



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

REPORT ATTIVITÀ SVOLTA

Attività di ricerca – Anno Accademico 2024/2025

DOTTORANDO	BRUNO IDA
CUP	D53C24002460003
CORSO DI DOTTORATO	SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT
CICLO DEL DOTTORANDO	XL
COORDINATORE CORSO	DI CARLO Piero
CODICE BORSA	40-033-53-DOT20A93TY-14501

OBIETTIVO DELLA RICERCA

La presente ricerca si inserisce nel contesto della transizione energetica e dello sviluppo sostenibile, con l'obiettivo di contribuire al miglioramento delle performance degli impianti fotovoltaici attraverso l'integrazione ed espansione degli impianti esistenti. Il progetto di dottorato mira allo sviluppo di un modello teorico applicabile a diverse condizioni climatiche e geografiche, derivante da un'analisi integrata di dati di monitoraggio di impianti in opera, indagini strumentali e dati sperimentali.

L'obiettivo principale è la creazione di un database affidabile di variabili per validare correlazioni teoriche finalizzate a:

- Rendimento energetico e abbattimento dell'inquinamento ambientale.
- Ottimizzazione dell'efficienza energetica degli impianti.
- Riduzione del Pay Back Time (PBT) e miglioramento della fattibilità economica.

La sfida ingegneristica principale riguarda la gestione di una fonte energetica intrinsecamente aleatoria, che ha ripercussioni dirette sulla variabilità e discontinuità della produzione fotovoltaica. L'obiettivo finale è che questa ricerca possa fornire un contributo significativo alla transizione verde e allo sviluppo sostenibile, affrontando la necessità di sistemi di energia rinnovabile affidabili ed efficienti in diversi contesti operativi.

MATERIALI E METODI

La metodologia di ricerca adottata si articola secondo un approccio integrato e multidisciplinare:

1. Valutazione degli impianti fotovoltaici operativi e studio della risorsa solare
 - Analisi di impianti in esercizio forniti dal partner industriale.

- Caratterizzazione della risorsa solare in diverse località.
2. Definizione di un database affidabile di variabili
 - Strutturazione del database per l'integrazione di dati eterogenei.
 3. Implementazione di procedure di controllo qualità
 - Implementazione e validazione di correlazioni teoriche per la predizione della risorsa solare.
 - Sviluppo di modelli predittivi basati su correlazioni fisiche.
 - Validazione mediante confronto con dati sperimentali.
 4. Analisi integrata: monitoraggio, esiti strumentali, dati sperimentali
 - Integrazione di diverse fonti di dati per una visione olistica delle performance.
 5. Costituzione di un modello teorico valido per condizioni climatiche e geografiche differenti
 - Generalizzazione del modello per applicabilità in contesti diversi.
 - Considerazione di variabili climatiche e geografiche specifiche.

ATTIVITÀ DI RICERCA (1° ANNO - PRIMO SEMESTRE)

Durante i primi sei mesi del programma di dottorato, l'attività formativa si è svolta presso il Dipartimento di Ingegneria e Geologia dell'UNICH, ed è stata costituita da due filoni principali: lo studio approfondito delle tecnologie fotovoltaiche e il trattamento e analisi dati.

Una vasta ricerca bibliografica e uno studio approfondito sono stati effettuati sullo stato dell'arte delle tecnologie fotovoltaiche e sulle specifiche anomalie.

Particolare attenzione è stata dedicata allo studio delle tecnologie bifacciali, che rappresentano una frontiera innovativa nel settore. Sono stati indagati i principi di funzionamento dei moduli bifacciali, il guadagno energetico dovuto alla captazione della radiazione riflessa (albedo), i fattori che influenzano le performance (altezza di montaggio, tipo di superficie riflettente, configurazione del campo). È stato condotto parallelamente un confronto con le tecnologie monofacciali tradizionali.

In seconda istanza, sono state investigate le cause del deterioramento dei moduli fotovoltaici, analizzando sia i fattori di stress ambientali (cicli e stress termici, ingresso e degrado indotto dall'umidità, esposizione alla radiazione UV, carichi meccanici da vento, neve e grandine, sporcamento (soiling) e inquinanti atmosferici) sia i fattori intrinseci (difetti dei materiali o di fabbricazione, danni indotti dal processo, guasti delle saldature e degrado dei contatti, degrado indotto dal potenziale (PID), degrado indotto dalla luce (LID)).

Questo approfondimento si è rivelato essenziale, poiché il degrado complessivo delle prestazioni dei moduli fotovoltaici ha un impatto significativo sulla loro durata e affidabilità a lungo termine, influenzando direttamente i tempi di ritorno dell'investimento.

Uno studio dettagliato è stato condotto in maniera specifica sulle metodologie di monitoraggio e diagnostica utilizzate per individuare difetti, guasti e malfunzionamenti negli impianti fotovoltaici. L'analisi si è focalizzata su alcune tecniche che rappresentano gli strumenti fondamentali per garantire la continuità e l'efficienza della produzione energetica:

- Termografia a infrarossi (IRT): per l'identificazione di hot-spot e disomogeneità termiche, consentendo la rilevazione precoce di guasti alle celle e problemi di connessione.

- Elettroluminescenza (EL): per la rilevazione di microfratture e difetti nelle celle, fornendo immagini ad alta risoluzione di difetti a livello di cella non visibili con altri metodi.
- Analisi delle curve I-V: per la caratterizzazione elettrica e l'identificazione di perdite di performance, consentendo la quantificazione di vari meccanismi di perdita.

Questi strumenti diagnostici rappresentano la base tecnica per la costruzione del database di monitoraggio e per lo sviluppo di strategie di manutenzione predittiva.

Una parte sostanziale dell'attività di ricerca è stata dedicata allo sviluppo delle competenze necessarie per il trattamento, l'analisi e la validazione dei dati meteorologici, capacità fondamentali per la creazione del database affidabile che costituisce il nucleo centrale del progetto di dottorato.

Nello specifico, è stato sviluppato un approccio sistematico al trattamento dei dati meteorologici, con particolare focus su:

- Acquisizione e gestione di dati da diverse fonti (stazioni meteorologiche, satelliti, modelli numerici).
- Analisi delle serie temporali di irraggiamento solare, temperatura, velocità del vento.
- Identificazione di pattern stagionali e tendenze climatiche.
- Correlazione tra variabili meteorologiche e performance fotovoltaiche.

Lo studio è stato spinto fino ai controlli di qualità dei dati di irraggiamento necessari per valutare l'attendibilità dei dataset. In particolare:

- Implementazione di procedure automatiche di controllo finalizzate a individuare anomalie e incoerenze nei dati di irraggiamento globale, diretto e diffuso.
- Applicazione di test di validazione fisica (limiti estremi, consistenza tra componenti).
- Identificazione di dati errati o sospetti mediante il rilevamento degli outlier.
- Valutazione della completezza temporale dei dataset.
- Garanzia dell'idoneità all'impiego scientifico dei dati attraverso procedure standardizzate.

Queste attività sono fondamentali per assicurare che il database sviluppato contenga solo dati accurati e affidabili, prerequisito essenziale per la validazione di modelli teorici e per ottenere risultati scientificamente robusti.

È stato iniziato lo studio e l'applicazione del linguaggio di programmazione Python per l'analisi dei dati, con particolare focus su:

- Librerie per l'analisi scientifica (NumPy e Pandas per la manipolazione e analisi di dataset di grandi dimensioni; Matplotlib e Seaborn per la visualizzazione dei dati e creazione di grafici; SciPy per analisi statistiche e fitting di modelli)
- Applicazioni sviluppate (Script per l'importazione e pre-processamento di dati meteorologici, algoritmi per il controllo qualità automatico dei dati di irraggiamento, procedure per l'analisi statistica delle serie temporali, visualizzazione di correlazioni tra variabili climatiche e performance fotovoltaiche)

È previsto l'avvio a breve di un corso specifico su Python per consolidare e approfondire le competenze acquisite, e accrescere le conoscenze su tecniche avanzate di data science, Machine learning per applicazioni energetiche, ottimizzazione dei codici per l'elaborazione di big data, sviluppo di strumenti di analisi predittiva.

L'acquisizione di competenze avanzate in Python rappresenta un elemento chiave per il successo del progetto, poiché consentirà l'elaborazione efficiente di grandi quantità di dati operativi e lo sviluppo di modelli predittivi sofisticati.

Parallelamente, è stata avviata una prima classificazione dei modelli previsionali per le energie rinnovabili basati su tecniche di intelligenza artificiale, tra cui reti neurali artificiali (ANN) e modelli ibridi. L'obiettivo è valutare l'efficacia di questi strumenti nella stima della produzione energetica, in relazione alle variabili meteorologiche e ai parametri di sistema, al fine di individuare approcci predittivi robusti e adattabili ai contesti applicativi reali.

Le tecniche di AI si rivelano infatti fondamentali per il riconoscimento di pattern all'interno del database di monitoraggio e per l'implementazione di strategie di manutenzione predittiva e possono essere uno strumento chiave per trasformare grandi volumi di dati operativi in conoscenza utile all'ottimizzazione delle performance fotovoltaiche e alla gestione intelligente dei sistemi energetici.

ATTIVITÀ DI RICERCA (1° ANNO - SECONDO SEMESTRE)

Durante il secondo semestre, le attività di ricerca, formazione e collaborazione sono state proseguite e ampliate. Il periodo è stato caratterizzato da un'intensa formazione accademica, collaborazione industriale e partecipazione attiva ad attività di divulgazione.

Per quanto riguarda la formazione accademica, il curriculum di dottorato è stato completato attraverso la partecipazione alle seguenti lezioni organizzate dall'Università "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara per il Corso in Science and Technology for Sustainable Development:

- Green Organic Chemistry: Principles, Strategies and Applications for Sustainable Synthesis (CHEM-05/A) - Prof.ssa Serena Pilato
- Graphene and 2D materials: challenges and opportunities in the circular economy (CHEM-05/A) - Prof.ssa Serena Pilato
- Numerical Heat Transfer for Applications (IIND-07/B) – PhD Matteo Falone
- Psychoacoustics and Soundscape (IIND-07/B) – PhD Samantha Di Loreto
- Sustainability Development: Economics principles (ECON-03/A) - Prof. Paolo Ferrara
- Eco-energetic regeneration of the existing city (PHYS-05/B, CEAR-12/B) - Prof. Di Venosa
- Air and Water Pollution According to the One Health Approach (PHYS-05/B) - Prof.ssa Eleonora Aruffo
- Atmospheric composition: urban air quality (PHYS-05/B) - Prof. Junfeng Wang (Visiting) e Prof.ssa Eleonora Aruffo
- Introduction to Atmospheric Satellite Data Analysis (PHYS-05/B) - Prof. Piero Chiacchiaretta
- Inhalation and dietary exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health (BIOS-10/A) - Prof. Mirko Pesce
- Air pollution and oral and systemic disease (MEDS-16/A) - Prof. Manlio Santilli
- Telemedicine and Teledentistry (MEDS-16/A) - Prof. Gianmaria D'Addazio
- Pharmacognosy and bioactive plant extracts: innovative extraction technologies for health and well-being (BIOS-11) - Prof.ssa Annalisa Chiavaroli
- Circular economy and agricultural by-product valorization: technological innovations for sustainable resource recovery (BIOS-11) - Prof.ssa Alessandra Acquaviva
- Science Mapping con Bibliometrix (GSPS-05) - Prof.ssa Mara Maretti
- Rigenerazione eco-energetica della città esistente (CEAR-12/B) - Prof. Di Venosa

Questi corsi hanno consentito l'acquisizione di competenze trasversali e metodologiche essenziali per lo sviluppo della ricerca.

In parallelo con i corsi di dottorato, sono stati seguiti diversi webinar internazionali, organizzati da istituzioni leader nel settore dell'energia rinnovabile.

Webinar dell'International Energy Agency (IEA) - PV Academy:

Nell'ambito della formazione specialistica, particolare attenzione è stata dedicata alle tecnologie fotovoltaiche innovative attraverso i webinar su *"Floating PV and Agri-PV"* tenuti dal Dr. Thomas Reindl e dalla Dr. Alessandra Scognamiglio. I seminari hanno fornito un'analisi approfondita di due delle più promettenti applicazioni fotovoltaiche emergenti con numerosi argomenti utili per riflessioni e spunti di indagine.

Per quanto concerne il fotovoltaico galleggiante (Floating PV):

- Soluzioni per l'installazione su bacini idrici, laghi artificiali e serbatoi.
- Sfide tecniche: ancoraggio, resistenza alla corrosione, manutenzione.
- Vantaggi: riduzione dell'evaporazione dell'acqua, maggiore efficienza dovuta al raffreddamento naturale, nessun consumo di suolo.
- Analisi delle performance in diverse condizioni climatiche.
- Casi studio internazionali e prospettive di sviluppo.

Per l'agrivoltaico (Agri-PV):

- Integrazione tra produzione energetica e attività agricole.
- Gestione duale del suolo: ottimizzazione dello spazio per agricoltura ed energia.
- Strutture di montaggio innovative: altezze variabili, configurazioni bifacciali.
- Benefici per le colture: ombreggiamento parziale, riduzione dello stress idrico.
- Analisi della produttività agricola ed energetica combinata.
- Aspetti normativi e incentivi per sistemi agrivoltaici.

Questi contenuti sono particolarmente rilevanti per la ricerca in quanto rappresentano la frontiera dell'integrazione delle energie rinnovabili con altri settori produttivi e offrono soluzioni al problema della competizione per l'uso del suolo.

Webinar dell'Università di Milano-Bicocca:

È stato seguito il webinar *"Artificial Intelligence in Green Energy Management"* tenuto dal Prof. Maurizio Acciarri, Department of Materials Science, che ha fornito una panoramica completa su come le tecnologie di intelligenza artificiale stiano trasformando la gestione dell'energia rinnovabile a livello globale.

Il webinar ha approfondito i seguenti temi:

- Applicazioni dell'AI nella gestione degli impianti fotovoltaici (previsione della produzione energetica mediante algoritmi di machine learning; ottimizzazione in tempo reale delle performance di sistema; gestione intelligente dell'energia e integrazione con la rete elettrica; bilanciamento domanda-offerta attraverso sistemi predittivi).
- Algoritmi di ottimizzazione e predizione (reti neurali artificiali per la modellazione delle performance; algoritmi genetici per l'ottimizzazione della configurazione degli impianti; deep learning per il riconoscimento di pattern nei dati di monitoraggio; modelli predittivi per la stima della risorsa solare).
- Machine Learning per la diagnostica predittiva (identificazione precoce di guasti e anomalie, manutenzione predittiva basata sull'analisi dei dati; classificazione automatica dei difetti mediante computer vision; riduzione dei costi operativi attraverso interventi mirati).

Questa formazione risulta particolarmente rilevante in vista dello sviluppo del modello teorico e dell'analisi avanzata dei dati pianificata per il secondo anno.

Nell'ambito delle attività scientifiche, ho contribuito come secondo autore all'articolo *"Enhancing Renewable Energy Site Planning through Artificial Intelligence: an Italian Case Study"*, presentato al

convegno internazionale MadeAI2025 – The 2nd International Conference of Modelling, Data Analytics and AI in Engineering, tenutosi a Porto dal 7 all'11 luglio 2025.

La mia partecipazione ha riguardato in particolare la redazione della sezione introduttiva e dello stato dell'arte, in cui si evidenzia come l'integrazione delle fonti rinnovabili nei sistemi energetici moderni richieda strumenti previsionali accurati. A causa della loro dipendenza da variabili meteorologiche, le fonti rinnovabili introducono significative incertezze che possono generare squilibri tra domanda e offerta, inefficienze nella gestione della rete e costi di bilanciamento elevati. Un focus specifico è stato dedicato alle varie classificazioni dei modelli previsionali basati su tecniche di intelligenza artificiale. L'articolo è attualmente in fase di pubblicazione negli atti del convegno.

Altro aspetto significativo del percorso di dottorato è stato l'impegno nelle attività di divulgazione scientifica e didattica, che hanno coinvolto diversi livelli educativi e pubblici differenti.

Attività di Orientamento nelle Scuole Secondarie:

È stata svolta un'attività di orientamento rivolta agli studenti delle scuole secondarie. L'iniziativa, svolta in due istituti di Lanciano, ha incluso:

- Presentazione dei principi fondamentali dell'energia fotovoltaica.
- Esperimento pratico con un piccolo pannello solare che dimostra l'effetto fotoelettrico.
- Discussione interattiva su sostenibilità energetica e cambiamento climatico.

L'obiettivo è stato quello di avvicinare i giovani ai temi della sostenibilità energetica e stimolare il loro interesse verso le energie rinnovabili, contribuendo alla formazione delle future generazioni di studenti universitari. L'approccio pratico si è dimostrato efficace nel coinvolgere gli studenti e rendere accessibili concetti complessi.

Un'ulteriore attività ha riguardato l'ambito della didattica universitaria, con la conduzione di una lezione rivolta agli studenti del *Corso di Laurea di "Habitat Sostenibile"* dell'Università di Pescara, incentrata:

- Principi del fotovoltaico: tecnologie, funzionamento e applicazioni nell'ambiente costruito.
- PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System): presentazione dello strumento europeo per la valutazione del potenziale solare.
- Applicazioni pratiche: utilizzo di PVGIS per stimare la produzione energetica in diverse località e comprendere l'impatto di orientamento, inclinazione e ombreggiamento.
- Integrazione architettonica: considerazioni sul fotovoltaico integrato negli edifici (BIPV), aspetti estetici e sfide progettuali.

L'intervento ha rappresentato un'occasione significativa per sviluppare competenze didattiche e promuovere un approccio interdisciplinare tra ingegneria energetica e architettura, rivelandosi essenziale per affrontare le sfide legate alla progettazione sostenibile e all'efficienza energetica degli ambienti costruiti.

A settembre 2025 è stata svolta una collaborazione nell'organizzazione della *"Young Investigators Conference 2025"*, che ha incluso:

- Supporto logistico e coordinamento delle sessioni scientifiche.
- Gestione delle interazioni con relatori e partecipanti.
- Supporto tecnico durante le presentazioni.
- Networking con ricercatori di altre università.

Questa esperienza ha permesso di sviluppare competenze organizzative e di ampliare la rete di contatti nel settore della ricerca energetica, aspetto fondamentale per il futuro sviluppo della carriera scientifica.

Sempre nel mese di settembre, è avvenuta la partecipazione attiva alla “*Notte Europea dei Ricercatori*” presso lo stand del Laboratorio BPES (Building Physics and Environmental Systems), dove sono stati presentati:

- Principi fondamentali della tecnologia fotovoltaica.
- Dimostrazioni pratiche con moduli solari che mostrano la conversione energetica in tempo reale.
- Esempi applicativi e casi studio da installazioni residenziali e commerciali.
- Interazione con il pubblico per la sensibilizzazione sui temi dell'energia sostenibile.

L'esperienza ha permesso di sviluppare competenze di comunicazione scientifica verso un pubblico non specialistico, imparando a spiegare concetti tecnici complessi in termini accessibili.

Per quanto riguarda le attività in collaborazione con il partner industriale *Cantieri Italiani, Gruppo Carlo Maresca*, nel corso del secondo semestre sono stati svolti incontri periodici, nella sede pescarese dell'azienda, finalizzati a:

- Acquisire informazioni sui sistemi di monitoraggio in uso presso impianti fotovoltaici utility scale operativi.
- Comprendere le criticità operative degli impianti in servizio, incluse le modalità di guasto comuni e le sfide di manutenzione.
- Definire le specifiche tecniche per la raccolta dati, garantendo qualità e completezza dei dati.
- Stabilire protocolli per il trasferimento e la gestione dei dati.

È stata avviata la fase di acquisizione e analisi preliminare del materiale fornito dall'azienda, che costituirà la base per il database operativo del secondo anno. Le attività hanno riguardato:

- Valutazione della qualità e completezza delle informazioni disponibili.
- Valutazione dell'affidabilità dei dati e identificazione delle lacune.
- Definizione della struttura del database, inclusi formati dati, standard di metadati e capacità di interrogazione.
- Identificazione dei parametri chiave da monitorare, come irraggiamento, temperatura del modulo, condizioni ambientali e output elettrico.

Il database rappresenterà lo strumento centrale per la validazione del modello teorico e costituirà il focus principale delle attività durante il secondo anno del dottorato.

Il materiale fornito dal partner industriale include:

- Dati storici di monitoraggio da molteplici installazioni fotovoltaiche utility scale.
- Informazioni sulla configurazione dell'impianto: specifiche dei moduli (tecnologie mono e bifacciali), caratteristiche degli inverter, layout dei campi.
- Dati ambientali: condizioni meteorologiche localizzate (irraggiamento, temperatura, velocità del vento, precipitazioni)

La fase iniziale ha previsto l'aggregazione dei dati provenienti dalle fonti elettriche e meteorologiche, attività propedeutica alla creazione di un database unico e strutturato.

Su questa base sono state svolte le seguenti operazioni:

- Quantificazione delle anomalie e definizione di una strategia di pulizia, con l'elaborazione di regole automatizzate tramite script Python.
- Applicazione di filtri temporali e statistici preliminari per la rilevazione e rimozione di outlier e valori mancanti (NaN).
- Identificazione di problemi di qualità dei dati, con valutazione dell'impatto sulla completezza e coerenza del dataset.
- Analisi esplorativa delle serie temporali di produzione energetica per una prima valutazione di eventuali tendenze di degrado.
- Prime analisi di correlazione tra variabili ambientali e performance del sistema.

Attualmente è in corso la preparazione del database definitivo integrato, che costituirà la base per le analisi di correlazione e la validazione del modello previste nel secondo anno di attività.

PRINCIPALI RISULTATI E DIREZIONI FUTURE

Risultati Conseguiti nel Primo Anno

Il primo anno di dottorato ha permesso di costruire una solida base teorica, metodologica e pratica per lo sviluppo della ricerca. I principali risultati possono essere riassunti come segue:

Nell'ambito dello studio delle tecnologie fotovoltaiche:

- Conoscenza approfondita dello stato dell'arte sulle anomalie e i meccanismi di degrado fotovoltaico, inclusi sia i fattori intrinseci che estrinseci.
- Comprensione delle tecnologie avanzate, in particolare dei moduli bifacciali e del loro potenziale per aumentare la produzione energetica.
- Padronanza delle tecniche diagnostiche avanzate (termografia a infrarossi, elettroluminescenza, analisi delle curve I-V) e comprensione delle loro capacità e limitazioni.

Nell'ambito del trattamento e analisi dei dati:

- Sviluppo di competenze nel trattamento dei dati meteorologici e nella gestione di dataset complessi.
- Implementazione di procedure automatiche per il controllo qualità dei dati di irraggiamento, garantendone l'idoneità all'impiego scientifico.
- Acquisizione di competenze in programmazione Python per l'analisi scientifica dei dati.
- Preparazione per l'avvio di un corso specifico su Python per consolidare le competenze in data science e machine learning.

Prospettive per il Secondo Anno

Le attività del secondo anno si concentreranno su:

1. Sviluppo e Popolamento del Database:
 - Completamento della struttura del database con dati aziendali e di monitoraggio.
 - Implementazione di procedure di controllo qualità dei dati mediante script Python automatizzati.
 - Integrazione di diverse fonti di dati (sistemi di monitoraggio, stazioni meteorologiche, registri di manutenzione).

- Sviluppo di strumenti di visualizzazione e analisi dei dati per facilitare l'interpretazione.
2. Sviluppo del Modello Teorico:
 - Elaborazione del modello teorico per la previsione delle performance fotovoltaiche in diverse condizioni climatiche e geografiche.
 - Integrazione dei meccanismi di degrado nei modelli di performance, considerando l'invecchiamento dei moduli.
 - Incorporazione di fattori ambientali e condizioni operative specifiche.
 - Sviluppo di algoritmi per il rilevamento e la diagnosi dei guasti, utilizzando tecniche di machine learning.
 - Modellazione specifica per tecnologie bifacciali considerando il contributo dell'albedo.
 3. Consolidamento delle Competenze in Data Science:
 - Partecipazione al corso specifico su Python per consolidare e approfondire le competenze.
 - Applicazione di tecniche avanzate di Machine Learning per l'analisi predittiva.
 - Sviluppo di modelli di AI per la diagnostica predittiva degli impianti.
 - Ottimizzazione del codice per l'elaborazione efficiente di grandi dataset.
 4. Validazione Sperimentale:
 - Validazione del modello attraverso confronto sistematico con dati operativi reali da impianti utility scale.
 - Analisi di sensibilità dei parametri del modello.
 - Valutazione dell'accuratezza del modello in diverse condizioni climatiche italiane.
 - Raffinamento iterativo del modello basato sui risultati della validazione.
 5. Attività Sperimentale:
 - Possibile attività sperimentale presso impianti pilota per testare le correlazioni teoriche sviluppate.
 - Misure sul campo per la calibrazione e validazione del modello.
 - Test delle tecniche diagnostiche in varie condizioni ambientali e tipologie di impianto.

Data

24/10/2025

Firma

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J.M. Panno', written in a cursive style.