



UNIVERSITÀ DI PERUGIA
Dipartimento di Matematica e Informatica



CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA

A Deep Learning approach for Time Series Imputation on Photovoltaic data

Relatori

Valentina Poggioni
Enrico Bellocchio
Alessandro Devo

Laureando

Nicolò Vescera

Anno Accademico 2022-2023

Contents

1	Introduction	1
1.1	Problem Definition	1
1.2	Dataset	1
1.2.1	Inverter	3
1.2.2	StringBox	4
1.2.3	JunctionBox	5
1.2.4	Solargis	5

Abstract

La crescente necessità dell'adozione di strumenti in grado di produrre energia pulita da risorse rinnovabili e sostenibili ha portato ad una vasta generazione e raccolta di dati di produzione energetica provenienti, specialmente, da pannelli fotovoltaici installati in tutto il mondo. Tuttavia, questi dati spesso presentano lacune e mancanze dovute a vari fattori, come guasti temporanei, condizioni meteorologiche avverse o malfunzionamenti dei sensori e degli strumenti di raccolta dati. L'accurata imputazione di queste lacune è cruciale per garantire l'affidabilità delle analisi e delle previsioni basate su questi dati. Questa tesi si propone di affrontare il problema dell'imputazione di serie temporali di dati provenienti da pannelli fotovoltaici utilizzando tecniche avanzate di deep learning. In particolare, viene proposto un modello di deep learning basato su reti neurali fully connected (FCNN) e reti neurali ricorrenti (RNN) progettato per catturare le relazioni temporali complesse tra l'energia totale prodotta (target feature) e i vari componenti dell'impianto. I modelli sono stati allenati su un dataset formato di dati reali provenienti da un impianto fotovoltaico della potenza di $1MW$.

Chapter 1

Introduction

1.1 Problem Definition

La seguente tesi si pone l'obiettivo di risolvere il problema dell'imputazione di serie temporali di dati provenienti da impianti fotovoltaici. Nello specifico, accade molto spesso che gli strumenti di acquisizione dati di un impianto falliscano momentaneamente causando un periodo di tempo, più o meno lungo, dove la curva dell'energia totale prodotta è assente. Per cercare di colmare questo "buco" non basta un semplice calcolo dato che vanno tenuti in considerazione vari fattori come l'irraggiamento solare, temperatura ambientale, presenza di nuvole, pioggia, ecc. Formalmente possiamo definire il problema come segue:

Definition 1.1.1. Siano dati:

1. Un insieme di serie temporali di dati rappresentanti un impianto fotovoltaico, $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$, dove N rappresenta il numero di serie temporali disponibili;
2. Una serie temporale target $t \in S$ che rappresenta l'Energia Totale Prodotta;
3. Ogni serie temporale S_i è composta da coppie ordinate (t_i, v_i) , dove t_i è un timestamp che rappresenta il momento in cui è stato registrato il valore v_i .

L'obiettivo del problema dell'imputazione è stimare i valori mancanti o danneggiati nella serie temporale t .

1.2 Dataset

Il dataset a nostra disposizione descrive un periodo di quasi due anni (dal 02/02/2022 al 16/06/2023) ed è proveniente da un impianto fotovoltaico da 978 kW situato

nella provincia di Bari. È composto da 3 inverter, 27 quadri di campo, 1 contatore, 1 solarimetro, 2 protezioni interfaccia e 1 dispositivo “impianto” nel quale vengono immagazzinati i dati provenienti da Solargis. Il dataset è organizzato in file, uno per tipologia di dispositivo, che rappresentano la singola giornata e i dati sono aggregati a 5 minuti ed ogni riga riporta il riferimento al dispositivo di appartenenza (deviceName e deviceId).

File Name
2022_02_02_Rofilo_NP00003174_inverter.csv
2022_02_02_Rofilo_NP00003174_meteorology.csv
2022_02_02_Rofilo_NP00003174_meter.csv
2022_02_02_Rofilo_NP00003174_other.csv
2022_02_02_Rofilo_NP00003174_plantDevice.csv
2022_02_02_Rofilo_NP00003174_stringbox.csv
2022_02_03_Rofilo_NP00003174_inverter.csv
2022_02_03_Rofilo_NP00003174_meteorology.csv
2022_02_03_Rofilo_NP00003174_meter.csv
2022_02_03_Rofilo_NP00003174_other.csv
2022_02_03_Rofilo_NP00003174_plantDevice.csv
2022_02_03_Rofilo_NP00003174_stringbox.csv
...

Table 1.1: Estratto di alcuni file del dataset.

timestamp	serial	...	TotalEnergy(kWh)	Frequency(Hz)	deviceId
01/02/2023 00:05	INV01	...	431324.36	49.88	83204
01/02/2023 00:10	INV01	...	431324.36	49.88	83204
01/02/2023 00:15	INV01	...	431324.36	49.88	83204
...
01/02/2023 12:00	INV01	...	431324.36	49.88	83204
01/02/2023 12:05	INV01	...	431324.36	49.88	83204
01/02/2023 12:10	INV01	...	431324.36	49.88	83204
...
01/02/2023 23:45	INV01	...	431324.36	49.88	83204
01/02/2023 23:50	INV01	...	431324.36	49.88	83204
01/02/2023 23:55	INV01	...	431324.36	49.88	83204

