



**Impianto di produzione di energia elettrica da fonte  
solare e relative opere connesse della potenza di  
24,586 MWp**

**Provincia di Piacenza  
Comune di Cortemaggiore, Località Morlenzo**

**RAPPORTO SUI FENOMENI DI ABBAGLIAMENTO GENERATI  
DAI MODULI FOTOVOLTAICI SUL TRANSITO DEGLI  
AUTOVEICOLI SUL TRONCO A21 DIRAMAZIONE  
FIORENZULA**


Firmato digitalmente da:  
BIZZARRI GIACOMO  
Data: 12/02/2025 12:28:24  


07/02/2025	00	Emissione finale	G. Bizzarri M. Neri	L. Marabeti, F. Boni Castagnetti	L. Marabeti, F. Boni Castagnetti
Data	Rev.	Descrizione Emissione	Preparato	Verificato	Approvato
Logo Committente e Denominazione Commerciale  Iren Green Generation Tech s.r.l.			ID Documento Committente  <b>Cod055_FV_00079_BGR- RELAZIONE ABBAGLIAMENTO</b>		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale <b>Futuro Solare 1 S.r.L.</b>			ID Documento Appaltatore		

	ID Documento Committente <b>Cod055_FV_00079_BGR</b>	Pagina 2 / 12
		Numero Revisione
		00

## Sommario

1	Introduzione .....	3
2	Analisi Fisica del Fenomeno dell'Abbagliamento .....	4
2.1	Descrizione dei Fenomeni di Abbagliamento .....	4
2.2	Mitigazione dei Fenomeni di Abbagliamento .....	7
3	Conclusioni .....	9
3.1	Conclusioni dall'analisi della fenomenologia fisica del fenomeno .....	9
3.2	La modellazione del fenomeno mediante il Software ForgeSolar .....	10

	ID Documento Committente		Pagina 3 / 12
	<b>Cod055_FV_00079_BGR</b>		Numero Revisione
			00

## 1 Introduzione


Questa relazione fa parte della documentazione del progetto definitivo dell'impianto fotovoltaico e delle opere connesse, siti nel Comune di Cortemaggiore (PC) in località Morlenzo, nella titolarità di IREN GREEN GENERATION TECH s.r.l.

L'impianto viene sottoposto al Provvedimento Autorizzativo Unico Regionale ai sensi dell'art. 27-bis del D. Lgs. 152/06 e s.m.i., nonché ad Autorizzazione Unica ai sensi dell'art. 12 del D. Lgs. 387/2003 e s.m.i.

Il presente Rapporto ha lo scopo di analizzare l'eventuale insorgenza di fenomeni di abbagliamento derivanti dalla riflessione della luce solare sulla superficie dei pannelli posti in prossimità di una infrastruttura viaria, in questo caso specifico il "tronco autostradale A21 Piacenza-Cremona-Brescia diramazione per Fiorenzuola d'Arda". Essendo che tali fenomeni potrebbero teoricamente influire sulla sicurezza del traffico, risulta di particolare importanza rilevare se stante la posizione della centrale solare, essi possono verificarsi e, nel caso, individuare quali accorgimenti possano essere posti in essere per eliminare la loro insorgenza.

Il rapporto risponde al quesito posto da Autovia Padana Spa, Società gestrice della Diramazione per Fiorenzuola d'Arda del Tronco Autostradale, che in riscontro all'avvio del Procedimento da parte di ARPAE, ai fini dell'emissione del suo futuro parere, ha già richiesto di predisporre una Relazione che "attesti che la conformazione, i materiali, l'orientamento e l'inclinazione dei pannelli fotovoltaici a terra previsti in progetto non generi alcun tipo di abbagliamento ai veicoli transitanti in autostrada". Il presente rapporto, riprendendo proprio quest'ultima richiesta, dimostra come la realizzazione della centrale in oggetto non genererà fenomeni di abbagliamento tali da interessare il traffico veicolare.

A questa conclusione si arriverà sia mediante una analisi fisica che approfondirà la genesi del fenomeno di riflessione, e lo analizzerà con particolare riferimento al caso in oggetto, sia attraverso una specifica modellazione del fenomeno attraverso un software dedicato.

