

Monitoraggio impatto microclimatico da FVT e A-FVT Linea Guida ARPAV

versione 2.6



Anno 2023 - prima edizione

Progetto e realizzazione

ARPAV - Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio - Unità Meteorologia e Climatologia

Alberto Bonini Baraldi

Massimo Enrico Ferrario

Hanno collaborato

ARPAV - Area Tecnica e Gestionale - Unità Organizzativa Valutazioni VIA, VAS, Grandi Opere, Ambiente e Salute

Elena Vescovo

Federica Ruggero

Fondazione Osservatorio Meteorologico Milano Duomo ETS

Cristina Lavecchia

Samantha Pilati,

Frustaci Giuseppe

È consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte.

novembre, 2023

INDICE GENERALE

| | |
|---|-----------|
| 0. Acronimi enti | 1 |
| 1. PREMESSA | 2 |
| 1.1 Impatti microclimatici e loro valutazione..... | 2 |
| 1.2 Normativa | 4 |
| 2. MONITORAGGIO CON STAZIONI METEOROLOGICHE A CAMPO..... | 6 |
| 2.1 Macrocategoria A “urbana”: PTRC tessuto urbanizzato..... | 8 |
| 2.2 Macrocategoria B “rurale e naturale”: PTRC aree ad elevata utilizzazione agricola, agricoltura mista e naturalità diffusa, prato stabile, area a pascolo naturale, foresta ad alto valore naturalistico..... | 9 |
| 2.3 Macrocategoria C “periurbana e industriale”: PTRC aree agropolitane, agricoltura periurbana, ad elevata utilizzazione agricola, aree produttive industriali e artigianali | 11 |
| 2.4 Analisi dei dati rilevati a campo | 12 |
| 3. MONITORAGGIO CON TECNICHE DI TELERILEVAMENTO..... | 13 |
| 4. ALTRI SISTEMI DI VALUTAZIONE: SIMULAZIONE MODELLISTICA..... | 16 |
| 5. GLOSSARIO | 19 |
| 6. BIBLIOGRAFIA e LINKOGRAFIA..... | 20 |
| 6.1 Bibliografia scientifica..... | 20 |
| 6.2 Normativa e Linee Guida | 22 |
| 6.3 Linkografia..... | 23 |
| APPENDICE - Organizzazione campagna di monitoraggio micrometeorologico | 25 |

0. Acronimi enti

ENAC: Ente Nazionale per l'Aviazione Civile

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

MASE: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (ex **MITE**)

NASA: National Aeronautics and Space Administration

SNPA: Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

WMO: World Meteorological Organization (Organizzazione Meteorologica Mondiale)

1. PREMESSA

Le presenti Linee Guida forniscono indicazioni di massima sulla valutazione dell'impatto microclimatico generato dall'installazione di campi fotovoltaici (FVT) e agro-fotovoltaici (A-FVT). L'impatto sul microclima necessita di una valutazione dedicata che dipende non solo dalla soluzione progettuale e impiantistica adottata, ma anche dal sito e dallo specifico uso del suolo interessato, nonché dalla geografia (costa, fondovalle alpino, pianura, zona fluviale, ecc.) e dal clima dell'area.

L'Organizzazione Mondiale della Meteorologia [WMO, N° 1203, 2017] fissa classicamente in 30 anni il periodo temporale necessario per stabilire il **clima** (CLINO CLimate NOrmal period) tipico di un luogo, quale una città o una regione geograficamente omogenea [WMO, 2017].

TEMPO (meteorologico): stato istantaneo locale dell'atmosfera, descritto in termini fisici da variabili quali pressione, temperatura, umidità, velocità e direzione del vento, radiazione solare, precipitazione. Ha una dinamica giornaliera o di medio-breve periodo (**mese, stagione, anno**).

La **meteorologia** studia, monitora e modella il tempo. L'osservazione e la previsione del tempo rientrano nelle attività della meteorologia operativa.

CLIMA: condizioni medie del tempo locale o regionale in uno specifico intervallo temporale molto più lungo di quello del tempo meteorologico, data l'elevata variabilità di quest'ultimo.

Ha una variabilità temporale molto più lenta (Cambiamento Climatico) del Tempo, che deve essere valutata insieme ai fattori che la determinano.

La **climatologia** studia le serie storiche delle osservazioni del tempo, analizzando e interpretando i cambiamenti del clima occorsi nel medio-lungo periodo. La caratterizzazione climatica degli ultimi 10-30 anni rientra nelle attività della climatologia a fini operativi.

Si parla di **microclima** quando l'analisi è ristretta ad una più piccola porzione del territorio climaticamente omogeneo, territorio che costituisce un particolare ambiente con caratteristiche geomorfologiche, di uso e copertura del suolo simili che determinano condizioni climatiche diverse dall'ambiente circostante.

1.1 Impatti microclimatici e loro valutazione

Una preoccupazione crescente riguarda la capacità degli impianti fotovoltaici di riscaldare le aree circostanti, influenzando così potenzialmente vari ecosistemi naturali o antropici e impattando negativamente su fauna, flora e salute umana.

Tra i possibili impatti microclimatici causati dagli impianti FVT e A-FVT i più frequenti sono:

- aumento di temperatura dell'aria;
- variazione di umidità dell'aria ed evapotraspirazione (*suolo naturale o permeabile*);
- diminuzione della radiazione solare (*sotto e in prossimità dei pannelli solari*);
- variazioni a microscala della ventilazione.

Tra questi impatti, quello più significativo in tutti gli ambienti di localizzazione degli impianti FVT/A-FVT è l'**alterazione del campo termico**. Si parla di fenomeno di **Isola di Calore da Fotovoltaico (PVHI)** in analogia al fenomeno microclimatico di Isola di Calore Urbana (UHI) [Barron, 2016]. La figura 1 schematizza la

modificazione dei bilanci energetici in gioco prima e dopo l'installazione di pannelli fotovoltaici nel caso più semplice di un ecosistema naturale. La presenza di altri tipi di copertura del suolo (edificato, coltivato, con presenza di opere vegetali di mitigazione, ecc.) complica ulteriormente la dinamica termica.

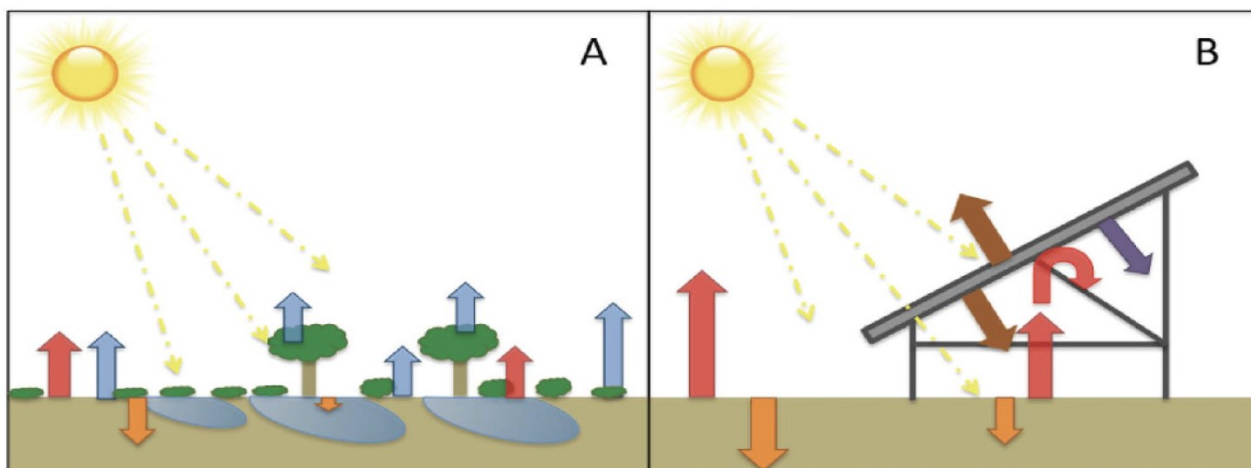


Figura 1. Scambio di energia nelle ore diurne. Ipotizzando tassi uguali di energia in ingresso dal sole e schematizzando il caso più semplice di inserimento di un impianto fotovoltaico (B) in un ambiente naturale (A), senza alcun intervento di mitigazione, la dinamica del flusso di energia dell'area cambierà come mostrato in figura. La vegetazione riduce la cattura e lo stoccaggio del calore nei suoli (*frecce arancioni*), l'acqua infiltrata e la vegetazione rilasciano flussi di calore latente dissipanti per evapotraspirazione (*frecce blu*). Tali flussi di calore latente possono risultare drasticamente ridotti in installazioni fotovoltaiche senza opportune opere di mitigazione, portando a maggiori flussi di calore sensibile riscaldanti per radiazione e convezione (*frecce rosse*). Sono mostrate anche l'energia re-irradiata dai pannelli fotovoltaici (*frecchia marrone*) e l'energia trasferita all'elettricità (*frecchia viola*) [Barron, 2016].

Gli impatti microclimatici degli impianti FVT e A-FVT, una volta costruiti e in esercizio, si valutano come **differenza tra i microclimi ante-operam e post-operam** con riferimento ad una determinata area che circonda gli impianti e a una o più variabili meteo-climatiche fondamentali. Interessa in particolare la variazione microclimatica generata **in recettori esterni all'impianto, ma potenzialmente interni al PVHI**.

Dati i tempi di vita degli impianti FVT e A-FVT, nonché la velocità con cui si stanno manifestando i cambiamenti del clima anche a livello locale, per la valutazione delle eventuali variazioni microclimatiche indotte dagli impianti nell'area ad essi circostante ci si riferirà necessariamente a periodi ben più brevi di quelli previsti dal WMO (30 anni), includenti i mesi caldi più critici per le ondate di calore e un numero minimo di giornate sufficiente a caratterizzare le condizioni atmosferiche che favoriscono l'instaurarsi di isole di calore.

Ai fini della valutazione d'impatto microclimatico della presente Linea Guida, si distinguono le seguenti **macrocategorie di uso del suolo dell'area potenzialmente impattata**:

- A. macrocategoria urbana;
- B. macrocategoria rurale e naturale;
- C. macrocategoria periurbana e produttiva.

In tabella 1 si riportano le corrispondenze tra le **aree classificate ai sensi del PTRC Piano Territoriale Regionale di Coordinamento** [Regione Veneto, 2020] e le macrocategorie di copertura del suolo.

