

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
ELABORAZIONI I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. con socio unico - Via Giua s.n.c. – Z.I. CACIP, 09122 Cagliari (CA) Tel./Fax +39.070.658297 Web www.iatprogetti.it		PAGINA 1 di 21

IMPIANTO AGRIVOLTAICO “GR GUSPINI”

- COMUNE DI GUSPINI (SU) -



OGGETTO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO
---	---

PROGETTAZIONE I.A.T. CONSULENZA E PROGETTI S.R.L. ING. GIUSEPPE FRONGIA	Gruppo di lavoro: Ing. Giuseppe Frongia (coordinatore e responsabile) Ing. Marianna Barbarino Ing. Enrica Batzella Dott. Pian. Terr. Andrea Cappai Ing. Paolo Desogus Dott.ssa Pian. Terr. Veronica Fais Ing. Gianluca Melis Ing. Andrea Onnis Dott.ssa Pian. Terr. Eleonora Re Ing. Elisa Roych Ing. Marco Utzeri Agr. Dott. Nat. Federico Corona Ing. Antonio Dedoni Dott. Geol. Mauro Pompei Agr. Dott. Nat. Fabio Schirru Dott. Nat. Maurizio Medda Dott. Matteo Tatti
--	--

Cod. pratica 2022/0349

Nome File: GREN-FVG-RA12_Inquinamento luminoso e ottico GF.docx

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEG.	CONTR.	APPR.
0	Aprile 2024	Integrazioni documentali	IAT	GF	GRR7

Disegni, calcoli, specifiche e tutte le altre informazioni contenute nel presente documento sono di proprietà della I.A.T. Consulenza e progetti s.r.l. Al ricevimento di questo documento la stessa diffida pertanto di riprodurlo, in tutto o in parte, e di rivelarne il contenuto in assenza di esplicita autorizzazione.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 1 di 21

INDICE

1	PREMESSA GENERALE	2
2	INQUADRAMENTO METODOLOGICO	3
3	ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO.....	5
3.1	Inquinamento luminoso	7
3.2	Inquinamento ottico	9
4	CONCLUSIONI	19

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 2 di 21

1 PREMESSA GENERALE

La Greenergy Rinnovabili 7 S.r.l., avente sede in Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI), intende realizzare un impianto agrivoltaico con moduli fotovoltaici installati su inseguitori solari monoassiali ubicato in Comune di Guspini (Provincia del Sud Sardegna), denominato "GR Guspini".

La centrale solare in progetto avrà una potenza complessiva AC di 80,02 MW, data dalla somma delle potenze nominali dei singoli inverter (potenza nominale lato DC pari a 89,277 MW_P), e sarà costituita da n. 2768 inseguitori monoassiali (n. 309 tracker da 2x14 moduli FV e n. 2459 tracker da 2x28 moduli FV); l'impianto sarà altresì integrato con un sistema di accumulo elettrochimico da 27,5 MW/110,08 MWh.

Quanto segue è redatto al fine di riscontrare la seguente richiesta di integrazioni documentali formulata nell'ambito del procedimento di VIA dalla Commissione Tecnica PNRR-PNIEC, con nota prot. U0014441 del 27/12/2023 (p.to 1.1.a):

"Inserire una sezione in cui riportare l'inquinamento ottico secondo le specifiche richiamate al punto 3.2.2.4.2 delle LINEE GUIDA - SNPA 28/2020".

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 3 di 21

2 INQUADRAMENTO METODOLOGICO

Il tema che si affronterà nel seguito attiene all'aspetto ambientale, ad oggi ancora scarsamente esplorato, dell'inquinamento luminoso, inteso come conseguenza di un'elevata illuminazione diretta o riflessa da manufatti prodotti dall'uomo nella bassa atmosfera.

Questo complesso fenomeno è definibile sia come "*l'uso inappropriato o eccessivo della luce artificiale*" ma anche come la riflessione di raggi solari portata da elementi antropici.

Si possono definire vari effetti legati all'inquinamento luminoso²:

- Sconfinamento della luce: quando la luce raggiunge elementi che non necessitano di essere illuminati (*light spillover*);
- Sovrailluminazione: l'uso eccessivo di luce, rispetto a quanto richiesto per un'attività specifica
- Abbagliamento: risposta degli organi visivi ad un'esposizione diretta a luce artificiale o naturale con livelli di luminanza superiori a quelli cui l'occhio può adattarsi;
- Bagliore del cielo: il bagliore percepibile nei cieli notturni in corrispondenza di aree urbanizzate illuminate (*skyglow*) dovuto a fenomeni di irraggiamento diffuso della luce artificiale che si propaga verso l'alto da parte di particelle di polvere, gas e gocce d'acqua presenti nell'aria

I principali effetti possono sinteticamente ricondursi quindi a due grandi tipologie: di tipo "generalizzato" e di tipo "prossimale". Il primo è causato dall'immissione in atmosfera di luce artificiale e dalla sua successiva diffusione da parte delle molecole e delle particelle di aerosol, che si comportano come sorgenti secondarie di luce; il secondo, invece, è dovuto all'illuminamento diretto, non richiesto e collaterale, di superfici, oggetti e soggetti inutilmente illuminati.

La valutazione dell'impatto di tipo "generalizzato" è alquanto complessa: occorrerebbe infatti determinare in prima istanza l'emissione massima accettabile, quella per cui la somma degli effetti di tutte le sorgenti attive produca un'alterazione trascurabile dell'ambiente naturale. Data la natura fisica del fenomeno, la propagazione della luce artificiale in atmosfera può determinare effetti che si manifestino anche a centinaia di chilometri dalla sorgente; tale valutazione risulta molto complessa e affetta da errori non trascurabili.