	ID Documento Committente <b>Cod055_FV_00079_BGR</b>	Pagina 4 / 12
		Numero Revisione
		00

## 2 Analisi Fisica del Fenomeno dell'Abbagliamento

### 2.1 Descrizione dei Fenomeni di Abbagliamento

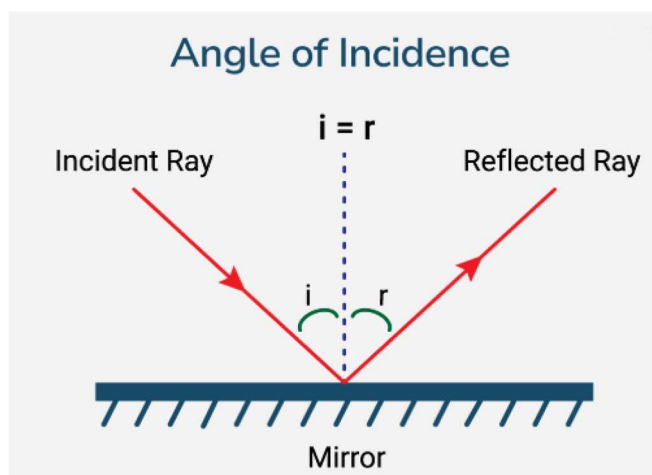
Occorre in primis definire che cosa sia l'abbagliamento. L'abbagliamento è il fenomeno ottico che si verifica quando una sorgente di luce intensa interferisce con la visibilità, creando discomfort o riducendo la capacità di vedere chiaramente. Nel caso specifico dei moduli fotovoltaici, l'abbagliamento potrebbe teoricamente essere causato dalla riflessione della luce solare sulla superficie dei pannelli. La luce riflessa può infatti in via teorica raggiungere gli occhi di conducenti in transito su una vicina strada, causando una temporanea alterazione della visibilità e potenzialmente un rischio per la sicurezza stradale. Risulta pertanto estremamente importante determinare se e come questo fenomeno possa verificarsi, a partire dalla comprensione degli angoli di incidenza della radiazione solare sui moduli, per proseguire con la verifica che la direzione assunta dalla eventuale radiazione riflessa non possa risultare di alcun disturbo rispetto a veicoli in transito sulla vicina autovia.

Risulta quindi fondamentale impostare una analisi ottica del fenomeno, tenendo conto della posizione dei moduli e della strada, considerando altresì altri importanti parametri quali la particolare tipologia delle strutture previste, ad inseguimento, e la presenza di elementi schermanti.

In principio devono essere individuati i fattori che influiscono sulla possibile insorgenza di questo fenomeno indesiderabile.

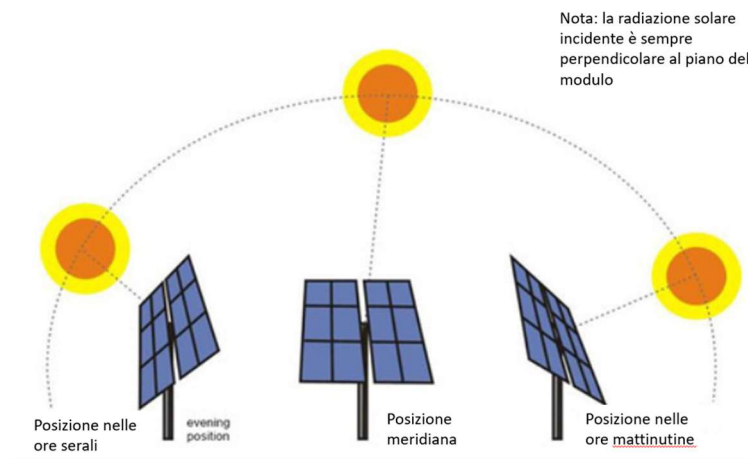
#### Fattori che contribuiscono all'abbagliamento

1. *Angolo di Incidenza della Luce Solare:* Il grado di abbagliamento dipende in gran parte dall'angolo con cui i raggi solari colpiscono la superficie dei moduli fotovoltaici. In particolare, rileva ai fini dell'abbagliamento la componente diretta della radiazione solare, quella cioè che colpisce bersaglio terrestre arrivando su di esso con raggi tra di loro paralleli e diretti lungo la direzione sole-pannello. Detta componente è nei vari periodi dell'anno circa la metà della radiazione solare totale essendo la frazione della stessa che, all'ingresso in atmosfera, non è soggetta a fenomeni ottici di interferenza.



È molto importante precisare che l'angolo di riflessione della radiazione solare fa sì che la radiazione riflessa appartenga allo stesso piano generato dalla normale al piano locale del pannello e dal segmento di retta costituito dalla radiazione diretta incidente (il piano di incidenza), come chiaramente illustrato nella figura sopra. Se il piano di riflessione è sufficientemente liscio, gli angoli di incidenza e riflessione sono peraltro uguali.