Tabella 1. Corrispondenza tra le aree PTRC 2020 e le macrocategorie di uso del suolo cui fa riferimento la valutazione di impatto microclimatico della presente Linea Guida

| aree PTRC 2020 | macrocategorie ai fini valutazione impatto microclimatico |
|--|---|
| tessuto urbanizzato | A. urbana |
| area ad elevata utilizzazione agricola | B. rurale e naturale |
| area di agricoltura mista e naturalità diffusa | |
| prato stabile | |
| area a pascolo naturale | |
| foresta ad alto valore naturalistico | |
| area agropolitana | C. periurbana e produttiva |
| area agricoltura periurbana | |
| area ad elevata utilizzazione agricola | |
| aree produttive industriali e artigianali | |

Nei capitoli che seguono si indicano le possibili **modalità di valutazione dell'impatto microclimatico dell'opera** in funzione della tipologia di impianti e della loro localizzazione, dettagliandone tempistiche e caratteristiche tecniche:

1. **monitoraggio a campo** con stazioni meteorologiche;
2. **monitoraggio da telerilevamento** tramite dati acquisiti da satellite;
3. **simulazione modellistica** fisico-matematica.

Il metodo 1 può essere sicuramente adottato se il cantiere non è in corso o in procinto di partire. In generale, nel caso di monitoraggio meteorologico a campo possibile solo nel post-operam si dovrà ricorrere ai metodi di valutazione 2 o 3 (si vedano le indicazioni dettagliate e le eccezioni a inizio Cap. 2).

1.2 Normativa

Il D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. regola l'espletamento delle valutazioni degli impatti ambientali ovvero degli **effetti significativi**, diretti e indiretti, di un piano o programma oppure di un progetto (VAS, VIA, AIA).

Tra i fattori da valutare, viene contemplato esplicitamente il **clima** (art. 5, comma 1 lettera c).

Da qui in avanti, con riferimento ai **progetti di FVT e A-FVT**, si farà quindi diretto riferimento alle **procedure di VIA** e al **microclima**.

Le valutazioni dei potenziali effetti significativi e negativi sul microclima devono riguardare tutte le fasi del progetto, ovvero realizzazione, esercizio e dismissione dell'impianto (art. 22, comma 3 lettera b). Infatti, in caso della sussistenza di eventuali impatti negativi, occorre progettare e implementare misure atte a evitare oppure a ridurre e, in ultima analisi, a compensare tali impatti (art. 22, comma 3 lettera c).

La procedura di VIA prevede il **piano di monitoraggio dei potenziali impatti ambientali significativi e negativi** derivanti dalla realizzazione e dall'esercizio del progetto, che include le responsabilità e le risorse necessarie per la realizzazione e la gestione del monitoraggio (Art. 2, comma 3 lettera e). Precisa inoltre che la documentazione sia elaborata da **esperti con competenze e professionalità specifiche nelle materie afferenti alla valutazione ambientale** (art. 22, comma 5 lettera c).

Un ulteriore adempimento, che devono soddisfare i **progetti FVT e A-FVT finanziati dal PNRR**, è il cosiddetto principio **"Do No Significant Harm" (DNSH)** ovvero "non arrecare danni significativi" all'ambiente circostante. La conformità con il principio del DNSH è stata illustrata per ogni singola misura già in sede di predisposizione del PNRR, nella **Guida Operativa per il rispetto del DNSH** [MEF, 2021] tramite schede di auto-valutazione standardizzate nelle quali sono riportati i riferimenti normativi, i vincoli DNSH e gli elementi di verifica (Scheda 12 *"Produzione di energia elettrica da pannelli solari"*). Il principio DNSH implica, nel contesto di interesse della presente **Linea Guida**, che **non si arrechi danno significativo al microclima dell'area circostante l'impianto FVT o A-FVT**.

Inoltre "eventuali soluzioni di minimizzazione dell'impatto sul microclima locale che vengano previste non devono influire negativamente sugli sforzi di adattamento o sul livello di resilienza ai rischi climatici fisici di altre persone, della natura, del patrimonio culturale, dei beni e di altre attività economiche; sono coerenti con i piani e le strategie di adattamento a livello locale, settoriale, regionale o nazionale e prendono in considerazione il ricorso a soluzioni basate sulla natura e su infrastrutture verdi o blu"¹.

La presente **Linea Guida** intende fornire, con riferimento a tale quadro normativo, indicazioni **per la progettazione e la realizzazione del piano di monitoraggio di eventuali impatti microclimatici** determinati da impianti FVT e A-FVT in progetto.

¹ Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni "Infrastrutture verdi – Rafforzare il capitale naturale in Europa" (COM(2013) 249 final)

2. MONITORAGGIO CON STAZIONI METEOROLOGICHE A CAMPO

Per qualsiasi tipologia di copertura del suolo interessata dall'installazione di un impianto FVT o A-FVT, questa modalità di valutazione implica la **realizzazione di due campagne di monitoraggio** microclimatico a campo con stazioni meteorologiche:

- **fase ante-operam** - monitoraggio in assenza di impianto FVT o A-FVT e dei relativi lavori di installazione;
- **fase post-operam** - monitoraggio con impianto FVT o A-FVT in pieno esercizio.

In caso di cantiere già avviato o in procinto di partire, la metodologia di valutazione dell'impatto microclimatico dell'opera dovrà cambiare (si vedano cap. 3 e 4), non essendo più possibile un confronto tra la situazione microclimatica a scala locale "ex ante" e quella "ex post" utilizzando stazioni meteorologiche a campo.

Casi particolari in cui si può derogare alla realizzazione dell'ante-operam:

- 1) se sono presenti **una o più stazioni meteorologiche** appartenenti ad ARPA o ad altre reti istituzionali o assimilabili ritenute **rappresentative** per l'area circostante l'impianto e utilizzabili allo scopo;
- 2) se non sono presenti recettori sensibili (scuole, ospedali, RSA, ecc.) potenzialmente impattati entro un raggio dall'impianto di 1 km e se si individua un **punto di bianco** da monitorare nel post-operam.

I criteri di realizzazione del monitoraggio microclimatico, in particolare quantità e localizzazione dei punti di misura, variano in funzione del tipo di uso e copertura del suolo. Ai fini del monitoraggio microclimatico le distinzioni utili sono quelle tra le macrocategorie urbane, rurali/naturali e periurbane/industriali. Si presentano di seguito i criteri comuni e poi, per ciascuna macrocategoria di area, si aggiungono quelli specifici. Nell'Appendice, inoltre, le medesime indicazioni sono riorganizzate per fasi e tempistiche dell'attività di monitoraggio.

I criteri di monitoraggio da rispettare per tutte le aree PTRC sono i seguenti:

- a. la **durata del monitoraggio**, sia ante-operam che post-operam, deve essere estesa almeno al periodo da maggio a settembre, ovvero al periodo dell'anno più critico per gli impatti termici;
- b. le **variabili da monitorare** sono almeno la temperatura e l'umidità relativa dell'aria;
- c. il **minimo numero di stazioni di misura** da prevedere è pari a **tre**:
 - almeno **una stazione all'interno del perimetro** dell'impianto (possibilmente in prossimità del centro dell'impianto);
 - almeno **due stazioni**, da posizionarsi lungo la medesima linea, **al di fuori del perimetro dell'impianto**. Nei casi in cui si possano utilizzare i **punti di bianco**, tali siti di misura devono essere analoghi per caratteristiche (tipologia di uso e copertura del suolo) al sito dell'installazione in esame prima della stessa e devono essere collocati ad una distanza di almeno 1 km dal perimetro dell'impianto, a escludere ogni possibile influenza da parte dell'impianto ma continuando a rappresentare la specifica area locale;
 - la disposizione tipica dei 3 punti di misura sarà il **posizionamento a transetto**; nel caso di un maggior numero di siti di misura, si valuti la **disposizione areale** (si veda appendice);

- i siti di monitoraggio devono essere i medesimi nelle fasi ante-operam e post-operam (**costanza dei siti di misura**), pena la non significatività dei dati raccolti; il criterio di posizionamento (altezze dei sensori, distanze da ostacoli, ...) deve essere lo stesso per tutte le stazioni installate;
- d. la **sensoristica meteorologica**, in tutte le stazioni installate, deve essere possibilmente la medesima o comunque confrontabile (strumentazione professionale); la strumentazione va opportunamente tarata all'inizio di ciascuna campagna di misura;
- e. il **monitoraggio** deve essere eseguito **in continuo e in automatico**; la risoluzione temporale del dato rilevato (dato istantaneo) deve essere almeno pari alla semiora (consigliato: 10 minuti). L'acquisizione e la validazione dei dati istantanei deve essere almeno giornaliera, trattandosi di campagna di monitoraggio di breve periodo;
- f. la **percentuale di dati istantanei validi**, singolarmente per ciascuna variabile fisica e per ciascuna campagna di misura (ante-operam e post-operam), deve essere tale da permettere la successiva aggregazione in dati giornalieri/mensili/ecc. con un adeguato livello di rappresentatività per tutto il periodo di monitoraggio. I criteri di rappresentatività della raccolta dati rispetto ad eventuali dati mancanti sono indicati dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale [SNPA, 2017]:
 - il dato giornaliero è considerato:
 - dato corretto se la **percentuale n di dati istantanei mancanti o errati** è inferiore all'1% del totale teorico;
 - dato sospetto se n è compreso tra 1% e 75%;
 - dato errato se n è maggiore del 75%;
 - il dato mensile è considerato:
 - dato corretto se la **percentuale N di dati giornalieri mancanti o errati** è 0%;
 - dato sospetto se N è compreso 0% e 30%;
 - dato errato se N è maggiore o uguale del 30%.
- g. l'**aggregazione statistica a livello orario, giornaliero e mensile**, da realizzarsi dopo ulteriori verifiche e controlli dei dati registrati, deve descrivere l'andamento delle variabili meteorologiche nell'ante-operam e nel post-operam. L'attenzione deve essere posta al confronto tra i diversi punti di misura e alla **comparazione tra le situazioni climatiche "ex ante" ed "ex post"**, con particolare riferimento alle situazioni di caldo intenso (UHI, PVHI) e ondate di calore. I risultati in termini di impatto microclimatico dell'opera devono essere illustrati nel rapporto tecnico dedicato.

Suggerimenti sulla scelta della strumentazione meteorologica, sull'organizzazione e realizzazione di una campagna di misura, sulla validazione dei dati sono forniti in Appendice.

Nel seguito sono dettagliati gli ulteriori criteri da rispettare nelle campagne di monitoraggio a campo in funzione delle macrocategorie di uso del suolo interessate (A, B, C).

