



REGIONE DEL VENETO

REGIONE VENETO



COMUNE di PAESE



PROVINCIA di TREVISO

Proponente:

GREEN FACTORY**Green Factory S.r.l.**

Via Verizzo, 1030 - 31053 Pieve di Soligo (TV) Italia - Tel +39 0438 980098 - Fax +39 0438 89096

C.F. - P.IVA - R.I. (TV-BL) 05322150268 - REA TV 435802

PEC: greenfactory@pec.ascocert.it

Soggetta all'attività di direzione e coordinamento di Ascopiave S.p.A

Oggetto:

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO UNITARIO
"area Ex S.I.M.M.E.L."
scheda norma accordo n. 23
zto Fb-e / zto Fa

Progetto per convenzione urbanistica

Progetto esecutivo per titolo edilizio

**bergamoarchitetti**

arch. MATTIA e MORENO BERGAMO

COORDINAMENTO
PROGETTO
URBANISTICO - ATTUATIVO

ing. A. RUNFOLA

- rete energia elettrica
- rete telefonica e fibra
- rete gas metano
- rete illuminazione pubblica

Studio Tecnico
CONTE & PEGORER
 Ingegneria Civile e Ambientale

ing. R. PEGORER

- rete acque meteoriche
- rete acque nere
- rete acquedotto
- rete irrigazione

Titolo documento:

RELAZIONE VINCOLO AEROPORTUALE
ART. 14 bis NTA - PAT

N.documento:

N

02.09.2024

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato

Firma:**Green Factory S.r.l.**

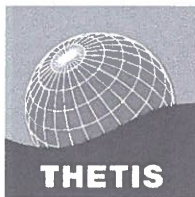
Scala

indicate

Rif.
Proposta/progetto

G8800N PUA

N. documento



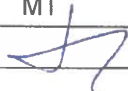
Committente: **Green Factory srl**

Oggetto: **Installazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica e idrogeno nel Comune di Paese (TV)**

Titolo doc.: **Valutazione quantitativa
dei fenomeni di abbagliamento del
progetto di installazione di un im-
pianto fotovoltaico per la produzione
di energia elettrica e idrogeno nel
Comune di Paese (TV)**

Codice doc.: 224508-REL-T001.0

Distribuzione: file 223469

rev.	data	emissione per	pagg.	redaz.	verifica	autorizz.
0	23/07/24	Informazione	32+ 2 All	GE/ER	EA	MT
1						
2						
3						

Thetis SpA
Castello 2737/f
30122 Venezia, Italia
Tel +39 041 240 6111
Fax +39 041 521 0292
www.thetis.it - info@thetis.it
pec: thetis@legalmail.it





Indice

1	Premessa.....	3
2	Quadro conoscitivo.....	4
2.1	Descrizione qualitativa e classificazione dell'abbagliamento.....	4
2.2	Approccio quantitativo all'abbagliamento.....	4
2.3	Interazioni con superfici riflettenti.....	6
2.4	Analisi geometriche.....	7
3	Presentazione del software di analisi.....	9
3.1	Inizializzazione.....	9
3.2	Collocazione della sorgente (Impianto fotovoltaico).....	9
3.3	Punti di osservazione e 2-Mile Flight Path.....	13
3.4	Risultati prodotti dall'analisi.....	14
3.5	Approssimazioni e limiti dell'algoritmo di calcolo.....	17
4	Presentazione del progetto.....	18
5	Caratteristiche della pista di atterraggio.....	22
6	Verifica dei fenomeni di abbagliamento: metodologia e risultati ottenuti.....	24
7	Conclusioni.....	30
8	Bibliografia.....	32

ALLEGATI

ALLEGATO 1. Scheda tecnica dei pannelli che verranno installati

ALLEGATO 2. Report sui risultati della simulazione quantitativa



1 Premessa

L'installazione di moduli fotovoltaici nella vicinanza di aeroporti può costituire un potenziale rischio per la sicurezza delle operazioni aeronautiche a causa delle eventuali azioni di disturbo derivanti dai fenomeni di riflessione dei raggi solari da parte di estese superfici vetrose.

La valutazione dei suddetti rischi, connessi in particolare al fenomeno dell'abbagliamento, ossia l'alterazione temporanea delle capacità visive dovute all'esposizione ad una intensa fonte luminosa, rientra nei requisiti necessari atti a definire la compatibilità di un progetto di realizzazione o rifacimento di un impianto fotovoltaico rispetto alle normative europee e nazionali in materia di sicurezza alla navigazione aerea, a cui sono soggette tutte le installazioni che apportano una modifica ai fattori ambientali nelle zone limitrofe agli spazi aeroportuali secondo quanto prescritto dal "Regolamento per la Costruzione ed Esercizio degli Aeroporti" Cap. 4 .

Nella presente relazione, viene riportata una valutazione quantitativa, eseguita tramite l'ausilio di un software dedicato ([Forge Solar](#)), del fenomeno dell'abbagliamento relativamente al progetto di installazione di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica e idrogeno nell'area "ex Simmel" sita nel Comune di Paese (TV).

La valutazione viene eseguita conformemente alle linee guida ENAC 2022/002 – APT verificando la presenza o meno di fenomeni di disturbo ottico lungo le traiettorie di avvicinamento degli aeromobili alla pista di atterraggio, in corrispondenza dei punti critici lungo i segmenti significativi identificati nelle Linee guida stesse (Decision Height: DH, Minimum Descent Height: MDH, Final Approach Fix: FAF, soglia pista) e in corrispondenza della torre di controllo, in modo da escludere possibili conseguenze sia per i piloti impegnati nelle manovre di avvicinamento e atterraggio sia per gli operatori nella torre di controllo.



2 Quadro conoscitivo

2.1 Descrizione qualitativa e classificazione dell'abbagliamento

L'abbagliamento è un fenomeno visivo transitorio causato da una zona luminosa con valori eccessivi di luminanza all'interno del campo visivo. Tale condizione, specie se prolungata nel tempo, è in genere accompagnata da una sensazione di disagio e da una riduzione delle prestazioni visive (acuità visiva, percezione del contrasto, velocità di percezione).

La sorgente ottica responsabile dell'abbagliamento può interagire direttamente con gli organi visivi (**abbagliamento diretto**) o interessare l'osservatore dopo una o più riflessioni da parte di mezzi riflettenti (**abbagliamento indiretto**).

Viene poi distinto l'effetto fisiologico dell'abbagliamento sull'individuo in:

- **Debilitante:** se vi è un peggioramento istantaneo ma reversibile delle capacità visive a causa della temporanea distruzione delle rodopsine;
- **Infastidite:** se non vi sono particolari alterazioni delle prestazioni visive; permangono tuttavia sensazione di disagio, e affaticamento che possono portare ad una riduzione dell'attenzione e della concentrazione.

In relazione al tempo di esposizione alla sorgente luminosa abbagliante, la Federal Aviation Administration (FAA) introduce i concetti di:

- **Glint (luccichio):** lampo di luce momentaneo, in genere dovuto ad una momentanea intercettazione del fascio luminoso lungo la traiettoria di moto dell'osservatore;
- **Glare (bagliore):** disturbo costante dovuto a un'esposizione continua alla sorgente luminosa, tipicamente associato ad un osservatore allineato lungo la direzione del fascio luminoso.

2.2 Approccio quantitativo all'abbagliamento

Nelle simulazioni tramite software, per valutare quantitativamente l'intensità e la gravità del fenomeno dell'abbagliamento, viene introdotto il concetto di immagine residua o *after-image*.

A seguito di un'esposizione a una sorgente luminosa intensa, è esperienza piuttosto comune sperimentare la comparsa di un'illusione ottica, nella fattispecie un'immagine virtuale della sorgente, che permane nel campo visivo anche a seguito dell'interruzione del flusso luminoso abbagliante.

Sperimentalmente, si è osservato che la potenziale comparsa dell'immagine residua dipende principalmente da due parametri:

- l'angolo sotteso dalla sorgente

$$\omega = \frac{d_s}{r}$$



dove d_s è la dimensione tipica della sorgente e r è la distanza radiale della sorgente dal piano della cornea.

- l'irraggiamento retinale E_r ricavabile una volta noto l'irraggiamento prodotto sulla superficie della cornea E_c attraverso la relazione:

$$E_r = E_c \left(\frac{d_p}{f\omega} \right)^2 \tau$$

d_p è il diametro tipico della pupilla umana (0.002 m), f è la distanza focale (0.017 m) e τ è un coefficiente di trasmissione che vale 0.5.

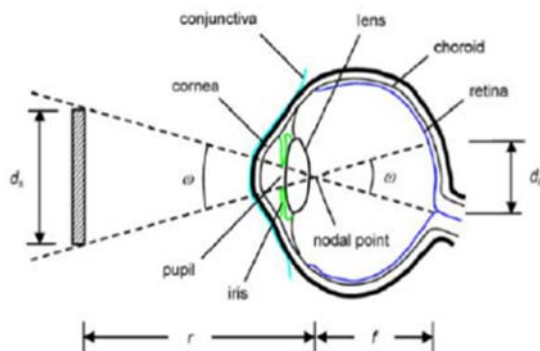


Figura 2-1 Anatomia dell'occhio umano.

La reale osservazione o meno dell'illusione ottica è inoltre correlata al tempo di esposizione al disturbo luminoso.

Confrontando i diversi dati presenti in letteratura è stato predisposto il seguente diagramma di impatto potenziale che permette di distinguere i diversi livelli di gravità del fenomeno di abbagliamento sulla base della potenziale capacità di produrre un'immagine residua.

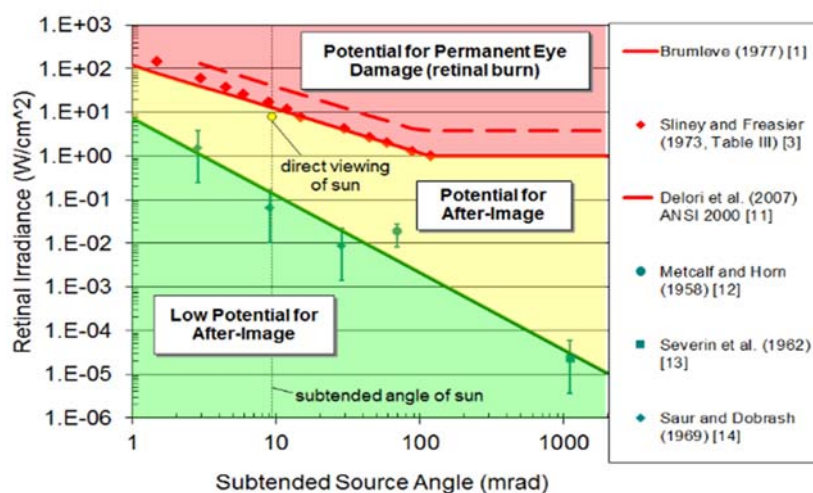


Figura 2-2 Grafico dell'impatto potenziale dell'irraggiamento in funzione dell'angolo sotteso.



