



REGIONE ABRUZZO
COMUNE DI FURCI
Provincia di Chieti



loc. Morge

**REALIZZAZIONE E GESTIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO
DELLA POTENZA NOMINALE DI 53.69 MW CON RELATIVE
OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE**

PROPONENTE	soc. ARAN 1 srl via Fratelli Ruspoli 8 00198 Roma
PROGETTISTA	 Direttore Tecnico ing. Teodoro Bottiglieri Studio Tecnico geom. Benedetto Cuorpo

OGGETTO	PROGETTO DEFINITIVO RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI	data	marzo 2023
		scala	
		format	A4
		elaborato	C_5.2

RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

Legenda

1	Premessa.....	2
2	Cause incendio.....	2
3	Studio delle ipotesi di incendio e ricaduta sostanze inquinanti.....	4
3.1	Metodologia.....	4
3.2	Sorgenti.....	4
3.3	Applicazione del metodo Gaussiano Plume.....	5
3.4	Calcolo dell'innalzamento del pennacchio.....	8
3.5	Calcolo della distanza a cui si verifica la concentrazione massima inquinanti..	9
4	Calcolo delle concentrazioni nei punti critici.....	13

RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

1. Premessa

Gli incidenti possibili su un impianto a terra , quale quello di progetto, sono essenzialmente:

- Incidenti dovuto allo “strappamento” per effetto vela dei moduli
- Incidenti dovuti ad incendio dei moduli o di elementi elettrici complementari presenti.

Nel primo caso le strutture calcolate e l’efficace aggancio in fondazione con pali in acciaio , ben distribuite lungo tutta la struttura, come da calcolo statico progettuale, rendono impossibile tale eventualità.

Il secondo caso può essere una ipotesi concreta dovuta a fattori, non prevedibili, ma possibili., certamente connessi anche ad efficaci piani di manutenzione.

2. Cause incendio

Le principali cause di rischio incendio dell’impianto fotovoltaico sono:

- Fenomeno Hot Spot: Il cosiddetto “hot spot” o riscaldamento localizzato si ha quando alcune celle fotovoltaiche sono in ombra o più sporche (per la presenza di fogliame, polvere ecc) e provocano una differenza di tensione tra due stringhe in parallelo. Non è possibile trovare delle celle perfettamente uguale nei moduli tuttavia, un’eccessiva differenza di produzione per incuria, può essere un innesco per un incendio.
- Cablaggi: La causa più comune di incendi degli impianti fotovoltaici sono i cablaggi. Connessioni a vite allentate o cavi usurati non solo creano una diminuzione di produzione totale ma rappresentano un vero e proprio rischio per l’impianto .
- Inverter: Anche gli inverter sono soggetti a surriscaldamento e blocchi termici, causa di innesco per incendi. In fase di installazione è importante dimensionare bene il sistema di raffreddamento.
- Cattiva manutenzione: Fare poca o nulla manutenzione aumenta i rischi di problemi all’impianto, tra cui incendi.

Nell’ambito di tale rischio è , però, opportuno evidenziare che I componenti principali dell’impianto fotovoltaico di progetto sono suddivisibili nei seguenti gruppi distinti per funzione e caratteristiche:

Le strutture di sostegno:

La struttura di sostegno , come ampiamente documentato nel progetto presentato, è composta esclusivamente di profilati metallici opportunamente trattati , collegati tramite idonee bullonature

RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

e collegate direttamente , con piastre saldate, alle fondazioni costituite da pali in acciaio zincato , con lo scopo essenziale di evitare “strappamenti” dovuti all’effetto vela a cui naturalmente la struttura è sottoposta.

I pannelli fotovoltaici:

I moduli hanno una cornice, realizzata in alluminio, che facilita il montaggio e costituisce una barriera contro l'infiltrazione di acqua.

Essi sono composti da celle, a loro volta realizzate in materiale cristallino, costituite da una lamina di silicio che è materiale semiconduttore.

Sulla superficie posteriore di supporto, realizzata in un materiale isolante in polimero, sono appoggiati un sottile strato di acetato di vinile (EVA), la matrice di moduli preconnessi, un secondo strato di acetato e un vetro temperato che funge da protezione meccanica anteriore per le celle fotovoltaiche.

Il procedimento di pressofusione trasforma l'EVA in un collante inerte e le terminazioni elettriche dei nastri sono chiuse in una morsettiera stagna fissata alla superficie di sostegno posteriore, e il "sandwich" ottenuto è fissato ad una cornice in alluminio, che sarà anche utile al fissaggio del pannello.