L'effetto "prossimale", invece, è originato dal flusso luminoso indesiderato che arriva sulla superficie

² Komal et alii, 2022. Studying light pollution as an emerging environmental concern. Journal of Urban Management 11 (2022) 392–405

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. <i>Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)</i>	 OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 4 di 21

o sul soggetto coinvolto. I parametri più importanti che definiscono il disturbo sono in generale l'illuminamento orizzontale o verticale, ossia il flusso luminoso per unità di superficie su piani orizzontali o verticali, o, in particolare, quelli legati al soggetto stesso, come l'abbagliamento debilitante o molesto. Le aree più colpite da questo tipo di impatto sono quelle situate in prossimità degli elementi antropici che producono o riflettono la luce.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 5 di 21

3 ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO

In accordo alle Linee Guida SNPA 28/2020 si può affermare che la radiazione luminosa comporti sia problemi di inquinamento luminoso che di inquinamento ottico, definibili sinteticamente come:

- inquinamento luminoso: ogni alterazione dei livelli di illuminazione naturale e in particolare ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperde al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata ed in particolare oltre il piano dell'orizzonte (o verso la volta celeste)
- inquinamento ottico: ogni forma di irradiazione artificiale diretta su superfici e/o cose cui non è funzionalmente dedicata o per le quali non è richiesta alcuna illuminazione

Con il termine inquinamento luminoso ci si riferisce soprattutto all'immissione in ambiente di luce artificiale, ed in particolare la dispersione nel cielo notturno di luce prodotta da sorgenti artificiali o riflessa da elementi antropici. L'inquinamento luminoso è prodotto sia dall'immissione diretta di flusso luminoso verso l'alto, sia dalla diffusione di flusso luminoso riflesso da superfici e oggetti illuminati con intensità superiori a quanto necessario ad assicurare la funzionalità e la sicurezza di quanto illuminato.

Il termine inquinamento ottico, invece, attiene, più che alla tipologia delle fonti, soprattutto alla direzione di propagazione delle onde luminose e al "bersaglio" finale di queste.

Infatti, se nel primo caso l'attenzione è incentrata sulla luce artificiale che si propaga, nelle direzioni zenitali, al di sopra del piano dell'orizzonte, nel secondo ci si focalizza al di sotto di tale piano ideale, in uno spazio ove sono dislocati i ricettori, secondo un approccio che potrebbe definirsi di analisi "azimutale" (superfici e/o cose giacenti sul piano di campagna illuminate non intenzionalmente e comunque raggiunte da luce artificialmente prodotta o riflessa).

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 6 di 21

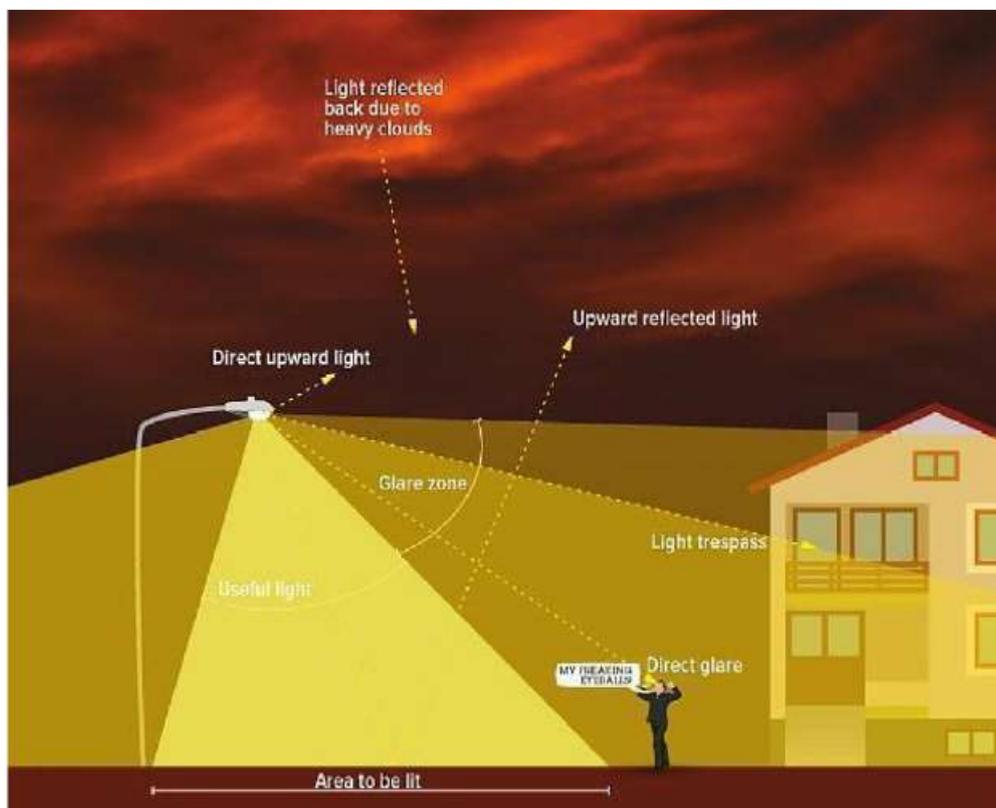


Figura 3.1 – Componenti dell'inquinamento luminoso (Fonte: Anezka Gocova, "The Night Issue", Alternatives Journal 39:5, 2013. Accessed on May 24, 2020)

Nel presente documento saranno considerati afferenti al caso dell'inquinamento luminoso i fenomeni di immissione di luce artificiale verso il cielo notturno, con effetti di incremento dell'albedo locale e di bagliore del cielo; saranno invece annoverati nella fattispecie dell'inquinamento ottico tutti gli altri casi in cui venga immessa in ambiente luce artificiale, prodotta o riflessa, verso ricettori in cui sia ragionevole immaginare la presenza umana.

Nel caso specifico del proposto impianto agrivoltaico si riconoscono quindi due fattori capaci di produrre effetti identificabili con quelli sopra riportati: il primo attiene al fenomeno dell'inquinamento luminoso originabile dal sistema di illuminazione notturna previsto lungo il perimetro dell'impianto; il secondo, inquadrabile nella fattispecie dell'inquinamento ottico, attiene principalmente ai fenomeni di riflessione dei raggi solari incidenti sugli inseguitori solari.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 7 di 21