In ascissa vengono riportati i valori dell'angolo sotteso ω ; in ordinata i valori dell'irraggiamento retinale E_r .

- **regione verde:** basso potenziale di osservare un'immagine residua;
- **regione gialla:** alta potenzialità di osservare un'immagine residua (e conseguente cecità temporanea);
- **regione rossa:** danni permanenti alla vista per tempi di esposizione maggiori di 0.15 s.

La simulazione tramite software permette di classificare l'abbagliamento (se presente) in corrispondenza di un punto specifico di osservazione sulla base di tali livelli di gravità, una volta noti i parametri geometrici e fotometrici del problema.

Come indicato nelle Linee Guida ENAC (ENAC, 2022/02- ATP), l'installazione è ritenuta accettabile quando i risultati della simulazione restituiscono fenomeni di potenziale abbagliamento ricadenti nella zona verde del diagramma; qualora l'esito della simulazione dovesse restituire la presenza di fenomeni in zona gialla occorrerà approfondire l'analisi e valutare attentamente i tempi di esposizione effettiva oltre all'implementazione di misure di mitigazione. Infine non sarà possibile accettare il rischio per risultati che dovessero ricadere in zona rossa.

2.3 Interazioni con superfici riflettenti

La sorgente luminosa responsabile dei fenomeni abbagliamento, come già discusso, può essere costituita da un fascio di luce deviato in direzione dell'osservatore da una superficie riflettente.

In genere la superficie di ogni materiale, compreso il silicio e i vari rivestimenti vetrosi che costituiscono i moduli fotovoltaici, possiede la proprietà di riflettere la luce sia in modo diffuso, disperdendo la potenza incidente in modo uniforme lungo tutte le direzioni, che in maniera speculare, deviando cioè parte dell'energia lungo una specifica direzione dipendente dall'angolo di incidenza del fascio di luce interagente secondo la legge della riflessione $\theta_i = \theta_r$, dove θ_i e θ_r sono rispettivamente l'angolo di incidenza e riflessione calcolati rispetto alla normale alla superficie riflettente.

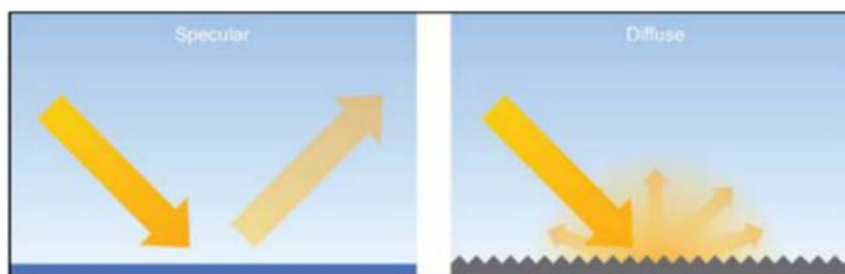


Figura 2-3 Meccanismi di riflessione.

Il fenomeno fisico più rilevante da tenere in considerazione in un'analisi di impatto visivo risulta, senza dubbio, la riflessione speculare.



La frazione di potenza radiante trasportata dal fascio di luce riflesso specularmente è data dal prodotto tra l'energia trasportata dal fascio incidente e la riflettività R del materiale; il valore di quest'ultimo parametro, compreso tra 0 e 1 (0 %, 100 %), dipende dal tipo di materiale attraverso l'indice di rifrazione e dall'angolo di incidenza della luce rispetto alla normale: in particolare, al crescere di θ_i aumenta in modo monotono anche R secondo un profilo di crescita teorico fornito dalle leggi di Fresnel.

Per un modulo fotovoltaico di ultima generazione e dotato di rivestimento anti riflesso la riflettività media non supera in genere il 4 % -5 %. A questo proposito si allega la Scheda Tecnica del modello che si prevede di installare (Allegato 1).

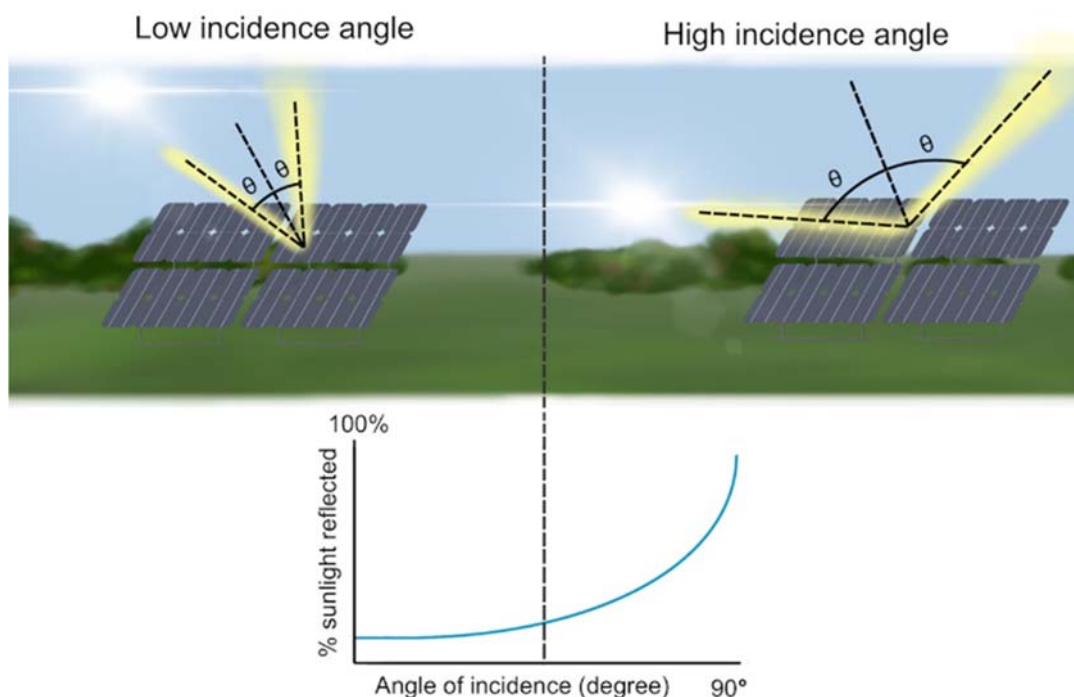


Figura 2-4 Variazione della riflettività in funzione dell'angolo di incidenza.

2.4 Analisi geometriche

La determinazione della direzione del raggio riflesso da un modulo fotovoltaico esposto alla luce solare viene effettuata applicando le leggi della riflessione al fascio di luce incidente, come discusso nel precedente paragrafo, una volta noti i parametri geometrici del problema.

I dati necessari per la risoluzione sono:

- Angolo di inclinazione della superficie riflettente rispetto alla verticale al terreno;
- Angolo azimutale (calcolato rispetto alla direzione nord) della proiezione sul terreno della normale alla superficie riflettente;
- Azimut e altezza angolare rispetto all'orizzonte dei raggi solari incidenti all'istante considerato.



Per un'analisi completa è necessario considerare la variazione della posizione del sole non solo durante l'arco della giornata ma anche durante l'anno: nell'emisfero boreale l'altezza del sole rispetto all'orizzonte valutata alla medesima ora risulta massima al solstizio d'estate e cala progressivamente fino a raggiungere un minimo al solstizio d'inverno.

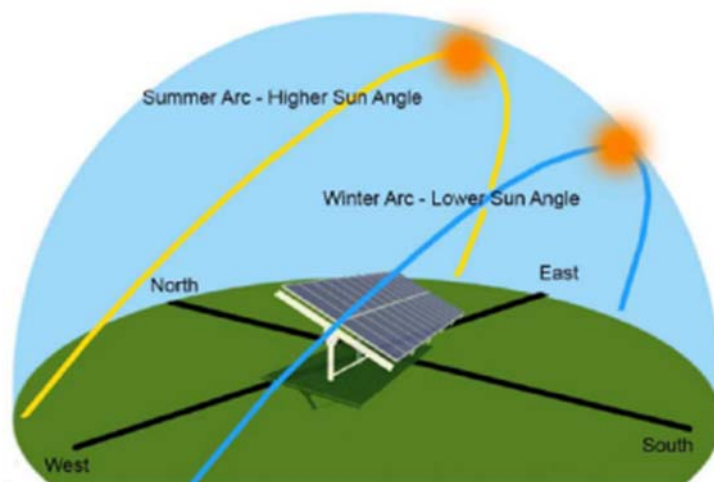


Figura 2-5 rappresentazione qualitativa Traiettorie descritte dal sole in inverno (arco blu) e in estate (arco giallo).

Tali calcoli possono risultare complessi e laboriosi se effettuati manualmente attraverso l'uso dei diagrammi solari; l'ausilio del software permette di ottenere risultati immediati beneficiando di una risoluzione temporale molto più elevata.



3 Presentazione del software di analisi

L'elaborazione dei dati per la valutazione dell'impatto visivo di una installazione di moduli fotovoltaici è stata effettuata con gli strumenti di calcolo messi a disposizione da ForgeSolar, basato sull'algoritmo SGHAT (Solar Glare Hazard Analysis Tool), conforme alle linee Guida ENAV (2022) e riconosciuto dall'autorità americana per l'aviazione (FAA).

Il presente capitolo fornisce una rapida descrizione delle funzionalità e delle limitazioni di tale strumento di calcolo. Per gli approfondimenti del caso si rimanda al sito www.forgesolar.com.

3.1 Inizializzazione

L'inizializzazione di un nuovo progetto viene eseguita specificando il fuso orario (timezone) corrispondente alla posizione geografica del sito di interesse (nel caso dell'Italia UTC +1), la potenza dell'impianto fotovoltaico e il tipo di unità di misura (metri o piedi).