Vista la tipologia di impianto a Tracking mono-assiale, i pannelli basculano intorno ad un asse di rotazione che si sviluppa in direzione sud nord (si vedano le tavole di progetto allegate all'Istanza) opponendo sempre il loro piano locale in modo tale che esso si ponga in modo perpendicolare al piano di incidenza prima descritto e risultando coerenti ad un piano che di prima mattina è inclinato di  $55^\circ$  verso est, al mezzogiorno è orizzontale (angolo di tilt uguale a zero), e la sera si ruota di  $55^\circ$  verso ovest.




Questa configurazione porta a una importantissima osservazione: l'eventuale radiazione riflessa può interessare bersagli posti a pochi metri dal piano di campagna, quali le auto in transito, soltanto in rarissimi casi (come vedremo possibili solo in via del tutto teorica), ed individuabili:

- . nei minuti della prima mattina, nel caso l'infrastruttura si trovi ad ovest della centrale solare e, viceversa,
- . nei minuti subito prima del tramonto, nel caso in cui l'infrastruttura viaria si trovi invece ad est.

In queste situazioni l'angolo di altezza del sole sull'orizzonte del sole è particolarmente basso, siamo infatti all'alba o al crepuscolo ed è fatto noto che in queste circostanze la radiazione solare ha una intensità talmente ridotta da non generare fastidio ad un osservatore persino rispetto ad una potenziale esposizione diretta, ancor meno quindi rispetto a quella riflessa.

2. *Superficie dei Moduli Fotovoltaici.* I moduli fotovoltaici sono dispositivi che, per loro stessa natura intrinseca di produttori di elettricità sono realizzati per poter assorbire la maggior percentuale di radiazione solare, minimizzando la componente riflessa. Per questo motivo la tipologia di superficie dei moduli è di colore scuro ed è realizzata con materiali refrattari alla riflessione, e favorevoli alla captazione della maggior quantità di energia solare possibile, venendo poi da essa generata l'energia elettrica.

3. *Reciproca posizione moduli – autovia.* La disposizione dei pannelli fotovoltaici rispetto alla traiettoria del sole è un altro fattore determinante. I moduli e le strutture adottate, con tracking mono-

	ID Documento Committente <b>Cod055_FV_00079_BGR</b>	Pagina 7 / 12
		Numero Revisione
		00

assiale, per loro stessa natura riducono il rischio di riflessione diretta sulla carreggiata in considerazione del già citato fatto che la componente riflessa della radiazione diretta, non può che appartenere per questioni ottiche allo stesso piano di incidenza della stessa radiazione diretta, piano che non interseca mai l'infrastruttura viaria, stante la configurazione pianeggiante dell'area vasta su cui è previsto l'intervento, non arrivando quindi mai ad interferire con le quote interessate dai transiti veicolari.

4. *Condizioni Atmosferiche e Orarie.* Condizioni atmosferiche come nebbia, pioggia o umidità, così come l'ora del giorno (mattina o pomeriggio), possono accentuare o ridurre l'effetto di abbagliamento. Le condizioni atmosferiche ovviamente non incidono, nel momento in cui viene eliminato sin dal principio il rischio di abbagliamento; l'influenza delle ore del giorno è già stata trattata insieme alla questione geometrica del fenomeno, evidenziando che la riflessione diretta sulla carreggiata (possibile solo in via teorica) si verificherebbe soltanto in momenti della giornata nei quali la radiazione solare è talmente tanto modesta da non risultare pericolosa ai fini dell'abbagliamento.


## 2.2 Mitigazione dei Fenomeni di Abbagliamento

Esistono poi diverse soluzioni per ridurre l'effetto di abbagliamento causato dai moduli fotovoltaici.

Esse sono di seguito riportate in corsivo, tutte le soluzioni sono state adottate in questo progetto.

1. *Utilizzo di Pannelli Anti-Riflesso:* Moduli fotovoltaici con rivestimenti anti-riflesso possono ridurre significativamente la riflessione da irraggiamento, limitando così i fenomeni di abbagliamento. I moduli adottati, come detto, sono assolutamente refrattari alla riflessione solare ed anzi presentano caratteristiche tali da massimizzare captazione e conversione in energia elettrica della stessa fonte solare.