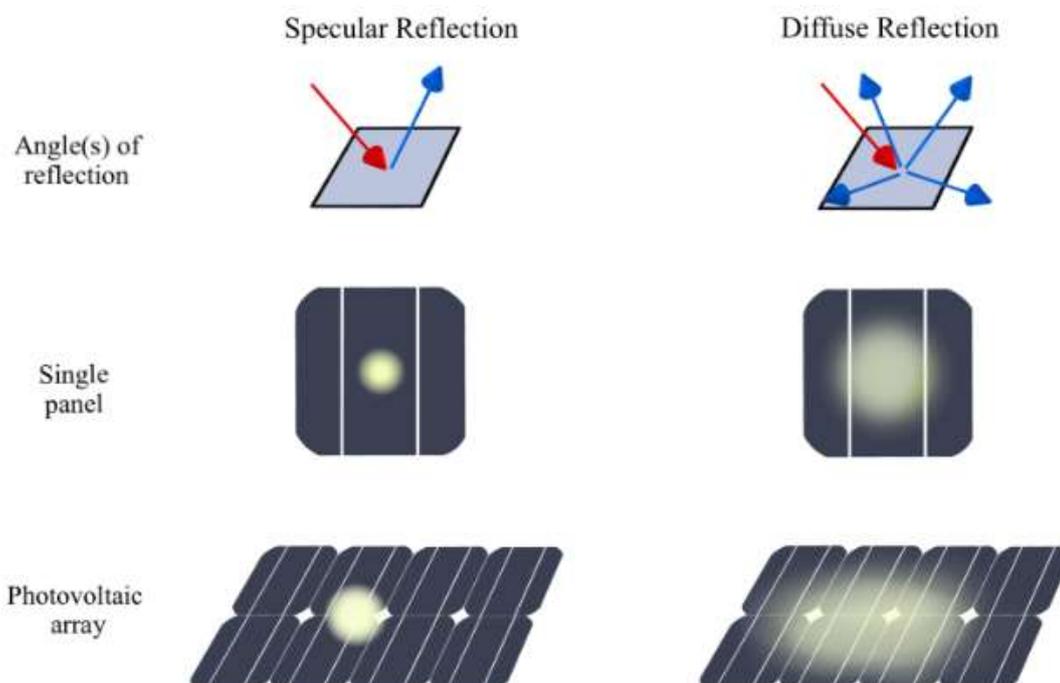


Figura 3.2 - Differente comportamento dei moduli FV in risposta alla luce incidente

3.1 Inquinamento luminoso

Ragionando secondo le categorie interpretative testé definite, stante che l'insieme degli inseguitori solari costituenti l'impianto in esame è capace soltanto di riflettere o diffondere la luce solare, esplicando potenzialmente effetti di inquinamento ottico esclusivamente in ore diurne, il fenomeno dell'inquinamento luminoso può ricondursi agli effetti del sistema di illuminazione di servizio all'impianto in progetto.

Per gran parte del globo è disponibile già da alcuni anni un Atlante Mondiale che illustra la luminosità artificiale del cielo nelle ore notturne (*Artificial Sky Brightness* - Falchi et al.) classificando la volta celeste con un sistema di colori che rappresenta il rapporto tra la lucentezza artificiale del cielo e quella naturale. Ragionando in termini di brillantezza notturna del cielo zenitale³, tale indicatore identifica il rapporto tra la brillantezza artificiale e naturale del cielo nelle ore notturne e mostra come

³ VIIRS/DMSP Earth Observation Group, NOAA National Geophysical Data Center, <https://www.lightpollutionmap.info>

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 8 di 21

il sito di progetto risulta classificato come “area di transizione tra ambito rurale e ambito suburbano”. Utilizzando la Bortle Dark Sky Scale⁴, che è articolata in 9 classi (classe 1 - cielo notturno indisturbato e classe 9 – aree urbane compatte) si deduce quindi che la qualità del contesto visivo notturno nell’area di progetto risente, sebbene in minima parte dell’influenza dei centri abitati più prossimi (Figura 3.3).

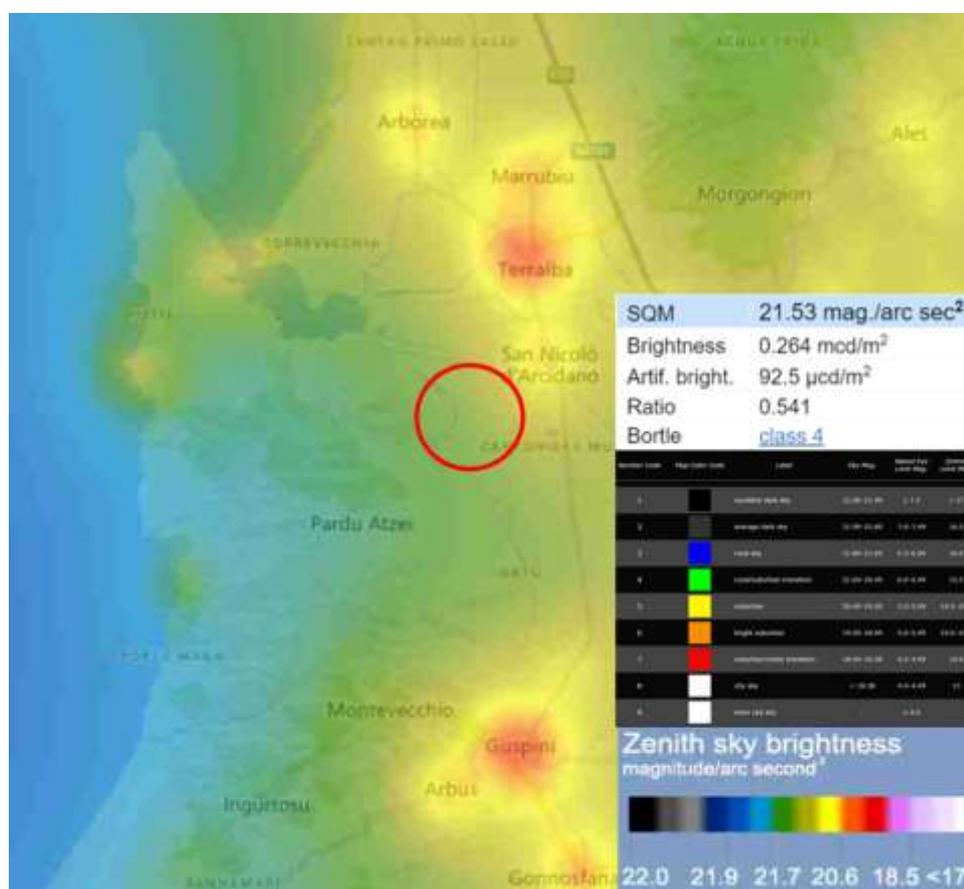


Figura 3.3 – Inquadramento dell’area di progetto (cerchio rosso) nell’Atlante mondiale dell’Inquinamento Luminoso, pubblicato sul numero del 10 giugno 2016 di Science Advances, contiene la luminosità artificiale calcolata in mcd/cm² (ARTIFICIAL_BRIGHTNESS).

Gli effetti dell’immissione di luce verso il cielo durante le ore notturne sono riferibili in modo esclusivo

⁴ La Bortle Dark Sky Scale è stata sviluppata da John Bortle "sulla base di quasi 50 anni di esperienza di osservazione" per descrivere la quantità di inquinamento luminoso in un cielo notturno. È stata pubblicata per la prima volta in un articolo di Sky & Telescope del 2001 ed è utilizzata come riferimento per definire la visibilità degli elementi celesti in rapporto alla presenza di fonti luminose di disturbo.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 9 di 21	

agli effetti del sistema di illuminazione, che, per minimizzare tali effetti sarà progettato secondo le specifiche ex art. 7 - Requisiti tecnici e modalità d'impiego degli impianti di illuminazione della DGR 5 novembre 2008, n. 60/23 "Linee Guida per la riduzione dell'inquinamento luminoso e relativo consumo energetico" che definisce i requisiti minimi per il rispetto dei criteri di riduzione dell'inquinamento luminoso e di risparmio energetico. Sarà inoltre realizzato con apparecchi dotati fotocellula con rilevatori di movimento per l'accensione automatica in caso di transito di persone non addette ai lavori o fauna selvatica, e di apposita schermatura verso l'alto per evitare la propagazione della luce verso il cielo notturno, stante la necessità di utilizzare tale impianto esclusivamente nelle ore notturne.

L'impianto sarà ordinariamente spento e si accenderà in caso di attivazione delle fotocellule (quindi verosimilmente in porzioni circoscritte dell'area di progetto) o, all'occorrenza, in caso di manutenzione correttiva per eventuali guasti o malfunzionamenti (la manutenzione ordinaria e straordinaria programmata sarà condotta infatti condotta esclusivamente in orario diurno).

3.2 Inquinamento ottico

Come precedentemente definito, e in accordo alle LINEE GUIDA - SNPA 28/2020, con il termine inquinamento ottico si intende in questa sede, l'indebita immissione in ambiente di luce artificiale (prodotta o riflessa) connessa alla realizzazione dell'intervento in progetto verso potenziali ricettori. Nel caso specifico, dato che, per le ragioni anzidette, non sono ravvisabili effetti di inquinamento ottico originabili dall'impianto di illuminazione notturno, si analizzerà il fenomeno della riflessione della luce solare dai pannelli fotovoltaici previsti in progetto.

L'efficienza di conversione di una cella fotovoltaica dipende fortemente dalla sua capacità di assorbire la radiazione solare incidente e tanto più una cella appare scura, tanto maggiore è la sua capacità di assorbire la luce. Per ridurre al minimo la riflessione sia diretta che diffusa della luce incidente sono state sviluppate diverse tecnologie capaci di ridurre la riflettanza superficiale delle celle solari al fine di minimizzare la perdita ottica per riflessione sulla superficie della cella sia in funzione della lunghezza d'onda che dell'angolo d'incidenza della luce.

Il primo fattore da tenere in considerazione nell'analisi del fenomeno è quindi la finitura superficiale dei pannelli, studiata in modo da minimizzare la riflessione (e diffusione) grazie a materiali scelti appositamente per aver un comportamento "non riflettente". Il vetro solare è infatti pensato per

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 10 di 21

ridurre la luce riflessa e permettere alla massima percentuale di radiazione solare di attraversarlo arrivando alle celle per essere convertita in energia elettrica nel modulo con il fine di massimizzare la produzione elettrica.



Figura 3.4 - Le due immagini dimostrano come, al contrario di un vetro comune, il vetro anti-riflesso (Anti-Reflecting glass) che riveste i moduli fotovoltaici riduca drasticamente la riflessione dei raggi luminosi; si noti nell'immagine di destra la porzione superiore del vetro non trattata con il sistema AR in confronto alla parte inferiore dotata di tale finitura.

In generale, per ottenere questo scopo, si agisce con due tecniche: la deposizione sulla superficie frontale della cella di film sottili di ossido di titanio di spessori tali da realizzare un particolare effetto interferenziale che minimizzi la riflessione ottica (*Anti-Reflecting glass*) e il trattamento della morfologia della superficie stessa (texturizzazione) che consiste nella formazione di microstrutture sulla superficie del silicio, tali da ridurre la riflessione incrementando le probabilità della luce riflessa di essere rinviata alla superficie del *wafer* di silicio invece che lontano dal modulo FV. La luce viene riflessa verso il basso almeno due volte (*double bounce effect*) aumentando la probabilità di assorbimento (Figura 3.6).