Quindi, vengono impostati il passo temporale (timestep) del processo di calcolo (default: 1 minuto), il valore di picco dell'irraggiamento solare in direzione normale (Direct Normal Irradiance), il cui valore di default è 1000 W/m^2 (il software provvede a variare tale valore in relazione all'orario del giorno secondo specifici profili implementati), e infine i parametri geometrici e le proprietà ottiche dell'occhio umano, quali distanza focale (valore tipico di default: 0.017 m), diametro medio della pupilla (valore tipico di default: 0.004 m) e coefficiente di trasmissione oculare (valore tipico di default: 0.5).

3.2 Collocazione della sorgente (Impianto fotovoltaico)

Utilizzando l'editor messo a disposizione dallo strumento di calcolo, è possibile definire una superficie disegnando direttamente su una carta geografica (mappa satellitare) il poligono corrispondente all'area occupata dal sistema di moduli fotovoltaici.

All'interno di tale sorgente areale, al fine di semplificare l'algoritmo di calcolo, viene considerata una distribuzione uniforme di superfici riflettenti infinitesime orientate secondo un angolo azimutale e un'inclinazione rispetto al piano orizzontale definibili dall'utente.

Nel caso in esame la simulazione restituirà quindi un risultato conservativo in quanto i pannelli nella realtà non coprono interamente la superficie, ma risultano intervallati da spazi liberi, necessari soprattutto nel presente caso in cui si sfrutta il backtracking.

Le coordinate geografiche (longitudine, latitudine e altezza) dei vertici che definiscono il poligono occupato dalla superficie attiva possono essere eventualmente modificate per affinare la sagoma disegnata manualmente sulla mappa.

È possibile in seguito definire il tipo di materiale costituente la superficie del modulo fotovoltaico scegliendo tra queste categorie:

- Vetro liscio senza strato anti riflesso;
- Vetro liscio con strato anti riflesso;
- Vetro leggermente ruvido (light textured glass) senza strato anti riflesso;



- Vetro leggermente ruvido con strato anti riflesso;
- Vetro ruvido

Per ognuna di queste tecnologie, il software di calcolo utilizza un profilo di riflettività tipico direttamente implementato nell'interfaccia.

Nell'ambito della presente valutazione il materiale dei pannelli fotovoltaici inseriti nelle simulazioni è vetro liscio senza strato anti riflesso, in vantaggio di sicurezza.

Ulteriori opzioni, disponibili nel software, consentono di trattare installazioni più complesse con sistemi di inseguimento solare (single-axis tracking, double-axis tracking, backtracking); nel caso esaminato in questa valutazione, i moduli fotovoltaici risultano posizionati a terra, composti da strutture metalliche infisse direttamente nel terreno, sulle quali verranno installati moduli fotovoltaici. I moduli saranno ad inseguimento monoassiale, con asse Nord –Sud, per cui la loro orientazione varia in relazione alla posizione del sole nell'arco della giornata.

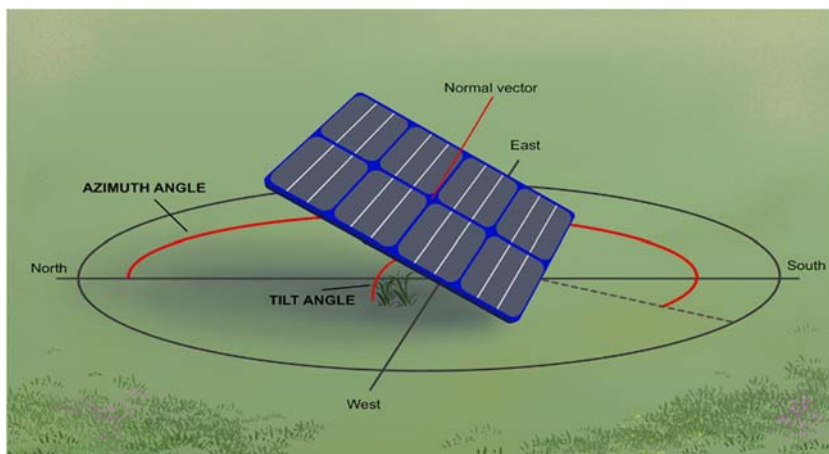


Figura 3-1 orientazione dei moduli fotovoltaici.

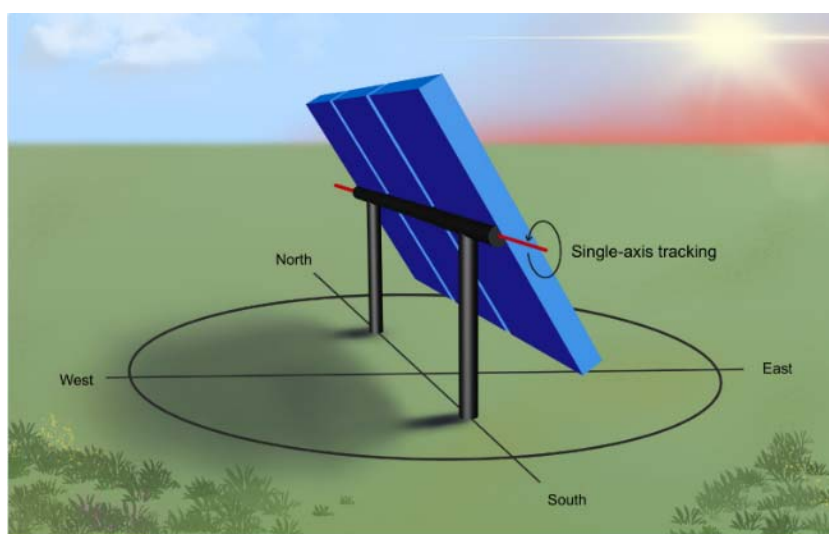


Figura 3-2 inseguimento monoassiale con asse Nord-Sud.



L'inseguimento solare solitamente non avviene mai con una rotazione completa del pannello (180°), poiché la sua normale sarebbe orizzontale ed orientata verso Est all'alba e sempre orizzontale ma orientata verso Ovest al tramonto; viene normalmente previsto un angolo massimo di inseguimento (maximum tracking angle). Per esempio, un sistema di inseguimento di con angolo massimo di 60° , permette al pannello di ruotare di 60° in entrambi i sensi orario ed antiorario, arrivando così a coprire un settore totale di 120° . L'utilizzo di un angolo massimo di inseguimento è necessario per evitare l'ombreggiamento reciproco delle varie schiere di pannelli: infatti durante l'alba o il tramonto, quando i pannelli dovrebbero essere fortemente inclinati per orientare la loro normale verso la posizione solare, proietterebbero un'ombra molto grande che andrebbe ad oscurare le schiere successive. Una volta raggiunta la massima inclinazione, l'inseguimento solare viene interrotto o mantenendo il pannello immobile, oppure invertendone il moto (backtracking). Il moto di allontanamento solare del backtracking permette di ottimizzare la resa del parco fotovoltaico riducendo l'ombreggiamento reciproco delle schiere ed è la tecnica utilizzata nel presente progetto.

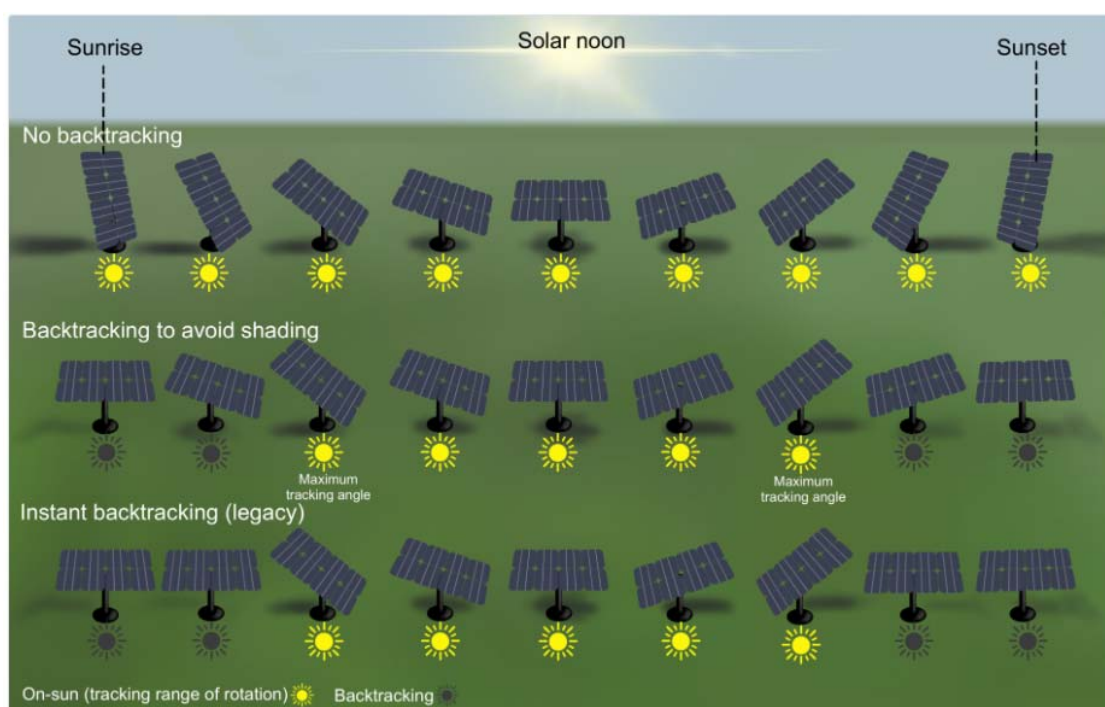
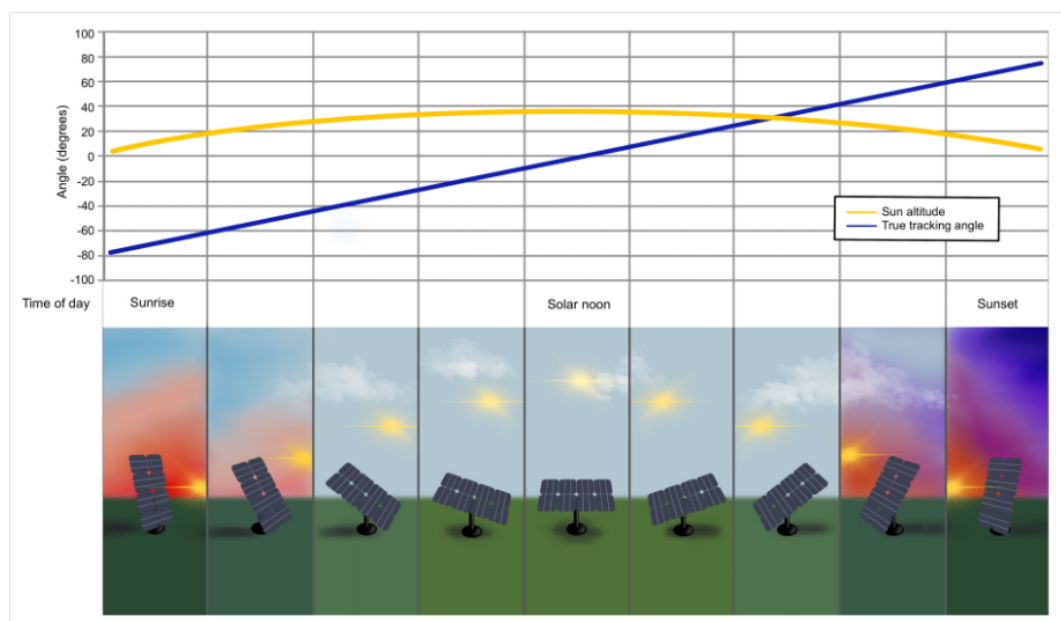


Figura 3-3 strategie di inseguimento solare implementabili in ForgeSolar.



SAT PV Without Backtracking:



SAT PV With Backtracking:

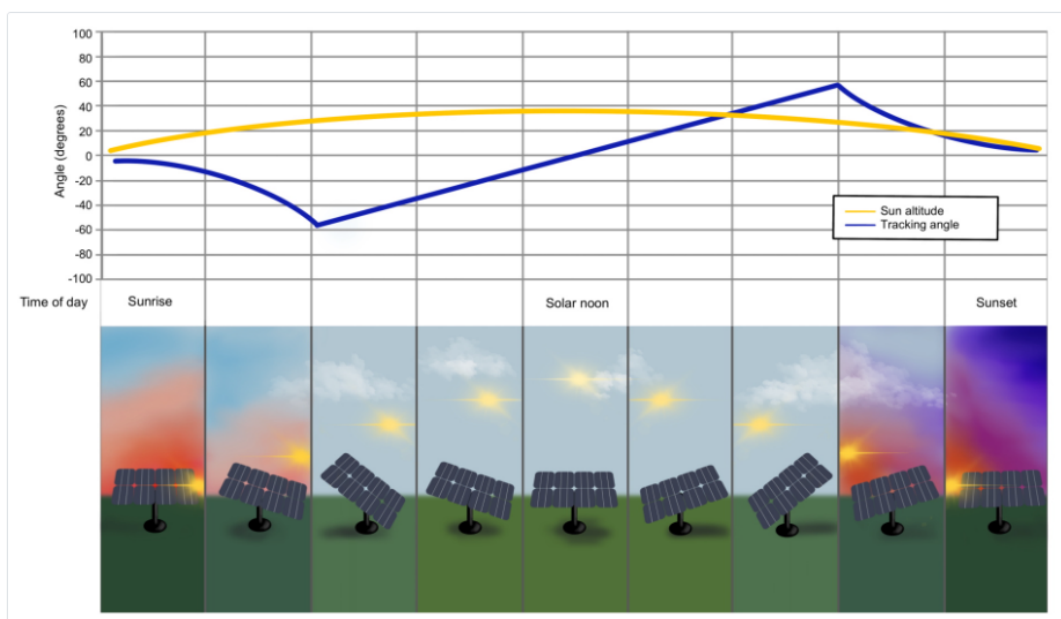


Figura 3-4 confronto tra l'inseguimento monoassiale senza backtracking (sopra) e con backtracking (sotto).



3.3 Punti di osservazione e 2-Mile Flight Path

La posizione dei punti di osservazione (Observation Points, OP), in cui verrà valutata la presenza e l'intensità del fenomeno di abbagliamento, è definita dalle coordinate geografiche (longitudine e latitudine) e dall'altezza rispetto al suolo (o eventualmente dall'altitudine assoluta). Si rimanda al cap. 2 per l'elenco completo dei punti di osservazione su cui è stata fatta la presente valutazione quantitativa.

La sezione "2-Mile Flight Path" permette invece di valutare la presenza di fenomeni di disturbo lungo la traiettoria di avvicinamento degli aeromobili alla pista di atterraggio per una distanza di 2 miglia dal punto di soglia pista. Nel caso specifico sono stati simulati 4 diverse traiettorie di atterraggio:

- FP1 corrispondente alla rotta di avvicinamento RWY07 (approccio strumentale ILS) utilizzata per l'aeroporto Treviso Sant'Angelo nella quasi totalità dei casi;
- FP2 corrispondente a eventuali atterraggi da testa pista RWY25 (eventualità che si verifica per condizioni meteorologiche particolari o in caso di emergenza);

I parametri di input necessari a definire la traiettoria di avvicinamento sono elencati sotto e sono stati ricavati dalle cartografie disponibili per ciascun aeroporto nel sito di ENAV, aggiornate al 16 maggio 2024 (www.enav.it):

- Coordinate del punto di soglia pista;
- Angolo azimutale della proiezione della traiettoria sul piano orizzontale;
- Inclinazione verticale della traiettoria (**Glide Slope**);
- Altezza all'attraversamento della pista (**Threshold Crossing Height, TCH**).



Figura 3-5 rappresentazione 3D della traiettoria di avvicinamento analizzata nella sezione "2-Mile Flight Path".



È possibile, inoltre, limitare il campo visivo dell'osservatore definendo gli angoli di visuale verticale e orizzontale. Nelle valutazioni presentate in questo report viene considerato di default un semi-angolo di vista orizzontale di 50° e un semi-angolo di vista verticale di 30° (campo visivo tipico in cui risultano rilevanti i fenomeni di abbagliamento in cabina di pilotaggio secondo le ricerche condotte dalla Federal Aviation Administration).

3.4 Risultati prodotti dall'analisi

I parametri geometrici e la posizione geografica degli elementi riflettenti vengono utilizzati dal software per rilevare, presso i punti di osservazione definiti dall'utente, la presenza o meno di abbagliamento.

L'entità dell'impatto visivo associato al bagliore, valutata istante per istante secondo il passo temporale impostato (1 minuto tipicamente), viene classificata in base alla potenziale capacità di creare un'immagine residua (cfr. par. 2.2). Viene dunque distinto un abbagliamento di livello "verde", con basso potenziale di indurre un'immagine residua e un abbagliamento "giallo", con alto potenziale di immagine residua e possibile cecità temporanea.

I risultati dell'analisi numerica vengono raccolti in un report finale.

In assenza di abbagliamento (glare), quando cioè nessun raggio luminoso riflesso intercetta lo specifico punto di osservazione o traiettoria definita sulla mappa durante l'intero anno, viene tabulato in output, per ciascun punto di interesse, il valore di 0 minuti riferito rispettivamente alla durata complessiva annuale del fenomeno di abbagliamento.

Nel caso ci sia abbagliamento, oltre all'indicazione della durata totale annuale dell'episodio di glare, vengono fornite le seguenti informazioni aggiuntive:

- Tabella della durata temporale complessiva mensile, espressa in minuti, del fenomeno di glare classificato secondo la scala di colori sopra descritta (vedasi esempio in Figura 3-6a);
- Istogramma della durata giornaliera del bagliore valutata per l'intero anno (Figura 3-6 b);
- Plot dell'intervallo di ore in cui è osservabile il fenomeno di abbagliamento per ciascun giorno dell'anno (Figura 3-6.c);
- Grafico dell'impatto visivo di ciascun evento di abbagliamento valutato ad ogni istante di tempo e rappresentato da un punto arancione; in ascissa è riportato l'angolo sotteso dallo spot luminoso del fascio riflesso (sorgente del bagliore) così come osservato nel dato punto di osservazione, in ordinata è riportato l'irraggiamento retinico prodotto dal bagliore (Figura 3-6 d);
- Impronta dell'area occupata dai moduli fotovoltaici in scala di colori in cui è possibile identificare la porzione di superficie riflettente responsabile del bagliore nel dato punto di osservazione. La scala di colori (da giallo a verde) identifica l'entità dell'abbagliamento originatosi dalla riflessione del fascio luminoso nello specifico intorno compreso all'interno della superficie riflettente (Figura 3-6.e);
- Per le traiettorie 2-miles flight path: grafico della distanza dalla soglia pista, calcolata lungo la proiezione della traiettoria sul piano del suolo, in cui viene osservato l'evento



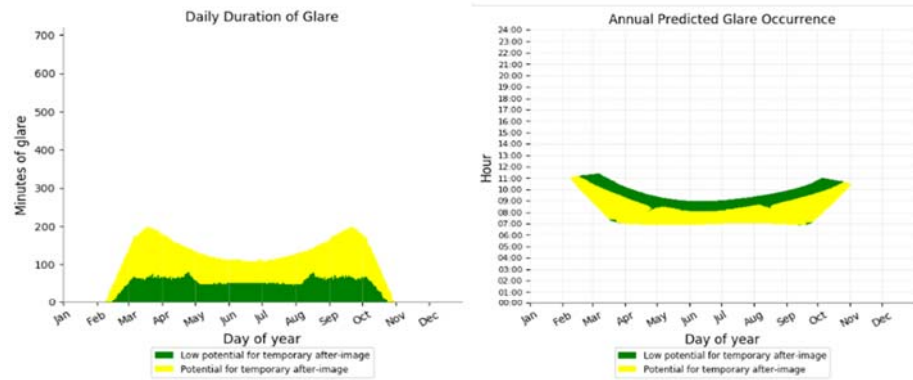
di glare, valutato istante per istante lungo l'intero arco dell'anno (Figura 3-6.f); impronta della traiettoria con evidenziata, in scala di colori, la porzione intercettata dal raggio riflesso (Figura 3-6.g).