2.1 Macrocategoria A “urbana”: PTRC tessuto urbanizzato



[Immagine da PxHere.com (licence Creative Commons Zero)]

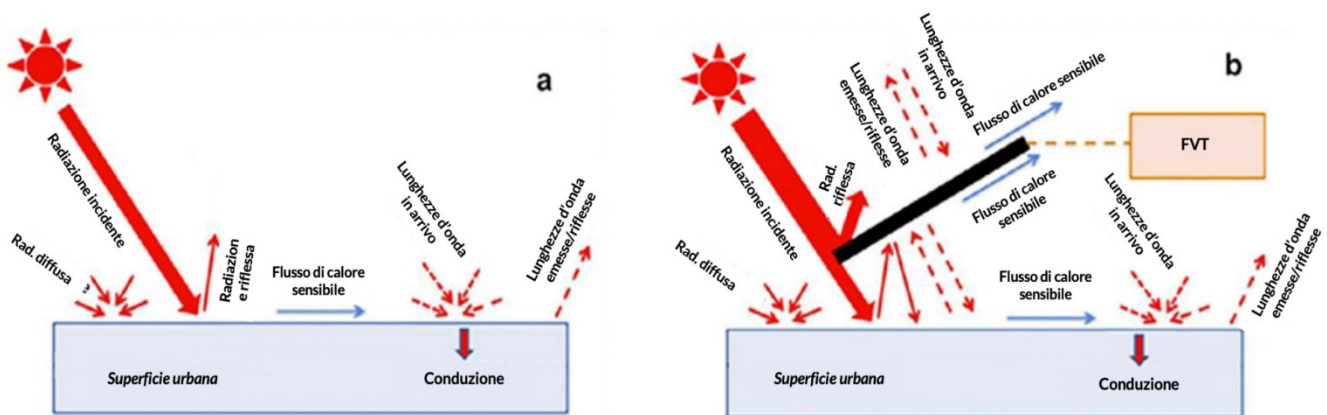


Figura 2. Tipici pannelli fotovoltaici a tetto in area urbana e bilancio energetico diurno in assenza di FVT (a) e con la medesima superficie ombreggiata da FVT (b) [traduzione da SAILOR, 2021]

L’influenza microclimatica esercitata dai pannelli FVT, installati al suolo o in quota nell’ambiente urbano e sulle più varie tipologie di coperture, risente della complessità di geometrie, materiali, colori dell’urbanizzato e delle rispettive interazioni in termini di bilancio energetico.

L’interesse del monitoraggio riguarda l’eventuale isola di calore generata dagli impianti (PVHI) che va a sovrapporsi a quella generata dall’area urbana stessa (UHI) nel periodo di stress termico per la popolazione e di maggior utilizzo di energia elettrica per raffrescamento degli ambienti confinati, ovvero la stagione calda [Barron, 2016].

Una valutazione completa di 116 studi sull’influenza dei pannelli solari fotovoltaici sul clima urbano locale ha infatti rilevato che l’installazione di pannelli solari fotovoltaici nelle città può aumentare considerevolmente il valore della temperatura dell’aria in città [Sailor, 2021] e l’effetto è tanto più esteso quanto maggiore è l’applicazione dei pannelli FVT su larga scala². Gli FVT possono riscaldare significativamente l’ambiente urbano

² la simulazione modellistica (WRF e DesignBuilder a cascata) dei ricercatori ha mostrato che quando il 25-100% delle aree dei tetti a Sydney sono coperte da pannelli solari fotovoltaici, la temperatura dell’aria ambiente può aumentare di 0,6–2,3 °C. L’applicazione degli FVT sul 25-100% dell’area dei tetti può aumentare il fabbisogno energetico da raffreddamento (CDH su base 25 °C) del 10,2%-

durante le ore diurne, mentre il riscaldamento da FVT durante le ore notturne è generalmente più contenuto [Garshasbi, 2023].

La molteplicità di possibili situazioni, in termini di microclima preesistente, copertura del suolo, recettori nonché tipi/potenze/installazioni di FVT³, non permette di formulare una casistica semplice ed esaustiva sui **criteri di posizionamento urbano** più opportuni **delle stazioni meteorologiche** per il controllo dell'impatto microclimatico dell'impianto FVT. Si forniscono nel seguito le indicazioni generali cui riferirsi per la realizzazione delle campagne di misura, da adattare allo specifico progetto e al tipo di contesto urbano:

- h. tutti i criteri esplicitati a inizio capitolo (a. → g.) devono essere seguiti;
- i. il **monitoraggio al di fuori del perimetro dell'impianto FVT** va predisposto ad opportuna distanza dallo stesso, tipicamente entro 100 m per tetto di un edificio ed entro 200 m per parcheggi, stadi e altre infrastrutture similari [Demirezen, 2018];
- j. il **numero dei punti di misura** va eventualmente integrato in presenza di **recettori sensibili** (scuole, ospedali, RSA, ecc) presenti nell'intorno dell'impianto ovvero tra 500-600 m;
- k. il **posizionamento delle stazioni micrometeorologiche** deve essere il più rappresentativo possibile dello strato atmosferico cittadino nell'area ospitante l'impianto (possibilmente l'estremo superiore dello Urban Canopy Layer nell'area specifica) e della tipologia di copertura su cui è installato. Ad esempio se l'impianto è installato sul tetto di edifici, stadi o parcheggi [WMO, 2006], la stazione andrà posizionata su edifici o strutture simili.

2.2 Macrocategoria B “rurale e naturale”: PTRC aree ad elevata utilizzazione agricola, agricoltura mista e naturalità diffusa, prato stabile, area a pascolo naturale, foresta ad alto valore naturalistico

Gli impianti fotovoltaici alterano il modo in cui l'energia in ingresso viene riflessa nell'atmosfera o assorbita, immagazzinata e reirradiata (Fig. 1) poiché la loro installazione cambia l'albedo, la vegetazione e la struttura del terreno. Centrali FVT (Fig. 3) e A-FVT inducono un cambiamento del paesaggio, che risulta più scuro e meno riflettente a causa della variazione dell'albedo indotta dai pannelli. Maggiore è la differenza tra l'albedo originaria del sito e quella dell'impianto (circa 0,05 per la superficie superiore degli FVT) più significativa sarà l'alterazione del bilancio energetico e l'intensità di PVHI, a parità di potenza e dimensione dell'impianto [Barron, 2016].

31,7% nelle zone più fredde e del 6,2%-19,1% nelle zone più calde della città. L'impatto è maggiore nelle aree relativamente più fresche della città [Garshasbi, 2023].

³ per esemplificare, se si mettono FVT su un tetto nero esistente non si sta producendo un effetto negativo sull'ambiente termico urbano come se si mettessero quei FVT su un tetto bianco, perché quest'ultimo sarebbe normalmente una superficie relativamente fresca. Gli FVT su sul tetto tipicamente assorbono circa il 90% di energia solare incidente e solo il 16-20% di questa si trasforma in elettricità; il resto si trasforma in calore. I pannelli fotovoltaici tendono ad essere superfici piuttosto calde nell'ambiente in cui sono presenti e sono quasi sempre installati in posizione elevata - sopra una superficie del tetto o sopra il livello del suolo in un parcheggio: si hanno due superfici calde, la superficie superiore quella inferiore dei pannelli. Quando l'aria scorre su questi pannelli, raccoglie prontamente quel calore essenzialmente due volte più efficacemente di quanto farebbe se si avesse la stessa temperatura su una superficie dell'edificio o su una superficie del suolo.



Figura 3. Impianto agrivoltaico a Heggelbach (DE)

[Immagine: Tobi Kellner, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons]

I criteri da prevedere nel controllo dell'impatto microclimatico dell'impianto FVT o A-FVT sono i seguenti:

- l. tutti i criteri generali (a. → g.) devono essere seguiti
- m. il monitoraggio al di fuori del perimetro dell'impianto FVT e A-FVT va predisposto ad opportuna distanza entro 600-1000 m dal perimetro dello stesso, in funzione di dimensioni e potenza dell'impianto;
- n. il numero dei punti di misura va eventualmente integrato in presenza di:
 - **recettori residenziali** nell'intorno dell'impianto, ovvero entro 600-1000 m dal perimetro dell'impianto stesso; con la posizione di tali recettori si può ottemperare al criterio c.;
 - **recettori sensibili** nell'intorno dell'impianto (scuole, ospedali, RSA e similari) ovvero entro 600-1000 m, con la posizione di tali recettori si può ottemperare al criterio c.;
- o. il posizionamento dei sensori meteorologici deve essere a norma WMO [WMO, 2021].

2.3 Macrocategoria C “periurbana e industriale”: PTRC aree agropolitana, agricoltura periurbana, ad elevata utilizzazione agricola, aree produttive industriali e artigianali

Per tale tipologia di copertura del suolo si rimanda ai criteri di monitoraggio meteorologico nelle macrocategorie urbana (par. 2.1) e rurale/naturale (par. 2.2) a seconda delle caratteristiche topografiche e urbanistiche prevalenti nell'intorno dell'impianto.

Ad esempio, nel caso della Figura 4 riportante installazioni di FVT su tetti di industrie a Padova, il contesto misto industriale e periurbano suggerisce l'utilizzo dei criteri di monitoraggio relativi alle aree urbanizzate.



Figura 4. Impianti FVT nella zona industriale di Padova

2.4 Analisi dei dati rilevati a campo

La misurazione di una variabile meteorologica, così come di una generica grandezza fisica, è un insieme di operazioni avente come obiettivo la determinazione del valore della grandezza espresso rispetto a un'unità di misura; nel nostro caso specifico, ad esempio gradi centigradi per la temperatura (°C) e un tasso percentuale per l'umidità (%). I dati misurati possono essere affetti da diverse tipologie di errore:

- grossolani;
- sistematici;
- casuali;

a cui si aggiungono, nel caso delle grandezze meteorologiche, gli errori di:

- rappresentatività.

Perché i dati possano essere considerati "di qualità" devono essere sottoposti giornalmente ad un processo di validazione secondo i criteri riportati nelle "Linee Guida per il controllo di validità dei dati idro-meteorologici" [SNPA, 2017] e maggiormente dettagliati nell'Appendice. Ivi si contemplan:

- un **primo livello di validazione dei dati istantanei**, ossia alla risoluzione temporale con cui vengono trasmessi o rilevati dalla stazione di misura, consistente nell'applicazione di procedure di base, spesso automatiche, per la verifica della presenza e correttezza del dato. Attraverso questi controlli è possibile individuare malfunzionamenti o interferenze strumentali;
- **controlli di secondo livello**, che applicano invece una serie di verifiche di "consistenza". L'utilizzo di questi controlli permette di intervenire tempestivamente in caso di guasti strumentali, evitando di avere lunghe interruzioni nella serie di misure di una campagna di misura stagionale.