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 11 di 21

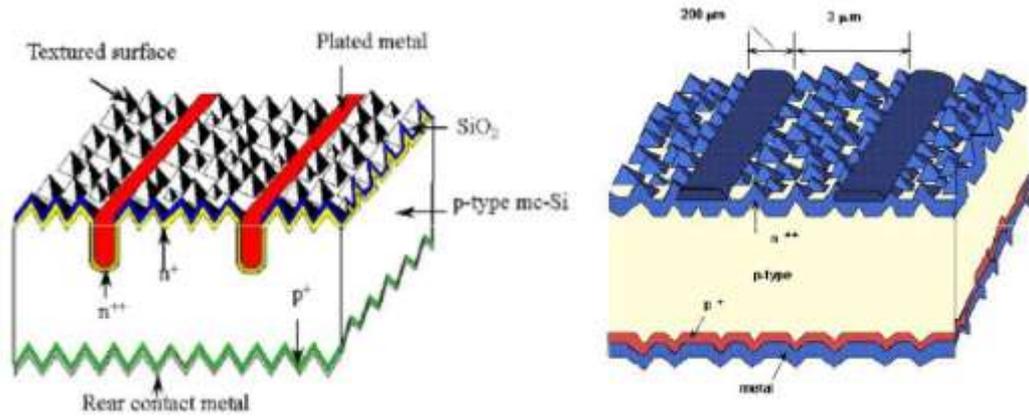


Figura 3.5 - Testurizzazione sulle celle fotovoltaiche

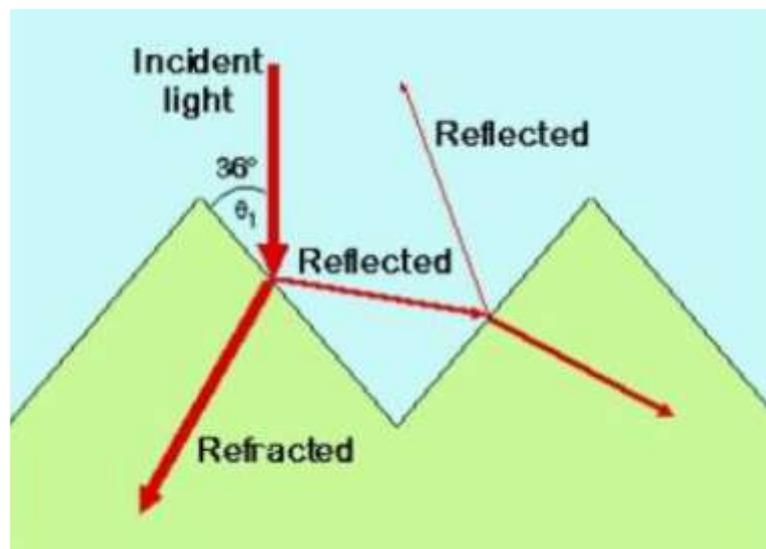


Figura 3.6 - Percorso della luce su celle testurizzate

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 12 di 21

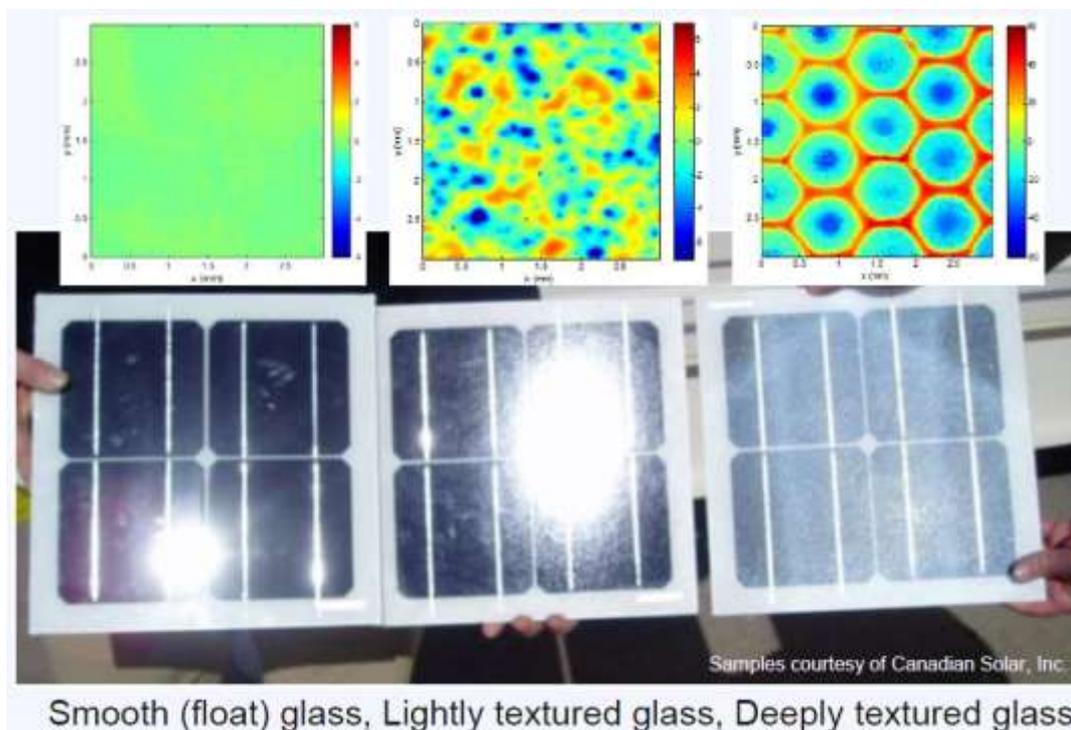


Figura 3.7 - Esempi di differenti comportamenti ottici in funzione della texturizzazione delle superfici (Fonte: Yellowhair, 2015)

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 13 di 21

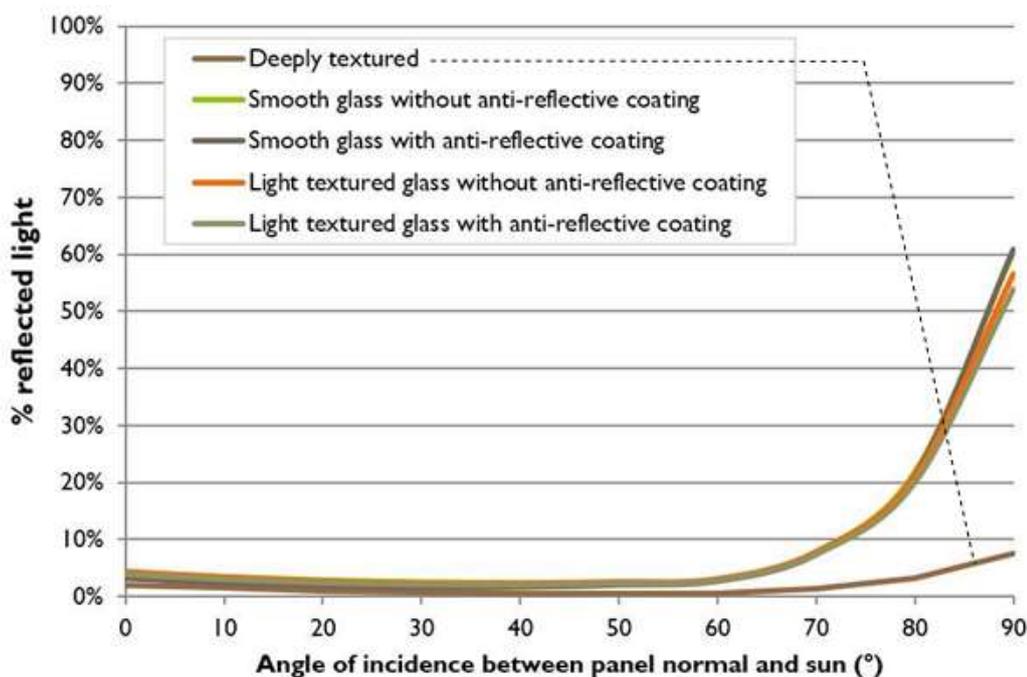


Figura 3.8 – Percentuale di luce riflessa dai più diffusi materiali utilizzati nei moduli fotovoltaici presenti in commercio in funzione dell'angolo di incidenza (Fonte: Yellowhair, 2015). Si noti la riposta dei modelli texturizzati che nella peggiore condizione (angolo di incidenza prossimo ai 90°) riflettono al massimo l'8% della luce incidente.