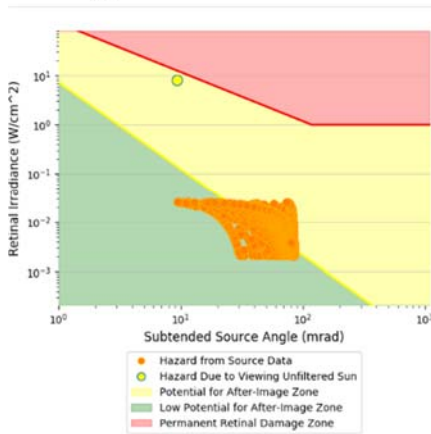
Distinct glare per month ?

PV	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
pv-under-thr (green)	0	95	503	508	389	390	387	484	495	247	0	0
pv-under-thr (yellow)	0	264	901	664	551	436	513	630	890	493	0	0

a)

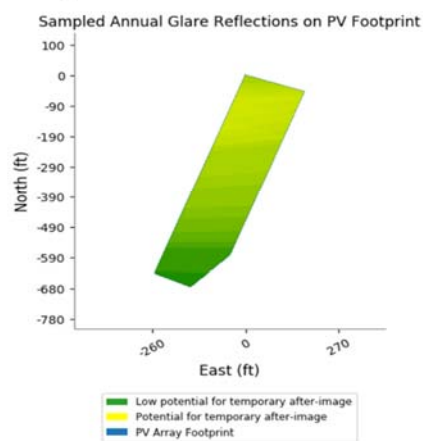


b)

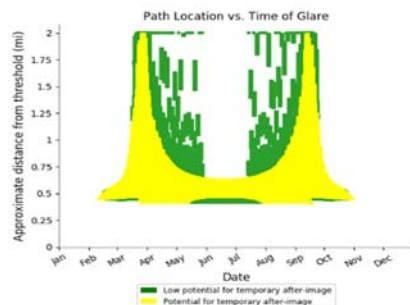


d)

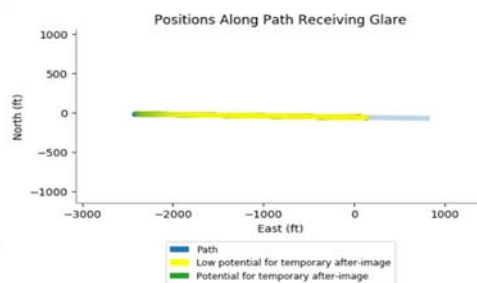
c)



e)



f)



g)

Figura 3-6 Esempio di restituzione del software in caso venga rilevato un episodio di glare (abbagliamento).



3.5 Approssimazioni e limiti dell'algoritmo di calcolo

Al fine di semplificare l'algoritmo di calcolo vengono introdotte dal software le seguenti approssimazioni (ulteriori informazioni vengono riportate sotto la sezione "Assumptions" del report di calcolo):

- La superficie riflettente definita sulla mappa dall'utente è considerata come un'area piana uniformemente ricoperta da moduli infinitesimi orientati secondo l'inclinazione imposta nelle impostazioni (setting options), eventuali dettagli strutturali e non uniformità nelle altezze e inclinazioni dei vari moduli non vengono prese in considerazione;
- In molte elaborazioni numeriche effettuate dall'algoritmo di calcolo viene considerato un unico punto di riflessione posizionato nel baricentro del poligono corrispondente alla superficie del sistema di moduli;
- Vengono trascurati eventuali ostacoli naturali o artificiali come vegetazione, colline edifici ecc. se non opportunamente inseriti nel modello. Il caso in esame non presenta comunque questa situazione;
- Il calcolo viene effettuato considerando un cielo perfettamente sgombro con valore di picco di radiazione normale diretta (Direct Normal Irradiance, DNI) impostata a 1000 W/m^2 ;
- Il posizionamento dei punti di osservazione, il tracciamento di traiettorie e la definizione di regioni di spazio attraverso l'utilizzo dell'interfaccia grafica (ForgeSolar si basa su Google Maps) introduce inevitabilmente un margine di errore sulle reali posizioni nello spazio dovuto alla precisione finita di questi strumenti;
- L'entità dei fenomeni di abbagliamento, come discusso nella sezione precedente, viene valutata sulla base della potenziale capacità di produrre un'immagine residua perdurante nel campo visivo dell'osservatore anche a seguito della cessazione della fonte di disturbo. Nonostante le diverse ricerche condotte in letteratura abbiano portato a definire quantitativamente tre livelli crescenti di gravità, indicati come "verde", "gialla" e "rossa", sulla base dei parametri geometrici e fotometrici discussi precedentemente, l'entità degli effetti psico-fisici arrecati da un evento di abbagliamento possono in ogni caso dipendere da diversi fattori ambientali, fisiologici e psicologici non controllabili e in genere diversi da individuo a individuo.



4 Presentazione del progetto

L'area oggetto di intervento è ubicata nel Comune di Paese (TV) frazione di Castagnole, lungo la S.R. n. 48 "Feltrina" ed ha una superficie complessiva di circa 50 ettari. Il nuovo impianto si trova a circa di 4,5 km rispetto all'aeroporto di Treviso (Figura 4-1).

Il progetto nasce dall'esigenza di realizzare nuove infrastrutture per l'utilizzo di combustibili alternativi, contribuendo alla decarbonizzazione dei trasporti e prevede la realizzazione di un impianto Green Factory integrato, destinato alla produzione e distribuzione di energia elettrica e idrogeno, è costituito da (Figura 4-5):

- una stazione di ricarica elettrica comprendente più colonnine per la mobilità elettrica sia pubblica che privata;
- Un impianto fotovoltaico della potenza di potenza complessiva di circa 27,73 MW, suddiviso in 5 campi fotovoltaici indipendenti tra di loro.
- Una stazione di rifornimento a base idrogeno verde, destinato alla mobilità sia pubblica che privata. In futuro è possibile la realizzazione di un impianto di produzione idrogeno tramite elettrolisi.

La tecnologia adottata in questo progetto è quella dell'inseguimento monoassiale: (monoaxial tracking): ciascuna schiera di pannelli è installata in un proprio supporto mobile che ne permette la rotazione lungo l'asse Nord-Sud (secondo quindi un angolo di azimuth di 90° dal Nord), mentre l'angolo di tilt rimane sempre 0. Ogni supporto è controllato da un microprocessore, così da poter controllare la posizione in tempo reale di ciascuna schiera: non solo viene ottimizzata l'inclinazione dei pannelli in base agli angoli solari, ma viene anche adottato un algoritmo di backtracking, che limita l'inclinazione massima dei pannelli ed impedisce l'ombreggiamento delle schiere più interne durante l'alba o il tramonto.

Tutti i settori dove è prevista l'installazione di pannelli fotovoltaici hanno la stessa orientazione e inclinazione. Infatti, è stato previsto che i pannelli solari siano rivolti verso Sud e il tilt dei moduli sia per tutti 30° (si veda la planimetria in Figura 4-5).

I moduli fotovoltaici che verranno utilizzati sono ad alta efficienza VERTEX Bifacial Dual Glass modello TSM-DEG21C.20 caratterizzati da un output di potenza massimo di 665 W per ciascun modulo ed efficienza massima dichiarata del 21,34%.

In condizioni di regime l'intero impianto fotovoltaico fornirà una produzione di energia annua di 1509 Wh/kWp.

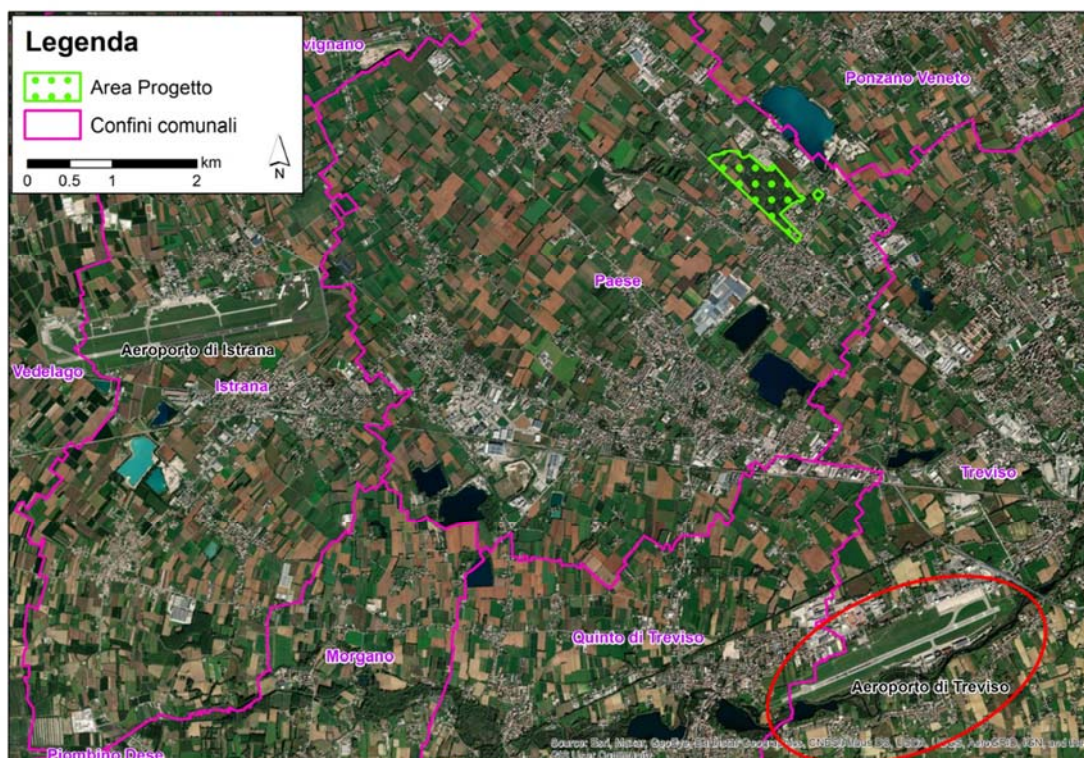


Figura 4-1 Posizione della nuova area di progetto rispetto all'aeroporto di Treviso.