Il polivinilico utilizzato è il Tedlar che : è il nome commerciale di un film di polivinilfluoruro caratterizzato da alcune proprietà chimiche, elettriche e di resistenza meccanica, alle quali si aggiungono buone caratteristiche di barriera ai raggi UV e di resistenza all'invecchiamento atmosferico.

Viene utilizzato poiché è resistente alla fiamma, e viene usato come film protettivo nell'industria aeronautica.

Ciascun modulo è equipaggiato con una propria scatola di terminazione/connessione che deve avere grado di protezione IP65 ed è dotata di terminali elettrici di uscita con polarità opportunamente contrassegnate

I gruppi di conversione od inverter

Il gruppo di conversione della corrente continua (prodotta dai pannelli FTV) in corrente alternata (Inverter) attua il condizionamento ed il controllo della potenza trasferita.

Per ragioni funzionali e di sicurezza i circuiti elettrici sono dotati di dispositivi di manovra ed interruzione, per:

RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

sezionamento – per poter effettuare lavori elettrici;

interruzione – per poter eseguire lavori non elettrici su apparecchiature;

interruzione di emergenza – di fronte al rischio di pericolo imminente;

comando funzionale – per aprire o chiudere i circuiti per motivi funzionali;

I gruppi di conversione BT/MT (trasformatori)

Sono trasformatori a secco , in resina, collegati ai quadri elettrici di comando e sezionamento con barre e cavi antifiamma.

I quadri sono perfettamente compartimentati per quanto riguarda la componentistica e chiusi in armadi metallici. L'intero sistema elettrico è inserito in cabina elettrica costituita da box prefabbricati con resistenza al fuoco REI 130.

Da tali descrizioni si evince che le probabilità di incendio sono molto basse tenendo conto di una efficace manutenzione , ordinaria e straordinaria che sarà programmata ed eseguita dalla società produttrice.

3. Studio dell'ipotesi di incendio e ricaduta sostanze inquinanti –

3.1 Metodologia

Lo studio effettuato è del tutto teorico e sarà sviluppato sulla base dei seguenti dati.

- Coinvolgimento nell'incendio di 2 “vele” costituite da 38 moduli ciascuna
- Incendio ubicato in sito più sensibile dell'area di impianto
- Utilizzo di dati certi sulla ventosità media del sito
- Utilizzo del modello di calcolo Calpuff

3.2 Sorgenti

Sulla base di quanto precedentemente riportato un incendio di vaste proporzioni è praticamente impossibile anche alla luce dell'effettuazione di una assidua manutenzione non solo sui pannelli e sulla parte elettrica ma anche sul terreno con sfalcatura periodica, in modo da mantenere l'erba ad altezze di pochi centimetri e, quindi, con capacità quasi nulle di propagare un eventuale incendio.

RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

Inoltre l'uso di "vele" composte da 19 moduli su due file limita di molto tale propagazione atteso che l'interdistanza tra le stesse è di circa 4 m.

Si è, quindi tenuto conto di una sorgente composta da due "vele" ricadenti nell'ambito di circa 720 mq.

3.3 Applicazione del metodo Gaussiano Plume

Tale modello può essere applicato per stime di prima approssimazione quando:

- il suolo è privo di orografia significativa: il territorio in esame si presenta per lo più pianeggiante
- le sorgenti sono ciminiere che emettono in modo pressoché continuo inquinanti poco reattivi: trattasi di camini che verranno impiegati per 12 h al giorno
- parametri meteorologici presentano una variazione temporale abbastanza lenta

Nella foto è riportato un plume di una ciminiera per il quale possono essere distinte tre zone differenti:

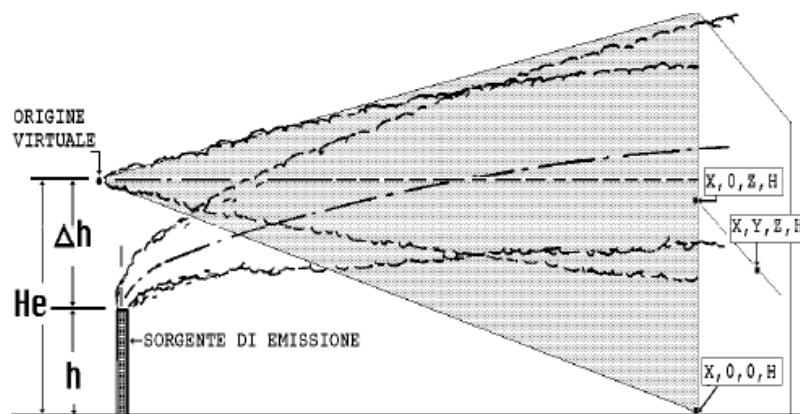


Fig. 2 Caratterizzazione del plume

Nella foto è riportato un plume per il quale possono essere distinte tre zone differenti: Zona 1 (ascensionale): Il plume esce verticale dalla sorgente per piegarsi sottovento con baricentro orizzontale. Se h è l'altezza fisica dei pannelli e h_m è la quota del baricentro del plume, si definisce plume rise: $\Delta h = h_m - h_c$

RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

Zona 2 (dispersione senza interazione col suolo). Dopo il livellamento, il plume si dilata (più o meno a seconda della turbolenza senza raggiungere il suolo).

Zona 3 (interazione col suolo). La parte bassa del plume giunge al suolo dove subisce una riflessione totale o parziale a seconda del tipo di suolo e di inquinante.

Nel modello gaussiano plume i fumi emessi da una sorgente punto vengono:

- trasportati dal vento nella direzione sottovento
- dispersi in senso trasversale (y) e questa dispersione, di tipo gaussiano, è regolata dal parametro σ_y
- dispersi in senso verticale (z) e questa dispersione, di tipo gaussiano, è regolata dal parametro σ_z

In questi due parametri si vengono a riassumere tutte le interazioni che i fumi hanno con la turbolenza.

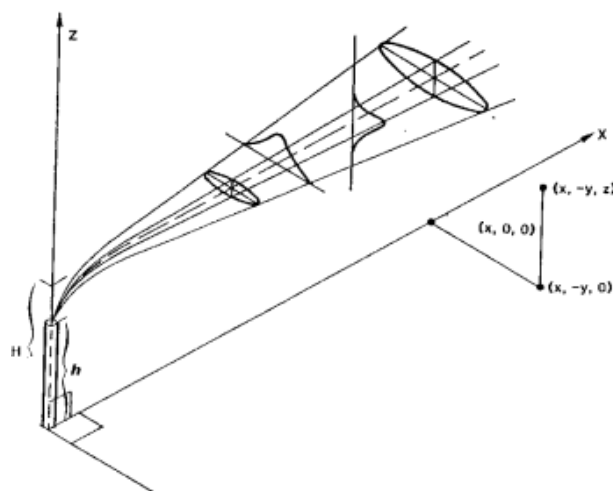
La formula base del modello Gaussiano Stazionario, che descrive la concentrazione degli inquinanti in funzione delle coordinate spaziali, è la seguente:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left[-\frac{(z-h_m)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

Dove:

- Q= tasso di emissione (g/s)
- U= La velocità media del vento (m/s) supposta costante in orizzontale e verticale
- σ_z e σ_y = le deviazioni standard
- h_m = la quota di livellamento del plume

Consente di determinare la concentrazione dell'inquinante in un punto di coordinate (x,y,z)



RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

Effettuando ulteriori semplificazioni:

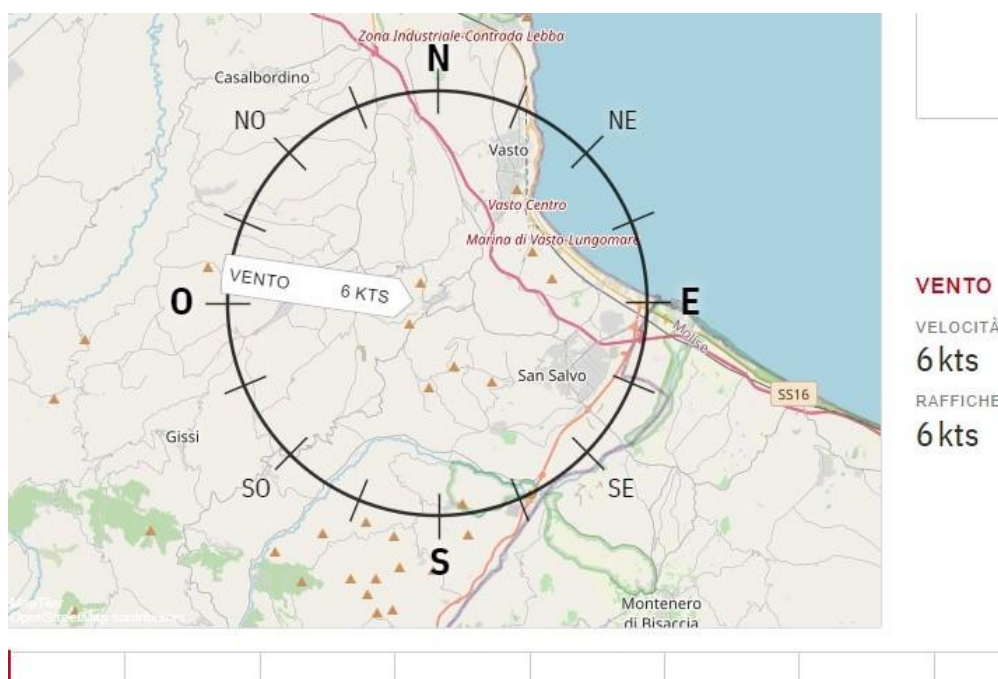
- concentrazione solo al livello del suolo
- si trascurano tutte le riflessioni tranne quella al suolo
- concentrazione al suolo e sottovento alla sorgente