I dati istantanei, che possono essere elaborati direttamente dal sistema di misura (vedasi Appendice), devono essere opportunamente aggregati per produrre i dati giornalieri, quali ad esempio minima, media, massima e deviazione standard di temperatura e umidità. A loro volta l'aggregazione dei dati giornalieri permette di ottenere i valori su base mensile (es. media, massima e minima mensili).

L'analisi e il confronto tra i dati elaborati a fine campagna **ante-operam** e quelli a fine campagna **post-operam** permettono, per ogni punto di misura, di evidenziare eventuali mutamenti microclimatici, in particolare per quanto concerne il campo termico e le isole di calore.

E' altresì consigliabile fare studi e analisi non solo su tutto il periodo di misura, ma anche su **singoli periodi (mesi) e particolari orari (stratificazione dei dati)**. Interessa in particolare l'estate, già di per sé soggetta a situazioni di ondate di calore e formazione di isole di calore.

E' richiesta anche l'analisi di **confronto post-operam versus ante-operam** in corrispondenza delle situazioni meteorologiche che favoriscono la formazione delle UHI e delle PVHI, quali:

- situazioni di alta pressione;
- cielo sereno;
- ventilazione debole o assente;
- forte stabilità atmosferica.

Vanno calcolate ed evidenziate sia le intensità di eventuali PVHI che le frequenze di accadimento di tali situazioni meteorologiche per quantificare l'impatto microclimatico dell'impianto sulle situazioni di maggior stress termico e pericolo per la salute umana.

Tutti i dati istantanei rilevati e le loro aggregazioni andranno consegnate insieme alla relazione tecnica.

3. MONITORAGGIO CON TECNICHE DI TELERILEVAMENTO

Nel caso non sia possibile realizzare il monitoraggio meteorologico locale a campo (Cap. 2), si può ricorrere ad una valutazione dell'impatto microclimatico generato da FVT e A-FVT nell'intorno dell'impianto⁴ utilizzando dati e immagini da telerilevamento satellitare. Questa metodologia di valutazione è di più complessa applicazione della precedente e richiede specifiche competenze oltreché meteoclimatiche anche di *data science* e GIS. Inoltre è sicuramente meno puntuale e affidabile rispetto al monitoraggio con stazioni meteorologiche al suolo.

Il metodo è anche indicato nel caso in cui l'intorno dell'impianto sia di tipo rurale o naturale e interessi indagare l'eventuale impatto sulla fisiologia vegetale all'esterno del perimetro dell'impianto [Vervloesem, 2022].

La valutazione tramite dati satellitari è percorribile solo se:

- la dimensione dell'impianto FVT e A-FVT è pari o superiore alla risoluzione spaziale del satellite (variabile dalla decina di metri a 1 km a seconda del satellite);
- nel periodo di analisi (ante-operam e post-operam) non interviene alcuna modificazione significativa nell'uso e/o nella copertura del suolo nell'intorno dell'impianto. L'intorno serve anche come controllo e quindi deve rimanere ragionevolmente lo stesso nei due periodi di osservazione.

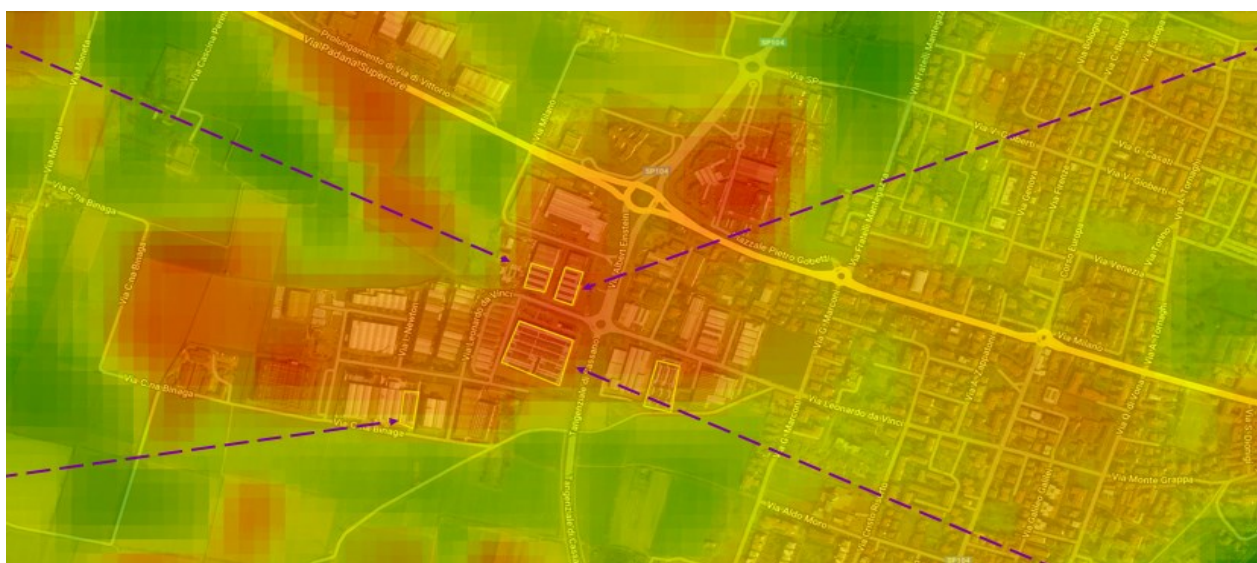


Figura 5. LST da Landsat 8 del 22 agosto 2023 alle ore 12:00 locali sovrapposta all'immagine Google Earth degli impianti FVT (indicati da frecce tratteggiate) di Cassano d'Adda (MI)

Le variabili fisiche misurate tramite telerilevamento satellitare sono le riflettanze delle superfici al suolo in molti canali spettrali del visibile e dell'infrarosso; da queste si possono calcolare **grandezze derivate** di diretta applicabilità quali l'**albedo**, la temperatura della superficie del suolo (**Land Surface Temperature LST**) e l'Indice di Differenza Normalizzata di Vegetazione (**NDVI**). Dai dati di riflettanza superficiale non è invece possibile calcolare come parametro derivato la Temperatura dell'aria T in prossimità del suolo poiché T e LST non sono facilmente correlabili.

I dati di riflettanza spettrale superficiale sono georeferenziati e permettono una mappatura del territorio a varie risoluzioni spaziali e temporali, in dipendenza dal tipo di satellite: le cosiddette immagini satellitari (Fig

⁴ si veda definizione in 0. Glossario

5).

Vi sono due possibili modalità di analisi, riportate in ordine di complessità crescente:

3.1. raccolta e interpretazione dei dati satellitari riferiti ai periodi ante-operam e post-operam;

3.2. raccolta e interpretazione dei dati satellitari per l'ante-operam e il post-operam; "calibrazione" dei dati di LST mediante contestuale campagna post-operam di monitoraggio a campo della temperatura dell'aria T; "ricostruzione" di T nell'ante-operam.

Comuni alle due modalità di analisi sono la durata di osservazione e il numero di immagini satellitari richieste per un **minimo campionamento rappresentativo** dei periodi di interesse, che si consiglia di restringere ai **mesi da maggio a settembre** per le problematiche di variazione della copertura vegetale (specie in ambienti rurali e naturali) e di rilevamento satellitare impossibilitato in caso di nuvolosità:

- periodo di osservazione di **almeno 3 anni**, sia per l'ante-operam che il post-operam, discernendo nell'analisi le **condizioni atmosferiche che portano alla formazione di UHI e PVHI⁵** ovvero del massimo impatto termico atteso;
- una **soglia minima di 15 immagini** per ciascun periodo maggio-settembre **in orario diurno** e altrettante **in orario notturno**, afferenti a condizioni atmosferiche di insorgenza di UHI-PVHI.

Per avere a disposizione il numero utile di immagini satellitari, si consiglia di utilizzare le immagini rilevate da più di un satellite. Dati e immagini in telerilevamento dallo spazio sono disponibili quali **open data** in quantità e qualità sempre maggiore e facilmente ottenibili dai portali **COPERNICUS europeo** (satelliti Sentinel di EumetSat) ed **EarthData della NASA** (satelliti Landsat, Modis Aqua) [portali in linkografia, par. 5.3].

Si dovrà fare riferimento a piattaforme e sensori con **sufficiente risoluzione spaziale** (ampiamente sotto 1 km) e **temporale** (massima frequenza di passaggi utili), mentre gli orari locali di osservazione sono in genere fissi trattandosi di orbite polari eliosincrone e limitati nella migliore delle ipotesi a uno o due al giorno.

Il portale Copernicus fornisce già calcolati parametri come LST, albedo e NDVI; il portale NASA ne rilascia continui aggiornamenti degli algoritmi di calcolo.

Nel caso della **metodologia 3.1**, la valutazione dell'impatto microclimatico dell'impianto FVT o A-FVT consiste nel calcolo e nell'interpretazione congiunta delle **variazioni di albedo e LST tra l'ante-operam e il post-operam nell'intorno dell'impianto**. I due parametri possono essere considerati indicatori efficaci in grado di evidenziare se i cambiamenti di copertura e uso del suolo, come l'installazione di FVT o A-FVT, penalizzino o meno il bilancio termico superficiale (Fig. 6) [Fan, 2020] [Bonafoni, 2016].

Si consiglia di distinguere nell'analisi i **valori medi diurni e notturni**.