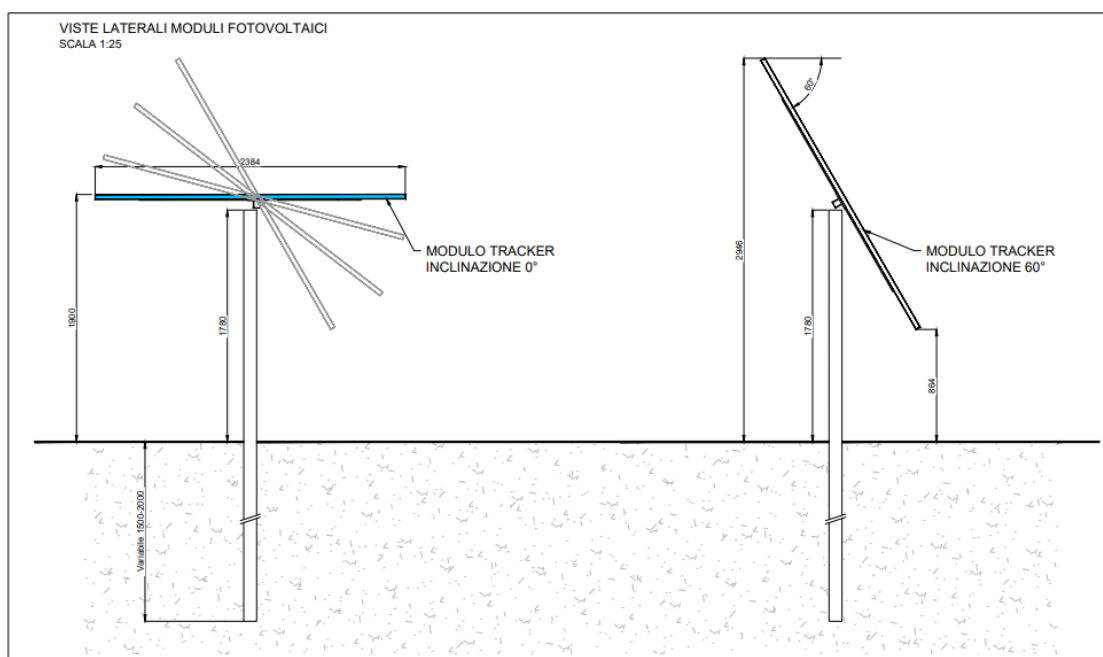


Figura 4-2 Dimensioni di installazione dei moduli fotovoltaici.

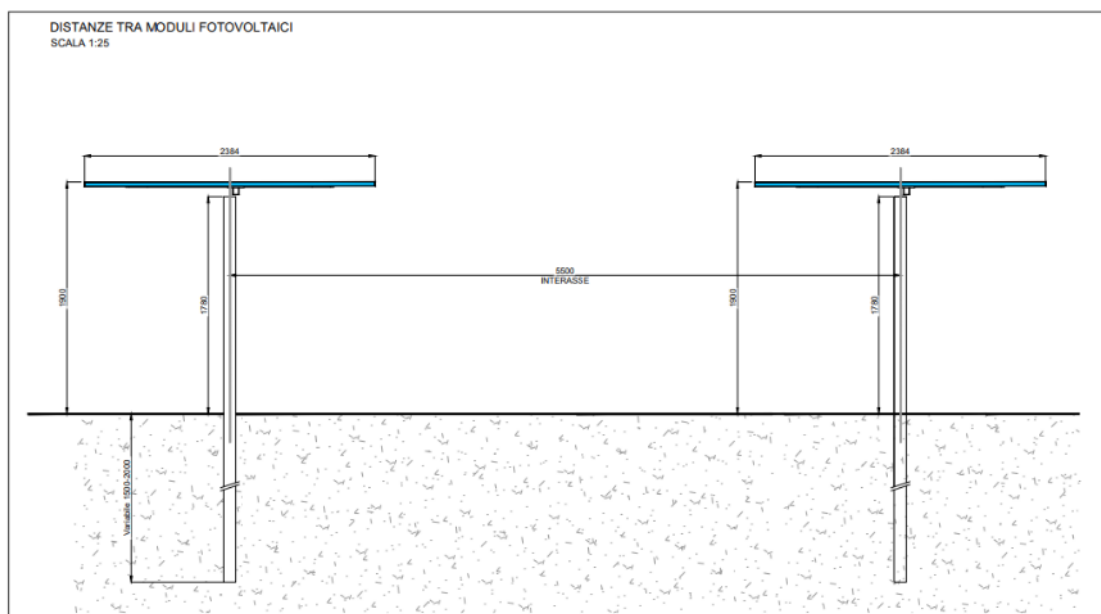


Figura 4-3 Distanze tra i moduli fotovoltaici.

MODULO DA 665 WP (SISTEMA 1500 VDC)
CALA 1:20

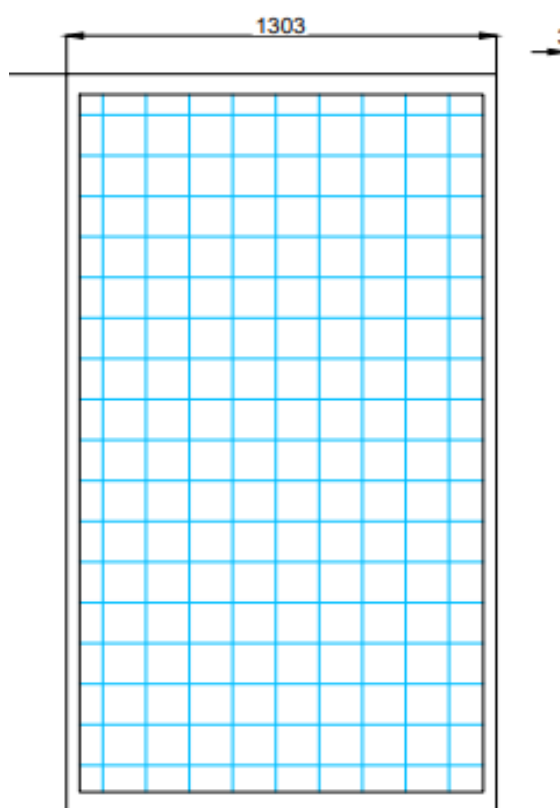


Figura 4-4 Dimensioni del singolo modulo.

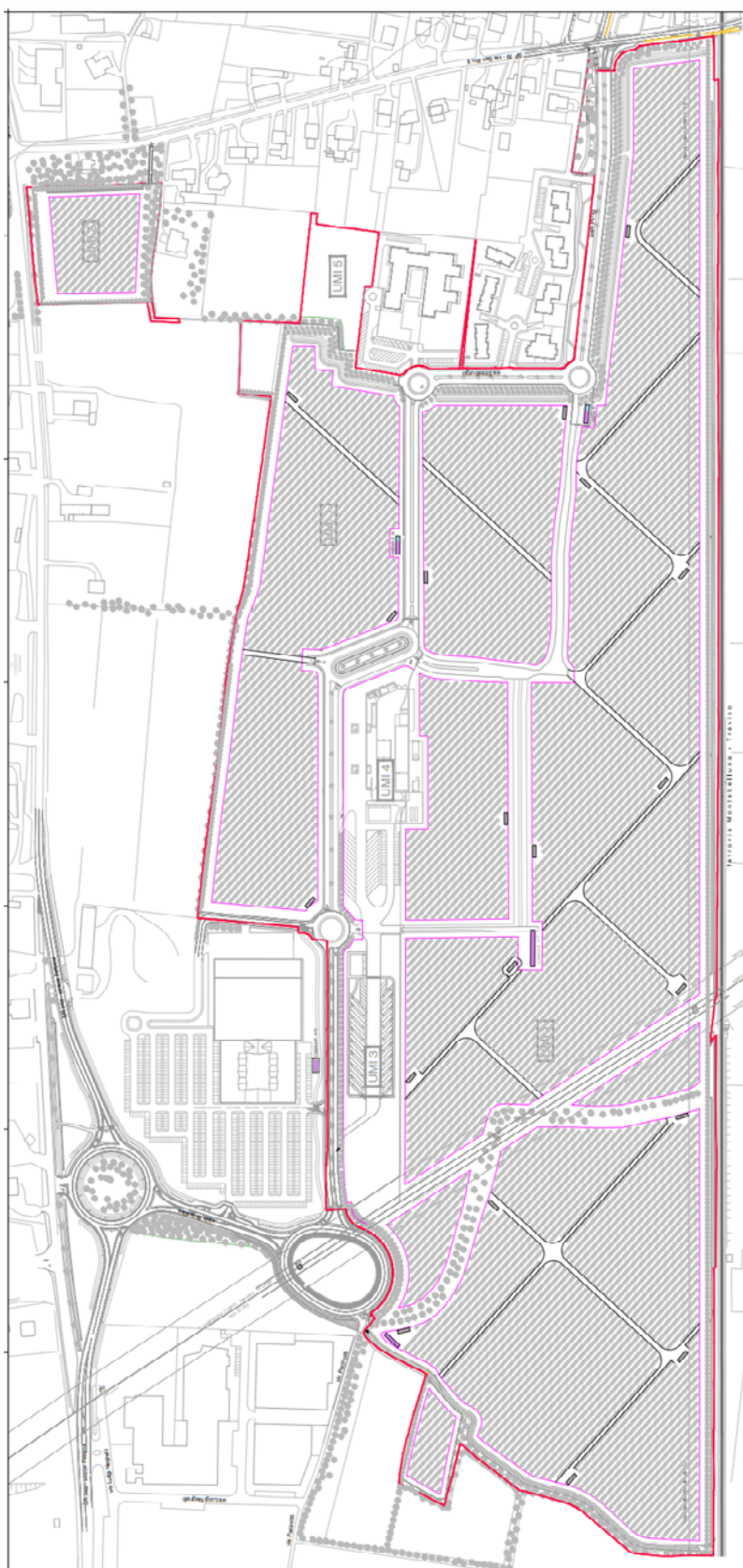


Figura 4-5 Planimetria del sito con le future installazioni.



5 Caratteristiche della pista di atterraggio

L'aeroporto di Treviso Sant'Angelo "Antonio Canova" sorge a circa 4,5 km dal sito di costruzione del nuovo impianto fotovoltaico per produzione di energia elettrica e idrogeno (Figura 4-1). La pista di atterraggio/decollo è caratterizzata da un unico sentiero di rullaggio ospitante le due runway identificate dai codici RWY07 e RWY25 ed orientate rispettivamente a 66° e 246°: Le due teste pista si trovano dunque sulle due estremità della pista.