2. *Ottimizzazione dell'Angolo di Installazione:* Installare i pannelli fotovoltaici in modo che non riflettano la luce direttamente verso il traffico può ridurre l'impatto. Le angolazioni possono essere regolate in base alla posizione del sole e alla direzione del traffico. Il sistema adottato a tracking


	ID Documento Committente <b>Cod055_FV_00079_BGR</b>	Pagina 8 / 12
		Numero Revisione
		00

monoassiale, come dimostrato in precedenza, rende otticamente possibile la riflessione su bersagli ad altezza piano di campagna soltanto nel caso di configurazioni di moduli verticali. Dette configurazioni tuttavia non sono però consentite dalle strutture adottate, esse infatti limitano le rotazioni da  $-55^{\circ}$  a  $+55^{\circ}$ , impedendo il posizionamento in verticale.

3. *Barriere Naturali o Artificiali: L'installazione di barriere protettive, come vegetazione ad alta crescita o strutture artificiali, può schermare la luce riflessa dai moduli fotovoltaici, proteggendo i conducenti da abbagliamenti improvvisi.* Come previsto dalla normativa, l'impianto sarà mitigato alla vista mediante una spessa ed articolata cortina vegetale fatta di siepi ed arbusti governati ad un'altezza pari ad almeno quella dei moduli; detta cortina si svilupperà, con continuità, lungo tutto il perimetro esterno di impianto. Questa mitigazione, anche da un punto di vista ottico, schiererà completamente l'affaccio degli stessi moduli rispetto alle vicine autovie.

4. *Pianificazione della Localizzazione dei Moduli: I moduli dovrebbero essere installati in zone dove la luce solare riflessa non interferisca con la visibilità della strada, come in aree boschive o lontano dalla carreggiata.* In questo caso l'impianto sarà realizzato in una zona pianeggiante, sebbene la carreggiata risulti leggermente rialzata rispetto al piano di campagna, la tipologia di installazione è tale da far sì che gli eventuali piani ottici di riflessione non possano in alcun modo interessare l'autovia.



	ID Documento Committente <b>Cod055_FV_00079_BGR</b>	Pagina 9 / 12
		Numero Revisione
		00

### 3 Conclusioni

#### 3.1 Conclusioni dall'analisi della fenomenologia fisica del fenomeno

Il fenomeno di abbagliamento generato dai moduli fotovoltaici rappresenta teoricamente un potenziale rischio per la sicurezza stradale, in particolare per i veicoli in transito nelle strette prossimità dell'impianto.

È fondamentale che le installazioni fotovoltaiche lungo le autostrade siano quindi progettate tenendo conto di questi aspetti per garantire la sicurezza del traffico e la tutela dei conducenti.


Nel caso in esame si è dimostrato nei precedenti capitoli come i fenomeni di abbagliamento siano solo teoricamente possibili nei primi minuti della giornata e in quelli vicini al crepuscolo serale.

Le strutture ad inseguimento adottate prevengono tuttavia l'abbagliamento in virtù del fatto che di fatto impediscono la riflessione alle quote interessate dalla presenza di eventuali "bersagli" terrestri (i.e. autoveicoli e/o persone). Infatti, questa tecnologia prevede che il modulo fotovoltaico, nelle diverse ore del giorno, venga movimentato tramite attuatori in modo da trovarsi sempre perpendicolare al piano di incidenza della radiazione solare. Per questioni ottiche, ne risulta che l'eventuale radiazione riflessa, non potendo che "rimbalzare" sul modulo, verrà ritrasmessa nell'aere restando sempre restando nello stesso piano di incidenza.

Ne consegue che al fine di poter investire bersagli posti a quote vicine al piano di campagna dovrebbero verificarsi contemporaneamente due circostanze:

- i) I moduli si trovano ad angoli estremamente inclinati rispetto al piano orizzontale del mezzogiorno,
- ii) La radiazione incidente è prossima all'orizzonte.

Queste sono le due condizioni che effettivamente, potrebbero in qualche modo essere associate ad eventuali abbagliamenti. Tuttavia, tenendo conto, ai fini della presente analisi che:

	ID Documento Committente <b>Cod055_FV_00079_BGR</b>	Pagina 10 / 12
		Numero Revisione
		00

- a) nei primi minuti mattutini e negli ultimi serali, l'intensità della radiazione solare è molto modesta e difficilmente può dare origine ad abbagliamenti significativi;
- b) la rotazione dei moduli è, come ampiamente argomentato nel presente progetto, limitata a rotazioni di  $-55^{\circ}/+ 55^{\circ}$  rispetto alla configurazione orizzontale assunta al mezzogiorno, e di conseguenza non permette tecnicamente quelle posizioni verticali che in linea del tutto teorica potrebbero otticamente portare ad abbagliamento a terra in un contesto pianeggiante;
- c) è prevista tutto intorno all'impianto una fitta e continua cortina vegetale costituita da siepi e macchie arbustive, che fungono da schermo morfologico all'impianto impedendo un affaccio ottico diretto tra autovie e moduli,


ne consegue, stante la morfologia del territorio, che i fenomeni di abbagliamento non sono possibili nel caso in esame.

### 3.2 La modellazione del fenomeno mediante il Software ForgeSolar

Per approfondire e confermare le osservazioni precedenti, è stata condotta un'analisi utilizzando il software ForgeSolar, il quale ha riconfermato quanto emerso nei primi accertamenti. ForgeSolar, basato sulla tecnologia SGHAT (Solar Glare Hazard Analysis Tool) in licenza dai Sandia National Laboratories, si è rivelato uno strumento efficace per studiare il fenomeno dell'abbagliamento solare.

L'analisi è stata eseguita su tre aree distinte dell'impianto fotovoltaico, denominate "Centro", "Nord" e "Sud". In tutte queste zone è impiegato un sistema di tracking monoassiale che consente un angolo massimo di tracciamento di  $55^{\circ}$ . In particolare, l'orientamento dell'asse di tracciamento è di  $198^{\circ}$  per l'area "Centro" e di  $201^{\circ}$  per quella "Sud". I pannelli, realizzati in vetro liscio e dotati di un rivestimento antiriflesso, contribuiscono significativamente a ridurre il rischio di riflessione e, di conseguenza, di abbagliamento.

Un'attenzione particolare è stata riservata al recettore "A21", che rappresenta l'autostrada interessata dall'analisi. I calcoli, effettuati con un intervallo temporale di un minuto e basati sui parametri predefiniti relativi alle caratteristiche dell'abbagliamento e della visione umana, hanno evidenziato che non si prevedono fenomeni di abbagliamento per i veicoli in transito.


	ID Documento Committente <b>Cod055_FV_00079_BGR</b>	Pagina 11 / 12
		Numero Revisione
		00

Le configurazioni analizzate si organizzano in due categorie principali: le configurazioni di sito e i recettori. Le prime raggruppano i gruppi di array fotovoltaici con un'unica orientazione e inclinazione, mentre i recettori possono essere rappresentati da percorsi (Route), punti di osservazione (Observation Point, OP) o traiettorie di volo (Flight Path, FP). ForgeSolar ha tenuto conto di vari parametri fondamentali, come l'angolo di incidenza della luce solare, le proprietà riflettenti dei moduli e la posizione dei recettori. Il rivestimento antiriflesso dei moduli, unito alla loro capacità di assorbire la maggior parte della radiazione solare, riduce notevolmente la quantità di luce riflessa. Inoltre, il fatto che la radiazione riflessa mantenga lo stesso piano della radiazione incidente, insieme al sistema di tracking monoassiale, contribuisce a minimizzare ulteriormente il rischio che la luce colpisca direttamente la carreggiata stradale.

L'analisi ha inoltre considerato le condizioni atmosferiche e orarie, pur evidenziando che il rischio di abbagliamento è già stato eliminato. Sebbene barriere naturali o artificiali possano offrire ulteriore protezione schermando la luce riflessa, nell'analisi sono state trascurate eventuali barriere perimetrali costituite da vegetazione o teli recintanti, per garantire una valutazione prudente della situazione.

I risultati sono stati presentati attraverso tabelle e grafici che illustrano in dettaglio i tempi, la durata e le posizioni in cui, eventualmente, si potrebbe verificare l'abbagliamento per ciascun recettore. Va ricordato che la precisione di tali risultati può essere influenzata da alcune limitazioni, quali la rappresentazione semplificata della geometria del sistema e la mancata inclusione di ostacoli come alberi o edifici. Inoltre, a causa dell'uso di numeri casuali nei calcoli, si può verificare una leggera variazione dei risultati tra diverse esecuzioni.

In sintesi, l'analisi condotta con ForgeSolar conferma che, grazie al sistema di tracking monoassiale, all'utilizzo di pannelli con rivestimento antiriflesso e alla presenza di una cortina vegetale, non si prevede alcun fenomeno di abbagliamento per i veicoli che transitano sull'autostrada A21.

	<p>ID Documento Committente</p> <p><b>Cod055_FV_00079_BGR</b></p>	<p>Pagina 12 / 12</p>
		<p>Numero Revisione</p>
		<p>00</p>