Per quanto esposto si può affermare che, in ragione degli accorgimenti costruttivi dei moduli stessi, rivolti al miglioramento dell'efficienza di assorbimento, l'energia luminosa riflessa dai moduli fotovoltaici sia limitata all'1-2% dell'energia incidente; tale valore risulta essere tanto più piccolo quanto più i moduli FV siano perpendicolari alla luce incidente (Figura 3.8).

I moduli fotovoltaici si orientano in automatico, attraverso sistemi motorizzati, secondo un angolo di *tilt* ottimale che minimizza l'angolo tra la normale al modulo FV e la direzione dei raggi solari incidenti. I pannelli quindi si muovono durante l'arco delle 24 ore in un ciclo che comincia la notte quando sono mantenuti in posizione verticale (-70° rispetto all'orizzontale) in modo da evitare il deposito di materiali estranei (sporcizia, neve, etc.). Alle prime luci dell'alba i pannelli si orientano ad est con una posizione di -55° rispetto all'orizzontale; al trascorrere della mattina tale angolo diminuisce sino a ridursi a 0° in prossimità delle ore centrali del giorno per poi iniziare la "discesa" verso ovest sino al raggiungimento al tramonto della posizione simmetrica rispetto a quella di partenza (quindi -55° rispetto all'orizzontale con orientamento ad ovest) per poi essere riportati nella posizione notturna.

Si coglie intuitivamente quindi come i fenomeni di riflessione siano ulteriormente ridotti e sarebbero comunque transitori, ciclici e di breve persistenza stagionale, in quanto legati alla variabilità del

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 14 di 21

percorso solare, ma soprattutto limitati all'alba e al tramonto, nonché fortemente influenzati dalle condizioni meteorologiche.

Infatti, per definire l'entità del potenziale fenomeno di inquinamento ottico, oltre alla riduzione della radiazione riflessa operata dalla particolare finitura superficiale dei moduli FV, giocano un ruolo importante anche i fattori geometrici del fenomeno di riflessione esplicitati nella Legge di Snellius-Cartésio: il raggio incidente, la normale alla superficie riflettente nel punto di incidenza ed il raggio riflesso giacciono sullo stesso piano e l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

Tralasciando il caso teorico di pura riflessione ottica (Figura 3.9 – a) e tenendo conto delle caratteristiche dei moduli si può identificare il fenomeno reale come di riflessione mista con maggiore radianza nella direzione corrispondente a quella di specularità (Figura 3.9 – c).

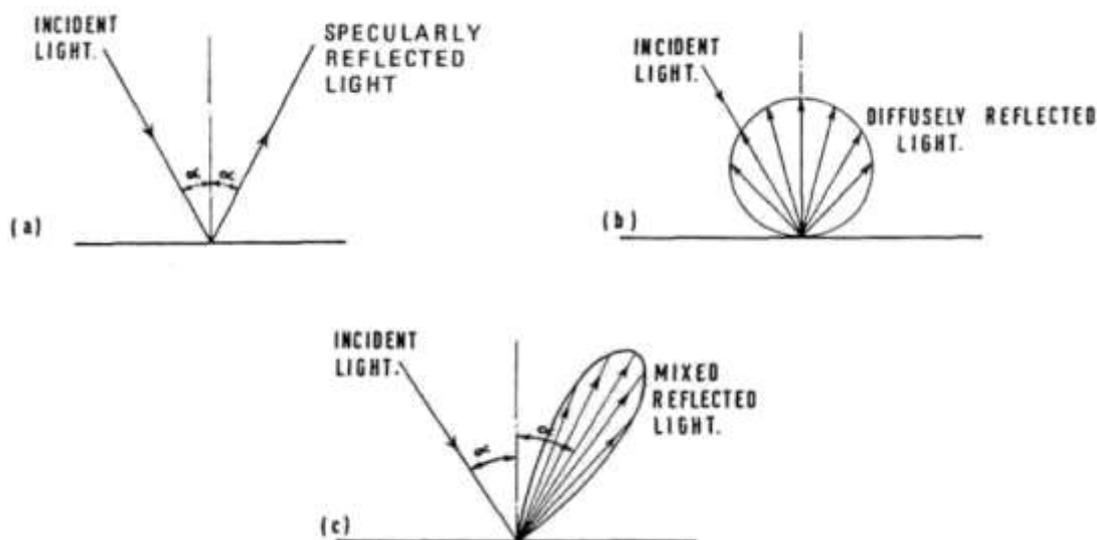


Figura 3.9 - Tipologia di fenomeni di riflessione della luce

La direzione del raggio solare, conoscendo il punto di incidenza (il modulo FV), può essere calcolata in funzione della posizione del Sole rispetto a tale punto. Questa può individuarsi (Figura 3.10) stimando altezza solare (β) e azimuth solare (Ψ) così definiti:

- altezza solare β : angolo nel piano verticale tra il sole e il piano orizzontale passante per il punto della superficie terrestre considerato

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 15 di 21

- azimut solare Ψ : angolo nel piano orizzontale tra il sud e il piano verticale passante per il punto della superficie terrestre considerato.

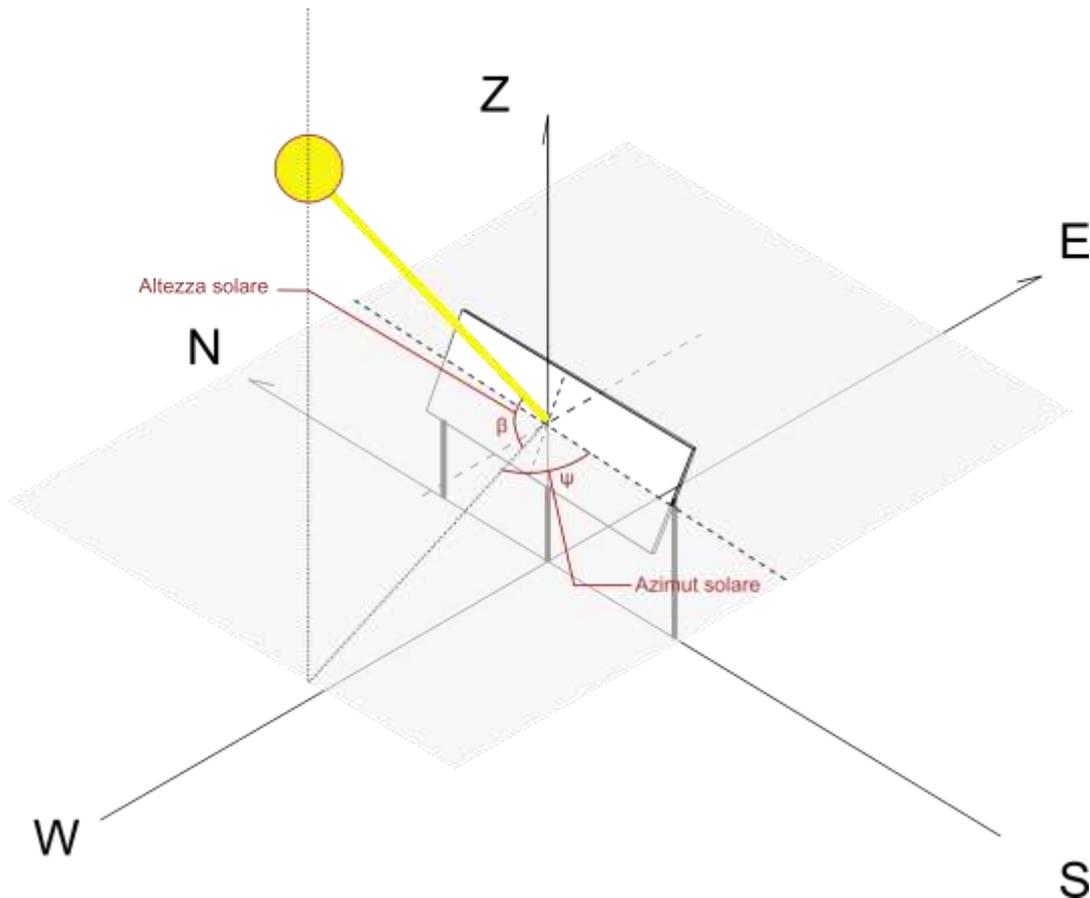


Figura 3.10 - Schema esplicativo degli angoli utilizzati per la stima della posizione del Sole dato un punto noto sulla Terra

La combinazione delle due grandezze in una data posizione geografica, viene rappresentata graficamente nel cosiddetto diagramma solare che esplica il percorso apparente del sole nella sfera celeste proiettato su una superficie piana, per le varie ore del giorno e nei diversi mesi dell'anno.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 16 di 21	



PVsyst V7.4.5

I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. (Italy)

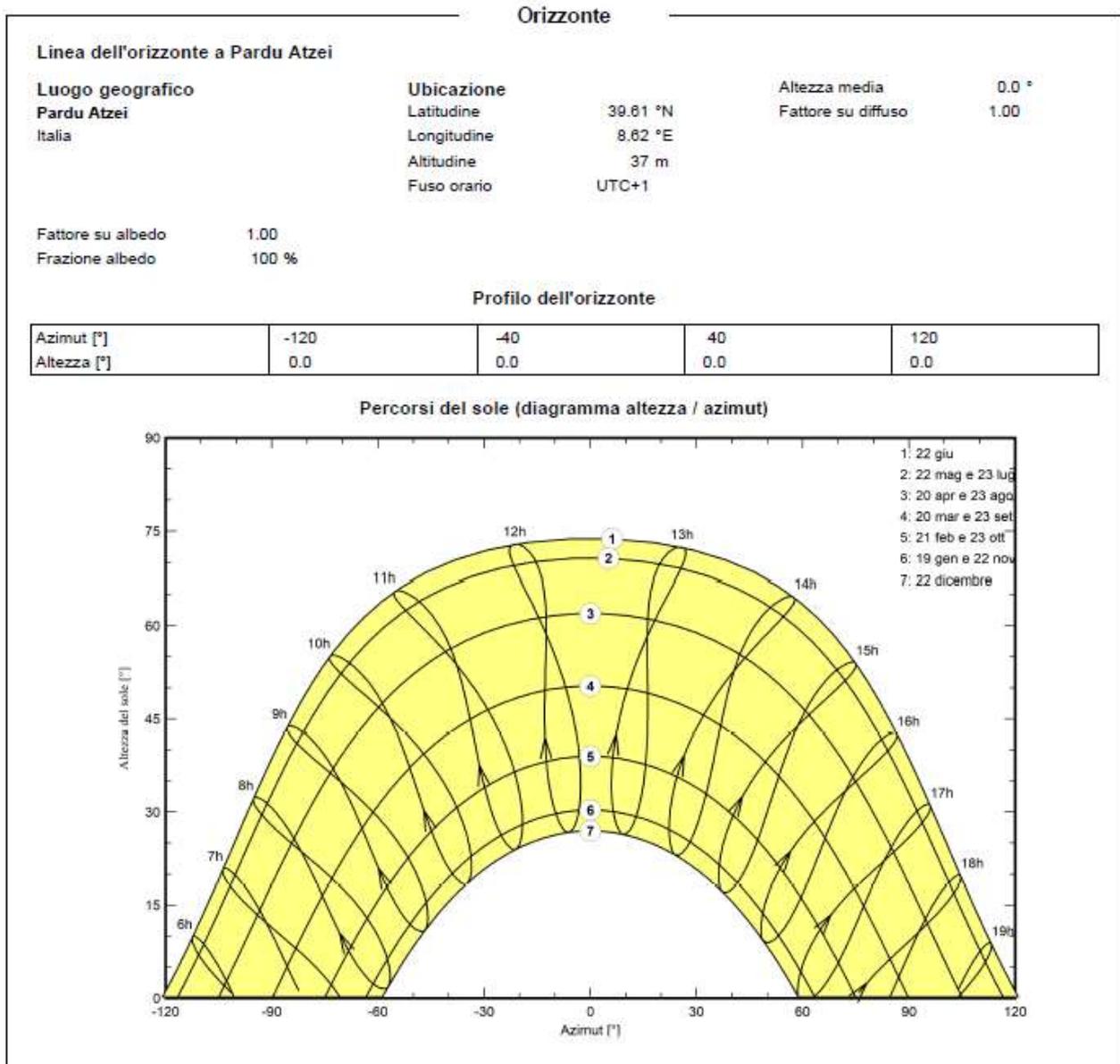


Figura 3.11 - Diagramma solare cartesiano per il sito di progetto

Tenendo conto dei valori dell'azimut solare nel sito di progetto, e notando come l'orientamento dei moduli sull'asse orizzontale rispetto al fenomeno dell'inquinamento ottico al suolo sia tanto più "sfavorevole" quanto più prossimo alla posizione verticale, può dirsi che la condizione più severa è

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 17 di 21

quella in cui i moduli si trovano nella posizione con la massima inclinazione rispetto all'orizzontale (posizione a -55°).