$$C(x,y,0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \cdot \exp \left[-\frac{h_m^2}{2\sigma_z^2} \right]$$

L'equazione della concentrazione al suolo si riduce, quindi, ad una espressione assai semplice che ha solo bisogno di definire, preventivamente, l'altezza effettiva della ciminiera e delle condizioni di stabilità o di instabilità dell'atmosfera. Il valore della velocità del vento in quota invece verrà ottenuta da dati statistici; nel caso in esame faremo riferimento ai dati relativi alle misurazioni sperimentali effettuate dalle stazioni meteorologiche più prossime all'area in esame.

Di seguito si riporta la tabella dei dati desunti dalla piattaforma *Windfinder* relativamente al Comune di Furci i; il dato è riferito alla giornata tipo del 4 ottobre 2022.

Definizione planimetrica



RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

Dati orari

Data locale	Sabato, Feb 11							
Orario locale	01h	04h	07h	10h	13h	16h	19h	22h
Direzione del vento	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤
Velocità del vento (kts)	6	5	5	4	7	4	3	4
Raffica di vento (max kts)	6	6	5	6	7	5	4	4

Questi valori non si discostano dai valori medi registrati nell'anno. Considerando le mediane dei valori registrati nell'anno, quindi possiamo definire una velocità media otteniamo un valore della velocità media del vento = 6 Kts = 8,7 Km/h = 2,6 m/s

3.4 Calcolo dell'innalzamento del pennacchio

Emissioni gassose con temperature vicine a quelle dell'atmosfera in cui si immettono e con una velocità di emissione significativa possono essere trattate con i criteri di un effetto jet in un vento incrociato. In tal caso, per la valutazione di Δh si può applicare l' **espressione di Briggs**:

$$\Delta H = 1,5 (V_s/U) D$$

Dove

- V_s = velocità di risalita dei gas (m/s)
- U = velocità del vento (m/s). Si considera la velocità dei dati statistici sopra riportati e quindi pari a 2,6 m/s
- D = diametro dell'involuppo della colonna di fumo (m).

Per cui si avrà:

$$h_m = h_c + \Delta H \text{ (m)}$$

Si considera un tasso di emissione di 6.500 Nmc/h, quindi

$$Q = 6.500 \text{ Nmc/h} = 7.309 \text{ mc/h}$$

*Realizzazione e gestione di un impianto fotovoltaico della potenza nominale di 53,69 MW con relative opera di
connessione alla rete elettrica nazionale - loc. Morge - Comune di Furci (Ch)- Proponente soc. ARAN 1 srl*

RISCHIO DI INCENDIO IMPIANTO E RICADUTA POLVERI

D=6 m

Vs=28,7 m/s

$$\Delta H1 = 1,5 * (28.7/2,6) * 5 = 82,79$$

$$hm = hc + \Delta H \text{ (m)} = 4 + 77,02 = 86.79 \text{ m}$$

3.5 Calcolo della distanza a cui si verifica la concentrazione massima e della distanza a cui il pennacchio tocca il suolo

Sviluppi ulteriori del criterio di gaussiana applicata alla diffusione atmosferica dell'equazione di Sutton consentono di ottenere semplici relazioni per il calcolo della concentrazione massima al suolo, della distanza a cui tale massimo si verifica e del punto (in metri) a valle della emissione secondo l'asse x, in cui il pennacchio tocca il suolo. Tale ultima equazione appare di uso immediato per vedere e, nella zona ove noi vogliamo verificare l'inquinamento da polveri di combustione e il pennacchio è arrivato al suolo o lo sta sorvolando (per quella specifica classe di stabilità atmosferica, ovviamente)