⁵ UHI e PVHI insorgono, specie nelle ore notturne, in condizioni anticicloniche caratterizzate da cielo sereno, bassa ventilazione e limitato rimescolamento verticale, condizioni assai frequenti in Pianura Padana sia in estate che in inverno

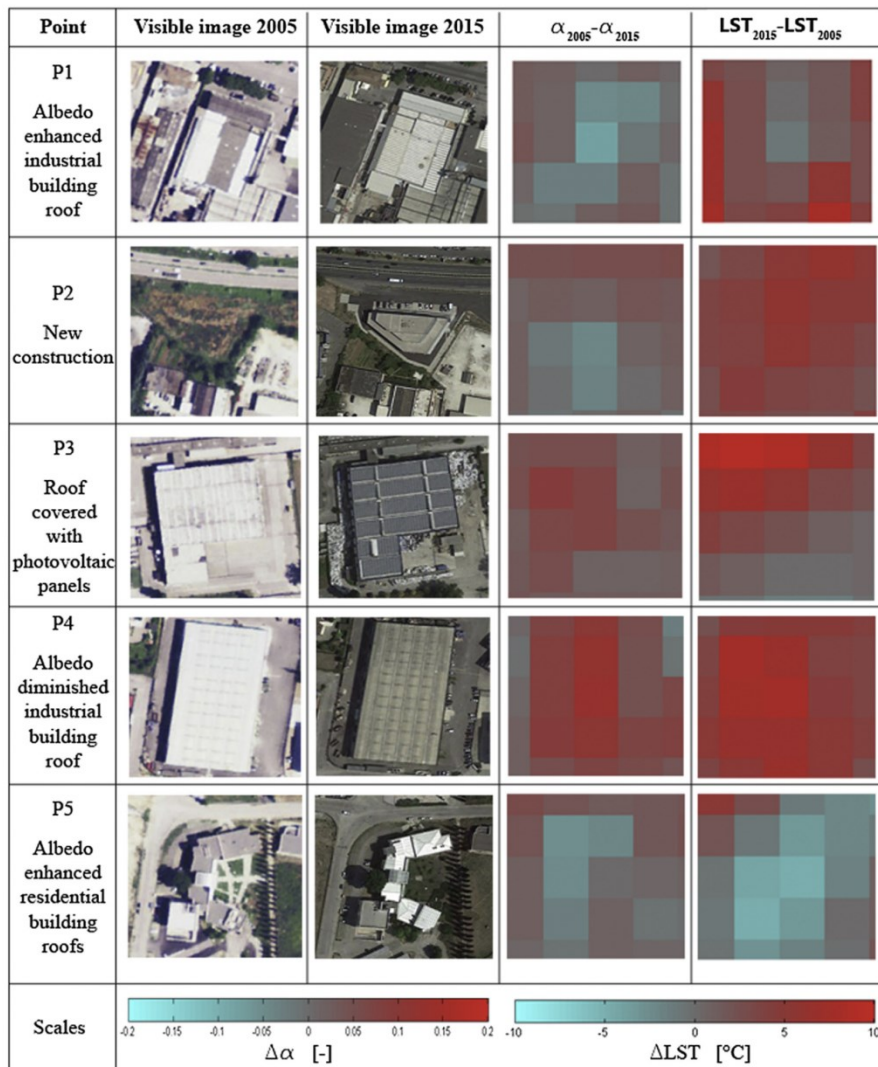


Figura 6. Differenze di albedo α ($\Delta\alpha = -0.08$) e LST ($\Delta LST = 6,1$ °C) tra il 2015 e il 2005 a Terni dovute alla variazione di copertura del suolo in area urbana e industriale, inclusa l'installazione di FVT (sito P3) [Bonafoni, 2016]

Da esperienze passate si sconsiglia la **metodologia 3.2** se nell'area non sono operative stazioni meteorologiche a campo appartenenti ad enti istituzionali o assimilati.

Il metodo di analisi punta a stimare la temperatura dell'aria T in prossimità del suolo utilizzando i dati LST derivati da telerilevamento satellitare (la cosiddetta operazione locale di "calibrazione" satellitare con dati monitorati da stazioni meteo al suolo). Vi sono vari studi scientifici [Chung, 2020] [Xiong, 2017] e progetti di ricerca applicata [ClimaMi, linkografia par. 5.3] che statisticamente riportano i due parametri T e LST monitorati contestualmente, allo scopo di ottenere mappature spaziali di temperatura dell'aria [Montoli, 2021].

Una campagna di monitoraggio post-operam con stazione meteorologica a campo, da realizzarsi secondo i criteri di Cap. 2, può apportare sicuramente maggior affidabilità alla metodologia. Se non presenti anche nell'ante-operam stazioni meteorologiche classiche nell'area d'interesse, difficilmente si potrà però risalire alla temperatura dell'aria nell'intorno del sito dell'impianto FVT/A-FVT prima della sua installazione, per quanto detto sulla relazione tra LST e T (quest'ultima dipende non solo dalla temperatura superficiale del suolo, ma anche dalle masse d'aria in transito).

4. ALTRI SISTEMI DI VALUTAZIONE: SIMULAZIONE MODELLISTICA

L'utilizzo di un **modello termico completo** è complesso [Masson, 2014] [Taha, 2013] [Fthenakis, 2013] sussistendo grandi incertezze su più variabili tra cui le variazioni di albedo, di copertura nuvolosa, di stagionalità nella simulazione dell'avvezione nonché di efficienza del pannello, che a sua volta è dinamico e influenzato dall'ambiente locale. Queste incertezze sono aggravate dalla scarsità di dati empirici.

L'applicazione modellistica è ulteriormente **complicata nei siti urbani** in cui la caratterizzazione delle superfici è effettuata sulla base di un'analisi a **risoluzione fine (tipicamente 100-200 m)** non solo dei **dati LULC (land-use/land-cover)** ma anche della **morfologia urbana**. Tutte le proprietà termo-fisiche, quali albedo, umidità del suolo, rugosità, inerzia termica, densità dell'area frontale/superiore/planare e altezza degli edifici, rapporti altezza-area per edifici e vegetazione devono essere caratterizzati ad una pari risoluzione.

Nonostante le problematiche, il ricorso ad un modello che soddisfi i criteri generali suindicati e che sia sufficientemente validato nel contesto d'uso [Frustaci, 2022] può rispondere ai quesiti in termini qualitativi e quantitativi, specialmente in fase di progettazione. Può inoltre suggerire a priori il posizionamento dei sensori per il monitoraggio a campo.

La figura 7 mostra lo schema a blocchi che sintetizza le fasi di attività da implementare in una simulazione modellistica. In tabella 2 si entra più nel dettaglio dei dati necessari in ingresso. Con *dati meteo d'area* ci si riferisce ai dati in uscita dal run di modelli meteorologici a più vasta scala o ai dati delle reanalisi, da utilizzarsi nell'inizializzazione del modello micrometeorologico (*modello* nel diagramma); con *dati meteo misurati* si intendono i dati delle stazioni meteo locali necessari per passare dalla scala più vasta alla microscala.

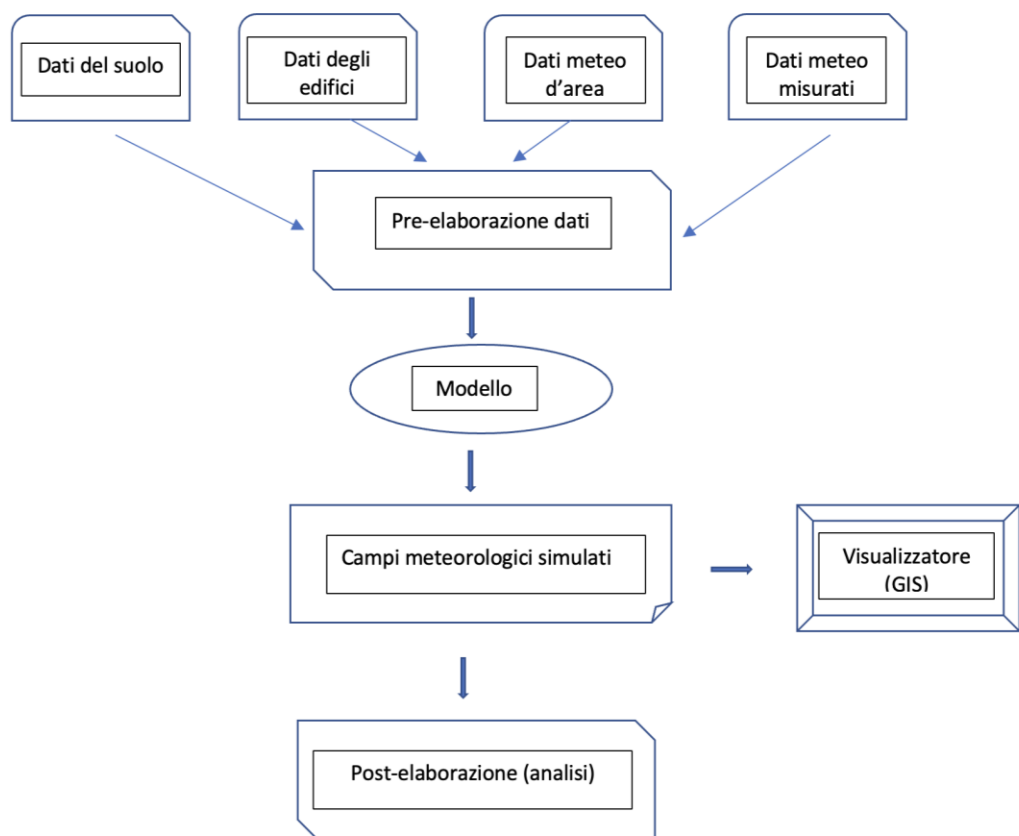


Figura 7. Schema logico delle attività e dei dati in ingresso di una modellizzazione a scala locale

Sono consigliati in particolare i **modelli meteorologici ad area limitata ad alta risoluzione** sviluppati nella logica

del "modello di comunità": il codice sorgente, le documentazioni e i programmi di appoggio sono disponibili gratuitamente per qualsiasi utilizzo.

Sono inoltre reperibili in letteratura scientifica casi di applicazioni di tali modelli alle modificazioni microclimatiche da pannelli FVT e A-FVT cui riferirsi. Tra questi, i più utilizzati e confrontati per la valutazione di impatto di strutture artificiali sono:

- **Weather Research & Forecasting Model (WRF)**, nato dalla collaborazione del National Center for Atmospheric Research (NCAR), della National Oceanic and Atmospheric Administration (rappresentata dai National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e dal Earth System Research Laboratory), la U.S. Air Force, il Laboratorio di Ricerca Navale, l'Università dell'Oklahoma e la Federal Aviation Administration (FAA) [WRF, NCAR, linkografia 5.3]. Il modello è molto utilizzato anche in area urbana [Garshasbi, 2023] [Zahra, 2020];
- **UMEP-SOLWEIG**, sviluppato specificamente per l'ambito urbanizzato e integrato in qGIS attraverso il plug-in SEBE Solar Energy on Building Envelope [Lindberg, 2018].

Tra i modelli impiegati in ambito tecnico professionale, ma sempre più spesso anche nella ricerca applicata, si cita⁶:

- **ENVI-Met**, progettato per l'analisi su microscala, con una risoluzione orizzontale di pochi metri e temporale di pochi secondi. Questa risoluzione consente di modellare il comportamento fisico e microclimatico di singoli edifici, infrastrutture artificiali e naturali, vegetazione. Tra i molteplici campi di applicazione, trova impiego nella simulazione dell'impatto delle condizioni microclimatiche outdoor anche in ambienti complessi quali quelli urbanizzati [Mandavgane, 2022] [Regione Emilia Romagna REBUS[®], 2018].

La Tabella 2 riporta altri modelli impiegati in ambito tecnico professionale, in termini di revisione critica delle variabili in ingresso e in uscita previste per il campo termico e i relativi contesti di applicazione [Zeppo, 2023] [Naboni, 2017].

Indipendentemente dalla scelta del modello, le simulazioni vanno realizzate **almeno per le giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche tipiche dei mesi caldi (da maggio a settembre) favorevoli all'instaurarsi di isole di calore:**

- cielo sereno
- temperature elevate
- calma di vento
- forte stabilità atmosferica

ovvero condizioni in cui gli **impatti PVHI sulla temperatura dell'aria** potrebbero avere le **intensità più significative**.

I **risultati da fornire** devono includere sia i **valori medi giornalieri** che i **massimi diurni e notturni del campo termico nell'intorno dell'impianto** (definito come nei precedenti capitoli) nelle diverse condizioni atmosferiche di cui sopra tipiche della zona geografica.

Tali risultati devono essere accompagnati da un'analisi statistica sulle **frequenze di accadimento delle condizioni meteorologiche** su indicate estese ad almeno le **ultime 3 annualità**.

Sia per la modellizzazione (inizializzazione e situazione al contorno) che per l'analisi di frequenza delle condizioni atmosferiche favorevoli allo sviluppo di PVHI è utile la presenza nell'area di stazioni meteorologiche di reti istituzionali o assimilate operative nell'intero periodo di interesse. Alternativamente occorrerà fare ricorso a dati quali le reanalisi e i SYNOP.

⁶ modello fruibile a fronte di licenza d'acquisto, talvolta differente per tipologia di organizzazione e/o di persona fisica

Tabella 2. Variabili in ingresso e in uscita dai modelli, relativamente al campo termico (tabella superiore) e contesto di applicabilità (tabella inferiore) [tradotto da Naboni 2017]

Variabili considerate negli algoritmi di calcolo della temperatura media radiante e distinti in input primari (I) e input calcolati (C)

| | CitySim Pro | ENVI-met | RayMan | HoneyBee and LadyBug | Autodesk CFB |
|--|--------------------|--------------------|------------------|----------------------|--------------------|
| Scambio radiazioni con il corpo umano | | | | | |
| Forma e posizione del corpo | Considerato (I) | Semplificato (I) | Semplificato (I) | Considerato (I) | Semplificato (I) |
| Assorbimento onde corte | Considerato (I) | Considerato (I) | Considerato (I) | Considerato (I) | Considerato (I) |
| Emissività onde lunghe | Considerato (I) | Considerato (I) | Considerato (I) | Considerato (I) | Considerato (I) |
| Scambio radiazioni a onde corte | | | | | |
| Radiazione diretta | Considerato (C) | Considerato (C) | Semplificato (I) | Considerato (C) | Considerato (C) |
| Radiazione diffusa atmosferica | Considerato (C) | Considerato (C) | Semplificato (I) | Considerato (C) | Semplificato (C) |
| Radiazione diffusa riflessa (edifici) | Considerato (C) | Considerato (C) | Non considerato | Considerato (C) | Non considerato |
| Radiazione diffusa riflessa (elementi liberi) | Considerato (C) | Considerato (C) | Non considerato | Considerato (C) | Non considerato |
| Radiazione diffusa riflessa (vegetazione) | Considerato (C) | Considerato (C) | Non considerato | Semplificato (C) | Non considerato |
| Radiazione diffusa riflessa (suolo) | Considerato (C) | Considerato (C) | Considerato (C) | Considerato (C) | Non considerato |
| Sky View Factor | Deterministico (C) | Deterministico (C) | Foto Fisheye (I) | Ray Tracing (C) | Deterministico (C) |
| Surface View Factor | Deterministico (C) | Deterministico (C) | Foto Fisheye (I) | Ray Tracing (C) | Deterministico (C) |
| Scambio radiazioni a onde lunghe | | | | | |
| Scambio radiazioni a onde lunghe con l'atmosfera | Considerato (C) | Considerato (C) | Considerato (C) | Considerato (C) | Non considerato |
| Radiazioni a onde lunghe (edifici) | Considerato (C) | Semplificato (C) | Non considerato | Semplificato (C) | Semplificato (C) |
| Radiazioni a onde lunghe (elementi liberi) | Non considerato | Semplificato (C) | Non considerato | Non considerato | Considerato (C) |
| Radiazioni a onde lunghe (vegetazione) | Considerato (C) | Considerato (C) | Non considerato | Non considerato | Non considerato |
| Radiazioni a onde lunghe (suolo) | Considerato (C) | Considerato (C) | Semplificato (C) | Semplificato (C) | Semplificato (C) |
| Traspirazione (vegetazione) | Considerato (C) | Considerato (C) | Non considerato | Non considerato | Non considerato |
| Evaporazione (suolo) | Considerato (C) | Considerato (C) | Semplificato (I) | Non considerato | Non considerato |
| Velocità del vento locale | Non considerato | Considerato (C) | Non considerato | Non considerato | Considerato (C) |
| Direzione del vento locale | Non considerato | Considerato (C) | Non considerato | Non considerato | Considerato (C) |
| Sky View Factor | Deterministico (C) | Deterministico (C) | Foto Fisheye (I) | Ray Tracing (C) | Deterministico (C) |
| Surface View Factor | Deterministico (C) | Deterministico (C) | Foto Fisheye (I) | Ray Tracing (C) | Deterministico (C) |
| Contesti di utilizzo degli strumenti | | | | | |
| | CitySim Pro | ENVI-met | RayMan | HoneyBee and LadyBug | Autodesk CFB |
| Tipologie di suolo e coperture differenti | Sì | Sì | No | No | No |
| Area con edificato semplice | Sì | Sì | Sì | Sì | Sì |
| Area con edificato complesso | Sì | Parzialmente | No | Sì | Sì |
| Area con elementi liberi (es.alberi) | Parzialmente | Parzialmente | No | Parzialmente | Sì |
| Spazi con calma di vento (non ventilati) | Sì | Sì | Sì | Sì | Sì |
| Spazi ventilati | No | Sì | No | No | Sì |
| Spazi verdi | Sì | Sì | Parzialmente | No | No |

5. GLOSSARIO

Albedo: l'Albedo di una superficie è la frazione di radiazione solare incidente che è riflessa in tutte le direzioni e indica il potere riflettente di una superficie. Varia tra 0 (superficie perfettamente assorbente) e 1 (superficie perfettamente riflettente), valori non esistenti in natura

A-FVT: impianto agrivoltaico (o agrovoltaico o agro-fotovoltaico): impianto fotovoltaico che adotta soluzioni volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione

Clima: insieme delle condizioni medie del tempo locale, regionale o globale, rispetto ad uno specifico intervallo temporale molto più lungo di quello del tempo meteorologico, data l'elevata variabilità di quest'ultimo. Secondo la definizione dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), il periodo di media classico è di 30 anni (CLINO)

CLINO (Climatological Normal): elaborazione statistica su base trentennale dei parametri meteorologici al suolo, che permette di descrivere le condizioni climatiche tipiche di una località, nonché, dal confronto con i dati attuali, di evidenziare eventuali anomalie climatiche. Le medie riferite al periodo climatico secondo i criteri del WMO sono chiamate "valori normali" o "valori climatici"

Dato istantaneo (misurato): valore alla minima aggregazione disponibile (ad es., 10 minuti, 30 minuti)

Dato giornaliero: valore medio, massimo e minimo giornaliero calcolati sulla base e dall'aggregazione dei valori istantanei

Dato mensile: valore medio, massimo e minimo mensile calcolati sulla base e dall'aggregazione dei valori giornalieri

DNSH (Do No Significant Harm): principio del "non arrecare un danno significativo" all'ambiente, nato per coniugare crescita economica e tutela dell'ecosistema, garantendo che gli investimenti siano realizzati senza pregiudicare le risorse ambientali

FVT: insieme di componenti che producono e forniscono elettricità ottenuta per mezzo dell'effetto fotovoltaico; esso è composto dall'insieme di moduli fotovoltaici e relativi altri componenti, tali da consentire di produrre energia elettrica e fornirla alle utenze elettriche in corrente alternata o in corrente continua e/o di immetterla nella rete di distribuzione o di trasmissione

GIS (Geographic Information System): sistema che crea, gestisce, analizza e mappa dati

Intorno dell'impianto: l'area libera da ostacoli esterna al recinto perimetrale dell'impianto FVT o A-FVT

LST (Land Surface Temperature): temperatura delle superfici (da non confondersi con la temperatura dell'aria) ottenuta da misure in telerilevamento dallo spazio nei canali dell'infrarosso termico

Microclima: clima locale di uno specifico sito o di un habitat, comparato con il clima dell'intera area di cui è parte; clima di una zona geografica, ristretta e ben delimitata

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): indice normalizzato di salubrità della vegetazione utilizzato per valutare l'intensità di attività fotosintetica

Ondata di calore: Periodo di almeno 3 giorni consecutivi in cui la temperatura massima giornaliera supera il 90° percentile delle temperature massime giornaliere calcolato su una finestra mobile centrata di 31 giorni nel periodo 1991-2020.

Punto di bianco: un punto di misura analogo per caratteristiche al sito dell'installazione dell'impianto

FVT/A-FVT prima della stessa, ovvero un sito con identica tipologia di uso e copertura del suolo a distanza sufficiente a escludere ogni possibile influenza da parte dell'impianto

PVHI (PhotoVoltaic Heat Island effect): effetto isola di calore indotto dagli impianti fotovoltaici in analogia all'effetto isola di calore degli ambienti urbani

REANALISI: combinando i modelli di simulazione con le osservazioni reali, consente di sviluppare dataset sull'andamento meteorologico trascorso, sia vicino sia storico, i quali vanno a popolare un sistema regolare di griglie, le cui dimensioni e caratteristiche dipendono dall'applicazione richiesta

SYNOP: messaggio sinottico che riporta le osservazioni meteorologiche effettuate da stazioni terrestri; sono raccolte secondo uno standard internazionale e consistono in gruppi di numeri e simboli, in cui si descrive lo stato del tempo atmosferico nella stazione

Tempo meteorologico: definito come l'insieme delle condizioni atmosferiche in un certo istante temporale su un dato territorio

UHI (Isola di calore urbana): fenomeno microclimatico tipico delle aree urbanizzate che consiste in un significativo aumento della temperatura nel centro urbano rispetto alla periferia della città e alle aree rurali circostanti. Si verifica in particolari situazioni atmosferiche a più ampia scala (condizioni di alta pressione e con scarsa ventilazione) e specialmente nelle ore serali e notturne

Urban Canopy Layer: strato di atmosfera che va dalla superficie alla sommità degli edifici; al suo interno i valori delle variabili meteo-climatiche sono fortemente influenzati dalle caratteristiche geometriche e dalle proprietà fisiche del suolo stesso, in gran parte impermeabilizzato, nonché dalla presenza di edifici, strade e di altre infrastrutture artificiali e naturali

6. BIBLIOGRAFIA e LINKOGRAFIA

6.1 Bibliografia scientifica

Barron-Gafford G., Minor R., Allen N. et al.: *The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures*. Sci Rep 6, 35070 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep35070>

Bonafoni S., Baldinelli G., Verducci P.: *Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies*. Sustainable Cities and Society (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.005>

Chung J, Lee Y, Jang W, Lee S., Kim S.: *Correlation analysis between air temperature and MODIS land surface temperature and prediction of air temperature using tensorflow long short-term memory for the period of occurrence of cold and heat waves*. Remote Sens 12:3231, (2020). <https://doi.org/10.3390/rs12193231>

Demirezen E., Ozden T., Akinoglu B.G.: *Impacts of a Photovoltaic Power Plant for Possible Heat Island Effect*. 978-1-5386-7538-0/18/©2018 IEEE, (2018). [DOI:10.1109/PVCon.2018.8523937](https://doi.org/10.1109/PVCon.2018.8523937)

Di Giuseppe E., Ulpiani G., Cancellieri C., et al.: *Numerical modelling and experimental validation of the microclimatic impacts of water mist cooling in urban areas*. Energy and Buildings, Volume 231, 110638, ISSN 0378-7788 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110638>.

Disegna M. A., Yin T., Wu H., et al.: *Modeling Mean Radiant Temperature Distribution in Urban Landscapes Using DART*. Remote Sensing 13, no. 8: 1443 (2021). <https://doi.org/10.3390/rs13081443>

Fan C., Huang X.: *Satellite-observed changes of surface spectral reflectances due to solar farming and the implication*

- for radiation budget. *Environ. Res. Lett.* 15 (2020) 114047. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbdea>
- Fan C., Huang X.: *Direct impact of solar farm deployment on surface longwave radiation*. *Environ. Res. Commun.* 3 (2021) 125006. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac40f1>
- Frustaci G., Pilati S., Lavecchia C., Montoli E.: *High-Resolution Gridded Air Temperature Data for the Urban Environment: The Milan Data Set*. *Forecasting* (2022), 4(1), 238-261. <https://doi.org/10.3390/forecast4010014>
- Fthenakis V., & Yu, Y.: *Analysis of the potential for a heat island effect in large solar farms*. 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference 3362–3366. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6745171>
- Garshasbi S., Khan A., Santamouris M.: *On the cooling energy penalty of urban photovoltaics: a case study in Sydney, Australia*. *Energy and Buildings*, Volume 294, 2023, 113259, ISSN 0378-7788. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113259>
- Guthrie K.: *The PV Heat Island Effect - What Is It? Is It A Problem For Horticulture and Dairy Farming?*. Asia Pacific Solar Research Conference (2019).
- Lindberg F., Grimmond C.S.B., Gabey A., et al.: *Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP) - An integrated tool for city-based climate services*. *Environmental Modelling and Software*.99, 70-87, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020>
- Mandavgane A., Karve S., Kulkarni P., Dhamankar N.: *The Impact of Solar Photovoltaic (PV) Rooftop Panels on Temperature Profiles of Surroundings and Urban Thermal Environment*. In: Doolla, S., Rather, Z.H., Ramadesigan, V. (eds) *Advances in Clean Energy and Sustainability*. ICAER 2022. Green Energy and Technology. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2279-6_35
- Masson V., Bonhomme M., Salagnac J.-L., Briottet X., Lemonsu A.: *Solar panels reduce both global warming and Urban Heat Island*. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 14, 2014, DOI [10.3389/fenvs.2014.00014](https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00014)
- Montoli E., Frustaci G., Lavecchia C., Pilati S.: *High-resolution climatic characterization of air temperature in the urban canopy layer*. *Bulletin of Atmospheric Science and Technology* (2021) 2: 7. <https://doi.org/10.1007/s42865-021-00038-5>
- Naboni E., Meloni M., Cocco S., Kämpf J., Scartezini J. L.: *An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space*. 2017, *Energy Procedia*. 122. 1111-1116. [10.1016/j.egypro.2017.07.471](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.471)
- Piselli C., Castaldo V.L., Pigliautile I., Pisello A.L., Cotana F.: *Outdoor comfort conditions in urban areas: On citizens' perspective about microclimate mitigation of urban transit areas*. *Sustainable Cities and Society*, Volume 39, 2018, Pages 16-36, ISSN 2210-6707. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.004>.
- Sailor D.J., Anand J., King R.R.: *Photovoltaics in the built environment: a critical review*. *Energy and Buildings*, Volume 253, 2021, 111479, ISSN 0378-7788. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111479>.
- Shevchenko O., Oliinyk R. et al.: *Indexing of Heatwaves in Ukraine*. *Water* 2020, 12(4), 962, Special Issue Understanding, Modelling and Mitigating Flood, Drought and other Extreme Weather Events, ISSN 2073-4441. <https://doi.org/10.3390/w12040962>
- Taha H.: *The potential for air-temperature impact from large-scale deployment of solar photovoltaic arrays in urban areas*. *Solar Energy* 91, 358–367 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.014>
- Vervloesem J., Marcheggiani E., Choudhury M.A.M., Muys B.: *Effects of Photovoltaic Solar Farms on Microclimate and Vegetation Diversity*. *Sustainability* (2022), 14, 7493. <https://doi.org/10.3390/su14127493>
- Zahra J., Berardi U.: *Comparing urban canopy models for microclimate simulations in Weather Research and Forecasting Models*. *Sustainable Cities and Society*. Volume 55 (2020) 102025. ISSN 2210-6707.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102025>

Zeppo L., Coltri P., Dubreuil V.: *Microscale models and urban heat island studies: a systematic review*. Environ Monit Assess 195, 1284 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11906-2>

Xiong Y., Chen F.: *Correlation analysis between temperatures from Landsat thermal infrared retrievals and synchronous weather observations in Shenzhen, China*. Remote Sens Appl Soc Environ 7:40–48 (2017) ISSN 2352–9385. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.06.002>.

6.2 Normativa e Linee Guida

CEI PAS 82-93, *Impianti Agrivoltaici*. In vigore dal 01/02/2023 per 3 anni

Clean Energy Council, *Australian guide to agrisolar for large-scale solar. For proponents and farmers*. Marzo 2021
<https://assets.cleanenergycouncil.org.au/documents/resources/reports/agrisolar-guide/Australian-guide-to-agrisolar-for-large-scale-solar.pdf>

ENAC, *Valutazione degli impianti fotovoltaici nei dintorni aeroportuali*. Numero: 2022/002-APT Ed. n. 1 del 26/04/2022
https://www.enac.gov.it/sites/default/files/allegati/2022-Apr/LG_2022_02_APT_Ed_1_26042022.pdf

European Commission, *Linee Guida per l'Integrazione dei Cambiamenti Climatici e della Biodiversità nella VIA*. Traduzione in italiano nell'ambito del progetto PON GAS 2007-2013 Programma Operativo Nazionale "Governance e Azioni di sistema del documento della Commissione Europea: Guidance on Integrating Climate Change and Biodiversity into Environmental Impact Assessment" © European Union, 2013
<https://va.mite.gov.it/it-IT/datistrumenti/MetadatoRisorsaCondivisione/bb4483c0-f6f4-4304-aa2c-9685d83c757d>

European Commission, *The Rural Energy Community Advisory Hub, Navigating Technology Types for Rural Energy Communities*. 26 Luglio 2023
<https://rural-energy-community-hub.ec.europa.eu/system/files/2023-07/Navigating%20Technology%20Types%20for%20Rural%20Energy%20Communities.pdf>

Regione Emilia Romagna. *Guida all'utilizzo di Envi-MET*. Progetto REBUS[®] REnovation of public Building and Urban Spaces. 3^a edizione, 2018
https://territorio.regione.emilia-romagna.it/paesaggio/formazione-lab-app-1/REBUS_12Envimet.pdf

France Agrivoltaïsme, *Agrivoltaïsme - Le guide des bonnes pratiques RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises)*. Luglio 2023
https://www.agra.fr/agra-presse/sites/agra-presse/files/2023-07/guide_bonnes_pratiques_rse_france_agrivoltaïsme_brut.pdf

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, *Agrivoltaics: Opportunities for Agri-culture and the Energy Transition, A Guideline for Germany*. Aprile 2022
<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>

MEF, *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – Guida operativa per il rispetto del principio di non arrecare danno significativo all'ambiente*. Circolare N. 32 MEF-RGS Prot. 309464 del 3/12/2021.
https://www.rgs.mef.gov.it/VERSIONE-I/circolari/2021/circolare_n_32_2021/

MITE (oggi MASE), *Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici*. Giugno 2022
https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/linee_guida_impianti_agrivoltaici.pdf

Regione Veneto, *Piano Territoriale Regionale di Coordinamento PTRC 2020*

<https://www.regione.veneto.it/web/ptrc/ptrc-2020>

SNPA, *Linee Guida per il controllo di validità dei dati idro-meteorologici*. SNPA 02 2017

https://www.isprambiente.gov.it/files2017/pubblicazioni/manuali-linee-guida/MLG_156_17_Dati_idrometeorologici.pdf

SolarPower Europe, *Agrisolar Best Practice Guidelines*. Version 2, 2023

<https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/agrisolar-best-practice-guidelines-version-2-2>

UNI PdR 148:2023, *Sistemi Agrivoltaici - Integrazione di attività agricole e impianti fotovoltaici*. UNI Agosto 2023

<https://www.uni.com/una-prassi-di-riferimento-per-i-sistemi-agrivoltaici/>

Università degli Studi della Tuscia et al., *Linee Guida per l'applicazione dell'agro-fotovoltaico in Italia*. 2021

https://www.qualenergia.it/wp-content/uploads/2022/03/LINEE-GUIDA-v_1.pdf

WMO, *Guidelines on the calculation of Climate Normals*. WMO-No. 1203, 2017

<https://library.wmo.int/records/item/55797-wmo-guidelines-on-the-calculation-of-climate-normals>

WMO, *Guide to Instruments and Methods of Observation*. WMO-No. 8, 2021 edition

https://community.wmo.int/en/activity-areas/imop/wmo-no_8

WMO, *Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. WMO/TD-No 1250, 2006

<https://library.wmo.int/records/item/35333-initial-guidance-to-obtain-representative-meteorological-observations-at-urban-sites>

6.3 Linkografia

Agrivoltaico Sostenibile (progetto realizzato da ENEA) <https://www.agrivoltaicosostenibile.com/>

ARPA Emilia-Romagna <https://www.arpae.it/it>

ClimaMi, Atlante della Temperatura dell'aria e Linee Guida (Appendice D.2) <https://www.progettoclimami.it/>

Commissione Europea https://commission.europa.eu/index_it

Copernicus <https://dataspace.copernicus.eu/>

DEM (Australian Department for Energy and Mining) <https://www.energymining.sa.gov.au/>

EIA (U.S. Energy Information Administration) <https://www.eia.gov/>

ENEA <https://www.enea.it/it/>

GOOGLE EARTH <https://www.google.com/intl/it/earth/about/>

GSE <https://www.gse.it/>

NASA EarthData <https://www.earthdata.nasa.gov/>

NCAR <https://ral.ucar.edu/>

QualEnergia <https://www.qualenergia.it/>

Regione Veneto (area progetti) <https://www.regione.veneto.it/web/vas-via-vinca-nuvv/via-area-progetti>

SNPA <https://www.snpambiente.it/>

Weather Research & Forecasting Model (WRF) <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>

APPENDICE - Organizzazione campagna di monitoraggio micrometeorologico

Nell'Appendice si sono dettagliati più approfonditamente i criteri forniti nel Cap. 2, riorganizzandoli in fasi di attività dal punto di vista del proponente.

