

Le Linee Guida contengono elementi di dettaglio di tipo interpretativo o procedurale per facilitare l'utente nella dimostrazione di rispondenza ai requisiti normativi. Sono generalmente associate a Circolari. Dato il loro carattere non regolamentare, i contenuti delle Linee Guida (LG) non possono essere ritenuti di per se obbligatori. Quando l'utente interessato sceglie di seguire le indicazioni fornite nelle LG, ne accetta esplicitamente le implicazioni sul proprio impianto organizzativo da esse come risultante ed esprime il proprio forte impegno a mantenersi aderente ad esse ai fini della continua rispondenza al requisito normativo interessato. I destinatari sono invitati ad assicurare che le presenti Linee Guida siano portate a conoscenza di tutto il personale interessato.

# **VALUTAZIONE DEGLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI NEI DINTORNI AEROPORTUALI**

## **SVILUPPATA DA:**

**DIREZIONE SVILUPPO E APPROVAZIONE PROGETTI**

**Direttore: Ing. Marco TROMBETTI**

## **PROFESSIONISTA INCARICATO**

**Ing. Giovanni Mazza**

**Com.te Giorgio Vanno Antonelli**

**Ing. Leonardo Maria Triaca**

## **EMESSA DA:**

**DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE ECONOMICA E SVILUPPO INFRASTRUTTURE**

**Direttore: Ing. Claudio EMINENTE**

## Indice

### Riferimenti Regolamentari

#### Applicabilità

1. **PREMESSA E SCOPO**
2. **CONTESTO NORMATIVO ATTUALE**
  - 2.1. **I permessi e le autorizzazioni**
3. **PRINCIPALI TECNOLOGIE DI PRODUZIONE DA ENERGIA SOLARE**
  - 3.1. **Solare Fotovoltaico con pannelli in silicio**
  - 3.2. **Impianti a concentrazione solare**
  - 3.3. **Solare termico**
  - 3.4. **Vetri Fotovoltaici**
  - 3.5. **Installazioni tipiche nei dintorni aeroportuali e problematiche di compatibilità con l'aviazione civile**
4. **ANALISI DEL FENOMENO DELL'ABBAGLIAMENTO**
  - 4.1. **L'impatto visivo**
  - 4.2. **Analisi del fenomeno ottico dell'immagine residua**
5. **METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DELL'IMPATTO VISIVO**
  - 5.1. **Considerazioni preliminari**
  - 5.2. **Riflettività dei moduli fotovoltaici**
  - 5.3. **Analisi geometriche**
  - 5.4. **Valutazione del tipo di visione interessata e dell'intensità dell'abbagliamento**
  - 5.5. **Simulazione tramite software**
  - 5.6. **Criteri di accettabilità**
6. **MISURE DI MITIGAZIONE**
7. **IL PROCEDIMENTO AUTORIZZATIVO**
  - 7.1. **Presentazione delle istanze e rilascio del nulla osta**
  - 7.2. **Procedura di valutazione dell'interesse aeronautico**
  - 7.3. **Procedura di valutazione dell'impatto visivo**
8. **BIBLIOGRAFIA**
9. **APPENDICE – MODULO DI ASSEVERAZIONE**

### Riferimenti Regolamentari

Regolamento (CE) n. 2018/1139

Regolamento (UE) n. 139/2014 e relative CS/GM e AMC/GM

ICAO Annex 14, Vol. I - Aerodrome design and operations - 8th Edition, July 2018

ICAO Doc 8168 - Procedures for Air Navigation Services (PANS) - Aircraft Operations - Volume I  
Flight Procedures

### APPLICABILITÀ

APT	Gestori Aeroportuali
ATM	ENAV S.p.A. A.M.
EAL	N.A.
LIC	N.A.
MED	N.A.
NAV	N.A.
OPV	N.A.
SEC	N.A.

## **1. PREMESSA E SCOPO**

La crescita del mercato dell'energia solare e le linee di indirizzo contenute nel Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (2019), riprese dal successivo PNRR del 2021, ha comportato un aumento delle richieste di installazione di impianti fotovoltaici su tutto il territorio.

Tali iniziative coinvolgono sempre più spesso gli aeroporti ed il territorio limitrofo grazie alla disponibilità di spazi aperti ad elevato potenziale per la produzione di energia elettrica.

ENAC ha ritenuto necessario valutare le modalità con cui la generazione da energia solare possa essere pienamente compatibile con i vincoli dell'aviazione civile, in particolar modo per le problematiche di *safety* derivanti dal fenomeno dell'abbagliamento.

Lo scopo della presente linea guida è quello di analizzare ed individuare il processo valutativo legato all'abbagliamento quale potenziale disturbo alle operazioni aeronautiche e fornire una metodologia per la valutazione ed approvazione dei campi fotovoltaici su sedime aeroportuale e nei dintorni degli aeroporti nazionali.

L'esperienza condotta in ambito internazionale, in particolare da parte della FAA nel periodo dal 2012 al 2021, ha permesso di stabilire che i fenomeni da abbagliamento causati da impianti fotovoltaici negli aeroporti federali degli Stati Uniti possono essere ritenuti trascurabili per quanto riguarda gli effetti sui piloti (di fatto già istruiti rispetto a condizioni ambientali estreme), mentre assumono rilevanza nei confronti degli operatori della torre di controllo.

In Italia non si è ancora maturata un'esperienza significativa in materia, essendo limitato il numero di impianti di dimensioni notevoli nei dintorni aeroportuali. Le proiezioni mondiali di produzione da fonte rinnovabile, ed in particolare da tecnologia fotovoltaica, prevedono un incremento della produzione fino al raggiungimento di circa 2600 miliardi di kWh entro il 2030, pari al 14% circa della domanda globale di elettricità, grazie all'installazione di 1.800 GW di pannelli solari nel mondo.

Al fine di tener conto degli sviluppi della tecnologia e dell'impatto dei nuovi impianti sul territorio nazionale, si ritiene opportuno adottare un approccio graduale alla tematica dell'abbagliamento in ambito aviazione civile con l'obiettivo di valutare l'efficacia delle metodologie proposte nelle presenti linee guida.

Il presente documento, pertanto, rappresenta una prima stesura di linea guida sul tema dell'abbagliamento, con la finalità di fornire una standardizzazione delle metodologie di valutazione, prevedendo un successivo riesame della stessa dopo un periodo di analisi ed acquisizione di dati basati su casi concreti ritenuti esaurienti.

Per i progetti che prevedano l'installazione all'interno del sedime aeroportuale è richiesta la presentazione della documentazione ad ENAC (Direzione Sviluppo ed Approvazione Progetti) sin dalla fase di fattibilità tecnico-economica, al fine di valutare il potenziale impatto del progetto sui Piani di Sviluppo aeroportuali, oltre che le implicazioni sulla sicurezza della navigazione aerea.

## 2. CONTESTO NORMATIVO ATTUALE

In ambito nazionale il compito di ENAC è quello rimuovere o escludere il costituirsi di fattori ambientali che possano indurre fenomeni di abbagliamento ai piloti o agli operatori di torre. L'ambito territoriale interessato dalla Superficie Orizzontale Interna e Conica (6km dalla soglia pista per aeroporti di categoria 3 e 4) è soggetto, infatti, alle prescrizioni del "Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Aeroporti" cap. 4.12.2, ove si pone la necessità di valutare l'eventuale pericolo alla navigazione aerea rappresentato dalla presenza di ampie superfici riflettenti, potenzialmente abbaglianti, che possano comportare una riduzione o distorsione della visione per piloti ed operatori di controllo del traffico aereo.

Le suddette fonti riflettenti allocate nei dintorni aeroportuali, a cui dovesse risultare associato un livello di rischio per la sicurezza della navigazione aerea ritenuto inaccettabile dall'ENAC, sono soggette a limitazione o ad eliminazione, con provvedimento motivato disposto dall'ENAC, fatte salve le prerogative delle altre autorità competenti preposte.

Nell'adempimento delle proprie competenze di governo del territorio, anche per la gestione del rischio di abbagliamento da fonti riflettenti, gli Enti locali interessati devono recepire i vincoli, le servitù e le limitazioni aeronautiche disposte dall'ENAC, nei propri strumenti urbanistici. Devono inoltre acquisire il preventivo parere/autorizzazione/nulla osta dell'ENAC in merito alla compatibilità aeronautica dei manufatti da realizzare nei dintorni aeroportuali, informando l'ENAC ed il gestore aeroportuale dell'avvenuto rilascio di autorizzazioni urbanistico-edilizie e/o permessi a costruire degli stessi, qualora preventivamente autorizzati dall'ENAC.

Le fonti riflettenti che producono abbagliamento al pilota durante le operazioni di volo o al personale di torre, devono essere eliminate/dismesse/dislocate ai sensi dell'art. 714 del C.d.N. o, in alternativa, andranno adottate idonee ed efficaci azioni di mitigazione, tali da ricondurre il rischio di abbagliamento ad un livello accettabile, compatibile con la sicurezza dell'aviazione civile.

I principali riferimenti in materia sono:

- 1) Circolare ENAC Prot. n. 0146391/IOP del 14.11.2011, "Decreto Legislativo 387/2003 – Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili – Procedimenti autorizzativi ex art. 12.

Semplificazione delle procedure ENAC in materia di Valutazione dei progetti e rilascio nulla osta – Ostacoli e Pericoli per la navigazione aerea.

- 2) Circolare ENAC Prot. n. 0065532/IOP del 23.05.2012, "Nulla Osta impianti fotovoltaici di tipo domestico – Richiesta chiarimenti e semplificazioni procedurali – art. 707 del codice della Navigazione e Regolamento ENAC per la Costruzione e l'esercizio degli Aeroporti, Emd 8 del 20.10.2011"
- 3) Circolare ENAC Prot. n. 0070197/IOP del 11.06.2013, "Semplificazione delle procedure autorizzative da parte dei Comuni interessati dalla pubblicazione delle mappe di vincolo nelle more della definitiva conclusione delle procedure di approvazione delle stesse.

Per i grandi impianti, o laddove ne ricorrano i presupposti, è possibile prevedere un periodo di monitoraggio dell'opera da parte del Gestore Aeroportuale, con particolare attenzione ad eventuali *occurrence reports* da parte degli equipaggi di volo o segnalazioni provenienti dal personale in torre di controllo. Si suggerisce un periodo di monitoraggio pari a due cicli solari.

Qualora, a seguito del monitoraggio, dovessero registrarsi eventi aeronautici connessi a disturbi causati dall'abbagliamento, sarà cura del proponente/gestore dell'impianto implementare le necessarie misure di mitigazione per eliminare il disturbo.

In ambito internazionale la maturità dell'approccio normativo è strettamente legata al livello di sviluppo degli impianti a fonti rinnovabili.

Dall'esame della normativa prodotta dalle CAA (*Civil Aviation Authorities*) europee, quali ad esempio Regno Unito, Germania, Olanda e Francia, non risulta uno sviluppo di metodologie di calcolo prescrittive per valutare i fenomeni di abbagliamento, bensì l'emissione di raccomandazioni sotto forma di "*Interim Policy*", che rimandano ai proponenti l'onere di dimostrare la compatibilità delle installazioni con le operazioni aeronautiche.

In taluni casi, quali ad esempio in Germania, l'abbagliamento è considerato un'emissione non dissimile dal rumore, l'odore o la vibrazione. I livelli accettabili di abbagliamento vengono, infatti, semplicemente espressi come un disturbo che non debba eccedere i 30 minuti al giorno o le 30 ore all'anno, mentre in Inghilterra tale limite è di 50 ore all'anno.

Il principale riferimento a livello internazionale è pervenuto dalla FAA americana (*Federal Aviation Administration*), con l'emissione della recente policy "*Review of Solar Energy System Projects on Federally-Obligated Airports. Federal Register: 2021-09862 (2021)*", la quale viene considerata un documento "in evoluzione" sulla base degli esiti che proverranno da successivi riscontri sul campo.

La suddetta *Policy* raccomanda l'analisi degli effetti dell'abbagliamento per gli operatori della torre di controllo, ritenendo gli effetti sui piloti paragonabili a quelli causati da fonti naturali (quali ad esempio specchi d'acqua). Lo stesso documento raccomanda l'uso di un particolare strumento di analisi, il *Solar Glare Hazard Analysis Tool* (SGHAT), sviluppato dai laboratori di ricerca del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti ed il *Sandia National Laboratory*.

## **2.1. I permessi e le autorizzazioni**

La Direttiva europea 2009/28/CE, al fine di favorire lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili, ha richiesto agli Stati Membri che le procedure autorizzative siano proporzionate e necessarie, nonché semplificate ed accelerate ad un livello amministrativo adeguato. Le Linee Guida nazionali per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili (D.M. 10 Settembre 2010, Pubblicato nella Gazz. Uff. 18 settembre 2010, n. 219) ed il Decreto Legislativo n. 28/2011 di recepimento della Direttiva europea n. 28, nel rispondere a tale intento, hanno ridefinito l'intero quadro delle autorizzazioni per gli impianti da fonti rinnovabili in Italia.

Le Linee Guida approvate con il D.M. del 10 settembre 2010, pur nel rispetto delle autonomie e delle competenze delle amministrazioni locali, sono state emanate allo scopo di armonizzare gli iter procedurali regionali per l'autorizzazione degli impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti energetiche rinnovabili (FER).

Il Decreto Legislativo n. 28 del 3 marzo 2011 ha introdotto misure di semplificazione e razionalizzazione dei procedimenti amministrativi per la realizzazione degli impianti a fonti rinnovabili, sia per la produzione di energia elettrica che per la produzione di energia termica.

Gli iter procedurali previsti dalla normativa vigente per la realizzazione di impianti alimentati a fonti rinnovabili sono i seguenti:

**Autorizzazione Unica (AU)** - è il provvedimento introdotto dall'articolo 12 del D.Lgs. 387/2003 per l'autorizzazione di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da FER, al di sopra di prefissate soglie di potenza. L'AU, rilasciata al termine di un procedimento unico svolto nell'ambito della Conferenza dei Servizi con tutte le amministrazioni interessate, costituisce titolo a costruire e a esercire l'impianto e, ove necessario, diventa variante allo strumento urbanistico. Il procedimento unico ha durata massima pari a 90 giorni al netto dei tempi previsti per la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), laddove necessaria. La competenza per il rilascio dell'Autorizzazione Unica è in capo alle Regioni o alle Province delegate.

**Procedura Abilitativa Semplificata (PAS)** - è la procedura introdotta dal D.Lgs. 28/2011 in sostituzione della Denuncia di Inizio Attività (DIA). La PAS è utilizzabile per la realizzazione di impianti di produzione di energia elettrica alimentati da FER al di sotto di prefissate soglie di potenza (oltre le quali si ricorre alla AU) e per alcune tipologie di impianti di produzione di caldo e freddo da FER. La PAS deve essere presentata al Comune almeno 30 giorni prima dell'inizio lavori, accompagnata da una dettagliata relazione, a firma di un progettista abilitato, e dai necessari elaborati progettuali, attestanti anche la compatibilità del progetto con gli strumenti urbanistici e i regolamenti edilizi vigenti, nonché il rispetto delle norme di sicurezza e di quelle igienico-sanitarie. Per la PAS vale il meccanismo del silenzio assenso: trascorso il termine di 30 giorni dalla presentazione della PAS senza riscontri o notifiche da parte del Comune è possibile iniziare i lavori.

Comunicazione al Comune - è l'adempimento previsto per semplificare l'iter autorizzativo di alcune tipologie di piccoli impianti per la produzione di energia elettrica, calore e freddo da FER, assimilabili ad attività edilizia libera. La comunicazione di inizio lavori deve essere accompagnata da una dettagliata relazione a firma di un progettista abilitato. Non è necessario attendere 30 giorni prima di iniziare i lavori.