RWY 07, a differenza di RWY 25, è dotata del sistema di atterraggio strumentale (ILS) pertanto rappresenta la pista ordinariamente utilizzata dall'aviazione civile per l'atterraggio. La pista 25 viene invece utilizzata per l'atterraggio solo in caso di condizioni metereologiche avverse o in situazioni di emergenza. La torre di controllo si posiziona nel semipiano meridionale rispetto all'asse della pista, l'altezza della cabina operatori rispetto al suolo è di circa 18 m.

Lo scalo si trova ad un'altitudine di 59 ft mentre l'altitudine della pista che funge da riferimento per le quote indicate come "height" è di 57.1 ft per la pista 07 e 52.5 ft per la pista 25.

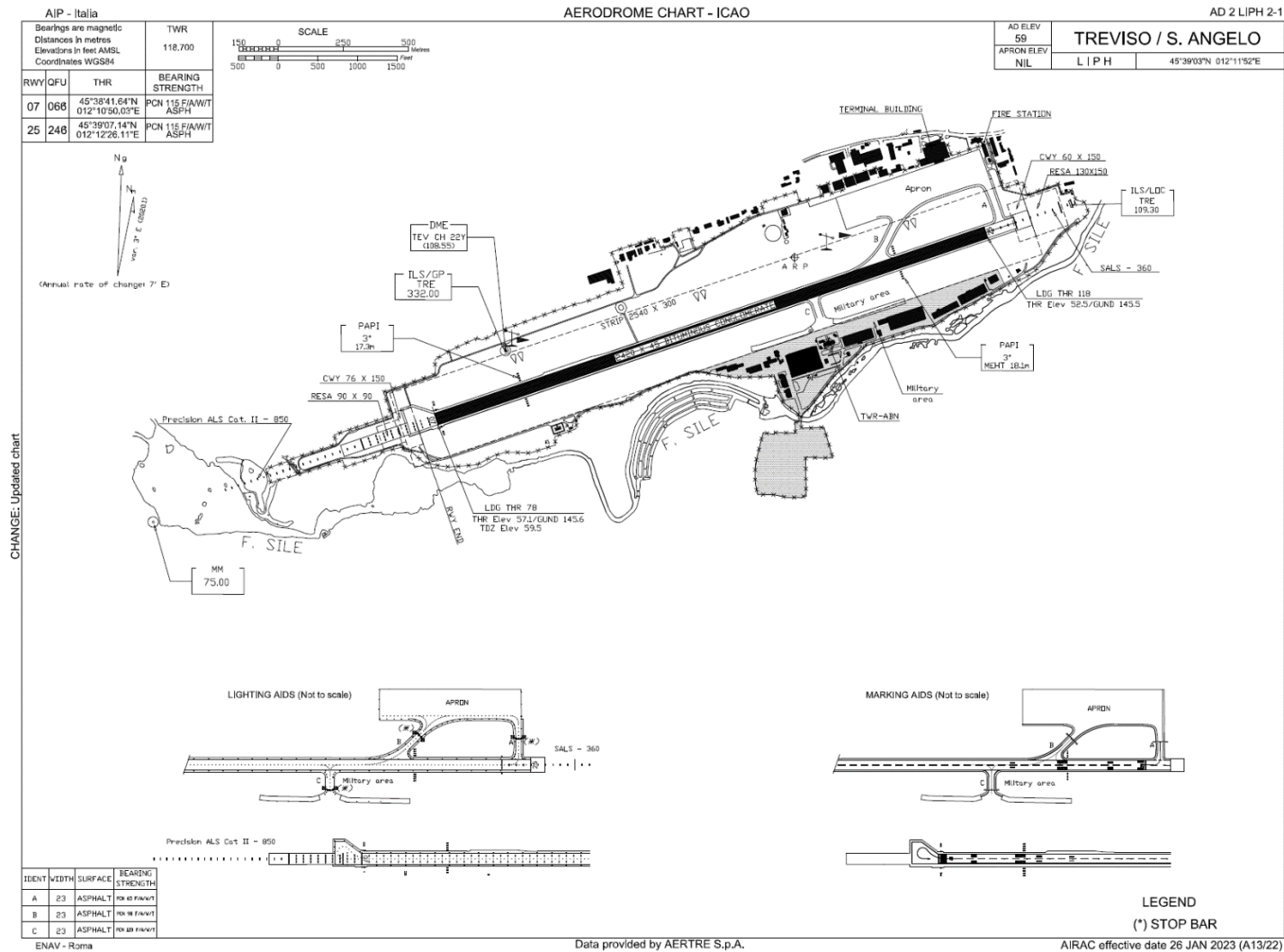
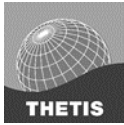


Figura 5-1 Dettagli dell'aerodromo di Treviso (AIP, AERODROME CHART).

6 Verifica dei fenomeni di abbagliamento: metodologia e risultati ottenuti

La valutazione dell'abbagliamento è stata effettuata identificando innanzitutto le superfici caratterizzate da un'univoca orientazione nello spazio, approssimando con singoli piani inclinati eventuali geometrie non uniformemente orientate.

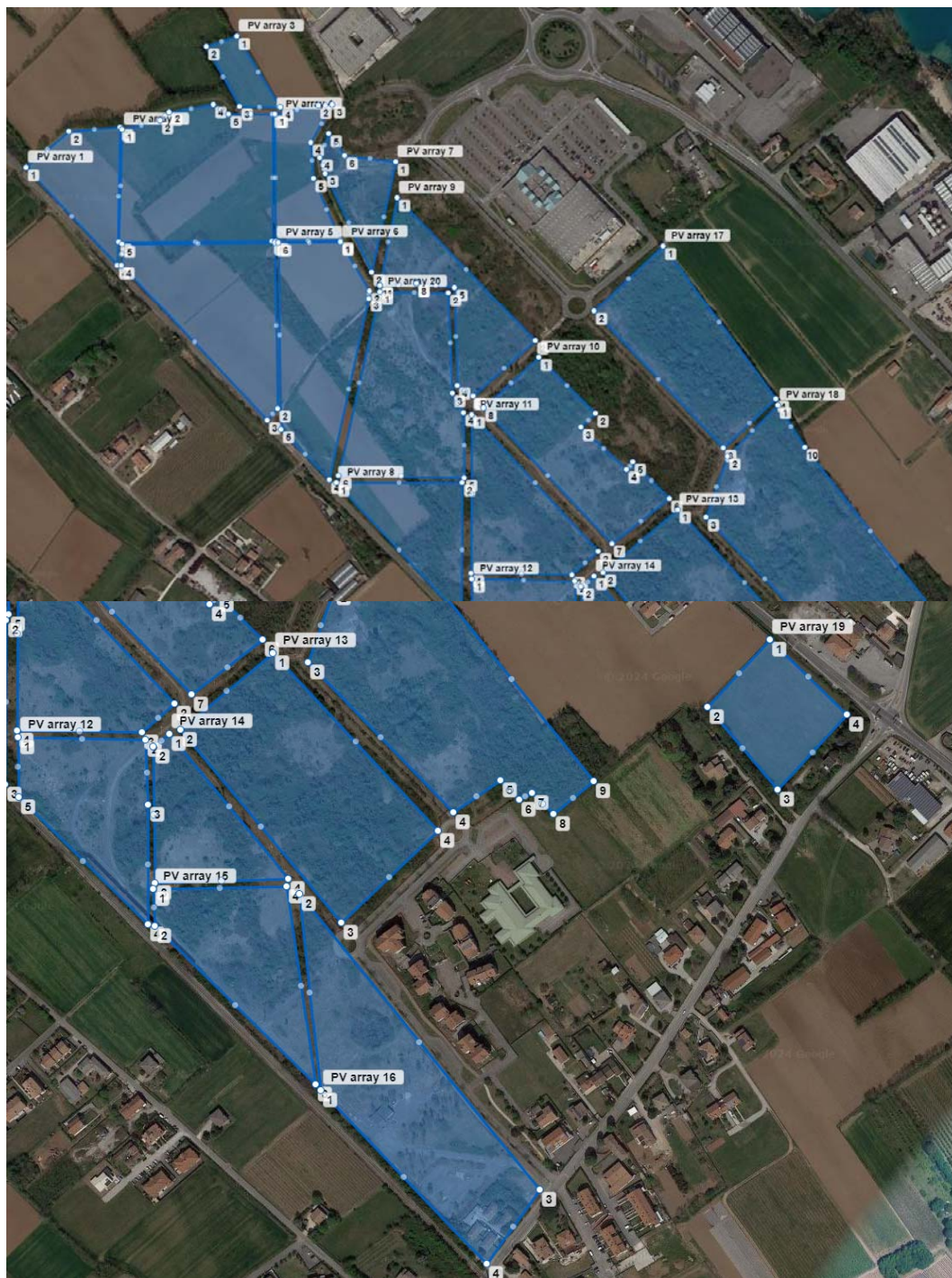


Figura 6-1 Superfici implementate nel modello con relativa etichetta identificativa.



Tutte le aree presentano pannelli a inseguimento monoassiale, con asse di rotazione Nord – Sud e angolo di tilt nullo.

Sono quindi stati definiti i punti di calcolo e le relative traiettorie (2-Mile Flight Path) degli aeromobili in avvicinamento alla pista di atterraggio; in particolare è stato valutato l’abbagliamento sui seguenti punti di osservazione (Figura 6-2 e Figura 6-3):

1. Cabina della torre di controllo
2. Punti di intersezione della traiettoria di avvicinamento alla RWY 07 (atterraggio in condizioni ordinarie) con le quote: **MDH** (Minimum Descent Height) e **DH** (Decision Height) rispettivamente nel caso di atterraggi di non precisione (**LOC** approach) e di precisione (ILS approach).
3. Missing approach point (**MAPt**) per traiettoria di avvicinamento alla RWY 07
4. Final Approach Fix (**FAF**) per la traiettoria di avvicinamento alla RWY 07
5. 2-Mile Flight path per la traiettoria di avvicinamento alla RWY 07
6. 2-Mile Flight path per la traiettoria di avvicinamento alla RWY 25

I punti DH di atterraggio strumentato sono stati calcolati per tutte le categorie di aeromobili accettate dall’aerodromo (A, B, C, D) e per il tipo di atterraggio strumentato utilizzato (ILS CAT I e ILS CAT II).