1.1 Pre-monitoraggio: posizionamento delle stazioni di monitoraggio

A seconda del sito di monitoraggio è possibile scegliere diversi tipi di posizionamento delle stazioni meteorologiche da utilizzare.

La minima geometria di posizionamento consigliata è quella cosiddetta "a transetto", che prevede:

- il collocamento di almeno una stazione all'interno del perimetro dell'impianto (possibilmente in prossimità del centro dello stesso);
- l'installazione di almeno altre due stazioni, da posizionarsi lungo la medesima linea al di fuori del perimetro dell'impianto, una a monte e l'altra a valle dell'impianto.

La presenza di almeno due punti di misura, oltre a quello interno, permette di cogliere le eventuali differenze microclimatiche nelle due direzioni e avere una ridondanza di strumenti nel caso che uno dei due dovesse guastarsi su uno dei lati. La linea del transetto andrebbe scelta in funzione della localizzazione di eventuali recettori presenti nell'area.

Un'altra geometria di posizionamento delle stazioni di rilevamento, da preferirsi per gli impianti di grandi dimensioni, che garantisce una migliore caratterizzazione dei campi microclimatici nell'intorno dell'impianto FVT o A-FVT e che agevola la fase di analisi e interpretazione dei dati, è il **posizionamento "areale"**:

- oltre alla stazione di misura entro il perimetro dell'impianto FVT o A-FVT, sono installate almeno altre 4 stazioni lungo le direzioni cardinali (o comunque circa a 90° l'una dall'altra).

Per le distanze dal perimetro dell'impianto si faccia riferimento a quanto riportato nei paragrafi 2.1, 2.2 e 2.3.

I siti di monitoraggio post-operam devono essere i medesimi dell'ante-operam, come esplicitamente indicato nel capitolo 2.

La **stazione di monitoraggio posta all'interno del perimetro dell'impianto** dovrà essere installata su un supporto tale per cui la quota degli strumenti di misura risulti essere ad almeno 1 metro al di sopra dell'inviluppo della superficie dei pannelli.

Le **stazioni di monitoraggio ubicate al di fuori del perimetro dell'impianto** dovranno essere installate lontano da fonti di calore (muri, superfici di metallo, impianti di condizionamento, ecc.) e in posizioni non soggette ad ombreggiamento. Si precisa che la distanza minima da tenere rispetto a fonti di calore radianti non deve essere inferiore a 10 m.

Nel caso di stazioni da installare in area rurale o naturale si faccia riferimento ai criteri di posizionamento delle stazioni di cat. 1 e 2 del WMO [WMO, 2021].

Anche per quanto concerne i monitoraggi in ambiente urbano vale quanto sopra indicato per la stazione all'interno del perimetro dell'impianto. Il posizionamento delle stazioni esterne ad esso deve essere il più rappresentativo possibile dello strato atmosferico cittadino nell'area ospitante l'impianto; vanno privilegiate le direzioni a sud dell'impianto stesso e i recettori che ne risultano direttamente esposti [WMO, 2006].

1.2. Monitoraggio: gestione del corretto funzionamento delle stazioni e validazioni dei dati

Durante la fase di monitoraggio è importante verificare giornalmente il corretto funzionamento delle stazioni meteorologiche, per poter intervenire tempestivamente in caso di guasto vista la brevità del monitoraggio stesso.

Secondo le “Linee Guida per il controllo di validità dei dati idro-meteorologici” [SNPA, 2017] è possibile distinguere due tipi di controlli:

- quelli “automatici”, che avvengono tramite l’implementazione di algoritmi;
- quelli “manuali”, che devono essere eseguiti “a vista” da un operatore esperto.

In ogni caso la validazione deve comunque seguire una procedura scritta che consenta di tenere traccia dei criteri generali adottati e del contesto di applicazione.

I dati possono quindi essere classificati in:

- o dato corretto;
- o dato sospetto;
- o dato errato;
- o dato non validato;
- o dato ricostruito;
- o dato mancante.

Per i criteri di validazione dei dati di temperatura si faccia riferimento alle schede **dalla 29T alla 46T** della sopra citata Linea Guida [SNPA, 2017].

In particolare:

- il **dato giornaliero** è considerato:
 - **dato corretto** se la percentuale n di dati istantanei mancanti o errati è inferiore all’ 1% del totale teorico;
 - **dato sospetto** se n è compreso tra 1% e 75%;
 - **dato errato** se n è maggiore del 75%;
- il **dato mensile** è considerato:
 - **dato corretto** se la percentuale N di dati giornalieri mancanti o errati è 0%;
 - **dato sospetto** se è compreso tra 0% e 30%;
 - **dato errato** se N è uguale o maggiore del 30%.

1.3. Post-Monitoraggio: analisi dati e reportistica

Al termine del periodo di monitoraggio sono consigliabili ulteriori verifiche e controlli dei dati registrati.

Nella relazione tecnica si descriva l’andamento delle variabili meteorologiche nei vari punti di misura con dati riassuntivi, grafici e tabelle. L’attenzione deve essere posta al confronto tra i diversi punti di misura e alla comparazione tra le situazioni climatiche “ex ante” ed “ex post”, con particolare riferimento alle situazioni di caldo intenso (UHI, PVHI) e ondate di calore.

1.4. Strumentazione della stazione meteorologica

Una stazione di monitoraggio micrometeorologico **in continuo e in automatico** comprende:

- un sistema di acquisizione/elaborazione dati;
- un sistema di trasmissione dati (*opzionale*);
- un gruppo di sensori meteorologici.

I sensori meteorologici vanno opportunamente tarati all’inizio di ciascuna campagna di misura e successivamente mantenuti nell’arco del periodo di misura. Si consiglia possibilmente l’utilizzo della medesima sensoristica o comunque paragonabile (strumentazione professionale) in ogni punto di misura monitorato, sia nelle fasi ante-operam che post-operam, per garantire una maggiore confrontabilità dei dati acquisiti.

Sistema di acquisizione dati

Caratteristiche minime suggerite:

- capacità di operare in range esteso di temperatura -30 °C... +50 °C ;
- capacità di acquisizione dei segnali analogici dei sensori con convertitori ADC a 16 bit e accuratezza migliore o uguale a $\pm 0.1\%$ + offset su tutto il range di temperatura di funzionamento del sistema;
- capacità di eseguire l'acquisizione dei segnali dei sensori ad una frequenza non inferiore a 10 Hz;
- capacità di elaborazione sui dati acquisiti di medie, valore minimo, valore massimo, deviazione standard, cumulati (per le precipitazioni);
- presenza orologio in tempo reale (RTC) con accuratezza non inferiore a ± 1 minuto per mese. L'orologio deve essere allineabile in automatico all'ora esatta tramite il software di gestione del sistema o tramite l'allineamento con sistema GPS con cadenza non superiore al mese;
- memoria interna ciclica per la conservazione di tutte le misure acquisite tale da garantire la conservazione delle misure per almeno 6 mesi.

Sistema di trasmissione dati (opzionale)

Si consiglia l'utilizzo di un sistema di trasmissione dati che provveda all'invio automatico degli stessi al centro di acquisizione con frequenza almeno giornaliera. Nel caso tale sistema non sia previsto, occorre provvedere manualmente allo scarico dati periodico dal sistema di acquisizione (modalità sconsigliata).

Sensori meteorologici

Consigliato:

Sensore combinato per la misura di temperatura e umidità relativa

E' costituito da un termoigrometro da installare in schermo non ventilato.

Caratteristiche minime:

- misura temperatura tramite sensore PT100 1/3 DIN Class B;
- temperature: accuratezza pari a ± 0.1 °C e risoluzione 0.1 °C;
- umidità: con accuratezza pari a $\pm 0.8\%$ e risoluzione 0.1 %;
- range di funzionamento -40 °C...+60 °C;
- tempo complessivo di risposta non superiore a 15 secondi.

Altri eventuali sensori che possono essere installati:

- **sensore per la misura della velocità e direzione del vento**
Range di funzionamento -40 °C...+60 °C, accuratezza non inferiore a 0.1 m/s per velocità vento e 2° per direzione vento. Risoluzione 0.01 m/s (velocità), 1° (direzione). Velocità del vento massima misurabile non inferiore a 60 m/s. Frequenza di campionamento interna non inferiore a 40 Hz;
- **sensore per la misura della radiazione solare globale**
Range di funzionamento -40 °C...+60 °C. Secondo specifica ISO 9060:2018 Piranometro Class B *spectrally flat* e ISO 9060:1990 Piranometro *first class*. Range Spettrale 285 to 3000 x 10⁻⁹ m;
- **sensore di misura della precipitazione**
Range di funzionamento -40 °C...+60 °C. Tecnica di misura a bascula. Riscaldato. Bocca di raccolta non inferiore a 200 cm².

DRST - Unità Meteorologia e Climatologia
Via Marconi, 55
35037 Teolo (PD)
Italy
Tel. +39 049 999 8111
E-mail: dst@arpa.veneto.it



ARPAV

Agenzia Regionale per la Prevenzione e
Protezione Ambientale del Veneto
Direzione Generale
Via Ospedale Civile, 24
35121 Padova
Italy
Tel. +39 049 8239 301
Fax +39 049 660966
e-mail: urp@arpa.veneto.it
e-mail certificata: protocollo@pec.arpav.it
www.arpa.veneto.it