Elementi di semplificazione sono stati recentemente introdotti dal decreto-legge n.17/2022 "Bollette ed Energia", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 1° marzo 2022 (misure urgenti per il contenimento dei costi dell'energia elettrica e del gas naturale, per lo sviluppo delle energie rinnovabili e per il rilancio delle politiche industriali).

Le recenti misure dispongono che l'installazione, con qualunque modalità, di impianti solari fotovoltaici e termici sugli edifici, come definiti alla voce 32 dell'allegato A al regolamento edilizio-tipo, adottato con intesa sancita in sede di Conferenza unificata 20 ottobre 2016, n. 125/CU, o su strutture e manufatti fuori terra diversi dagli edifici e la realizzazione delle opere funzionali alla connessione alla rete elettrica nei predetti edifici o strutture e manufatti, nonché nelle relative pertinenze, è considerata intervento di manutenzione ordinaria e non è subordinata all'acquisizione di permessi, autorizzazioni o atti amministrativi di assenso comunque denominati, ivi inclusi quelli previsti dal d.lgs. 42/2004, a eccezione degli impianti che ricadono in aree o immobili di cui all'art.136, comma 1, lettere b) e c), dello stesso d.lgs. 42/2004, individuati ai sensi degli artt. da 138 a 141 del medesimo Codice.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda a quanto riportato sul sito ufficiale del G.S.E. (Gestore Servizi Energetici).

Ai fini del rilascio del nulla osta da parte di ENAC, il proponente dovrà verificare se l'impianto risulta di interesse aeronautico, come descritto in dettaglio al Capitolo 7, ed eventualmente inviare istanza di valutazione all'Ente per l'istruttoria di competenza.



### 3. PRINCIPALI TECNOLOGIE DI PRODUZIONE DA ENERGIA SOLARE

#### 3.1. Solare Fotovoltaico con pannelli in silicio

Le principali tipologie di tecnologie fotovoltaiche ad oggi applicabili agli aeroporti sono quelle associate ai pannelli in silicio cristallino.

Le celle solari assemblate in pannelli sono realizzate in silicio e rappresentano la tecnologia più efficiente per convertire l'energia luminosa in elettricità. I pannelli possono essere di tipo monocristallino, policristallino o a film sottile.



Figura 1 - Tecnologie di pannelli fotovoltaici

(Fonte immagine sito <https://www.studiomadera.it/news/157-impianto-fotovoltaico>)

I pannelli monocristallini sono costituiti da grandi cristalli di silicio che sono meno comuni e quindi più costosi, ma funzionano anche in modo più efficiente. I pannelli policristallini sono realizzati con tanti piccoli cristalli di silicio e rappresentando ad oggi il tipo più comune di pannello solare. Il silicio cristallino viene tagliato in dischi, lucidato e collegato tra loro con conduttori metallici e assemblato su un pannello. I pannelli sono ricoperti da un sottile strato di vetro protettivo e il pannello è fissato ad un substrato di cemento termicamente conduttivo che trattiene il calore disperso prodotto dal pannello e ne impedisce il surriscaldamento.

Altri tipi di tecnologie fotovoltaiche includono versioni a film sottile e multi-giunzione. Il solare a film sottile è costituito da silicio amorfo o altri materiali come il tellururo di cadmio. Sebbene meno efficiente delle celle solari tradizionali, il film sottile risulta meno costoso e può essere utilizzato su superfici piane come tetti e facciate di edifici per generare elettricità. I sistemi multi-giunzione sono costituiti da più strati di film sottile che aumentano l'efficienza.

#### 3.2. Impianti a concentrazione solare

I sistemi di energia solare concentrata (CSP, *Concentrating Solar Power*) utilizzano grandi superfici riflettenti in massicci array per concentrare l'energia del sole su un punto fisso per produrre calore intenso, che viene poi convertito in elettricità.

Il mezzo più comune per produrre elettricità in questi sistemi è il riscaldamento di un fluido (tipicamente acqua) e la conseguente produzione di vapore in pressione, utilizzato per azionare una turbina. Tra le tecnologie CSP più comuni si richiamano i canali parabolici e le torri di potenza mostrati nelle figure seguenti.



Figura 2 - Impianti a concentrazione solare

*(Fonte immagini sito [www.rinnovabili.it](http://www.rinnovabili.it))*

Mentre i canali parabolici concentrano la luce solare sui ricevitori situati su ogni singola unità, le torri di potenza concentrano tutta la luce solare della struttura su un singolo ricevitore.

In tal caso la centrale è composta da singoli eliostati (specchi) disposti in modo circolare e che seguono il percorso del sole. Ogni eliostato riflette la luce solare sul ricevitore centrale in cima a una torre. Proprio come il canale parabolico, un fluido riscaldante trasferisce il calore per creare vapore per azionare una turbina e produrre elettricità.

Uno dei vantaggi di entrambe le forme di CSP rispetto al fotovoltaico con pannelli è che i fluidi riscaldati possono essere utilizzati per immagazzinare energia e fornire elettricità anche quando il sole non è presente.

### 3.3. Solare termico

Il solare termico si riferisce ai sistemi convenzionali utilizzati per produrre acqua calda esponendo l'acqua all'energia del sole direttamente o riscaldando un fluido in un circuito chiuso che riscalda l'acqua, come illustrato nella Figura 7. I sistemi solari termici convenzionali vengono realizzati con pannelli che contengono serpentine riempite con un fluido (tipicamente acqua). Questi sistemi possono essere utilizzati per servire una singola abitazione o in applicazioni residenziali, commerciali o aeroportuali. Il loro più grande vantaggio per le aree già servite dalla rete elettrica è quello di ridurre al minimo la domanda di elettricità sugli scaldacqua domestici o commerciali per mantenere l'acqua costantemente calda.

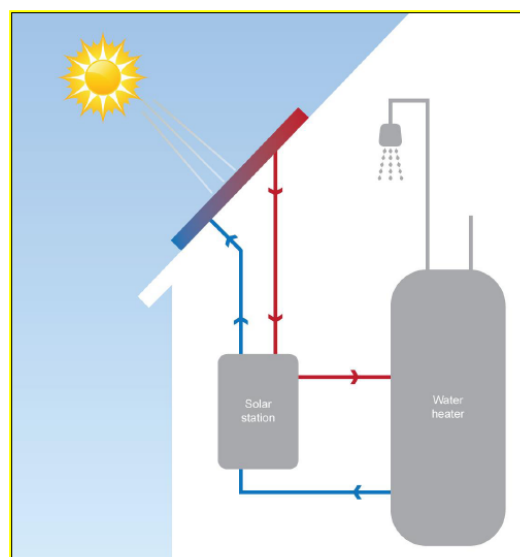


Figura 3 - Impianto solare termico  
(Fonte immagini sito [www.rinnovabili.it](http://www.rinnovabili.it))

### 3.4. Vetri Fotovoltaici

I vetri fotovoltaici rappresentano una tecnologia che permette di produrre elettricità attraverso le pareti vetrate di un edificio. I vetri fotovoltaici sono in grado di assorbire la luce grazie ad una speciale vernice trattata con gel di silicio amorfo che trasforma i pannelli in semiconduttori. La tecnologia oggi ha consentito di rendere i vetri di una trasparenza tale da poter essere utilizzabili anche nelle abitazioni. Il gel può essere applicato sia in uno strato interno ai doppi vetri che superficialmente e funziona come ottimizzatore per l'assorbimento dei raggi, così da mantenere un grado di trasparenza del vetro del 30% e favorire così l'illuminamento naturale.

Occorre prestare particolare attenzione all'uso di tale tecnologia nei pressi degli aeroporti, in quanto le ampie superfici vetrate/riflettenti possono rappresentare un pericolo per la navigazione aerea.



Figura 4 - Vetri fotovoltaici

(Fonte immagine sito [www.rinnovabilandia.it](http://www.rinnovabilandia.it))

### 3.5. Installazioni tipiche nei dintorni aeroportuali e problematiche di compatibilità con l'aviazione civile

Tra le varie tipologie illustrate il solare fotovoltaico con pannelli in silicio è di gran lunga la tecnologia maggiormente impiegata in ambito aeroportuale ed in ambienti limitrofi. È infatti una tecnologia che può essere facilmente integrata in un contesto esistente senza necessità di apportare grandi modifiche all'ambiente, grazie alla sua costruzione relativamente semplice e modulare.

Per l'ambiente aeroportuale ciò significa che il fotovoltaico può essere collocato in luoghi non utilizzati normalmente per attività aeronautiche e quindi di scarso valore per l'aeroporto o per sviluppi alternativi.



Le principali tipologie di installazioni fotovoltaiche in ambito aeroportuale possono essere riassunte in:

- **Installazioni su tetto:** I tetti rappresentano una soluzione ottimale per i pannelli solari perché di solito ricevono un'esposizione al sole senza ostacoli. I tetti possono anche fornire una struttura di supporto già pronta, ovviando alla necessità di installare strutture complesse. Gli edifici aeroportuali hanno spesso sia tetti piani (ad es. terminal) che richiedono una struttura di supporto generica, sia tetti inclinati (ad es. hangar) che possono richiedere soluzioni minimali in termini di supporti meccanici.
- **Installazione a terra:** L'installazione di pannelli solari a livello del suolo richiede un terreno pianeggiante o leggermente ondulato con vista libera tipicamente verso sud. I sistemi montati a terra richiedono un'analisi geotecnica per confermare la stabilità a lungo termine dei terreni che li supportano. Generalmente gli impianti sono realizzati con strutture metalliche portanti alle quali sono fissati meccanicamente i moduli fotovoltaici. Esse sono direttamente ancorate al terreno per mezzo di sistemi di fondazione a secco o per mezzo di zavorre in calcestruzzo prefabbricato.
- **Sistemi ad inseguimento:** I sistemi ad inseguimento solare utilizzano meccanismi idraulici o motorizzati per spostare i pannelli in modo che siano continuamente perpendicolari al sole, massimizzando il loro potenziale di generazione elettrica. I pannelli possono muoversi in due direzioni per ottimizzare il contatto con il sole. Una direzione si adatta verticalmente alla posizione stagionale del sole nel cielo, per cui l'angolo del pannello rispetto al suolo aumenta o diminuisce. La seconda direzione è un movimento orizzontale che segue il percorso quotidiano del sole dall'alba al tramonto. Se il sistema utilizza uno di questi sistemi di tracciamento, viene indicato come un sistema "ad asse singolo". Se utilizza entrambi, utilizza il tracciamento "doppio asse".
- **Edifici con pareti vetrate:** Le facciate fotovoltaiche hanno il vantaggio di sfruttare le pareti esterne dell'edificio per produrre energia pulita, formando in genere una sorta di "controparete esterna" dell'edificio. Si pensi, per esempio, ai "palazzi di vetro". Le pareti fotovoltaiche, anche se hanno orientamento e inclinazione dei moduli non ottimali, riescono ad avere buoni rendimenti grazie alle loro estensioni.

Dati i vincoli di alcuni sistemi di energia solare, il solare fotovoltaico con pannelli in silicio tende ad essere la tecnologia che offre ad oggi le migliori opportunità per gli aeroporti.

In generale, rispetto ai sistemi a concentrazione solare, il solare fotovoltaico è più compatibile con l'uso del suolo aeroportuale per i seguenti vantaggi:

1. è più conveniente quando occorre una domanda di elettricità in loco più piccola rispetto alla generazione su larga scala per la rete elettrica;
2. ha un profilo basso e un design modulare, compatibile con le superfici di limitazione degli ostacoli e con il sedime aeroportuale, consentendo di sfruttare tetti e spazi a terra negli aeroporti e nei dintorni;
3. è progettato per assorbire la luce solare (piuttosto che rifletterla), riducendo al minimo i potenziali impatti dell'abbagliamento;
4. non attira la fauna selvatica, che rappresenta un pericolo critico per la *safety* in ambito aviazione.

Relativamente ai sistemi a concentrazione solare e ad inseguimento, questi richiedono più spazio di quello normalmente disponibile nel sedime di un aeroporto, ed hanno sollevato in ambito internazionale preoccupazioni sui rischi per la navigazione aerea a causa di:

- a. potenziale abbagliamento e scintillio causati da canali parabolici ed eliostati che potrebbero causare la perdita temporanea della vista ai piloti o al personale nella torre di controllo;
- b. interferenza elettromagnetica con sistemi radar interni ed esterni all'aeroporto che possono captare un falso segnale dai componenti metallici degli specchi con impatti che possono variare in base all'attività di inseguimento solare;
- c. penetrazioni fisiche dello spazio aereo navigabile da torri elettriche che si estendono oltre le superfici di limitazione ostacoli;
- d. getti termici (*plume*) emessi dalla torre elettrica a concentrazione che producono colonne d'aria in movimento inaspettate verso l'alto nello spazio aereo navigabile.

Infine, circa gli impianti solari termici (collettori solari per acqua calda sanitaria), sebbene questi possano essere fisicamente compatibili con gli usi e le attività di un aeroporto ed il loro design risulti simile a quello dei pannelli solari fotovoltaici, tale soluzione risulta ad oggi impiegata al meglio come fonte supplementare per usi domestici, a causa dell'efficienza dipendente strettamente dalla bassa frequenza di utilizzo dell'acqua calda e dal limitato livello di domanda nell'arco della giornata.

## 4. ANALISI DEL FENOMENO DELL'ABBAGLIAMENTO

### 4.1. L'impatto visivo

L'abbagliamento è la sensazione negativa percepita da chi guarda, generata dalla presenza di una zona significativamente più luminosa con valori eccessivi di luminanza nel contesto del campo visivo.

La risposta dell'occhio alle variazioni di intensità luminosa dell'ambiente, tramite i riflessi pupillari e meccanismi fotochimici retinici, può portare alla riduzione delle prestazioni visive (acuità visiva, percezione del contrasto, velocità di percezione) e disturbi astenopeici (affaticamento, stanchezza, disagio).

*In medicina, l'abbagliamento è considerato un disturbo transitorio della vista, percepibile come una sensazione eccessiva di luce, causato da un'alterazione delle vie oculari o nervose ovvero un turbamento o una soppressione momentanea della vista per l'azione di un corpo luminoso sugli occhi. La radiazione luminosa ha la potenzialità di consumare il pigmento presente nei bastoncelli della retina, e se l'organismo non fa in tempo a risintetizzarlo, l'occhio perde la capacità di vedere nitidamente.*

L'abbagliamento si può classificare a seconda dell'incidenza del raggio proveniente dalla fonte luminosa:

- **diretto**, raggio luminoso che colpisce direttamente la fovea;
- **indiretto**, che incide su zone più periferiche.

La stessa terminologia si usa a seconda se il fascio colpisce l'osservatore direttamente o indirettamente, quindi riflesso da una superficie, come nel caso di grandi superfici complanari riflettenti quali i campi fotovoltaici o le facciate specchio degli edifici.

La conseguenza dell'abbagliamento, in termini fisiologici, può essere:

- **debilitante**, quando vi è un peggioramento istantaneo, temporaneo, ma reversibile delle funzioni visive (quello notturno deriva dal fatto che la rodopsina dei bastoncelli, una volta inattivata dalla luce, richiede tempo per la riattivazione).
- **infastidente**, quando provoca un senso di disagio che non determina inabilità visiva, ma disturbi astenopeici e difficoltà di concentrazione, riduzione della capacità di attenzione, aumento delle probabilità di errore, riduzione del rendimento.

*Per evitare affaticamento, errori, ma soprattutto incidenti, è importante eliminare, o almeno ridurre ad un livello accettabile, questi fenomeni.*

Per descrivere le conseguenze della riflessione solare sulle superfici riflettenti, la letteratura americana, ripresa dalle linee guida FAA, introduce i concetti di "Bagliore" e di "Luccichio", definendoli come segue:

- **glint** (luccichio): momentaneo lampo di luce
- **glare** (bagliore): sorgente continua di luminosità eccessiva

Il “luccichio” (*glint*) è un improvviso ed intenso lampo di luce che può derivare da un riflesso diretto del sole nel pannello solare.