Questo è vero sia per la giacitura del corpo riflettente (il pannello FV) che per la risposta della superficie alla riflessione che come visto (Figura 3.8) è tanto maggiore quanto più è significativo lo scostamento tra il raggio incidente e la normale al piano riflettente.

Tale condizione si verifica solo ad inizio e fine giornata e per un breve lasso di tempo, ma è chiaramente maggiormente rilevante il caso di inizio giornata dato che dopo il tramonto i fenomeni di riflessione cessano per definizione. Ma ricordiamo che all'alba, al fine di minimizzare la differenza tra la normale alla superficie dei moduli e il raggio incidente, i pannelli si trovano nella posizione di massima inclinazione rispetto all'orizzontale (-55°), e da quel momento si innesca il meccanismo di inseguimento che, facendo ruotare i moduli, segue il movimento apparente del sole sempre per ridurre al minimo gli scostamenti della normale al modulo rispetto al raggio incidente.

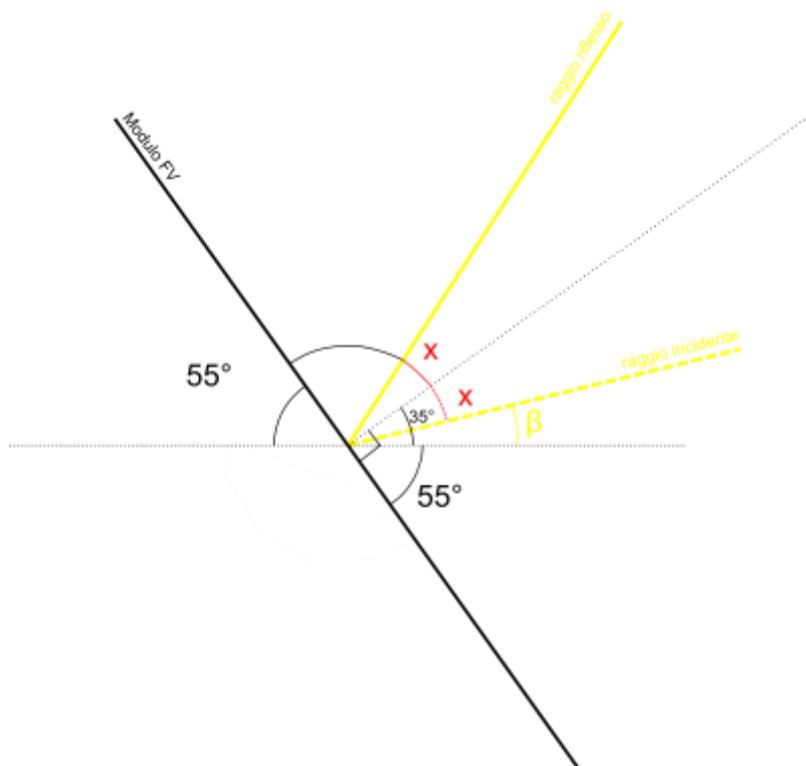


Figura 3.12 - Schema del fenomeno della riflessione ottico sui moduli FV

Secondo lo schema in Figura 3.12 si ricava l'angolo di riflessione x mediante la seguente relazione:

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 18 di 21	

$$x = 35^\circ - \beta$$

Ciò consente di affermare che, in linea generale, dato che per definizione alba e tramonto vedono il disco solare all'orizzonte, nei momenti in cui i pannelli sono alla loro massima inclinazione il raggio riflesso viaggia con una direzione di circa 35° sull'orizzontale.

Stante la presenza della barriera verde di mitigazione lungo il perimetro dell'impianto, e ricordando la variazione della posizione degli inseguitori con il passare delle ore del giorno, anche considerando i marginali fenomeni di riflessione legati alla componente diffusa del raggio incidente, che viaggiano in direzioni lievemente differenti rispetto a quella del raggio incidente, i fenomeni di inquinamento ottico legati alla riflessione dei raggi solari sui pannelli non siano capaci di interessare gli elementi giacenti sul piano di campagna se non in modo trascurabile.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)		OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 19 di 21	

4 CONCLUSIONI

L'insieme delle considerazioni svolte in accordo con le categorie interpretative richiamate nelle LINEE GUIDA - SNPA 28/2020, consentono di affermare come, sia il fenomeno dell'inquinamento luminoso del cielo notturno che quello dell'inquinamento ottico, siano di entità assolutamente trascurabile se non addirittura non presenti.

A quanto illustrato nei paragrafi precedenti, soprattutto riguardo al tema dell'inquinamento ottico, va aggiunto l'appunto di come il fenomeno sia strettamente collegato all'intervisibilità dell'impianto che, come dimostrato, interessa porzioni molto limitate delle aree di influenza (buffer dei 5km dall'impianto) coincidenti soprattutto con le aree sommitali delle morfologie collinari.

A tale proposito si richiamano gli approfondimenti condotti in risposta al punto 5.2 della nota CTVA U0014441 del 27/12/2023 che hanno condotto ad un affinamento delle analisi di visibilità, ciò consente di affermare che, al livello degli elementi sul piano di campagna, la diffusa presenza di ostacoli verticali produce importanti fenomeni di mascheramento che rendono le risultanze del modello fortemente cautelative.

COMMITTENTE GREENERGY RINNOVABILI 7 s.r.l. Via Borgonuovo, 9 – 20121 Milano (MI)	 OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "GR GUSPINI"	COD. ELABORATO GREN-FVG-RA12
 www.iatprogetti.it	TITOLO RELAZIONE DI ANALISI DEL FENOMENO DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E OTTICO	PAGINA 0 di 21