Per quanto riguarda le strategie di inseguimento, i pannelli fotovoltaici sono regolati secondo un algoritmo di backtracking. Nel software viene adottato l’algoritmo “shade”, che introduce il backtracking unicamente per evitare l’ombreggiamento delle schiere, assumendole tutte complanari. I dati di input richiesti sono la massima inclinazione ($\pm 60^\circ$), l’angolo di riposo (0°) e il rapporto tra la superficie dei pannelli e quella dell’area totale, il Ground Coverage Ratio (GCR). Quest’ultimo è definito come il rapporto tra la lunghezza dell’array fotovoltaico e il passo tra le file (L/R). Considerando la lunghezza dell’array $L=2384$ mm e il passo tra le file $R=5500$ mm, come visibile in Figura 4-3, il GCR risulta essere di 0.43.



224508-REL-T001.0

La collocazione dei punti di osservazione nello spazio e il tracciamento delle traiettorie di avvicinamento a pista sulla mappa sono stati effettuati utilizzando le informazioni fornite dall'ente nazionale di aviazione civile (ENAV). In particolare, per la definizione delle rotte di avvicinamento alle piste 07 e 25, sono state consultate le mappe AIP ENAV, da cui sono stati ricavati in modo preciso la posizione di soglia pista e l'angolo azimutale di ciascuna traiettoria. Dalle informazioni riportate sulla "Visual approach plate" (glide slope, threshold crossing height, valori delle quote: Decision Height, Minimum Descent Height ecc.) sempre fornite da ENAV, è stato successivamente possibile calcolare le coordinate dei punti critici sopra menzionati (Final Approach Fix, intersezione con MDH e DH) attraverso calcoli trigonometrici. Si fa presente che l'utilizzo di dati di lunghezza provenienti da carte aeronautiche con limitata risoluzione, specialmente sulle distanze orizzontali, pone un limite alla precisione con cui vengono ricavate le coordinate spaziali di tali punti, tuttavia, essendo il raggio riflesso caratterizzato da un certo grado di dispersione (proprietà che viene opportunamente tenuta in considerazione dal software di analisi) è ragionevole ritenere, specie nelle grandi distanze, che la porzione di spazio investita dal raggio riflesso sia abbastanza ampia da coprire eventuali imprecisioni nella corretta posizione dei punti di osservazione.

In particolare, in Tabella 6-1 si riportano i risultati per i tutti i punti di osservazione critici nella fase di atterraggio sopra descritti dove si evidenzia la presenza o meno di glare. La successiva Tabella 6-2 evidenzia invece la presenza o meno di glare durante tutto il flight path lungo 2 miglia di entrambe le piste: RWY07 e RWY25.



Dal calcolo effettuato viene rilevata la presenza di glare a basso impatto infastidente (classificato come “VERDE”) per il solo punto OP10 (FAF). Per quanto riguarda i segmenti “2-Mile Flight Path” invece, solo la traiettoria relativa alla rotta di avvicinamento alla RWY 25 (FP2) intercetta la luce riflessa dalle installazioni fotovoltaiche, anche in questo caso l’abbagliamento viene classificato come “verde”; la rotta di avvicinamento a RWY 07 (FP 1), al contrario, non è interessata da glare.

Questo risultato è stato verificato analiticamente anche da un’analisi qualitativa fatta con i diagrammi solari riferiti al punto in cui si trova l’impianto fotovoltaico. In particolare, identificati i punti notevoli della traiettoria di atterraggio, è stato verificato che la riflessione di tali punti sul pannello solare non coincide in nessun periodo dell’anno con la presenza del sole.

Tabella 6-1 Output modellistici per i punti di osservazione previsti dalle linee guida ENAC, 2022.

PUNTI DI OSSERVAZIONE (output modello)	DESCRIZIONE	POSIZIONE			GLARE:	ENTITA' GLARE
		Lat. [°]	Long. [°]	Alt. (*) [ft]		
OP1	DH - ILS CAT II - A, B	45,64369	12,17602	180	NO	-
OP2	DH - ILS CAT II - C	45,64347	12,17519	192	NO	-
OP3	DH - ILS CAT II - D	45,64321	12,17421	206	NO	-
OP4	DH - ILS CAT I - A	45,64210	12,17003	268	NO	-
OP5	DH - ILS CAT I - B	45,64188	12,16919	278	NO	-
OP6	DH - ILS CAT I - C	45,64173	12,16863	286	NO	-
OP7	DH - ILS CAT I - D	45,64153	12,16786	297	NO	-
OP8	VOR - Z	45,63758	12,15301	510	NO	-
OP9	MDH - GP INOP	45,63684	12,15022	550	NO	-
OP10	FAF	45,59128	11,97951	3000	SI	VERDE
11-ATCT	ATCT	45,64808	12,1997	118.7	NO	-

(*) le quote di altitudine sono sul livello del mare. L’aeroporto di trova ad un’altitudine di 59.7ft



Tabella 6-2 Output modellistici per le 2-Mile Flight Path lungo le due possibili traiettorie di atterraggio.

2-Mile Flight Path	RWY di riferimento	GLARE	ENTITA' GLARE
FP RWY 07	Avvicinamento dove avvengono la quasi totalità degli atterraggi	NO	-
FP RWY 25	Avvicinamento in condizioni meteorologiche particolari	SI	VERDE



7 Conclusioni

Dai risultati ottenuti si può concludere che, presso i punti di osservazione definiti lungo la traiettoria di avvicinamento alla pista RWY 07:

- DH - CAT I e DH - CAT II (per approcci strumentati);
- MDH - GP INOP (per approcci non strumentati);
- ATCT - Punto in corrispondenza della cabina della torre di controllo;
- FP RWY 07 - 2- Mile Flight Path della pista 07;

NON si verificano fenomeni di abbagliamento in tutto l'arco dell'anno. Viceversa, l'unico punto lungo la traiettoria di avvicinamento alla pista RWY 07 che presenta fenomeni di abbagliamento risulta essere il punto:

- FAF: dalla valutazione effettuata dal software, l'arco temporale in cui tali fenomeni di glare (verde) fanno la loro comparsa si posiziona in orari prevalentemente mattutini (tra le 4.00 e le 5.00) nelle giornate di fine luglio per un periodo complessivo annuale di 60 minuti.

Lungo la traiettoria relativa alla rotta di avvicinamento RWY 25 (avvicinamento in condizioni meteorologiche particolari) i punti di osservazione definiti lungo la traiettoria di avvicinamento sono:

- FP RWY 25 - 2- Mile Flight Path della pista 25

Dalla valutazione effettuata dal software, l'arco temporale in cui i fenomeni di glare (verde) fanno la loro comparsa si posizionano in orari prevalentemente serali (intorno alle ore 20.00) nelle giornate di fine maggio e inizio luglio e a metà luglio per un periodo complessivo annuale di 26 minuti.

Complessivamente quindi l'effetto prodotto dalla riflessione della luce da parte delle installazioni fotovoltaiche nei ricettori sensibili su cui è stata fatta l'analisi si inserisce, quando presente, all'interno della fascia di rischio minimo ossia con basso potenziale di percezione dell'immagine residua (si veda la sezione 2 "quadro conoscitivo" per i dettagli tecnici sul metodo di valutazione quantitativa e di classificazione implementato dal software). Tale regione di rischio, indicata con il colore verde, non è considerata potenzialmente problematica dal punto di vista del possibile effetto infastidente o debilitante che un fenomeno di abbagliamento potrebbe arrecare.

Come evidenziato nella precedente sezione e nel capitolo di presentazione delle funzionalità del software di analisi, nel caso della valutazione dell'abbagliamento lungo un 2-Mile Flight Path, viene applicata di default una limitazione del campo visivo limitando il semi angolo di vista orizzontale a 50° e il semi angolo di vista verticale a 30°: secondo, infatti, gli studi effettuati dalla Federal Aviation Administration (Rogers, 2015) fuori da questo campo visivo gli effetti infastidenti dell'abbagliamento sono mitigati.

È utile ribadire, in conclusione, che i risultati ottenuti sono altamente conservativi in quanto i pannelli considerati sono senza strato antiriflesso, mentre il progetto prevede l'installazione di pannelli con finitura antiriflesso; la bontà dei risultati ottenuti come discusso al par. 3.5 è naturalmente vincolata alle necessarie approssimazioni introdotte dal software nel modello di calcolo oltre che alla precisione con cui sono stati definiti i vari dati di input. Data la risoluzione finita delle grandezze riportate nelle carte aeronautiche e la naturale propagazione degli errori che



caratterizza i parametri ricavati tramite calcolo diretto, è inevitabile la presenza di un margine di incertezza. Va tenuta peraltro in considerazione la questione dei dettagli topografici e paesaggistici quali la presenza di ostacoli naturali e artificiali che potrebbero produrre un'azione schermante sul raggio riflesso, non considerata nel presente lavoro. La valutazione più importante e cruciale è rappresentata in ogni caso dall'entità del fenomeno di abbagliamento che, per le superfici e le distanze dalla sorgente considerate, risulta assente. Si conclude, come nota di merito all'approccio utilizzato, che l'ausilio di un software di calcolo permette sicuramente di accrescere il livello di dettaglio e quindi di validità del risultato ottenuto rispetto alla classica risoluzione manuale tramite i diagrammi solari.



8 Bibliografia

ENAC, Linee guida LG 2022/02 – APT “valutazione degli impianti fotovoltaici nei dintorni aeroportuali”

ForgeSolar Userguide <https://www.forgesolar.com/help/>

ICAO Doc 8168 Vol 1, Sezione 5 “Approach Procedures”. Cap. 1, 2, 3.

ICAO Doc 8168 Vol 1, Sezione 1 “Definitions, Abbreviations, Acronyms and Unit of Measurement”, Cap. 1.

Rogers, J. A., et al. (2015). "Evaluation of Glare as a Hazard for General Aviation Pilots on Final Approach", Federal Aviation Administration



ALLEGATI

ALLEGATO 1. Scheda tecnica dei pannelli che verranno installati

ALLEGATO 2. Report sui risultati della simulazione quantitativa



ALLEGATO 1. Scheda tecnica dei pannelli che verranno installati



ALLEGATO 2. Report sui risultati della simulazione quantitativa