Lo scintillio improvviso potrebbe causare disturbo ad un osservatore che dovesse passare nei pressi di un pannello solare/campo fotovoltaico ad una certa velocità.

Gli effetti del luccichio improvviso non sono limitati ai soli pannelli solari ma possono verificarsi da qualsiasi superficie riflettente, comprese le facciate degli edifici.

L'abbagliamento continuativo (*glare*) è invece una fonte continua di eccessiva luminosità. Potrebbe essere sperimentato ad esempio da un osservatore stazionario situato nel percorso della luce solare riflessa dalla faccia del pannello.



Figura 5 - Esempi tipici di abbagliamento causato da ampie superfici riflettenti  
(Fonte immagine sito <https://www.pagerpower.com/news/glint-glare-definition>, autore Micha Jost)





Figura 6 - Esempi tipici di abbagliamento causato da ampie superfici riflettenti  
(Fonte immagine sito <https://www.pagerpower.com/news/glint-glare-definition>, autore Lori Branham)

L'impatto dell'abbagliamento è legato all'interazione tra la posizione del sole, la posizione e l'elevazione dei moduli solari, la riflettività della superficie dei moduli, le dimensioni dell'installazione nonché la posizione dell'osservatore e qualsiasi potenziale barriera tra essi interposta.

È importante sottolineare che l'impatto dell'abbagliamento sulla persona è ancora poco compreso a livello scientifico e dipende anche dalla percezione soggettiva dell'osservatore.

Alcuni fattori di influenza sono:

- la posizione della fonte di abbagliamento nel campo visivo dell'osservatore
- la complessità del compito visivo richiesto all'osservatore
- l'età dell'osservatore ed il suo stato di salute generale
- la stagionalità (tipicamente più sensibile durante l'autunno rispetto all'estate)
- la luminosità dell'ambiente circostante

Il modo in cui tali fattori si influenzano a vicenda è ancora poco noto, cosa che rende spesso necessari dei test in campo per valutare situazioni e configurazioni particolarmente complesse.

## 4.2. Analisi del fenomeno ottico dell'immagine residua

Gli effetti dell'abbagliamento si possono quantificare attraverso il concetto di "immagine residua". L'*after-image*, o immagine residua, è un'illusione ottica che crea un'immagine che continua a comparire nella visione anche quando l'esposizione dell'immagine originale è cessata.

Chiamata anche immagine fantasma, un'immagine residua è in genere il risultato dell'esposizione visiva a luci intense o a un'immagine creata per fungere da illusione ottica. Quando qualcuno fissa una luce intensa, come una lampadina accesa o il sole, e poi distoglie lo sguardo da quella fonte di luce, in genere continuerà a vedere la luce. L'esposizione visiva diretta alla luce intensa, come il sole o gli effetti di una superficie riflettente, può causare danni permanenti agli occhi o cecità temporanea. La persistenza dell'immagine residua è direttamente proporzionale al tempo di esposizione alla sorgente.

Per la valutazione degli effetti di un'immagine residua sull'impatto visivo possono essere considerati i riferimenti reperibili in letteratura in materia di metriche di sicurezza oculare, tenendo conto dei seguenti parametri:

- posizione dell'osservatore e tipo di visione interessata;
- intensità e collocazione della sorgente luminosa riflettente;
- valutazione globale del contesto visivo in cui la fonte è collocata;
- valutazione dell'irraggiamento retinale;
- analisi del potenziale di impatto dei differenti irraggiamenti retinali in funzione degli angoli sottesi delle sorgenti.

Due variabili sono necessarie per la valutazione dell'impatto oculare: l'irraggiamento retinale e la misura dell'angolo sotteso della sorgente di abbagliamento.

L'irraggiamento retinale viene calcolato utilizzando l'area totale dell'immagine retinica e la potenza che entra nella pupilla. Può essere quantificato calcolando la potenza totale in ingresso nella pupilla e dall'area dell'immagine retinale. Il diametro,  $d_r$ , dell'immagine proiettata sulla retina (supponendo delle immagini circolari) può essere determinato dall'angolo sotteso della sorgente ( $\omega$ ), che può essere calcolato dalla sorgente di grandezza ( $d_s$ ), dalla distanza radiale ( $r$ ) tra l'occhio e la sorgente, e la lunghezza focale dell'occhio ( $f \cong 0.017$  m), da quanto segue:

$$d_r = f\omega \quad \text{dove} \quad \omega = d_s / r \quad (1)$$

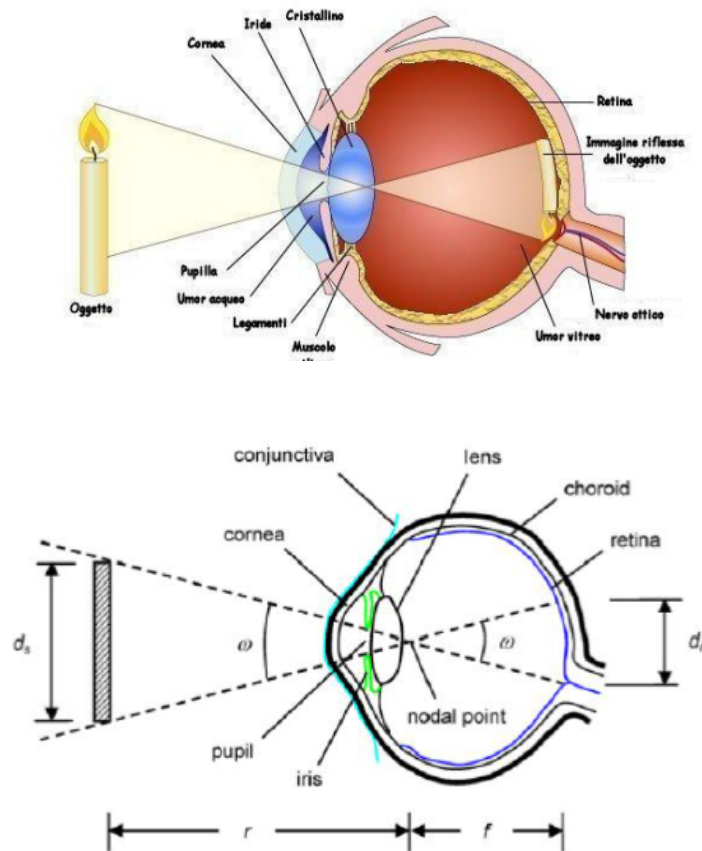


Figura 7 - Immagine proiettata sulla retina dell'occhio

Se si conosce l'irraggiamento sul piano di fronte alla cornea,  $E_c$  ( $W/m^2$ ), la potenza in ingresso nella pupilla può essere calcolata come il prodotto dell'irraggiamento corneale con l'area della pupilla (il diametro modificato per la luce diurna,  $d_p$ , è  $\sim 2$  mm). La potenza è quindi divisa per l'area retinale e moltiplicata per un coefficiente di trasmissione,  $\tau$  ( $\sim 0.5$ ), del mezzo oculare (in cui si tiene conto dell'assorbimento della radiazione all'interno dell'occhio prima che essa raggiunga la retina) e fornisce la seguente espressione dell'irraggiamento retinale:

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

Come esempio, l'irraggiamento retinale causato dalla visione diretta della luce solare può essere calcolato usando le equazioni (1) e (2) con  $E_c = 0.1$   $W/cm^2$ ,  $d_p = 0.002$  m,  $f = 0.017$  m,  $\omega = 0.0094$  rad e  $\tau = 0.5$ , ciò fornisce un irraggiamento retinale,  $E_r$ , pari a  $\sim 8$   $W/cm^2$ .

Nella figura seguente è possibile vedere il rapporto tra il **potenziale di impatto** dei differenti irraggiamenti retinali in funzione degli angoli sottesi delle sorgenti per esposizioni di breve durata. Il

diagramma è stato ricavato dai principali riferimenti presenti in letteratura reperibili in bibliografia.

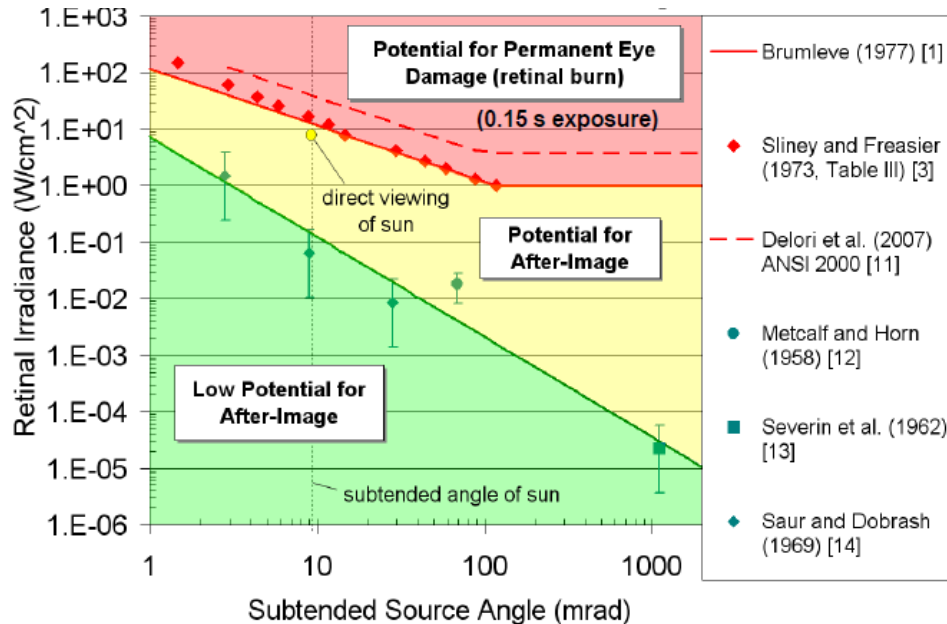


Figura 8 - Impatto potenziale dell'irraggiamento retinale in funzione dell'angolo sotteso della fonte

(Fonte immagine sito <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01648733>)

Si notano tre regioni:

- regione rossa: potenziale di danno oculare permanente (ustione retinale)
- regione gialla: potenziale per immagine residua temporanea (cecità da flash)
- regione verde: basso potenziale di immagine residua temporanea

La grandezza e l'impatto dell'immagine residua sul campo visivo dipendono dalla dimensione dell'angolo sotteso della sorgente. Per un dato irraggiamento retinale un angolo minore della sorgente produce un'immagine residua minore ed anche un impatto potenziale più basso.

Se l'irraggiamento retinale è abbastanza forte per un dato angolo sotteso della sorgente, si potrebbe produrre un danno oculare permanente da ustione retinale.

Si noti che, mentre l'angolo sotteso della sorgente aumenta, la soglia dell'irraggiamento retinale sicura diminuisce.

Per un dato irraggiamento, un angolo sotteso maggiore comporta pertanto un'immagine retinale maggiore e fornisce una potenza maggiore alla retina che non può essere facilmente dissipata dal perimetro dell'immagine retinale "calda" come invece accadrebbe nel caso di un'area retinale minore.

Al di sotto della soglia di ustione retinale, esiste una regione dove un irraggiamento abbastanza

elevato può causare un'immagine residua o cecità da flash temporanei, questa regione è generata dallo sbiancamento (sovrasaturazione) dei pigmenti visivi della retina. Quando ciò accade, un'immagine residua temporanea si produce nel campo visivo (es. lo stesso effetto prodotto dopo l'esposizione ad un flash fotografico in una stanza con bassa luminosità).

Gli effetti dell'impatto potenziale dell'irraggiamento dipendono infine dal tempo di esposizione. I dati sui danni oculari permanenti sono considerati convenzionalmente per un tempo di esposizione pari a 0.15s (tempo di risposta di chiusura della palpebra dell'occhio).

Si noti, come rappresentato in figura 3 (*direct viewing of sun*), che un breve sguardo diretto verso il sole (0.15 s) ha un alto potenziale di produrre degli effetti di immagine residua.



Figura 9 - Abbagliamento causato dall'esposizione diretta al sole  
(Fonte immagine Quaderno Io Roma n.4. 2016 Ordine Ingegneri di Roma)

*Ai fini delle valutazioni in ambito aeronautico è necessario che ogni fenomeno di abbagliamento nelle direzioni di interesse (traiettorie di avvicinamento e personale in torre di controllo) abbia un basso potenziale di causare un'immagine residua e che, quindi, l'irraggiamento retinale si mantenga nella zona verde del diagramma.*

## 5. METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DELL'IMPATTO VISIVO

### 5.1. Considerazioni preliminari

Per gli impianti che risultano di interesse aeronautico occorre procedere alla valutazione dell'impatto visivo.

Sulla base dei dati disponibili in letteratura e dall'analisi delle pratiche inviate all'Ente negli ultimi anni, è possibile fare le seguenti assunzioni in merito alla valutazione dell'impatto visivo causato dalle installazioni fotovoltaiche:

- l'intensità di una riflessione causata dai pannelli solari può variare dal 2% al 50% della luce incidente a seconda dell'angolo di incidenza, e, di conseguenza, a seconda del periodo dell'anno nel quale si svolge l'analisi;
- le linee guida pubblicate da altri Paesi mostrano che l'intensità dei riflessi dei pannelli solari è uguale se non inferiore a quella di uno specchio d'acqua e simile a quella causata del vetro. Inoltre gli effetti di riflessione sui pannelli solari sono significativamente meno intensi di molte altre superfici riflettenti comunemente presenti in un ambiente esterno.

La valutazione di impatto visivo, elaborata da un professionista abilitato, deve fare riferimento ai seguenti punti di collocazione dell'osservatore:

- **Operatori in Torre di Controllo:** posizione della Torre di Controllo negli orari operativi del personale di torre;
- **I segmenti "Visual"** (rif. Doc. 8168 ICAO) delle traiettorie nominali delle procedure di volo strumentali pubblicate su AIP;
- **Aeromobili durante la fase di circuitazione:** I circuiti di volo "a vista", con particolare riguardo al segmento di impostazione della virata di base.

Come visto ai paragrafi precedenti, l'abbagliamento dipende da molti fattori, ivi compresi quelli umani. Il processo di valutazione potrebbe pertanto richiedere un'analisi secondo uno dei criteri esposti o essere realizzato attraverso un processo iterativo che coinvolga più metodologie.

## 5.2. Riflettività dei moduli fotovoltaici

La conoscenza della riflettività dei moduli fotovoltaici è un importante parametro per la valutazione dei potenziali effetti delle riflessioni sulle operazioni aeronautiche.

Un'analisi accettabile deve basarsi sulla conoscenza approfondita dei parametri di riflettività della superficie ove l'installazione avrà luogo (ad esempio, tetti di edifici, pensiline metalliche, ecc.) rispetto alle caratteristiche dei pannelli solari impiegati.

La riflettività si riferisce alla luce che viene riflessa dalle superfici. I potenziali effetti della riflettività sono luccichio (un lampo momentaneo di luce intensa) e abbagliamento (una fonte continua di luce intensa). Entrambi gli effetti possono causare abbagliamento e conseguente breve perdita della vista, nota anche come "cecità da flash".

La quantità di luce riflessa dalla superficie di un pannello solare dipende dalla quantità di luce solare che colpisce la superficie, dalla sua riflettività superficiale, dalla posizione geografica, dal periodo dell'anno, dalla copertura nuvolosa e dall'orientamento del pannello solare.

I pannelli solari sono costruiti con materiali scuri che assorbono la luce e ricoperti da un rivestimento antiriflesso progettato per massimizzare l'assorbimento e ridurre al minimo la riflessione. Tuttavia, le superfici in vetro dei sistemi solari fotovoltaici e collettori solari (ACS) riflettono anche la luce solare in misura diversa durante il giorno e l'anno.

La quantità di luce solare riflessa si basa sull'angolo di incidenza del sole rispetto al recettore sensibile alla luce (ad esempio, un pilota o un controllore di una torre del traffico aereo). La quantità di riflessione aumenta con angoli di incidenza inferiori.