Il problema è invece l'accurata scelta delle condizioni di stabilità atmosferica ossia delle *classi di Pasquill*. Tali classi si possono desumere una volta che si abbia il valore del gradiente termico ottenuto con i palloni sonda oppure, empiricamente, da semplici osservazioni visive del cielo abbinate alla velocità del vento al suolo secondo la tabella seguente:

Vento	Insolazione			Stato	del cielo	Notturmo
al suolo $m s^{-1}$	forte	moderata	debole	coperto da un velo di nubi o >4/8 di nuvole basse	coperto <3/8	sereno
calma	=	=	=	=	=	G
< 2	A	A - B	B	=	=	=
2 - 3	A - B	B	C	E	F	=
3 - 5	B	B - C	C	D	E	=
5 - 6	C	C - D	D	D	D	=
> 6	C	D	D	D	D	=

Categorie di stabilità proposte da Pasquill – Fonte “Ecologia applicata” – Renato Vismara- Ed. Hoepli

Nel caso in esame è stato considerato un valore del vento in quota derivante da dati statistici pari a 2,6 m/s. Considerando che la velocità del vento aumenta con la quota è possibile dedurre al suolo un valore inferiore a 2,6 m/s ed entrare nella tabella con valori di velocità del

vento al suolo <2.

Definendo un livello di insolazione moderato per l'area in esame la tabella restituisce classe A-B di stabilità atmosferica .

Per i calcoli sarà considerata la classe A relativa a condizioni di forte instabilità per cui peggiorative.

A questo punto è possibile determinare:

[Distanza a cui si verifica la massima concentrazione](#)

È la distanza per la quale il valore di:

$$\sigma_z = hm/\sqrt{2} = 86,79/1,414 = 61,37 \text{ m}$$

Sapendo che

$$\sigma_z = c \cdot X^d + f$$

$$\sigma_y = a \cdot X^b$$

Si ricava

$$X_{\max} = [(\sigma_z - f)/c]^{1/d}$$

I coefficienti a, b, c, d sono dati in funzione della classe di instabilità atmosferica considerata (fonte "Ecologia applicata " – Renato Vismara – Ed. Hoepli).

$$a = 213$$

$$b = 0,894$$

$$c = 459,7$$

$$d = 2,094$$

$$f = -9,6$$

sostituendo i valori nella formula , la distanza a cui si raggiunge la massima concentrazione dell'inquinante è

$$X_{max} = 714,35 \text{ m}$$

la massima concentrazione

Il valore di tale concentrazione è pari a :

$$C_{max} = \frac{2Q}{e\pi U h m^2} \frac{\sigma_z}{\sigma_y}$$

Dove Q (portata dell'emissione) viene assunta pari al flusso di massa massimo corrispondente ad un limite di concentrazione pari a 50 mg/Nmc (limite definito nell'allegato IV alla Parte V del dlgs 152/06).

Il dato relativo alla portata può considerarsi il seguente :

$$Q_1 = 0,325 \text{ Kg/h} = 0,09 \text{ g/s}$$

Sapendo che

$$\sigma_y = a X^b = 213 * 0,398^{0,894} = 157,78 \text{ m}$$

$$\sigma_z / \sigma_y = 57,30 / 157,78 = 0,389$$

sostituendo

$$C_{max} = 0,0004 \text{ mg/mc}$$

che, comunque, sono concentrazioni molto piccole.

Distanza a cui il pennacchio tocca il suolo (touching the ground)

Il valore della distanza (in metri) discende dalla definizione di gaussiana dell'andamento della concentrazione dell'inquinante nel pennacchio. Poiché il pennacchio si espande ad un certo punto, come è ovvio, dovrebbe toccare il suolo. Avendo assunto che il suo comportamento è gaussiano possiamo assumere che il toccare il suolo corrisponde a quando il valore del punto della curva corrisponde al 10% del valore massimo centrale. Questo si ha a **2.15** _ ossia alla distanza alla quale

$$\sigma z_1 = hm/2,15 = 47,05/2,15 = 40,37 \text{ m}$$

$$X = [(\sigma z_1 - f)/c]^{1/d} = 346,53 \text{ m}$$

Pari alla distanza in cui il pennacchio tocca il suolo.

4 Calcolo della concentrazione nei punti “critici”

Con i valori di cui sopra, il passo successivo consiste nel verificare dove tali concentrazioni massime ricadono e i valori delle concentrazioni in punti definiti “critici” ubicati come da figura sottostante:

