno	20	145
R036	263136	4715132	D10	Celleno	20	149
R037	263153	4715129	D10	Celleno	20	148
R038	263101	4715235	A07	Celleno	13	245
R039	263015	4715588	A07	Celleno	13	241
R040	263059	4715822	A07	Celleno	13	213
R041	262836	4715796	A03	Celleno	13	246
R042	262843	4715810	A03	Celleno	13	246
R043	262662	4715766	A02	Celleno	13	244
R044	262620	4716134	D10	Celleno	12	112
R045	261804	4715697	A04/C02	Celleno	18	215
R046	261690	4715609	D10	Celleno	18	205
R047	260887	4714571	A02	Celleno	22	99
R048	261000	4714844	A03	Celleno	22	115
R049	261289	4714741	A03	Celleno	10	285
R050	261404	4714930	D10	Celleno	19	199
R051	261437	4714934	D10	Celleno	19	198
R052	261385	4714794	A02	Celleno	10	704
R053	261405	4714784	A02	Celleno	10	639
R054	261371	4714768	A03	Celleno	10	491
R055	261676	4714825	A04	Celleno	19	149
R056	261745	4714793	D10	Celleno	19	200
R057	261723	4714765	A03	Celleno	19	200
R058	261829	4714660	D10	Celleno	19	206
R059	261753	4714668	A02	Celleno	19	45
R060	261734	4714632	A03	Celleno	19	93
R061	261824	4714595	A02	Celleno	19	57
R062	261950	4714624	A02	Celleno	19	189
R063	262002	4714628	D10	Celleno	19	191
R064	261535	4714593	A03	Celleno	10	591
R065	261534	4714611	A03	Celleno	10	591
R066	261480	4714610	A03	Celleno	10	178
R067	261467	4714539	A02	Celleno	10	697
R068	261403	4714523	A03	Celleno	10	382
R069	261376	4714586	A02/C06	Celleno	10	165

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Nome	Coordinate UTM-WGS 84 fuso33		Categoria	Comune	Foglio	P.IIa
	X	Y				
R070	261367	4714617	A02	Celleno	10	43
R071	261380	4714626	A02	Celleno	10	771
R072	261366	4714642	A02	Celleno	10	163
R073	261399	4714614	A02	Celleno	10	43
R074	261132	4714472	A03/C02	Celleno	10	12
R075	261152	4714471	A02	Celleno	10	868
R076	261151	4714442	A03/C02	Celleno	10	11
R077	261158	4714438	A03/A04	Celleno	10	10
R078	261179	4714446	A03	Celleno	10	610
R079	261184	4714446	A03	Celleno	10	14
R080	261191	4714448	A03	Celleno	10	379
R081	261200	4714434	A04/C02	Celleno	10	72
R082	261195	4714425	A03	Celleno	10	1
R083	261196	4714419	A03/A04	Celleno	10	2
R084	261155	4714422	A04	Celleno	10	9
R085	261166	4714417	A04/A06	Celleno	10	8
R086	261164	4714409	A04	Celleno	10	7
R087	261172	4714415	A04	Celleno	10	6
R088	261171	4714410	A04	Celleno	10	5
R089	261181	4714404	A04	Celleno	10	3
R090	261190	4714406	A04	Celleno	10	796
R091	261192	4714407	A04	Celleno	10	797
R092	261188	4714385	A05	Celleno	10	4
R093	261334	4714419	A02/C02	Celleno	10	32
R094	261313	4714379	A02	Celleno	10	30
R095	261333	4714378	A02/A03/A04	Celleno	10	37
R096	261346	4714387	A02	Celleno	10	35
R097	261348	4714384	A02	Celleno	10	587
R098	261349	4714380	A02	Celleno	10	36
R099	261355	4714367	A03	Celleno	10	41
R100	261345	4714365	A02/A04	Celleno	10	40
R101	261360	4714379	A03	Celleno	10	849
R102	261364	4714368	A03	Celleno	10	127
R103	261373	4714343	A04	Celleno	10	38
R104	261389	4714360	A03/A04	Celleno	10	48
R105	261363	4714410	A03/C02	Celleno	10	108
R106	261365	4714420	A04	Celleno	10	107
R107	261376	4714419	A02/C02	Celleno	10	106
R108	261369	4714437	A03	Celleno	10	822
R109	261369	4714445	A02	Celleno	10	101
R110	261413	4714446	A02/C06	Celleno	10	189
R111	261418	4714418	A07	Celleno	10	190
R112	261469	4714446	A07/F03	Celleno	10	384

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Nome	Coordinate UTM-WGS 84 fuso33		Categoria	Comune	Foglio	P.IIa
	X	Y				
R113	261499	4714426	A03	Celleno	10	425
R114	261534	4714454	A07	Celleno	10	466
R115	261560	4714432	D10	Celleno	10	789
R116	261532	4714402	A04/C02	Celleno	10	440
R117	261568	4714395	A02/C06	Celleno	10	437
R118	261592	4714376	A03	Celleno	10	59
R119	261488	4714372	A04	Celleno	10	192
R120	261484	4714311	A02/C06	Celleno	10	369
R121	261486	4714317	A02/C06	Celleno	10	281
R122	261499	4714329	A02/C06	Celleno	10	57
R123	261474	4714291	A02	Celleno	10	280
R124	261469	4714279	A02	Celleno	10	280
R125	261448	4714298	A04	Celleno	10	55
R126	261438	4714325	A02	Celleno	10	386
R127	261418	4714332	A04	Celleno	10	54
R128	261407	4714342	A04	Celleno	10	54
R129	261390	4714326	A03/A04	Celleno	10	49
R130	261397	4714321	A03/A04	Celleno	10	352
R131	261389	4714304	A03	Celleno	10	51
R132	261382	4714319	A04	Celleno	10	50
R133	261366	4714311	A03	Celleno	10	53
R134	261370	4714308	A03	Celleno	10	608
R135	261367	4714304	A03	Celleno	10	52
R136	261366	4714299	A03	Celleno	10	609
R137	261408	4714138	A03	Celleno	10	483
R138	261300	4714323	A04	Celleno	10	25
R139	261288	4714329	A04/C02	Celleno	10	23
R140	261301	4714340	A04	Celleno	10	16
R141	261296	4714342	A04/F02	Celleno	10	15
R142	261284	4714334	A04	Celleno	10	24
R143	261314	4714330	A03	Celleno	10	20
R144	261318	4714334	A03/A04	Celleno	10	19
R145	261324	4714330	A04/C02	Celleno	10	22
R146	261323	4714337	A03/C02	Celleno	10	21
R147	261326	4714338	A04	Celleno	10	854
R148	261327	4714340	A03	Celleno	10	27
R149	261324	4714342	A04	Celleno	10	853
R150	261337	4714346	A04	Celleno	10	28
R151	261317	4714368	A03	Celleno	10	112
R152	261316	4714359	A03	Celleno	10	833
R153	261321	4714362	A03/C02	Celleno	10	29
R154	261084	4714220	A02/F03	Celleno	10	632
R155	260999	4714422	A02/C02	Celleno	30	57

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Nome	Coordinate UTM-WGS 84 fuso33		Categoria	Comune	Foglio	P.IIa
	X	Y				
R156	261102	4713914	A07	Celleno	10	636
R157	261384	4713804	A02	Celleno	11	133
R158	261557	4713624	A04	Celleno	11	114
R159	261142	4713258	A03	Celleno	38	100
R160	261254	4712829	A02/C02	Celleno	38	115
R161	260897	4712408	A04/C02	Celleno	51	21
R162	260694	4712201	A07	Celleno	51	109
R163	261065	4711862	A03	Celleno	14	13
R164	262206	4711648	A03	Celleno	44	6
R165	262428	4711396	D10	Celleno	44	83
R166	262397	4711415	D10	Celleno	44	83
R167	262373	4711383	A04	Celleno	44	91
R168	260748	4711153	D10	Celleno	42	80
R169	263130	4711747	A03	Celleno	44	10
R170	262828	4712338	D10	Celleno	15	239
R171	262449	4712413	A07	Celleno	15	225
R172	263498	4712149	A07	Celleno	16	80
R173	263506	4712116	A02	Celleno	16	22
R174	263482	4712054	A02	Celleno	16	115
R175	263475	4712059	A02/C02	Celleno	16	60
R176	264177	4711847	A07/D10	Celleno	45	198
R177	264387	4711935	D10	Celleno	45	179
R178	264642	4711865	A03	Celleno	32	33
R179	264655	4711922	A02	Celleno	32	200
R180	264226	4712139	A07	Celleno	16	144
R181	264958	4714496	A04/F03	Celleno	22	81
R182	264796	4714524	D10	Celleno	22	82
R183	264829	4714626	D10	Celleno	16	249
R184	264752	4714590	A03/C02	Celleno	16	247
R185	264708	4714621	D10	Celleno	16	248
R186	264534	4714586	A02/D10	Celleno	16	224
R187	264531	4714598	A02/D10	Celleno	16	224
R188	264551	4714616	A02/D10	Celleno	16	224
R189	264537	4714621	A02/D10	Celleno	16	224
R190	264495	4714668	A02/D10	Celleno	16	224
R191	264525	4715148	A03	Celleno	16	218
R192	264524	4715085	A02	Celleno	16	105
R193	264386	4714924	D02	Celleno	16	15
R194	264281	4714974	D02	Celleno	14	376
R195	263829	4715570	A07	Celleno	14	334
R196	263997	4715620	A03/C02	Celleno	14	209
R197	263919	4715649	A02	Celleno	14	347
R198	263799	4715710	A07	Celleno	14	362

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Nome	Coordinate UTM-WGS 84 fuso33		Categoria	Comune	Foglio	P.IIa
	X	Y				
R199	263688	4715774	A02	Celleno	14	157
R200	263675	4715816	A02/C06	Celleno	8	522
R201	263704	4715833	A03/C06	Celleno	8	216
R202	263674	4715841	A02/C06	Celleno	8	169
R203	263674	4715869	A07	Celleno	8	168
R204	263706	4715872	A03/C06	Celleno	8	195
R205	263563	4715933	A07	Celleno	8	179
R206	263569	4715907	A07	Celleno	8	179
R207	263513	4715746	A03	Celleno	8	64
R208	263615	4715553	A02	Celleno	14	269
R209	261838	4715367	A02	Celleno	18	188
R210	261822	4715337	A03	Celleno	18	53
R211	261813	4715329	A03	Celleno	18	53
R212	260402	4712538	D10	Celleno	51	143
R213	259680	4712542	A04/C02	Celleno	50	563
R214	259320	4712460	D10	Celleno	50	567
R215	259460	4711894	D10	Celleno	60	182
R216	259485	4711886	D10	Celleno	60	182
R217	259486	4711864	D10	Celleno	60	181
R218	260149	4713630	A03	Celleno	38	1
R219	260349	4713848	D10	Celleno	30	103
R220	260640	4713631	A03/F02	Celleno	30	25
R221	261947	4713612	A02	Celleno	12	38
R222	259759	4713277	A07	Celleno	29	161
R223	263028	4712730	A04/C02	Celleno	13	143
R224	263033	4712733	A04/B08	Celleno	13	39
R225	263037	4712734	A04	Celleno	13	40
R226	263025	4712738	A04/C02	Celleno	13	143
R227	263209	4712890	D10	Celleno	13	176
R228	263170	4712915	A03	Celleno	13	184
R229	263166	4712928	A03	Celleno	13	184
R230	263364	4712953	A07	Celleno	16	154
R231	262883	4713225	A03	Celleno	13	180
R232	262535	4713080	A07	Celleno	13	197
R233	264028	4712858	A03	Celleno	23	29
R234	263971	4714700	A07	Celleno	14	364
R235	264229	4714743	D02	Celleno	14	400
R236	260964	4714523	A03	Celleno	22	39
R237	261627	4714360	A07	Celleno	10	213
R238	261650	4714344	A02	Celleno	10	220
R239	261596	4714320	A07	Celleno	10	213
R240	261615	4714324	A02	Celleno	10	60
R241	261623	4714306	A02	Celleno	10	220

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Nome	Coordinate UTM-WGS 84 fuso33		Categoria	Comune	Foglio	P.IIa
	X	Y				
R242	261644	4714323	A02	Celleno	10	220
R243	261638	4714300	A03/C06	Celleno	10	223
R244	261649	4714291	A02	Celleno	10	229
R245	261659	4714320	A03/C06	Celleno	10	223
R246	261692	4714280	A02/C06	Celleno	10	387
R247	261721	4714265	A03/C06	Celleno	10	457
R248	261704	4714229	A02/A04	Celleno	10	64
R249	261703	4714219	A02/C06	Celleno	10	792
R250	261757	4714246	A02	Celleno	10	819
R251	261760	4714281	A02	Celleno	10	240
R252	261629	4714277	A07	Celleno	10	424
R253	261663	4714252	A02/C02	Celleno	10	291
R254	261669	4714196	A02	Celleno	10	392
R255	261727	4714197	A02	Celleno	10	451
R256	261809	4714214	A02	Celleno	10	747
R257	261811	4714210	A02	Celleno	10	864
R258	261665	4714165	A07	Celleno	10	799
R259	261664	4714139	A02	Celleno	10	394
R260	261665	4714145	A02	Celleno	10	394
R261	261720	4714121	A02/F03	Celleno	10	389
R262	261725	4714114	A02	Celleno	10	756
R263	261760	4714089	A07	Celleno	12	180
R264	261682	4714111	A03	Celleno	10	388
R265	261673	4714107	A04/C02	Celleno	10	691
R266	261668	4714089	A04/C02	Celleno	10	691
R267	261700	4714036	A07	Celleno	10	595
R268	261605	4714289	A02	Celleno	10	287
R269	261612	4714308	A02	Celleno	10	60
R290	260612	4714394	D10	Montefiascone	30	99
R291	260619	4714412	D10	Montefiascone	30	99
R292	260752	4714434	A07	Montefiascone	30	59
R293	260792	4714568	C02	Montefiascone	30	55
R294	260845	4714651	A03	Montefiascone	22	228
R295	260846	4714627	A03	Montefiascone	22	228
R296	260807	4714689	C02	Montefiascone	22	229
R297	260810	4714709	C06	Montefiascone	22	230
R298	260806	4715591	D10	Montefiascone	22	296
R299	260813	4715737	A03	Viterbo	9	67
R300	260831	4715759	A03/D10	Viterbo	9	76
R301	260835	4715790	C02	Viterbo	9	79
R302	260817	4715809	C02	Viterbo	9	78
R303	260792	4715801	C02	Viterbo	9	81
R304	260793	4715773	C02	Viterbo	9	83

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Nome	Coordinate UTM-WGS 84 fuso33		Categoria	Comune	Foglio	P.IIa
	X	Y				
R305	260804	4715760	C02	Viterbo	9	85
R306	262940	4716602	D10	Celleno	7	110
R307	263585	4711801	C01	Viterbo	45	156
R308	263563	4711807	A07	Viterbo	45	3
R309	263554	4711791	A07	Viterbo	45	3
R310	263639	4711785	C03/E03	Viterbo	45	171
R311	263624	4711817	C03/E03	Viterbo	45	171
R312	263191	4711937	A03/C06	Viterbo	15	108
R313	263224	4711951	C06	Viterbo	15	241
R314	263287	4711968	C06	Viterbo	15	246
R315	263301	4711985	A02	Viterbo	15	240
R316	263311	4711973	C06	Viterbo	15	243
R317	263299	4711966	C02	Viterbo	15	244
R318	263292	4711948	C02	Viterbo	15	245
R319	263229	4712065	A07	Viterbo	15	102
R320	263328	4712058	C02/C06	Viterbo	16	142
R321	263325	4712079	A04	Viterbo	16	20
R322	263361	4712103	A02	Viterbo	16	141
R323	263431	4712055	NC	Viterbo	16	156
R324	262682	4710768	C06	Viterbo	52	123
R325	262653	4710737	C02/F02	Viterbo	52	130
R326	262633	4710705	C02/F02	Viterbo	52	130
R270	263740	4715911	-	Celleno	8	58
R271	263701	4715949	-	Celleno	8	54
R272	263750	4715975	-	Celleno	8	416
R273	263726	4716002	-	Celleno	8	415
R274	263756	4716012	-	Celleno	8	414
R275	263826	4715989	-	Celleno	8	343
R276	263796	4715978	-	Celleno	8	341
R277	263948	4715885	-	Celleno	8	172
R278	263926	4715919	-	Celleno	8	151
R279	263905	4715930	-	Celleno	8	149
R280	263877	4715935	-	Celleno	8	147
R281	263875	4715952	-	Celleno	8	144
R282	263887	4715951	-	Celleno	8	463
R283	263909	4715956	-	Celleno	8	138
R284	263954	4715917	-	Celleno	8	152
R285	263937	4715944	-	Celleno	8	142
R286	263969	4715728	-	Celleno	14	381
R287	263933	4715795	-	Celleno	14	368
R288	264149	4715637	-	Celleno	14	390
R289	264165	4715676	-	Celleno	14	390

La seguente tabella riporta le coordinate degli aerogeneratori previsti in progetto.

Tabella 2: Riepilogo aerogeneratori di progetto

Nome	Hub (m)	Diam (m)	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33	
			Y	X
T01	115	170	4715094	262295
T02	115	170	4714600	262915
T03	115	170	4713798	263961
T04	115	170	4713301	264280
T05	115	170	4712845	260613
T06	115	170	4712899	261893
T07	115	170	4712016	261654

5 Modello di calcolo

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. I pacchetti software impiegati comunemente per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering.

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).

Nello specifico, nel presente studio, è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm 5.0.1.2 (ReSoft Limited©). Esso consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno allo scopo di identificare i tempi in cui ogni aerogeneratore può proiettare ombre sulle finestre delle abitazioni vicine. In particolare, il modello permette di:

- calcolare il potenziale per le ombre intermittenti alle finestre delle abitazioni;
- mostrare un calendario grafico degli eventi di flickering;
- mostrare un elenco dettagliato di ciascun evento di ombreggiamento (ora di inizio, di fine, durata del fenomeno, aerogeneratore/i coinvolti ecc...);
- creare mappe di impatto potenziale che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine (curve di isodurata) nell'arco dell'anno.

Al di là di una certa distanza, come già osservato, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro apparente del disco solare diventa piccolo. Poiché non vi è un valore generalmente accettato per questa distanza massima, WindFarm permette di specificare il limite in metri o multipli del diametro o dell'altezza complessiva del generatore eolico.

Come accennato sopra, nel caso in esame, per quanto concerne le simulazioni effettuate, si è assunta una distanza massima di influenza del fenomeno in esame pari a 10 volte il diametro dell'aerogeneratore di progetto (1700 m) ed un angolo minimo di altezza del sole sull'orizzonte pari a 3°.

Tali assunzioni di input al modello risultano molto conservative in relazione a quanto espresso sopra in termini teorici in riferimento al fenomeno di shadow flickering.

In particolare, il modello numerico utilizzato, al pari degli altri presenti sul mercato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante, il così detto "**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.

Nello specifico, il **worst case** è caratterizzato dalle seguenti ipotesi:

- assenza di qualsiasi ostacolo naturale o artificiale (alberature, muri di cinta, edifici, ecc...), ad eccezione dell'orografia dell'area, frapposto tra i ricettori e gli aerogeneratori, tale da limitare o eliminare completamente il fenomeno dello shadow flickering;
- aerogeneratori sempre operativi;
- presenza di sole durante tutto il periodo diurno dell'anno (assenza di nubi);
- perpendicolarità tra il piano del rotore e la congiungente sole-ricettore (worst case wind direction), ovvero l'aerogeneratore insegue il sole;

Ciò considerato si evince che i risultati ai quali si perverrà risultano estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica.

Quindi, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (**REAL CASE**), si dovrebbe considerare il valore di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno, e quello delle ore stimate di funzionamento dell'impianto eolico nell'arco dell'anno. Per l'area in esame il valore medio di eliofania corrisponde a circa $2400 \text{ h/a}^{1,2}$, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 45.21%, pari al complemento a 1 del rapporto $2400/4380 = 54.79\%$.

In altri termini, rispetto al **WORST CASE**, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce realisticamente, per l'area in esame, al 45,21% del valore calcolato dal modello impiegato e che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

Inoltre, dal momento che il fenomeno in esame è prodotto dalla contemporanea presenza di sole libero da nubi (potenzialità di generare ombre) e di velocità del vento superiori a quella di cut-in (rotore in moto), i valori calcolati dal modello (considerando la condizione più penalizzante di rotore permanentemente in moto) possono essere ulteriormente abbattuti di una percentuale corrispondente alle ore annue di effettivo funzionamento macchina rispetto al totale delle ore in un anno (8760 h).

Per il parco eolico in esame le ore macchina sono state stimate pari al 74.99³%, delle ore anno, ovvero 6569 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in rotazione è appunto dell'ordine del 74.99 % (pari appunto al rapporto $6569/8760$).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all'anno presso i diversi ricettori individuati) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto $54,79\% \times 74.99\% = 41.09\%$, ovvero 58.91%, corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l'occorrenza di rotore in rotazione (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità.

¹ Pinna M. (1985). L'eliofania in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., 39: pag. 23-58.

² Lavagnini A., Martorelli S., Coretti C. (1987). Radiazione solare in Italia. Mappe mensili della radiazione globale giornaliera. Roma, CNR, Ist. Fis. Atm.

³ Considerando il report anemologico disponibile ed il fatto che la wtg prevista in progetto è caratterizzata da una velocità di cut-in dell'ordine di 3 m/s, le ore macchina dovrebbero essere dell'ordine del 77.30% di quelle annuali. Tenendo conto dei valori di disponibilità dell'impianto e della rete rispettivamente pari a 98% e 99%, l'assunzione del 74.99% sembra molto ragionevole.

6 Risultati

Al fine di verificare la presenza e l'intensità del fenomeno dello shadow flickering indotto dal parco eolico in progetto sono state effettuate una serie di simulazioni con software dedicato che hanno tenuto conto:

- della latitudine locale, allo scopo di considerare il corretto diagramma solare;
- della geometria effettiva delle macchine previste, ed in particolare dell'altezza complessiva di macchina, intesa come somma tra l'altezza del mozzo ed il raggio del rotore;
- dell'orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai recettori;
- dell'orografia locale, tramite un modello digitale del terreno (DTM) dell'area di installazione del parco;
- della posizione dei possibili ricettori (abitazioni), nonché degli aerogeneratori (layout di progetto).

Come sopra accennato, 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.

Il programma effettua il calcolo delle ore del giorno in cui si potrebbe avere l'effetto del flickering sul ricettore considerato, facendo la somma dei minuti in cui il fenomeno risulta presente. Effettua poi la somma teorica dei minuti di ciascun mese (worst case) che poi può essere ridotta in considerazione delle giornate soleggiate, dell'operatività effettiva dell'impianto eolico, della direzione del vento ecc... Inoltre, avendo calcolato geometricamente l'evoluzione delle ombre durante la giornata, è possibile identificare l'area in cui avviene il fenomeno dello shadow flickering per ciascun aerogeneratore. Si ottengono così i dati sinteticamente riportati nella seguente tabella.

La frequenza dello shadow flickering è correlata alla velocità di rotazione del rotore; le frequenze tipiche per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di 0,55-0,75 Hz (corrispondenti a 11 - 15 rpm, circa un passaggio ogni 1,8-1,3 secondi). In termini di impatto sulla popolazione, tali frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz.

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi eseguita secondo la metodologia di calcolo descritta nelle sezioni precedenti. Nello specifico, la tabella seguente riporta il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore realistico atteso di ore nell'arco dell'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, valutato tenendo conto dell'eliofania locale nonché delle ore di funzionamento dell'impianto (rotore in rotazione), rappresenta comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al fatto che il piano di rotazione delle pale non sempre risulta ortogonale alla direttrice sole-ricettore e all'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole ed il singolo ricettore analizzato. In aggiunta, sempre per un'ipotesi a vantaggio di sicurezza, non si è tenuto conto della stagionalità del fenomeno.

Infatti, se si considera il grafico della frequenza relativa alla direzione di provenienza del vento (figura successiva) per la torre anemometrica del parco eolico in oggetto si evince che i risultati possono essere ridotti di almeno un ulteriore 53.50%, dal momento che la direzione prevalente del vento risulta essere la congiungente NN0-SSE. Alla luce di ciò, le ore del fenomeno subiscono un ulteriore abbattimento, che le porta ad essere circa il 19.10% di quelle calcolate dal modello nell'ipotesi WORST CASE.

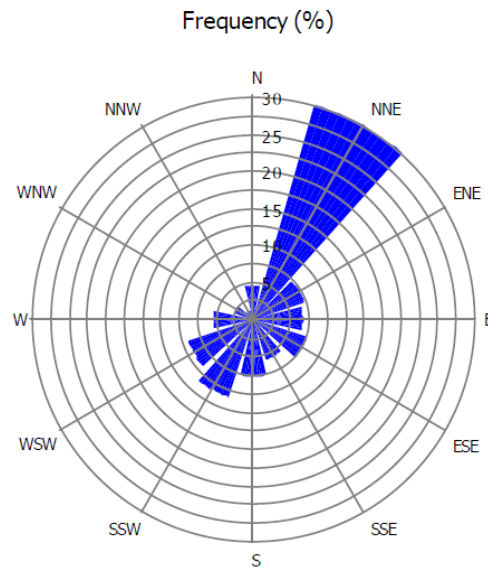


Figura 2: Rosa dei venti

Tabella 3: Risultati della simulazione

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	[minuti/giorno]	
R01	77	27,2	5,2	21,2	A03
R02	0	0	0,0	0,0	A04
R03	0	0	0,0	0,0	A03
R04	54	19,9	3,8	4,2	A02
R05	54	20,3	3,9	4,3	A02
R06	37	12,1	2,3	3,7	A02
R07	183	90,8	17,3	5,7	A02
R08	154	60,8	11,6	4,5	D10
R09	182	99	18,9	6,2	A07
R10	119	87,5	16,7	8,4	A03
R11	111	58,7	11,2	6,1	D10
R12	82	58,6	11,2	8,2	A07
R13	102	103,6	19,8	11,6	A03
R14	114	56,1	10,7	5,6	A02
R15	193	161,2	30,8	9,6	A07/C06
R16	132	90	17,2	7,8	A02/C06
R17	114	67,3	12,9	6,8	A02/C03
R18	104	57,4	11,0	6,3	A07
R19	147	100,5	19,2	7,8	A03
R20	170	112,5	21,5	7,6	A03/A04
R21	149	80,3	15,3	6,2	A07
R22	143	79,6	15,2	6,4	A07

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria
R23	73	33	6,3	5,2	D10
R24	73	26,9	5,1	4,2	A02
R25	68	37,7	7,2	6,4	A07/F03
R26	79	40	7,6	5,8	A04
R27	80	42,3	8,1	6,1	A03
R28	79	48,1	9,2	7,0	A03
R29	90	51,3	9,8	6,5	A02
R30	90	62,5	11,9	8,0	A03/C02
R31	102	75,2	14,4	8,5	A07/C02
R32	115	83,5	16,0	8,3	A02
R33	83	58,6	11,2	8,1	A02
R34	77	54,7	10,5	8,1	A07
R35	63	40,3	7,7	7,3	A02
R36	62	38,8	7,4	7,2	D10
R37	60	37,3	7,1	7,1	D10
R38	67	43,1	8,2	7,4	A07
R39	70	44,9	8,6	7,4	A07
R40	0	0	0,0	0,0	A07
R41	0	0	0,0	0,0	A03
R42	0	0	0,0	0,0	A03
R43	0	0	0,0	0,0	A02
R44	0	0	0,0	0,0	D10
R45	86	78,5	15,0	10,5	A04/C02
R46	102	59,6	11,4	6,7	D10
R47	48	12,5	2,4	3,0	A02
R48	64	24,9	4,8	4,5	A03
R49	96	34,6	6,6	4,1	A03
R50	144	78,2	14,9	6,2	D10
R51	145	82,1	15,7	6,5	D10
R52	102	46,9	9,0	5,3	A02
R53	97	41,7	8,0	4,9	A02
R54	94	38,3	7,3	4,7	A03
R55	55	16,4	3,1	3,4	A04
R56	39	16,3	3,1	4,8	D10
R57	26	11,3	2,2	5,0	A03
R58	52	23,1	4,4	5,1	D10
R59	37	16,9	3,2	5,2	A02
R60	40	18,3	3,5	5,2	A03
R61	55	25,8	4,9	5,4	A02
R62	61	31,9	6,1	6,0	A02
R63	65	35,7	6,8	6,3	D10
R64	43	14,4	2,8	3,8	A03

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria
R65	43	14,1	2,7	3,8	A03
R66	40	11,8	2,3	3,4	A03
R67	41	12	2,3	3,4	A02
R68	28	8,5	1,6	3,5	A03
R69	37	9,9	1,9	3,1	A02/C06
R70	36	9,4	1,8	3,0	A02
R71	36	9,4	1,8	3,0	A02
R72	36	9,1	1,7	2,9	A02
R73	36	9,7	1,9	3,1	A02
R74	0	0	0,0	0,0	A03/C02
R75	0	0	0,0	0,0	A02
R76	0	0	0,0	0,0	A03/C02
R77	0	0	0,0	0,0	A03/A04
R78	0	0	0,0	0,0	A03
R79	0	0	0,0	0,0	A03
R80	0	0	0,0	0,0	A03
R81	0	0	0,0	0,0	A04/C02
R82	0	0	0,0	0,0	A03
R83	0	0	0,0	0,0	A03/A04
R84	0	0	0,0	0,0	A04
R85	0	0	0,0	0,0	A04/A06
R86	0	0	0,0	0,0	A04
R87	0	0	0,0	0,0	A04
R88	0	0	0,0	0,0	A04
R89	0	0	0,0	0,0	A04
R90	0	0	0,0	0,0	A04
R91	0	0	0,0	0,0	A04
R92	0	0	0,0	0,0	A05
R93	41	10,8	2,1	3,0	A02/C02
R94	26	7	1,3	3,1	A02
R95	43	11,7	2,2	3,1	A02/A03/A04
R96	44	11,8	2,3	3,1	A02
R97	44	11,8	2,3	3,1	A02
R98	44	12	2,3	3,1	A02
R99	42	12,3	2,4	3,4	A03
R100	40	11,9	2,3	3,4	A02/A04
R101	44	12,2	2,3	3,2	A03
R102	46	12,6	2,4	3,1	A03
R103	38	11,4	2,2	3,4	A04
R104	47	13,3	2,5	3,2	A03/A04
R105	43	11,5	2,2	3,1	A03/C02
R106	43	11,4	2,2	3,0	A04

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria
R107	42	11,7	2,2	3,2	A02/C02
R108	42	11,3	2,2	3,1	A03
R109	41	11,2	2,1	3,1	A02
R110	42	12,1	2,3	3,3	A02/C06
R111	44	12,6	2,4	3,3	A07
R112	45	13,3	2,5	3,4	A07/F03
R113	48	14,8	2,8	3,5	A03
R114	48	15,9	3,0	3,8	A07
R115	52	17,7	3,4	3,9	D10
R116	52	16,9	3,2	3,7	A04/C02
R117	56	19,5	3,7	4,0	A02/C06
R118	60	22,1	4,2	4,2	A03
R119	51	15,7	3,0	3,5	A04
R120	58	17,9	3,4	3,5	A02/C06
R121	57	17,7	3,4	3,6	A02/C06
R122	57	18	3,4	3,6	A02/C06
R123	60	18,5	3,5	3,5	A02
R124	62	19,1	3,6	3,5	A02
R125	57	17,1	3,3	3,4	A04
R126	52	15,5	3,0	3,4	A02
R127	52	14,9	2,8	3,3	A04
R128	50	14,3	2,7	3,3	A04
R129	36	10,6	2,0	3,4	A03/A04
R130	38	11,2	2,1	3,4	A03/A04
R131	26	6	1,1	2,6	A03
R132	32	8,2	1,6	2,9	A04
R133	26	5,8	1,1	2,6	A03
R134	26	5,3	1,0	2,3	A03
R135	22	4,4	0,8	2,3	A03
R136	22	3,2	0,6	1,7	A03
R137	0	0	0,0	0,0	A03
R138	0	0	0,0	0,0	A04
R139	0	0	0,0	0,0	A04/C02
R140	0	0	0,0	0,0	A04
R141	0	0	0,0	0,0	A04/F02
R142	0	0	0,0	0,0	A04
R143	20	4,1	0,8	2,4	A03
R144	24	6,2	1,2	3,0	A03/A04
R145	24	6,2	1,2	3,0	A04/C02
R146	24	6	1,1	2,9	A03/C02
R147	26	6,7	1,3	3,0	A04
R148	26	7	1,3	3,1	A03

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria
R149	26	6,6	1,3	2,9	A04
R150	34	9,9	1,9	3,3	A04
R151	28	7,8	1,5	3,2	A03
R152	26	6,4	1,2	2,8	A03
R153	30	8,7	1,7	3,3	A03/C02
R154	0	0	0,0	0,0	A02/F03
R155	0	0	0,0	0,0	A02/C02
R156	32	9,8	1,9	3,5	A07
R157	0	0	0,0	0,0	A02
R158	0	0	0,0	0,0	A04
R159	144	101,8	19,5	8,1	A03
R160	214	178,8	34,2	9,6	A02/C02
R161	64	38,9	7,4	7,0	A04/C02
R162	55	29	5,5	6,0	A07
R163	86	77,6	14,8	10,3	A03
R164	87	74,4	14,2	9,8	A03
R165	65	32,2	6,2	5,7	D10
R166	61	31,5	6,0	5,9	D10
R167	41	14,6	2,8	4,1	A04
R168	0	0	0,0	0,0	D10
R169	23	8,4	1,6	4,2	A03
R170	154	80,6	15,4	6,0	D10
R171	140	81,5	15,6	6,7	A07
R172	0	0	0,0	0,0	A07
R173	0	0	0,0	0,0	A02
R174	0	0	0,0	0,0	A02
R175	0	0	0,0	0,0	A02/C02
R176	0	0	0,0	0,0	A07/D10
R177	0	0	0,0	0,0	D10
R178	0	0	0,0	0,0	A03
R179	0	0	0,0	0,0	A02
R180	0	0	0,0	0,0	A07
R181	31	9,7	1,9	3,6	A04/F03
R182	0	0	0,0	0,0	D10
R183	0	0	0,0	0,0	D10
R184	0	0	0,0	0,0	A03/C02
R185	0	0	0,0	0,0	D10
R186	34	10,8	2,1	3,6	A02/D10
R187	34	11	2,1	3,7	A02/D10
R188	34	10,7	2,0	3,6	A02/D10
R189	34	10,8	2,1	3,6	A02/D10
R190	36	11,8	2,3	3,8	A02/D10

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria
R191	0	0	0,0	0,0	A03
R192	38	12,3	2,4	3,7	A02
R193	42	14,8	2,8	4,0	D02
R194	47	17,8	3,4	4,3	D02
R195	46	15,3	2,9	3,8	A07
R196	0	0	0,0	0,0	A03/C02
R197	0	0	0,0	0,0	A02
R198	64	20,5	3,9	3,7	A07
R199	73	28,4	5,4	4,5	A02
R200	64	24,8	4,7	4,4	A02/C06
R201	62	23,9	4,6	4,4	A03/C06
R202	58	22	4,2	4,3	A02/C06
R203	52	18,5	3,5	4,1	A07
R204	54	19,5	3,7	4,1	A03/C06
R205	34	9,8	1,9	3,3	A07
R206	34	9,8	1,9	3,3	A07
R207	69	30,4	5,8	5,1	A03
R208	54	21,7	4,1	4,6	A02
R209	126	103,7	19,8	9,4	A02
R210	129	103,8	19,8	9,2	A03
R211	131	102,7	19,6	9,0	A03
R212	112	35,2	6,7	3,6	D10
R213	74	38,6	7,4	6,0	A04/C02
R214	80	32,5	6,2	4,7	D10
R215	0	0	0,0	0,0	D10
R216	0	0	0,0	0,0	D10
R217	0	0	0,0	0,0	D10
R218	0	0	0,0	0,0	A03

Inoltre, alla luce di quanto descritto nei paragrafi precedenti, nel caso in esame non è presente nessun impatto significativo da shadow flickering sui ricettori individuati, infatti i ricettori soggetti per più ore all'anno al fenomeno (Caso "realistico") sono quelli indicati con i codici R15; R160 (cfr. figure seguenti) per i quali si registrano nell'arco dell'anno, rispettivamente, circa 30.8 e 34.2 ore/anno potenziali del fenomeno analizzato. Inoltre è da sottolineare come nessuna abitazione risulta soggetta ad una durata superiore a 20 minuti al giorno, infatti il ricettore maggiormente esposto al fenomeno giornaliero è R01 con un valore pari a 21.2 minuti giorno.