Come mostrato in Figura 11, l'angolo di incidenza del raggio solare determina la quantità di luce che viene riflessa da un modulo solare.

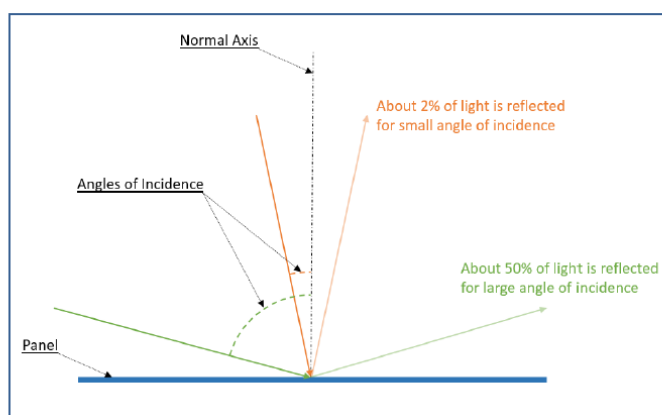


Figura 10 - Impatto dell'angolo di incidenza sui raggi riflessi da un modulo fotovoltaico

(Fonte immagine Solas, Colton, 2014)

Esistono due tipi di riflessione che possono verificarsi su una superficie; speculare e diffusa. La riflessione speculare è una riflessione diretta che produce un tipo di luce più "concentrato". Si



verifica quando la luce riflette su una superficie liscia o lucida come il vetro o l'acqua naturale. La riflessione diffusa, invece, produce un tipo di luce meno “focalizzata”. La riflessione diffusa si verifica a causa della luce che si riflette su una superficie ruvida come vegetazione, cemento o acqua ondulata.

Il principale tipo di riflettanza dei pannelli solari fotovoltaici è speculare a causa della trama simile al vetro dello strato esterno dei pannelli. Tuttavia, in realtà, come tutte le superfici, ci sarà una combinazione di riflessione sia speculare che diffusa.

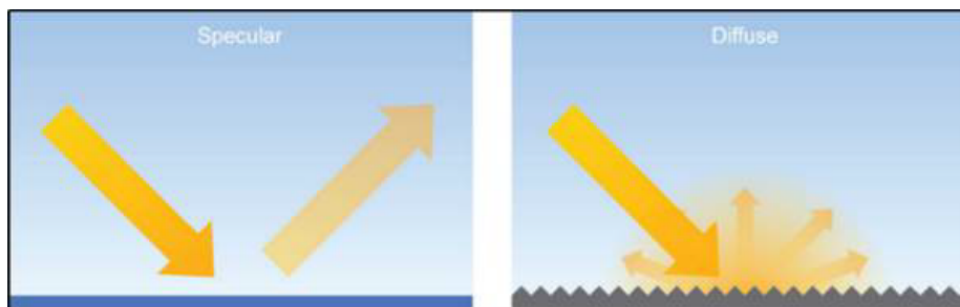


Figura 11 - Tipi di riflessione dei raggi su una superficie

(Fonte immagine FAA)

L'analisi di riflettività necessaria per valutare i potenziali impatti dipenderà pertanto dal sito del progetto specifico e dall'attenta valutazione delle condizioni di riflettività di base.

La riflessione sotto forma di abbagliamento è già presente nelle attuali operazioni aeronautiche. Le fonti di abbagliamento esistenti provengono infatti da edifici con finestre di vetro, parcheggi di superficie per auto, tetti di edifici o hangar, bacini idrici, ecc.

Un'analisi efficace dovrebbe riguardare pertanto un confronto tra le caratteristiche geometriche dell'installazione e le caratteristiche di riflettività dei materiali costituenti la superficie sulla quale l'installazione avrà luogo. Tale analisi non è eseguibile se la superficie è costituita da terreno e/o vegetazione a causa della disomogeneità degli stessi e variabilità stagionale.

I moduli fotovoltaici di ultima generazione riflettono in media il 4- 5 % della luce incidente.



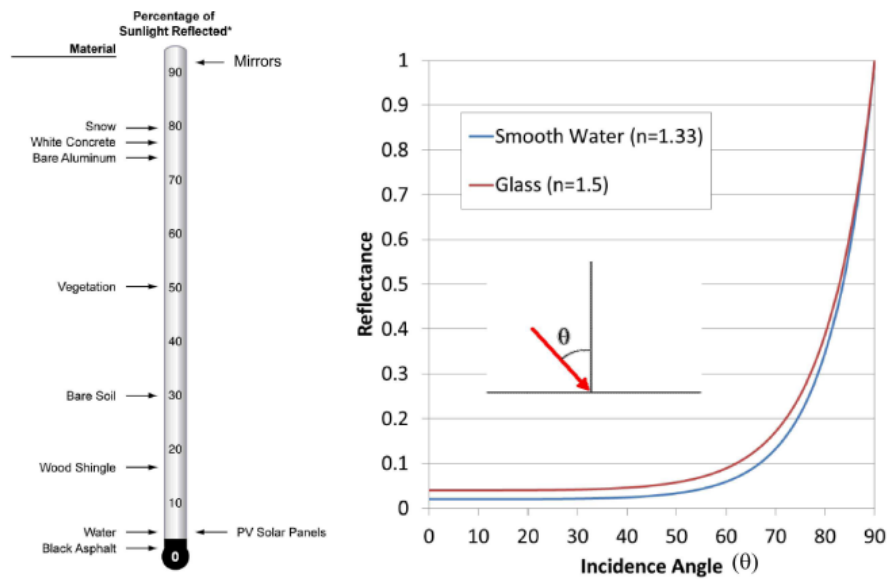


Figura 12 - Riflettività dei moduli fotovoltaici rispetto agli altri materiali

(Fonte immagine ACRP Synthesis 28 "Investigating Safety Impacts of Energy Technologies on Airports and Aviation")

### 5.3. Analisi geometriche

Un'analisi di abbagliamento può essere eseguita impiegando la geometria ed il percorso noto del sole per prevedere quando la luce solare si rifletterà su una superficie fissa (come ad esempio il pannello solare) ed entrerà in contatto con un recettore fisso (ad esempio, torre di controllo o pilota).

In qualsiasi luogo, il sole si muove nel cielo ogni giorno e il suo percorso nel cielo cambia durante l'anno. Ciò a sua volta altera la destinazione delle riflessioni risultanti poiché l'angolo di riflessione per i pannelli solari sarà lo stesso dell'angolo con cui il sole colpisce i pannelli. Maggiore è la superficie riflettente, maggiore sarà la probabilità di impatti abbaglianti.

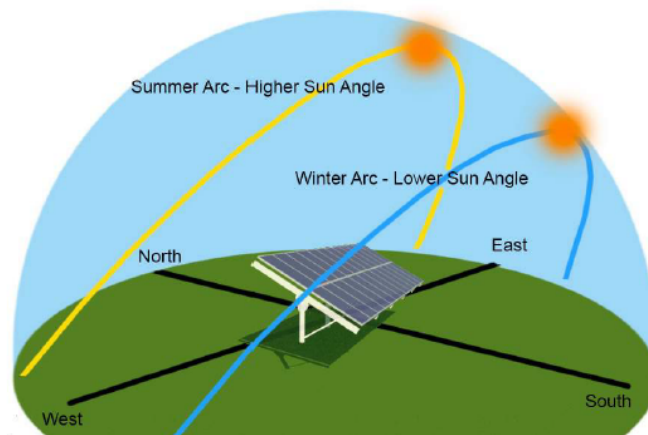


Figura 13 - Percorso del sole sulla volta celeste

*(Fonte immagine Innovision, Solar Photovoltaic Glint & Glare Study Aviation Specific, October 2019)*

Poiché l'intensità della luce riflessa dal pannello solare diminuisce con l'aumentare della distanza, una domanda appropriata è quanto sia necessario essere lontani da una superficie riflessa dal sole per evitare la cecità da flash. A livello scientifico è noto che tale distanza è direttamente proporzionale alla dimensione dell'*array* in questione, ma in letteratura ancora non risulta presente un metodo consolidato di valutazione. L'analisi geometrica è pertanto considerabile quale metodo di valutazione "qualitativo", da integrare se possibile con un'analisi di riflettività, un test in campo o una valutazione logico-analitica.

Il potenziale fenomeno di abbagliamento del pilota/osservatore investito dai raggi riflessi deve essere valutato attraverso una sequenza di fasi logico-analitiche che preveda i seguenti passi:

- a) il reperimento del diagramma solare relativo alla località in oggetto (involuppo della posizione del sole per ogni giorno dell'anno); il dato è reperibile ad esempio dal portale ufficiale ENEA;
- b) la costruzione del diagramma solare dei raggi riflessi, tramite applicazione della legge di Fresnel;
- c) la determinazione dei punti rappresentativi delle varie fasi di volo (FAF, intersezione delle traiettorie di discesa con MDH, DH, etc.);
- d) la collocazione di tali punti nel diagramma solare dei raggi riflessi;
- e) la valutazione relativa al tipo di visione interessata.

### **a) Diagramma Solare**

Il diagramma solare è un grafico in cui è rappresentato il moto apparente del sole nella sfera celeste, proiettato sul piano orizzontale (diagramma polare) o verticale (diagramma cilindrico). La posizione del sole viene identificata tramite l'altezza solare e l'angolo azimutale solare  $Y$ , ossia l'angolo formato tra la proiezione sul piano orizzontale dei raggi solari e la direzione sud, considerato positivo se la proiezione cade verso est.

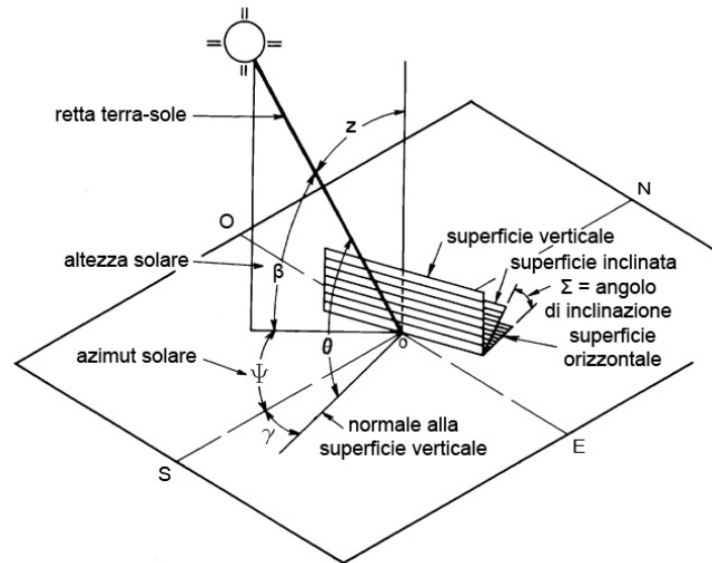


Figura 14 - Coordinate spaziali

(Fonte immagine <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-incidence-angle>)

Sui diagrammi solari, per ogni latitudine si possono tracciare delle curve che uniscono i punti rappresentativi della posizione del sole in diverse ore dello stesso giorno, generalmente il ventunesimo di ogni mese, insieme con altre curve, perpendicolari a queste ultime, che uniscono punti relativi alla stessa ora del giorno, in giorni differenti dell'anno.

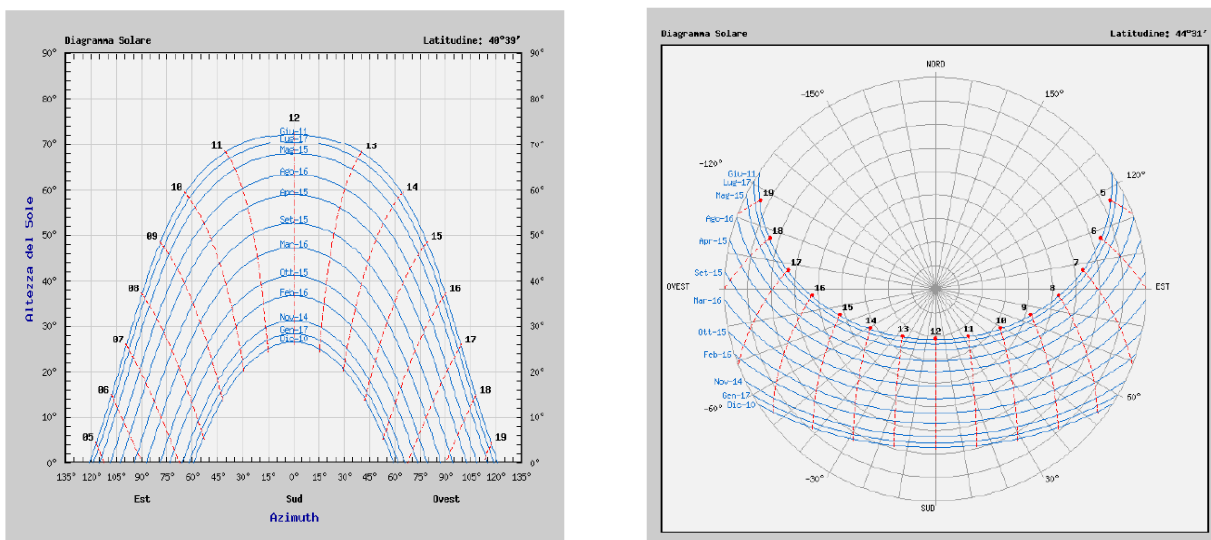


Figura 15 - Diagramma solare

(Fonte immagini sito <http://www.solaritaly.enea.it>)

## b) Costruzione del diagramma solare dei raggi riflessi

L'eventualità che il pilota/osservatore sia investito dai raggi riflessi rientra nel campo applicativo dell'ottica geometrica ed è valutabile attraverso l'applicazione del principio di Fresnel.

I riflessi solari di un pannello solare sono speculari, il che significa che un'alta percentuale di luce in entrata viene riflessa in una particolare direzione. La direzione di una riflessione solare speculare da un riflettore piatto viene calcolata considerando la normale. La normale è una linea immaginaria perpendicolare alla superficie riflettente e si origina dal punto in cui la luce entrante intercetta la faccia del pannello solare. Le figure seguenti possono essere utilizzate per aiutare la comprensione del processo di calcolo della riflessione.

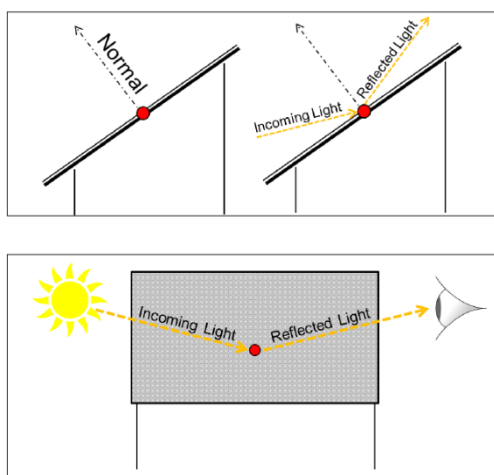


Figura 16 - Riflessione dei raggi solari

(Fonte immagine <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-incidence-angle>)

La costruzione del diagramma solare dei raggi riflessi avviene proiettando le coordinate azimutali e zenitali sul diagramma solare, come indicato nelle figure seguenti:

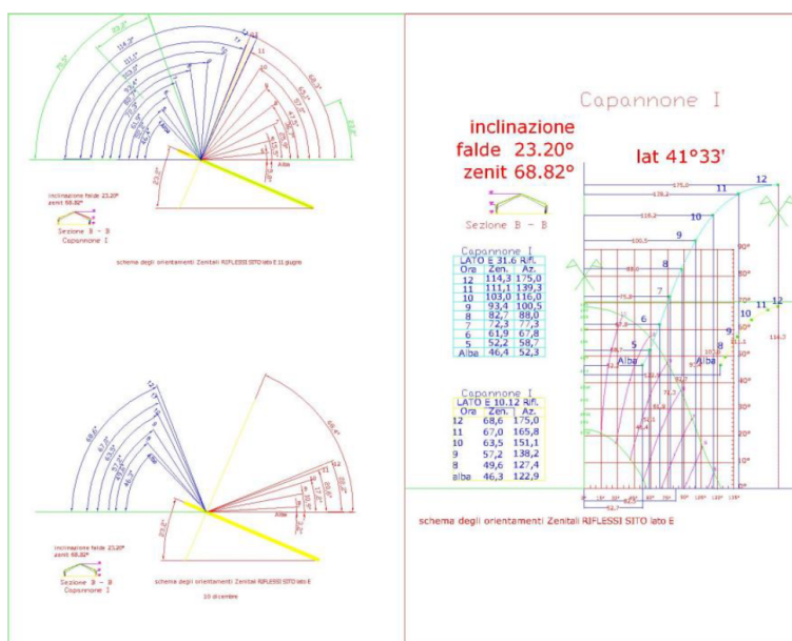


Figura 17 – Costruzione del diagramma dei raggi solari riflessi

(Fonte immagine Quaderno Io Roma n.4. 2016 Ordine Ingegneri di Roma)

### c) Determinazione dei punti significativi di analisi

Per la determinazione dei punti ove effettuare la verifica sulla riflessione si richiama il Doc 8168 ICAO e la consultazione delle pubblicazioni aeronautiche AIP.

I punti ove operare tale verifica sono quindi legati alla collocazione dell'osservatore, nella fattispecie l'operatore in torre di controllo ed il pilota nelle varie fasi di volo, ovvero i punti individuati nell'ambito dei segmenti "Visual" delle traiettorie nominali delle operazioni strumentali, e dei circuiti a vista quali l'impostazione della virata di base, per la determinazione dei quali si richiamano in generale le regole del volo a vista.

In particolare dovranno essere individuate le coordinate (az, ze) dei seguenti punti significativi:

- FAF (Final Approach Fix)
- MDH (Minimum Descent Altitude)
- DH (Decision Height)
- Percorso di volo dalla soglia fino ad una distanza di 3km (in analogia allo standard FAA)
- Posizione della torre di controllo

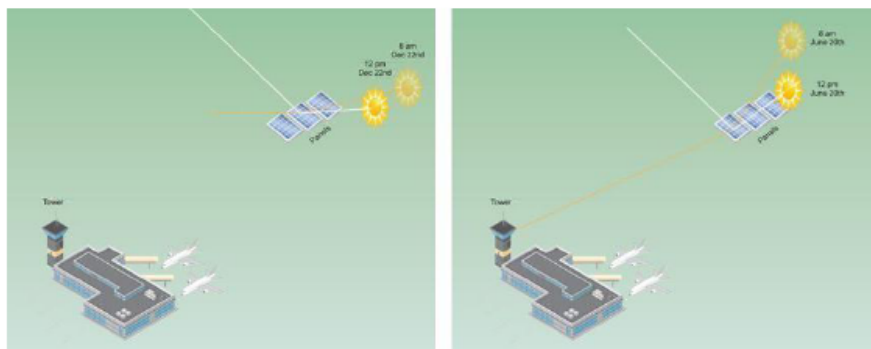


Figura 18 - Esempio analisi geometrica

(Fonte immagine FAA)

### d) Collocazione dei punti significativi sul diagramma solare

Il diagramma solare, unito ad analisi di tipo geometriche e qualitative, può essere utilizzato per valutare gli effetti del *Glint* (luccichio) o del *Glare* (bagliore).

*L'abbagliamento a carattere debilitante che espone il pilota ad un bagliore improvviso (Glint) viene scongiurato verificando l'impatto del fenomeno sui punti rappresentativi delle traiettorie di volo e rispetto alla posizione della Torre di controllo del traffico aereo.*

Il fenomeno del *Glint* (luccichio) può assumere carattere peggiorativo rispetto ad un bagliore diffuso in quanto risulta prevalente il carattere di imprevedibilità associato alla presenza improvvisa e temporanea del disturbo nel campo visivo. Tale caratteristica di imprevedibilità potrebbe non permettere ad un pilota delle azioni correttive tempestive.

I punti ove operare tale verifica sono quindi legati alla collocazione dell'osservatore, nella fattispecie l'operatore in torre di controllo ed ovviamente il pilota nelle varie fasi di volo ovvero i punti individuati nell'ambito dei segmenti "visua" delle traiettorie nominali delle operazioni strumentali (per la determinazione dei quali si richiama il doc 8168 ICAO e che sono ricavabili dalle

pubblicazioni ufficiali AIP) e dei circuiti a vista quali l'impostazione della virata di base, per la determinazione dei quali si richiamano in generale le regole del volo a vista.

Qualora i punti rappresentativi rientrino nella campana dei raggi riflessi (costruita sul sito di installazione) allora sarà presente un potenziale fenomeno di abbagliamento.

*L'Abbagliamento a carattere infastidite che espone il pilota a fonti luminose persistenti nel proprio campo visivo (Glare) può essere escluso verificando se, in termini di azimut e zenit, esistano raggi riflessi paralleli ed opposti alle direttrici di avvicinamento.*

Assumendo che la fonte di disturbo sia persistente nel campo visivo, la conoscenza del fenomeno del *Glare* rende lo stesso meno gravoso rispetto al *Glint*, permettendo al pilota di porre in essere delle azioni correttive tempestive.

Occorrerà pertanto verificare se esistano riflessioni (in termini di azimut e zenit) parallele alle direttrici di avvicinamento alla pista, rappresentate dagli orientamenti azimutali QFU (+ 15°) e zenitali GP (+ 1,5°), e che esse siano esterne al diagramma solare locale (inteso come ambito di spazio aereo interessato dalla presenza della fonte luminosa solare).

Si riporta nella figura seguente un esempio di analisi dei punti significativi sul diagramma solare dei raggi riflessi:

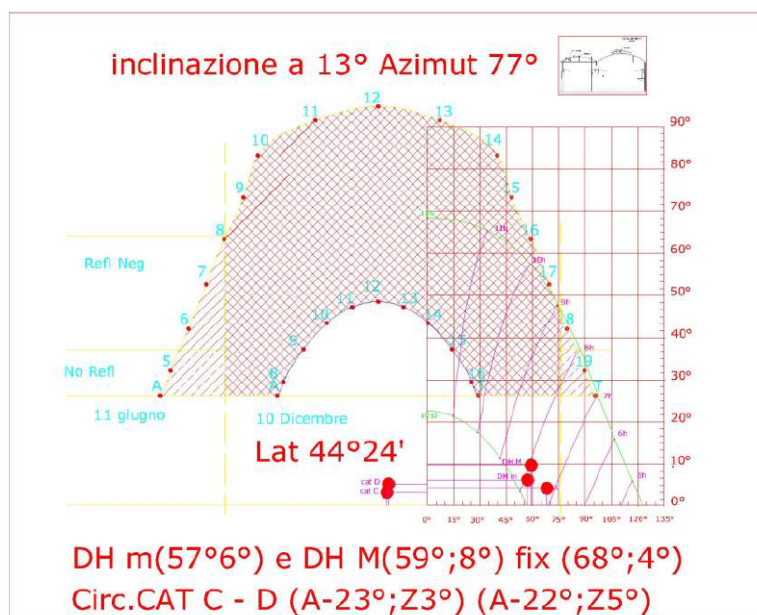


Figura 19 - Analisi dei punti significativi sul diagramma solare dei raggi riflessi

(Fonte immagine Quaderno Io Roma n.4. 2016 Ordine Ingegneri di Roma)

Al fine di valutare le effettive conseguenze del fenomeno, l'analisi geometrica può essere corredata con disamine di tipo qualitativo, quali ad esempio:

1. coordinamento con i piloti e gli operatori di torre sulla base delle caratteristiche geografiche della località in esame, assumendo che l'intensità della riflessione prodotta dai pannelli non possa mai superare quella del sole diretto;

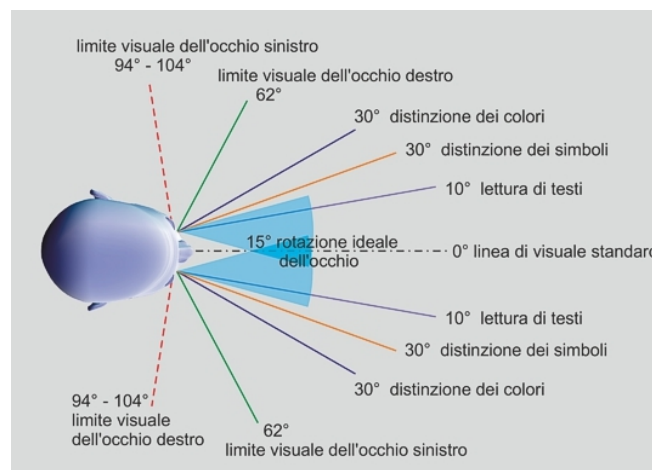
2. in merito agli avvicinamenti per RWYs a vista, la presenza della fonte riflettente nel campo visivo del pilota potrebbe garantire lo stesso nel ricorrere ad accorgimenti o manovre tempestive con dovuto anticipo rispetto alle fasi critiche dell'atterraggio;
3. il sorvolo dell'impianto, e quindi la perdita di visibilità diretta della fonte di disturbo, dovrebbe essere realizzato ad una quota che garantisca ampio margine per operare liberi da ostacoli rispetto ai valori di *circling* pubblicati in AIP;
4. analisi della traiettoria di atterraggio: dovrebbe essere garantito, considerando anche gli aeromobili più veloci (classificazione Doc 8168 ICAO), ampio margine temporale prima della soglia pista per permettere al pilota di prendere una decisione in merito ad un eventuale aborto della manovra di atterraggio;

#### 5.4. Valutazione del tipo di visione interessata e dell'intensità dell'abbagliamento

Le analisi geometriche esposte ai punti precedenti forniscono il potenziale impatto di raggi riflessi a carattere infastidente rispetto alle coordinate spaziali della Torre di Controllo e/o della cabina di pilotaggio.

Al fine di rendere l'analisi consistente è necessario caratterizzare la posizione dell'osservatore ed il tipo di visione interessata, distinguendo le aree di visione, da quelle più "nobili" a quelle più marginali (visione primaria, riconoscimento dei simboli, distinzione dei colori, visione monoculare).

Tali indicazioni sono sintetizzate secondo schemi diagrammatici (azimutali, zenitali) del tipo sotto riportato.





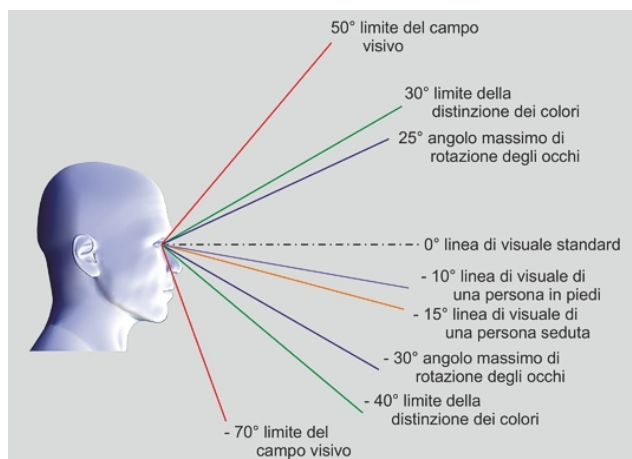


Figura 20 - Tipi di visione

(Fonte immagini sito <http://www.archeryweb.eu/archeryweb%20-%20occhio%20vista%20percezione.html>)

La collocazione della sorgente luminosa nell'ambito di una rappresentazione prospettica da parte dell'osservatore fornisce una indicazione qualificata del tipo di visione coinvolta.

Da considerare che, secondo gli standard reperibili in letteratura in materia di metriche di sicurezza oculare, l'abbagliamento oltre i 50-60 gradi dalla linea di vista del pilota, come mostrato nella Figura 3, non è considerato un pericolo per la sicurezza (Ho et al., 2015) in quanto posto al di fuori del cosiddetto "campo visivo utile".

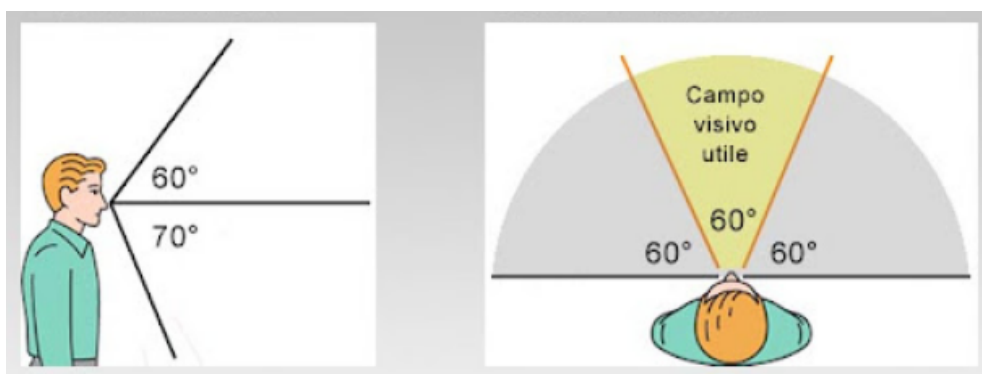


Figura 21 - Campo visivo utile

(Fonte immagini sito <http://www.archeryweb.eu/archeryweb%20-%20occhio%20vista%20percezione.html>)

Qualora dall'analisi geometrica dovessero risultare possibili fenomeni di abbagliamento nel campo visivo utile, è necessario procedere alla valutazione del potenziale abbagliante e dell'irraggiamento retinico.

Il potenziale abbagliante è misurato in funzione della distanza e delle caratteristiche della sorgente. Numerosi studi precedenti si sono occupati di investigare l'impatto dei riflessi speculari, usando il danno oculare permanente come riferimento.



I metodi analitici sono basati sulle metriche di sicurezza oculare per brevi periodi di esposizione a luce intensa.

Due variabili sono necessarie per la valutazione dell’impatto oculare: l’irraggiamento retinale e la misura dell’angolo sotteso della sorgente di abbagliamento.

Per i metodi analitici di analisi si rimanda agli articoli di letteratura presenti in bibliografia, riferimento [15].

### 5.5. Simulazione tramite software

Le valutazioni analitico-geometriche illustrate ai paragrafi precedenti possono essere svolte anche mediante l’ausilio di software specifici presenti sul mercato.

Uno degli applicativi, riconosciuto dall’Autorità degli Stati Uniti FAA, è ad esempio il software *GlareGauge/ForgeSolar* basato sull’algoritmo SGHAT v.3 (*Solar Glare Hazard Analysis Tool*) e sviluppato dal *Sandia National Laboratory*.

Esistono diversi software/tool di analisi con licenza a pagamento sul mercato. ENAC non richiede l’uso di uno strumento specifico per la valutazione dell’impatto oculare ma dovrà essere fornita evidenza delle metodologie di calcolo implementate.

Le simulazioni, effettuate nella configurazione di installazione, dovranno evidenziare l’assenza di fenomeni di abbagliamento persistente sia per i piloti in avvicinamento, sia per gli aeromobili in fase di decollo/rullaggio e la totale assenza di riflessione in direzione degli operatori della torre di controllo in ragione della inclinazione (tilt) e dell’orientamento di cui i pannelli sono dotati.