Alla luce di quanto sopra esposto, in corrispondenza dei suddetti ricettori, con categoria catastale A07/C06 e A02/C02 e A03, potrà essere prevista, di concerto con i proprietari dell'immobile, come intervento di mitigazione, la piantumazione di barriere sempreverdi (normali siepi di recinzione) al fine di

ridurre e/o annullare completamente il fenomeno in oggetto e di eliminare completamente qualunque disturbo indotto.

Inoltre si rappresenta che si tratta di fenomeni:

- limitati nello spazio;
- episodici durante l'anno e localizzati all'alba o al tramonto;
- di breve durata nel corso della giornata, in quanto ciascun edificio è interessato solo per un breve periodo;
- limitati come intensità, dal momento che la luce del sole, in condizioni di alba o tramonto, risulta di intensità modesta e, quindi, è modesta anche la variazione dovuta allo shadow flickering.

Va altresì sottolineato che:

- la velocità di rotazione dell'aerogeneratore di progetto è dell'ordine di 11 rotazioni al minuto, quindi nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere;

È comunque utile sottolineare che, a vantaggio di sicurezza, le simulazioni effettuate sono state eseguite in condizioni non realistiche, ipotizzando che si verificano contemporaneamente le condizioni più sfavorevoli per un determinato ricettore potenzialmente soggetto a shadow flickering, ovvero in concomitanza dei seguenti fattori: assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai ricettori, rotore in movimento continuo, assenza di ostacoli, luce diretta.

Tutta via si evidenzia come l'analisi condotta non ha tenuto conto della presenza di "zone di esclusione" naturali o artificiali che hanno la facoltà di inibire (parzialmente o totalmente) il fenomeno di Shadow Flicker sui ricettori individuati (es.: presenza di alberatura, tendaggi, infissi, ecc.), poiché il calcolo si è basato esclusivamente sui dati orografici e geografici de sito in esame.

Sulla base dei primi esiti della indagine, effettuata in sito e dalle valutazioni condotte tramite ortofoto, per comprendere la configurazione del territorio in cui si collocano i recettori sensibili e le caratteristiche stesse degli edifici, si sottolinea come alcuni dei ricettori individuati non siano abitati oppure siano già caratterizzati dalla presenza di barriere fisiche (i.e. alberature, portici, tende da sole) che riducono l'esposizione al fenomeno dell'ombreggiamento intermittente.

Pertanto, si sottolinea che i risultati presentati rappresentano il caso peggiore in cui si verificano i fattori sopra esposti in concomitanza per cui è ragionevole ritenere che tale fenomeno possa essere difficilmente percepito nelle condizioni reali.



Figura 3: Inquadramento tramite ortofoto del Ricettore R15

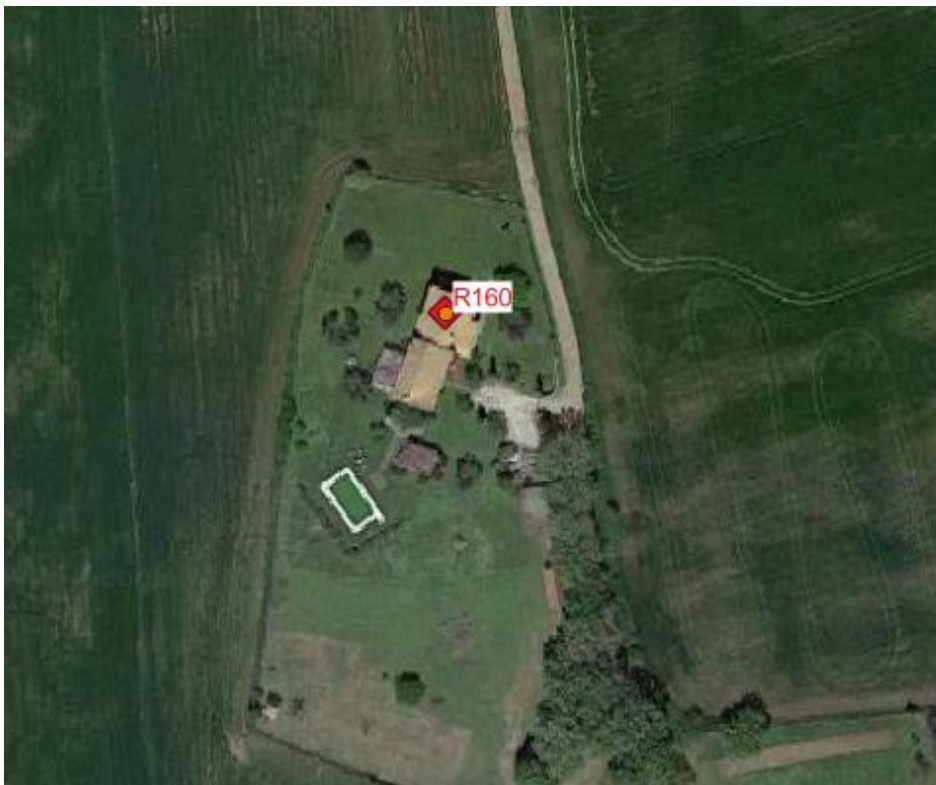


Figura 4: Inquadramento tramite ortofoto del Ricettore R160

Legenda

- ◆ Ricettori
- Buffer 1700m
- Buffer 1500m
- Windfarm F0532
- ▭ Limiti comunali

LEGENDA	
0-30 ore/anno	90-120 ore/anno
30-60 ore/anno	120-150 ore/anno
60-90 ore/anno	150-180 ore/anno