L’analisi si basa su una serie di dati di input relativi alla località, alle caratteristiche dell’installazione, alle operazioni aeronautiche previste ed alla posizione degli osservatori in torre di controllo:

Feature	Model Inputs	Options
Project	Time Zone	
	Height Above Ground	
PV Array	Module Tilt	
	Module Orientation (Azimuth)	
	Module Surface Material	
	Tracking	Single, Dual or None
	Vertical Surface (VS)	Top Height
Vertical Surface (VS)	Bottom Height	
	Double-sided	Yes or No
	Direction	
Flight Path (FP)	Glide Slope	
	Threshold Crossing Height	
	Latitude	
Observation Point (OP)	Longitude	
	Height Above Ground	
	Is OP an Air Traffic Control Tower (ATCT)	Yes or No

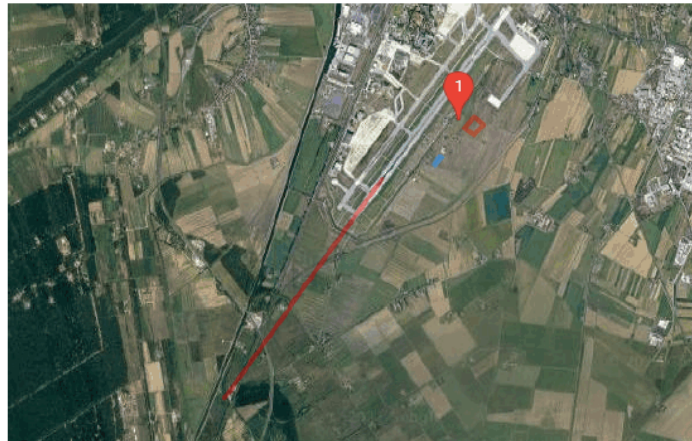


Figura 22 - Parametri di input del software e caratterizzazione del sito

(Fonte immagini sito <https://www.forgesolar.com/>)

Per ogni punto di osservazione, il software deve essere in grado di determinare:

- Ora del giorno in cui si verifica l'abbagliamento;
- Durata giornaliera dell'abbagliamento;
- Variazione stagionale dell'abbagliamento;
- Posizione dell'abbagliamento sul diagramma di irraggiamento retinale.

L'abbagliamento sperimentato in tutti i punti di osservazione identificati (OP: *Observation Points*) viene quindi classificato, in base al livello di rischio oculare, in una delle tre categorie di impatto potenziale di immagine residua, secondo il diagramma di irraggiamento retinale (zona verde, gialla o rossa).

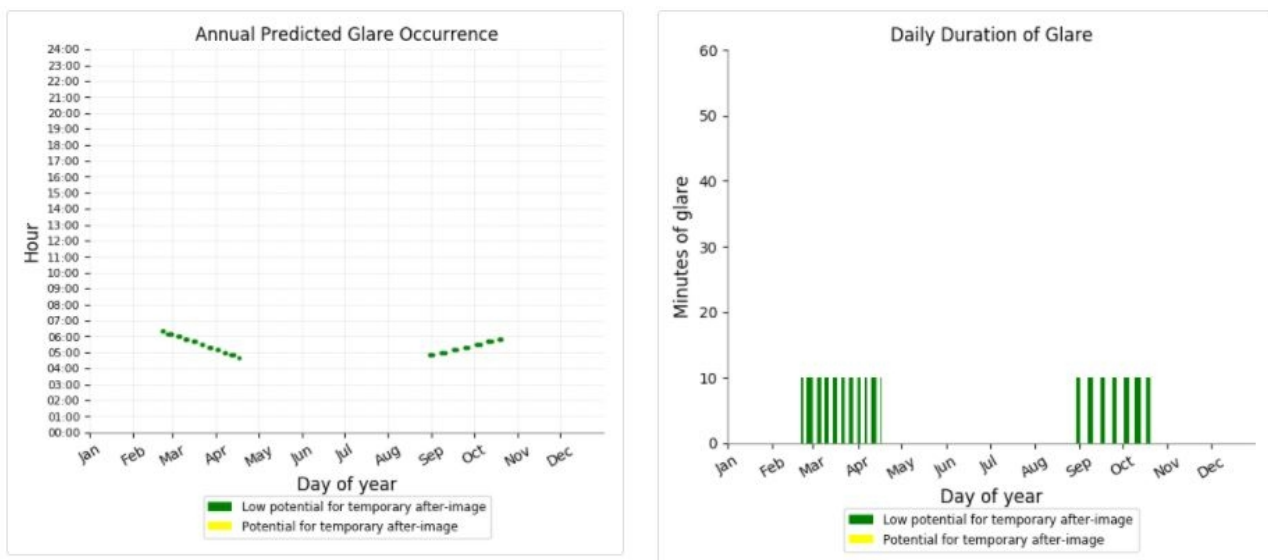


Figura 23 - Frequenza e durata del fenomeno di abbagliamento

(Fonte immagini sito <https://www.forgesolar.com/>)

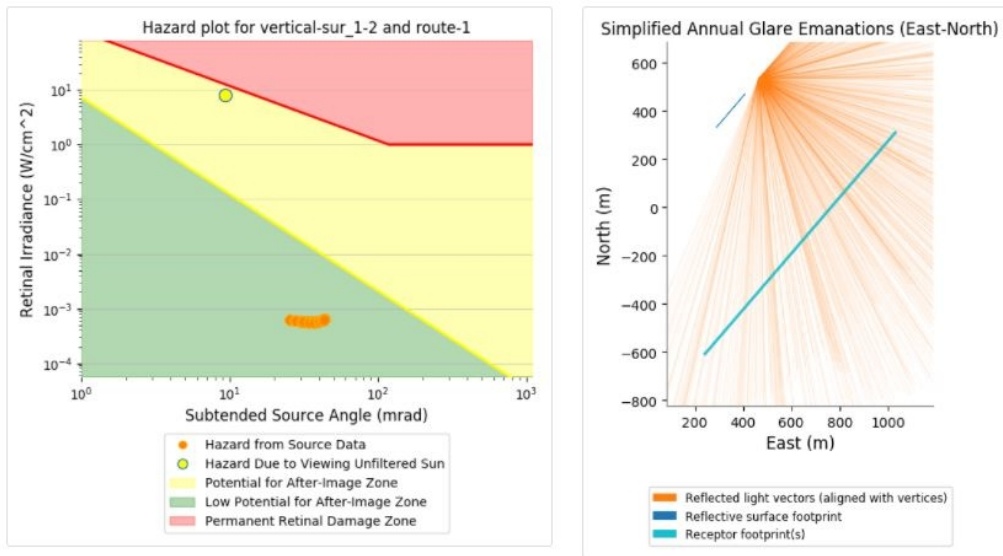


Figura 24 - Output del software - impatto dell'abbagliamento sull'osservatore  
(Fonte immagini sito <https://www.forgesolar.com/>)

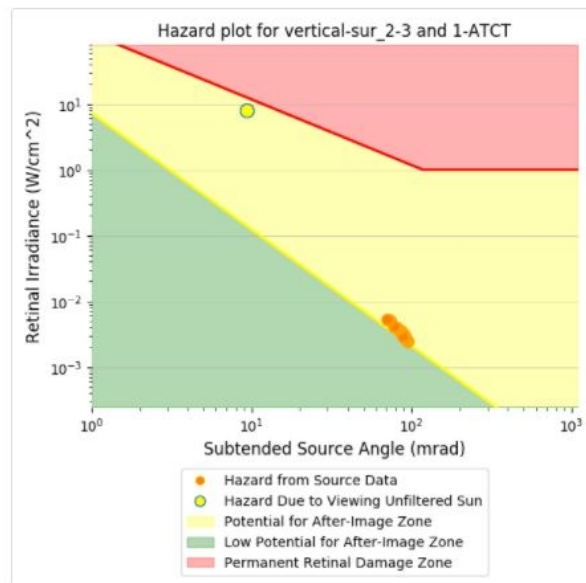


Figura 25 - Esempio di abbagliamento con potenziale di immagine residua  
(Fonte immagini sito <https://www.forgesolar.com/>)

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 di abbagliamento ricadenti nella zona rossa (danno retinico permanente), non sarà possibile accettare il rischio e si renderà necessario rivedere la progettazione del sistema.

Qualora invece dovessero verificarsi probabili fenomeni di abbagliamento in zona gialla, occorrerà approfondire l'analisi e valutare attentamente i tempi di esposizione effettiva e l'implementazione di eventuali misure di mitigazione.

Nell'analisi mediante ausilio di software occorre tenere in considerazione le seguenti indicazioni/limitazioni:

- gli attuali software sul mercato forniscono risultati accurati per superficie piane e non risultano ancora sviluppati per dischi parabolici o superfici curve in genere;
- i software presumono che l'installazione avvenga su una superficie complanare al terreno e che l'inclinazione dei pannelli sia la medesima per tutti i componenti dell'impianto. Qualora ci si trovi in condizioni di installazione di pannelli a quote diverse, è necessario eseguire una simulazione che tenga conto delle differenti posizioni dei pannelli ed analizzi il caso peggiorativo;
- gli attuali software permettono di modellare configurazioni semplici non prevedendo l'interposizione di strutture, elementi naturali o altro tipo di ostacolo tra l'osservatore ed il campo fotovoltaico;
- per i calcoli geometrici i software si basano su un unico punto di riflessione sulla superficie del pannello. In taluni software è possibile ottenere una maggiore precisione aumentando il numero di altezze valutate (punti di incidenza dei raggi solari);
- i software utilizzano le immagini e la mappatura satellitare del territorio, basando le analisi su immagini satellitari ottenute dal telerilevamento terrestre, fotografie aeree e dati topografici memorizzati in una piattaforma GIS (quale ad esempio Google Earth). Si raccomanda di verificare la correttezza delle informazioni satellitari/cartografiche rispetto alla reale condizione dell'ambiente in esame.
- il diametro della pupilla è assunto pari a 0.002 m, valore tipico in condizioni diurne;
- la lunghezza focale dell'occhio (utilizzata per determinare la dimensione dell'immagine proiettata sulla retina) è assunta pari a 0,017 m;
- angolo di inclinazione del sole: 9,3 milliradiani;
- la simulazione viene eseguita in condizioni di cielo limpido in quanto i software non dispongono di dati meteorologici storici della località in esame;

Qualora il caso in esame, con le dovute approssimazioni e semplificazioni, non sia riconducibile ad un caso "standard", dovrà essere prodotta una modellazione apposita ed i risultati validati in modo congiunto con ENAC.

## 5.6. Criteri di accettabilità

Sulla base della disamina delle diverse metodologie di valutazione dell'impatto visivo, è possibile determinare i seguenti criteri di accettabilità:

### ➤ Metodo qualitativo

Il metodo qualitativo può essere adottato per dimostrare l'assenza di condizioni peggiorative di abbagliamento rispetto alle condizioni ambientali preesistenti con riferimento all'installazione proposta.

La valutazione qualitativa può basarsi sull'analisi dei coefficienti di riflettività dei moduli fotovoltaici rispetto alle caratteristiche dei materiali su cui l'installazione andrà a sovrapporsi, o su una semplice analisi geometrica che escluda la possibilità di raggi riflessi a carattere infastidente.

A corredo del metodo qualitativo possono essere inoltre impiegati:

- esiti positivi di report dal personale di torre/piloti per installazioni analoghe sul medesimo scalo;
- prove dimostrative su campo con campioni di pannelli fotovoltaici ed esito delle valutazioni svolte con il personale di torre, piloti e funzionari aeroportuali.
- il certificato del produttore dei moduli fotovoltaici scelti per il progetto, attestante le caratteristiche di riflettività dei materiali in funzione degli angoli di incidenza delle radiazioni solari.

### ➤ Metodo quantitativo

Il metodo quantitativo prevede la dimostrazione analitica dell'assenza di fenomeni dannosi da abbagliamento mediante analisi geometrica o simulazione con software.

I punti ove operare tale verifica sono legati alla collocazione dell'osservatore, nella fattispecie l'operatore in torre di controllo ed ovviamente il pilota nelle varie fasi di volo ritenute significative.

Il metodo quantitativo può prevedere modellazioni basate su metodologie analitiche (quali ad esempio le analisi geometriche combinate con la valutazione del tipo di visione coinvolta) o simulazione mediante software.

Qualora l'esito della valutazione quantitativa dovesse evidenziare la presenza di un potenziale per immagine residua temporanea, occorrerà modificare il layout dell'installazione o corredare l'analisi con un *risk assessment* contenente la valutazione dei rischi in relazione alla tipologia di operazioni aeronautiche previste, in particolare:

- un'analisi dell'efficacia delle misure esistenti, se presenti, per mitigare tale abbagliamento (quali ad esempio vetri antiriflesso e tende parasole presso la torre di controllo);
- adozione di eventuali ulteriori misure di mitigazione dell'impatto;
- adozione di misure di monitoraggio.

Gli esiti delle valutazioni del *risk assessment* devono garantire il rispetto dei seguenti requisiti:

- Nessun abbagliamento che comporti un potenziale di immagine residua, per qualsiasi percorso di volo dalla soglia pista fino ad una distanza di 3 km (rif. standard FAA e Doc ICAO 8168).

- Nessun abbagliamento per le torri di controllo del traffico aereo ("ATCT") all'altezza della cabina.
- Nessun abbagliamento che comporti un potenziale di immagine residua, per qualsiasi percorso di volo dalla soglia ai punti individuati lungo la traiettoria nominale al disotto della DH (così come definita nel Doc ICAO 8168).
- Nessun abbagliamento che comporti un potenziale di immagine residua, per qualsiasi percorso di volo dalla soglia ai punti individuati lungo la traiettoria nominale al disotto della MDH (così come definita nel Doc ICAO 8168), a meno che non sia dimostrata la disponibilità per il pilota di un adeguato tempo di risposta per abortire l'atterraggio.
- Nessun abbagliamento che comporti un potenziale di immagine residua, per qualsiasi percorso di volo dalla soglia ai punti individuati lungo la traiettoria nominale al disotto della MDH (così come definita nel Doc ICAO 8168), a meno che non sia dimostrata la disponibilità per il pilota di un adeguato tempo di risposta per abortire l'atterraggio.
- Nessun abbagliamento che comporti un potenziale di immagine residua, per qualsiasi percorso di volo dalla soglia ai punti individuati lungo la traiettoria nominale al disopra della MDH (così come definita nel Doc ICAO 8168), a meno che non sia dimostrata la disponibilità per il pilota di un adeguato tempo di risposta per abortire l'atterraggio.

## 6. MISURE DI MITIGAZIONE

Qualora le analisi dei potenziali fenomeni di abbagliamento dovessero fornire esito negativo, è possibile valutare il ricorso ad alcune misure di mitigazione che rendano comunque l'opera realizzabile.

In particolare è possibile agire sui seguenti parametri:

- **Caratteristiche tecniche dei pannelli:**

La maggior parte dei pannelli moderni è prodotta con un rivestimento antiriflesso che riduce la porzione di luce riflessa. Ciò riduce intrinsecamente l'impatto risultante da riflessi. È possibile provare a modificare i risultati delle analisi cambiando il tipo di pannello solare, agendo sia sulla tecnologia dello stesso che sugli indici di riflettività dichiarati dai costruttori.

- **Interposizione di schermi:**

Il verificarsi di fenomeni di scintillio ed abbagliamento ai danni di un osservatore è strettamente legato alla linea visiva verso i pannelli. Una misura di mitigazione efficace è rappresentata dall'interposizione di oggetti schermanti tra l'osservatore e la fonte di disturbo, laddove sia praticabile e tale da non influire in maniera negativa sull'efficienza globale dell'impianto. A tal fine è utile segnalare che luccichii e riflessi causati da un campo fotovoltaico possono talvolta essere riconducibili ad un numero limitato di stringhe e/o pannelli solari nell'ambito dell'intera installazione.

Pertanto, un'analisi completa può identificare con precisione la provenienza dei disturbi e valutare il livello di schermatura necessario. Ciò sarà influenzato dall'altezza relativa dell'osservatore e del pannello riflettente, nonché dall'elevazione del terreno nel punto di proiezione. Per esempio, nella figura sottostante, lo schermo sarebbe sufficiente per il pannello inferiore ma non per il pannello superiore.

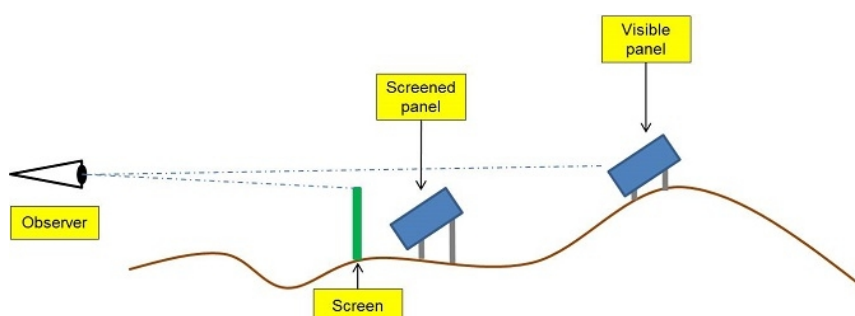


Figura 26 - Interposizione di schermi

(Fonte immagine sito <https://www.pagerpower.com>)

- **Modifica degli angoli di inclinazione**

La modifica delle angolazioni di tilt ed azimuth del riflettore (pannello) può influenzare il percorso dei raggi riflessi. Nella pratica, è improbabile che la modifica dell'angolo di inclinazione di un pannello solare all'interno dell'intervallo di massima producibilità di energia elettrica possa rimuovere del tutto un potenziale impatto. Tuttavia, in casi marginali,



ciò potrebbe contribuire ad una strategia di mitigazione cercando di ottimizzare effetti di abbagliamento ed efficienza.

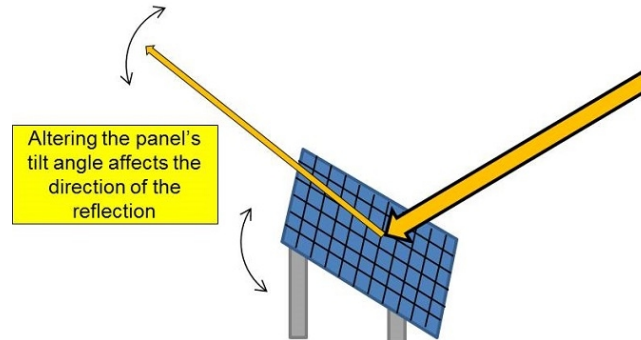


Figura 27 - Modifica degli angoli di inclinazione

(Fonte immagine sito <https://www.pagerpower.com>)

Vale la pena ricordare che le riflessioni possono essere causate da una particolare porzione di una installazione, quindi gli aggiustamenti richiesti potrebbero essere relativamente piccoli.

Si riporta a titolo di esempio un grafico che rappresenta la variazione della percentuale di luce riflessa in funzione dell'angolo di tilt del pannello:

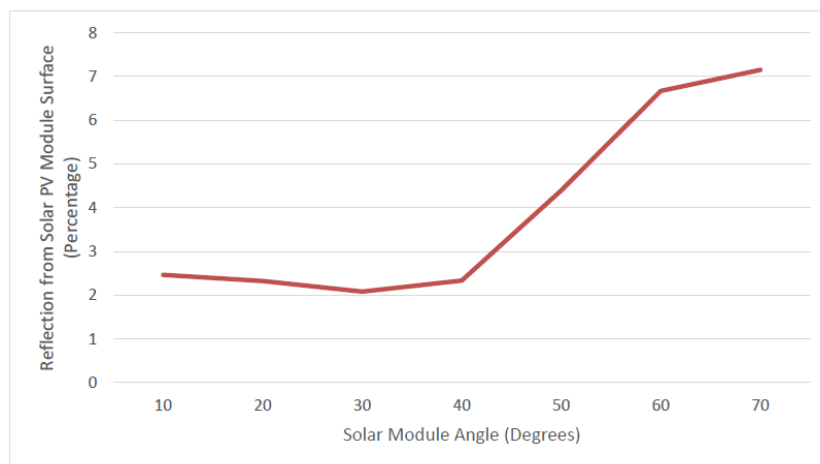


Figura 28- Percentuale di luce riflessa in funzione dell'angolo di tilt

(Fonte immagine Anurag et al., 2017)



## 7. IL PROCEDIMENTO AUTORIZZATIVO

### 7.1. Presentazione delle istanze e rilascio del nulla osta

In relazione alla struttura organizzativa dell'ENAC, le istanze autorizzative dovranno essere indirizzate all'attenzione di:

- *Direzione Sviluppo e Approvazione Progetti (EAP)* per progetti riguardanti installazioni all'interno del sedime aeroportuale;
- *Direzione Operazioni territoriale di competenza* per progetti ricadenti all'esterno del sedime aeroportuale e costituenti pericolo alla navigazione aerea ai sensi di quanto previsto al Cap.4 del Regolamento per la Costruzione ed Esercizio degli Aeroporti. (<https://www.enac.gov.it/direzioni-uffici-operazioni>).

La presentazione di un'istanza ad ENAC dovrà contenere relazioni e/o elaborati grafici che mettano in evidenza il rispetto dei seguenti requisiti:

1. la verifica di sussistenza dell'interesse aeronautico dell'installazione e, se previsto, una valutazione di impatto visivo per dimostrare che l'abbagliamento non comporti pericoli per la sicurezza delle operazioni aeronautiche (come descritto ai successivi paragrafi 7.2 e 7.3);

*Al fine di semplificare l'iter autorizzativo, i proponenti possono utilizzare il "Modulo di Asseverazione" riportato in Appendice alle presenti linee guida.*

2. il progetto non può costituire ostacolo alla navigazione aerea e penetrare le Superfici di limitazione Ostacoli, così come definite dagli standard ICAO (*Annex 14*), EASA (*Aerodromes*) e Regolamento ENAC per la Costruzione ed Esercizio Aeroporti (superfici limitazione ostacoli, superfici a protezione degli indicatori ottici della pendenza dell'avvicinamento, superfici a protezione dei sentieri luminosi per l'avvicinamento);
3. il progetto, se classificato come ostacolo o pericolo alla navigazione aerea in accordo a quanto previsto al punto 1.4 Cap. 4 del citato Regolamento, con le aree poste a protezione dei sistemi di comunicazione, navigazione e radar (*BRA - Building Restricted Areas*) e con le minime operative delle procedure strumentali di volo (DOC ICAO 8168), deve contenere la valutazione positiva di ENAV S.p.A. relativamente agli aspetti di compatibilità con le radioassistenze e con le procedure di volo;
4. il progetto dovrà contenere tutti gli elaborati minimi previsti dal Codice dei Contratti Pubblici e relativi strumenti attuativi;
5. il progetto deve utilizzare aree disponibili aeroportuali non destinate ad attività aeronautiche o funzionali ad esse (quali, ad esempio, la strip);
6. il progetto deve considerare gli impatti del periodo di costruzione e dei mezzi impiegati sull'operatività dello scalo;
7. particolare attenzione dovrà essere posta ad eventuali impatti sull'occupazione di aree funzionali all'attuazione dei Piani di Emergenza Aeroportuali;
8. nel caso di installazioni all'interno del sedime, il progetto dovrà contenere il dettaglio dell'interconnessione della fonte di energia alle infrastrutture esistenti e le modalità di gestione dei flussi di potenza.

La presenza della documentazione giustificativa permetterà di ottenere il rilascio del Nulla osta alla realizzazione dell'impianto, salvo chiarimenti o integrazioni che dovessero rendersi necessari nel corso dell'istruttoria.

Il nulla osta da parte di ENAC attesta che il progetto tiene conto degli applicabili standard di sicurezza e del rispetto delle norme aeronautiche vigenti, certifica inoltre che il progetto, sotto il profilo delle competenze dell'Ente, è ammissibile alla successiva fase di realizzazione.

Essa non trasferisce in capo all'organo approvante alcuna delle responsabilità che la legge attribuisce al progettista o che i regolamenti attribuiscono alle figure responsabili del Gestore Aeroportuale.

Si rammenta che il Gestore Aeroportuale, tramite le proprie figure professionali preposte, è tenuto a verificare l'impatto delle nuove opere sulle procedure operative presenti nel Manuale di Aeroporto e quindi ad accertare l'introduzione degli eventuali aggiornamenti.

In particolare, per gli impianti fotovoltaici, si raccomanda il monitoraggio dell'opera e di eventuali segnalazioni ad essa connesse per un adeguato numero di cicli solari (da stabilirsi sulla base della località e delle relative condizioni climatiche attese).

Qualora, a seguito della realizzazione dell'impianto, dovessero emergere segnalazioni di eventi aeronautici connessi a disturbi causati dall'abbagliamento, sarà cura del proponente/gestore dell'impianto implementare le necessarie misure di mitigazione per eliminare il disturbo.

## 7.2. Procedura di valutazione dell'interesse aeronautico

L'iter di valutazione dell'interesse aeronautico di un impianto fotovoltaico può essere schematizzato secondo il seguente diagramma a blocchi:

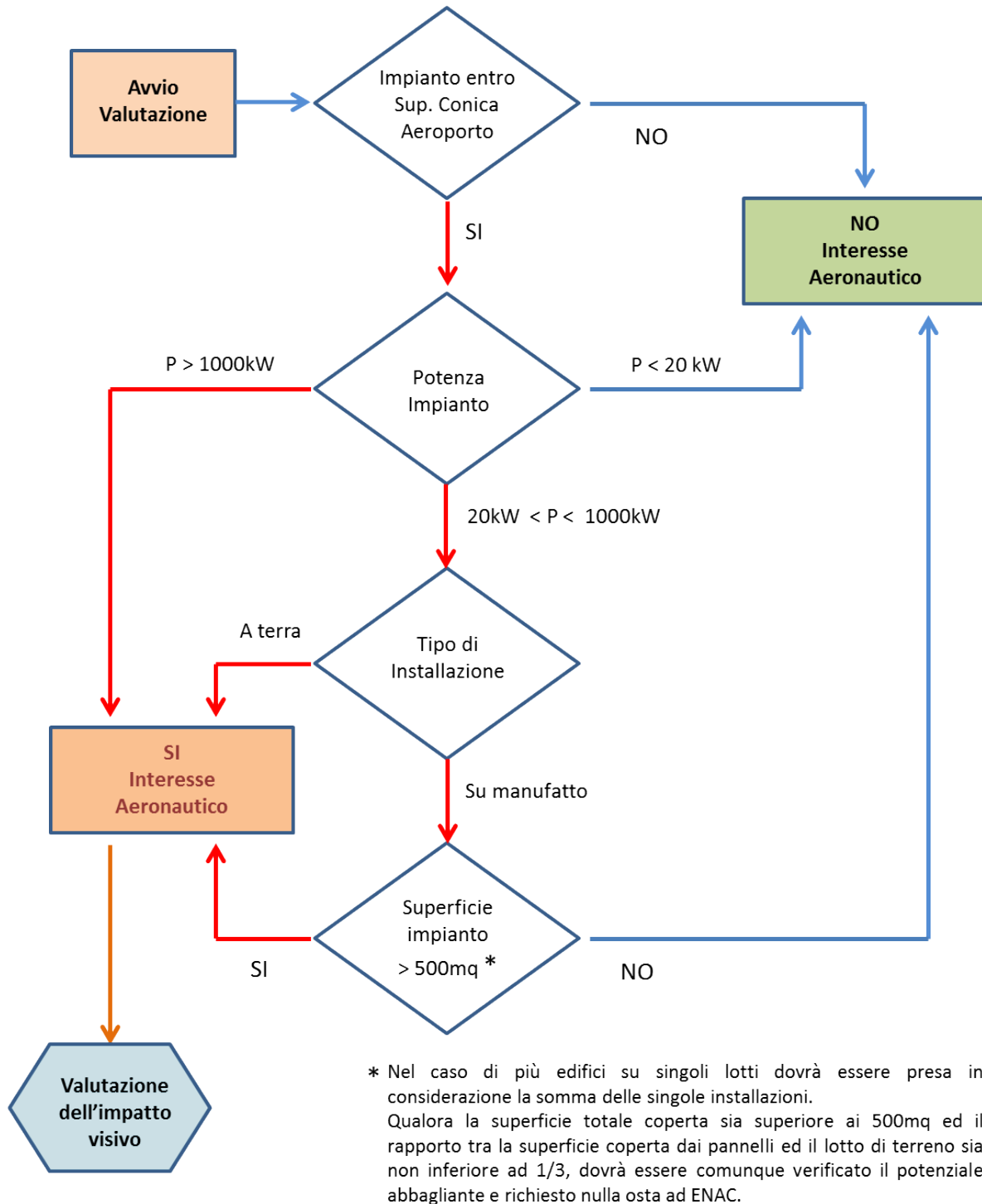


Figura 29 - Procedura di valutazione di interesse dell'impianto ai fini aeronautici

In particolare, con riferimento alle note circolari ENAC, sono da considerarsi di interesse aeronautico i seguenti parametri:

- **Distanza dall'aeroporto:** per i parchi fotovoltaici è richiesta istruttoria e parere/nulla osta di ENAC se collocati entro la Superficie Conica dall'ARP (*Aerodrome Reference Point*) dell'aeroporto più vicino;  
**N.B.** Il valore della proiezione a terra della superficie Conica di limitazione ostacoli è correlato al codice di aeroporto ove è praticata la circuitazione. Le distanze da considerare sono pertanto pari a:
  - 6km per Aeroporti di codice 3 o 4;
  - 3,6km per Aeroporti di codice 2
  - 2,7km per Aeroporti di codice 1
- **Tipo di installazione:** su tetto o a terra;
- **Estensione impianti fotovoltaici su tetto (edificio singolo):** sono esclusi dalla valutazione di ENAC gli impianti con previsione di installazione su tetto di abitazioni/costruzioni che, a prescindere dalla distanza dall'aeroporto, abbiano superficie non superiore a 500mq;
- **Estensione impianti fotovoltaici su tetto (più edifici su singoli lotti):** sono esclusi dalla valutazione di ENAC gli impianti con previsione di installazione su tetto di abitazioni/costruzioni che, a prescindere dalla distanza dall'aeroporto, abbiano superficie non superiore a 500mq. Ai fini della valutazione della superficie complessiva dovrà essere presa in considerazione la somma delle singole installazioni.  
Qualora la superficie totale coperta non sia inferiore ai 500mq ed il rapporto tra la superficie coperta dai pannelli ed il lotto di terreno sia non inferiore ad 1/3, dovrà essere comunque verificato il potenziale abbagliante e richiesto nulla osta ad ENAC;
- **Potenza dell'impianto:** Al fine di armonizzare la classificazione normativa delle taglie degli impianti fotovoltaici con i criteri di valutazione aeronautici, si ritiene che possa essere considerata la seguente parametrizzazione in considerazione del rapporto tra superficie riflettente e potenza nominale dell'impianto:
  - *Piccolo impianto:* impianto di potenza fino a 20kW destinato ad uso domestico (in linea con quanto definito nel "Piano Nazionale Integrato per l'energia e il clima", Dicembre 2019);
  - *Medio impianto:* impianto compreso tra i 20kW ed i 1000kW. All'interno di questa famiglia è possibile individuare due ulteriori livelli di complessità:
    - *Impianti tra i 20kW ed i 100kW:* Il limite superiore di 100kW è individuato considerando che, grazie alle attuali tecnologie di pannelli solari, una potenza di 100kW può essere ottenuta con una superficie complessiva di circa 500mq di pannellature; il valore di 100kW risulta inoltre l'attuale limite di potenza per contratti di fornitura di energia elettrica in bassa tensione.
    - *Impianti tra i 100kW ed i 1000kW*
  - *Grande impianto:* impianto oltre i 1000kW, di uso industriale.

Alla luce della predetta classificazione e delle circolari ENAC in materia (CIA prot. 0146391/2011, IOP prott. 065532/2012 e 070197/2013), si può assumere quanto segue:

- i “piccoli impianti” non risultano di interesse aeronautico e pertanto possono ritenersi esclusi dalla valutazione di ENAC;
- i “grandi impianti” necessitano sempre di parere/nulla osta di ENAC indipendentemente dal tipo di installazione;
- i “medi impianti” necessitano di una valutazione coordinata con ENAC. Per gli impianti tra i 20kW ed i 100kW (o 500mq di estensione) è prevista una verifica preliminare della sussistenza delle condizioni di semplificazione delle procedure autorizzative, come esposto in **Figura 29**.

In particolare, per gli impianti dai 50kW e fino ai 200kW occorrerà verificare la possibilità di rientrare nelle misure di semplificazione introdotte dal Decreto 3 marzo 2011, n. 28.

Per i grandi impianti, per gli impianti di media dimensione oltre i 100kW, o per i progetti che prevedano installazioni all'interno del sedime aeroportuale è richiesta la presentazione della documentazione ad ENAC sin dalla prima fase di progettazione (fattibilità tecnico-economica) al fine di valutare in modo compiuto il potenziale impatto del progetto sulla navigazione aerea.

In particolare per i progetti che prevedano l'installazione all'interno del sedime aeroportuale è richiesta la presentazione della documentazione ad ENAC (Direzione Sviluppo ed Approvazione Progetti) al fine di valutare il potenziale impatto del progetto sui Piani di Sviluppo aeroportuali.

**N.B.** La potenza nominale (o massima, o di picco, o di targa) dell'impianto fotovoltaico è la potenza elettrica dell'impianto determinata dalla somma delle singole potenze nominali (o massime, o di picco, o di targa) di ciascun modulo fotovoltaico facente parte del medesimo impianto, misurate alle condizioni standard (temperatura pari a 25 °C e radiazione pari a 1.000 W/m<sup>2</sup>). *Fonte GSE*

Ne consegue che nei dintorni aeroportuali, e sul sedime, non è consentito installare parchi fotovoltaici o impianti solari termodinamici a concentrazione dotati di ampie superfici specchiate riflettenti, a meno che uno studio specialistico di valutazione dell'impatto visivo non ne provi la compatibilità aeronautica, dimostrando che i fenomeni di abbagliamento potenzialmente causati dalla fonte riflettente non pregiudichino la sicurezza della navigazione aerea.

Analogamente, non risultano di interesse aeronautico i seguenti impianti:

- Impianti di piccola potenza (<20kW);
- Impianti di media potenza (<100kW) e con superficie complessiva inferiore a 500mq;
- Ampliamenti di impianti su costruzioni esistenti che non alterino le valutazioni di impatto visivo eventualmente già autorizzate.

### 7.3. Procedura di valutazione dell'impatto visivo

L'iter di valutazione dell'impatto visivo dell'impianto (e la conseguente realizzabilità dell'opera vincolata al rilascio del Nulla Osta da parte di ENAC) può essere schematizzato secondo il diagramma di flusso riportato in **Figura 30**.

A seconda delle specifiche del sito e con riferimento alle metodologie illustrate al paragrafo 5, una valutazione accettabile può essere eseguita implementando le seguenti analisi:

- 1) Un'**analisi qualitativa** del potenziale impatto in base alle caratteristiche di riflettività del pannello solare ed un confronto con eventuali fonti di abbagliamento esistenti (rif. paragrafo 5.2). Tale analisi qualitativa può essere integrata con:
  - a. la disamina di eventuali report negativi e situazioni già segnalate legate ad ampie superfici riflettenti in prossimità dello scalo;
  - b. un test dimostrativo sul campo con pannelli solari nel sito proposto in coordinamento con il personale della torre di controllo del traffico aereo, qualora ritenuto necessario;
  - c. il certificato del produttore dei moduli fotovoltaici scelti per il progetto attestante le caratteristiche di riflettività dei materiali in funzione degli angoli di incidenza delle radiazioni solari.
  
- 2) Un'**analisi quantitativa** (geometrica e/o analitica) per determinare i giorni e gli orari in cui potrebbe esserci un impatto oculare e per valutare l'entità del fenomeno dell'immagine residua, in relazione alle operazioni aeronautiche previste sullo scalo.  
L'analisi quantitativa può essere realizzata mediante applicazione dei principi di ottica geometrica o con l'ausilio di software, come illustrato ai precedenti paragrafi 5.3, 5.4 e 5.5.  
L'analisi geometrica dovrà evidenziare se esistono possibili direzioni dei raggi riflessi che possano interessare gli operatori di torre o i piloti, quantificando e valutando l'impatto degli stessi sul tipo di visione interessata.  
Qualora l'esito della valutazione quantitativa dovesse evidenziare la presenza di un potenziale per immagine residua temporanea, occorrerà modificare il layout dell'installazione o corredare l'analisi con un risk assessment.
  
- 3) Un **risk assessment aeronautico** contenente la valutazione dei rischi in relazione alla tipologia di operazioni aeronautiche previste e, in particolare:
  - a. un'analisi dell'efficacia delle misure esistenti, se presenti, per mitigare l'abbagliamento (quali ad esempio vetri antiriflesso e tende parasole presso la torre di controllo);
  - b. adozione di eventuali ulteriori misure di mitigazione dell'impatto;
  - c. adozione di misure di monitoraggio.

L'implementazione di misure di mitigazione dovrà essere valutata dal Proponente, intervenendo se necessario sulle soluzioni tecniche della soluzione proposta (modifiche progettuali). Esempi di misure di mitigazione sono descritte al paragrafo 6.

Una volta nota ed analizzata l'entità del fenomeno di abbagliamento a carattere infastidente (intesa come periodo dell'anno e/o durata giornaliera stimata del fenomeno), può essere inoltre valutata la possibilità di introdurre eventuali azioni informative per gli operatori (ad es. Notam permanenti, pubblicazione in AIP, ecc.) in coordinamento con il SMS aeroportuale che dovrà prevedere periodi di monitoraggio del fenomeno di durata minima di 2 cicli solari (24 mesi) o fino a verifiche avvenute.

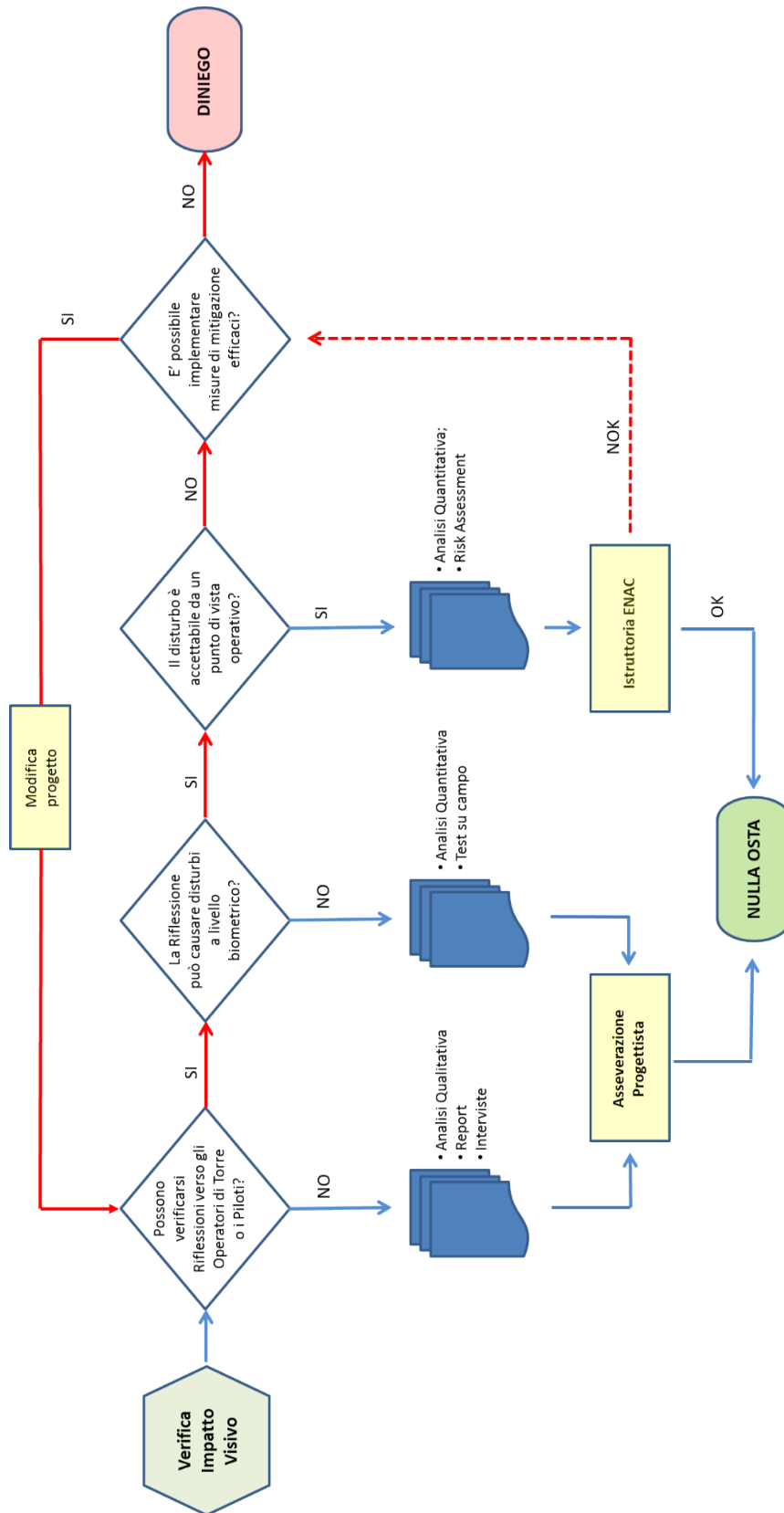


Figura 30 - Diagramma di flusso metodologie di valutazione della realizzabilità dell'impianto



## 8. BIBLIOGRAFIA

- 1) Circolare ENAC Prot. n. 0146391/IOP del 14.11.2011, “Decreto Legislativo 387/2003 – Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell’energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili – Procedimenti autorizzativi ex art. 12.  
Semplificazione delle procedure ENAC in materia di Valutazione dei progetti e rilascio nulla osta – Ostacoli e Pericoli per la navigazione aerea.
- 2) Circolare ENAC Prot. n. 0065532/IOP del 23.05.2012, “Nulla Osta impianti fotovoltaici di tipo domestico – Richiesta chiarimenti e semplificazioni procedurali – art. 707 del codice della Navigazione e Regolamento ENAC per la Costruzione e l’esercizio degli Aeroporti, Emd 8 del 20.10.2011”
- 3) Circolare ENAC Prot. n. 0070197/IOP del 11.06.2013, “Semplificazione delle procedure autorizzative da parte dei Comuni interessati dalla pubblicazione delle mappe di vincolo nelle more della definitiva conclusione delle procedure di approvazione delle stesse.
- 4) Federal Aviation Administration (2021). Review of Solar Energy System Projects on Federally-Obligated Airports. Federal Register: 2021-09862
- 5) Federal Aviation Administration (FAA), “Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports”, Version 1.1 April 2018
- 6) Overview presentation of the Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT)
- 7) Slana, J. (2018). Solar Glare Catalogue Development For Solar Photovoltaic Project Proposals (Unpublished report). University of Calgary, Calgary, AB.
- 8) Brumleve, T. D., 1977, “Eye Hazard and Glint Evaluation for the 5-MWt Solar Thermal Test Facility,” Sandia National Laboratories, Report No. SAND76-8022.
- 9) Brumleve, T. D., 1984, “10 MWe Solar Thermal Central Receiver Pilot Plant: Beam Safety Tests and Analyses,” Sandia National Laboratories, Report No. SAND83-8035.
- 10) Sliney, D. H., and Freasier, B. C., 1973, “Evaluation of Optical Radiation Hazards,” Appl. Opt., 12(1), pp. 1–24.
- 11) Carrier, J., 2008, “Beam Safety Design Parameters,” Data Response Attachment DR89-1, Appendix A, Data Response Set 1A. Dated on Jan. 14, 2008, CH2MHILL, Ivanpah Solar Electric Generating System, Application for Certification (07-AFC-5), Submitted to California Energy Commission, [http://www.energy.ca.gov/sitingcases/ivanpah/documents/applicant/DR\\_1a/2008-01-14\\_ISEGS\\_DR\\_SET\\_1A.PDF](http://www.energy.ca.gov/sitingcases/ivanpah/documents/applicant/DR_1a/2008-01-14_ISEGS_DR_SET_1A.PDF)
- 12) Carrizo Energy, LLC, 2008, “Responses to CEC Data Requests (#1–78),” Application for Certification (07-AFC-8), Carrizo Energy Solar Farm, Submitted to California Energy Commission, [http://www.energy.ca.gov/sitingcases/carrizo/documents/applicant/2008-02-27\\_DATA\\_RESPONSES\\_1-78.PDF](http://www.energy.ca.gov/sitingcases/carrizo/documents/applicant/2008-02-27_DATA_RESPONSES_1-78.PDF)
- 13) City of Victorville, 2008, “Victorville 2 Hybrid Power Project,” Application for Certification (07-AFC-1), submitted to California Energy Commission, [www.energy.ca.gov/sitingcases/victorville2/documents/](http://www.energy.ca.gov/sitingcases/victorville2/documents/)
- 14) San Joaquin Solar 1, 2 – Application for Certification Volume 2, Appendix L, “Glint and Glare Study,” [http://www.energy.ca.gov/sitingcases/sjsolar/documents/applicant/afc/AFC\\_volume\\_02/](http://www.energy.ca.gov/sitingcases/sjsolar/documents/applicant/afc/AFC_volume_02/)
- 15) Quaderno Io Roma n.4. 2016 Ordine Ingegneri di Roma: Mazza, Mazzaracchio.

## **9. APPENDICE – MODULO DI ASSEVERAZIONE**

A

ENAC Direzione Operazioni .....

(oppure, vedasi note in calce) ENAC Direzione Sviluppo e Approvazione Progetti

**Oggetto:** Asseverazione di valutazione dell'abbagliamento nei confronti delle operazioni aeronautiche

Rif. Impianto fotovoltaico: .....

Rif. Aeroporto: .....

In relazione all'istanza presentata per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto, il sottoscritto .....

in qualità di.....

iscritto all'Ordine Professionale .....n° iscrizione.....,

consapevole che le dichiarazioni false, la falsità negli atti e l'uso di atti falsi comportano l'applicazione delle sanzioni penali previste dagli artt.75 e 76 del D.P.R. n. 445/2000,

### DICHIARA

sotto la propria responsabilità, che:

- l'installazione si configura di "interesse aeronautico" in base alle seguenti caratteristiche:  
(barrare con una "X" la casistica in esame e riportare il dato relativo)
  - Distanza dall'aeroporto: .....
  - Tipo di installazione: .....
  - Estensione impianto: .....
  - Potenza impianto: .....
  
- è stata condotta la valutazione di impatto visivo con verifica della non sussistenza di fenomeni di abbagliamento per i piloti e per gli operatori in torre di controllo secondo le seguenti modalità:  
(barrare con una "X" la modalità di valutazione e riportare le risultanze dell'analisi)

Analisi qualitativa:

.....  
.....  
.....

Analisi quantitativa:

- Assenza di fenomeni di abbagliamento nelle direzioni di interesse aeronautico
- Basso potenziale di immagine residua (*Green glare*),  
con tempo di esposizione pari a ..... minuti
- Potenziale di immagine residua (*Yellow glare*),  
con tempo di esposizione pari a ..... minuti

Si allega alla presente asseverazione la seguente documentazione giustificativa:

- Relazione tecnica di analisi del fenomeno dell'abbagliamento
- Risk assessment

Data \_\_\_\_\_

TIMBRO E FIRMA

\_\_\_\_\_

Nota:

Le istanze autorizzative dovranno essere indirizzate all'attenzione di:

- *Direzione Operazioni territoriale di competenza* per progetti ricadenti all'esterno del sedime aeroportuale e costituenti pericolo alla navigazione aerea ai sensi di quanto previsto al Cap.4 del Regolamento per la Costruzione ed Esercizio degli Aeroporti (<https://www.enac.gov.it/direzioni-uffici-operazioni>)
- *Direzione Sviluppo e Approvazione Progetti (EAP)* per progetti riguardanti installazioni all'interno del sedime aeroportuale;