Table 1.2: Contenuto di un file che rappresenta un inverter

1.2.1 Inverter

Un inverter in un impianto fotovoltaico è un componente fondamentale che svolge una funzione vitale: converte l'energia elettrica prodotta dai pannelli solari, che è in corrente continua (DC), in energia elettrica utilizzabile in corrente alternata (AC). Questa conversione è cruciale perché la maggior parte delle apparecchiature elettriche domestiche e delle reti di distribuzione elettrica utilizzano corrente alternata per funzionare. Regolano la tensione e la frequenza della corrente alternata prodotta per garantire che siano conformi agli standard di rete elettrica locale. Questo è importante per evitare danni agli apparecchi elettrici e per garantire l'interoperabilità con la rete elettrica. Sono spesso dotati di tecnologie avanzate come il "Maximum Power Point Tracking" (MPPT) che ottimizzano costantemente la produzione di energia solare. Questo significa che l'inverter regola la tensione in ingresso dai pannelli solari per ottenere la massima potenza possibile in base alle condizioni di luce solare in tempo reale. Le feature che caratterizzano il nostro impianto sono riassunte dalla seguente tabella:

Name	Unit Symbol	Description
CommunicationCode	-	COMMUNICATION CODE
Failure 3	-	Allarme Attivo
Failure 4	-	Allarme di isolamento
CurrentDC	A	Corrente di campo fotovoltaico
CurrentAC	A	Corrente di Rete
CurrentAC Phase1	A	Corrente RMS di Linea Fase R
CurrentAC Phase2	A	Corrente RMS di Linea Fase S
CurrentAC Phase3	A	Corrente RMS di Linea Fase T
TotalEnergy	kWh	Energia Attiva Erogata
Frequency	Hz	Frequenza di Rete
PowerAC Phase1	kW	PA di Linea Fase R
PowerAC Phase2	kW	PA di Linea Fase S
PowerAC Phase3	kW	PA di Linea Fase T
PowerAC	kW	PA Erogata
PowerDC	kW	Potenza di campo fotovoltaico
Status	-	Stato Inverter
Failure	-	Stato PLL per Aggancio Rete
Failure 2	-	Stato Rete 1
Failure 1	-	Stato Rete 2
InternalTemperature	C	Temp. CPU
HeatSinkTemperature	C	Temp. IGBT
VoltageDC	V	Tensione di campo fotovoltaico
VoltageAC	V	Tensione di Rete
VoltageAC Phase1	V	Tensione RMS di Linea Fase R
VoltageAC Phase2	V	Tensione RMS di Linea Fase S
VoltageAC Phase3	V	Tensione RMS di Linea Fase T

Table 1.3: Lista di tutte le features degli inverter, con descrizione.

1.2.2 StringBox

Le stringbox in un impianto fotovoltaico sono contenitori elettrici progettati per ospitare e proteggere una serie (o stringa) di pannelli solari collegati in serie. Questi dispositivi svolgono diverse funzioni importanti:

- Protezione: Le stringbox includono dispositivi di protezione come interruttori automatici o fusibili che prevengono cortocircuiti e sovraccarichi nel circuito fotovoltaico.

- Connettori: Forniscono connettori sicuri per collegare i cavi provenienti dai pannelli solari alla stringa di cavi principale dell'impianto.
- Monitoraggio: Alcune stringbox sono dotate di sistemi di monitoraggio che consentono di rilevare prestazioni o guasti dei pannelli solari all'interno della stringa.
- Isolamento: Possono anche includere dispositivi di isolamento che consentono di interrompere l'alimentazione elettrica verso la stringa di pannelli solari per scopi di manutenzione o sicurezza.

1.2.3 JunctionBox

Name	Unit Symbol	Description
CommunicationCode	-	COMMUNICATION CODE
Failure	-	Allarme Stringhe
CurrentString1	A	Corrente I1
CurrentString2	A	Corrente I2
CurrentString3	A	Corrente I3
CurrentString4	A	Corrente I4
CurrentString5	A	Corrente I5
CurrentString6	A	Corrente I6
CurrentString7	A	Corrente I7
AverageStringCurrent	A	Corrente Media
Irradiance	W/m ²	Irraggiamento moduli
Failure 1	-	Stringhe Aperte
Failure 2	-	Stringhe Non Perform.
EnvironmentTemperature	C	Temperatura ambiente
ModuleTemperature	C	Temperatura moduli
InternalTemperature	C	Temperatura Scheda

Table 1.4: Lista di tutte le features deglle JunctionBox, con descrizione.

1.2.4 Solargis

Solargis è una società specializzata nella fornitura di dati e servizi di previsione solare per impianti fotovoltaici e progetti legati all'energia solare. Il loro principale obiettivo è fornire informazioni precise e affidabili sull'irradiazione solare e sulle condizioni meteorologiche solari in qualsiasi parte del mondo. Questi dati sono fondamentali per la progettazione, l'ottimizzazione e la gestione degli impianti

fotovoltaici. Solargis raccoglie e fornisce dati dettagliati sull'irradiazione solare globale, diretta e diffusa in ogni posizione geografica. Questi dati consentono agli sviluppatori di impianti fotovoltaici di valutare la quantità di energia solare disponibile in una determinata area, il che è fondamentale per dimensionare correttamente l'impianto e calcolare le previsioni di produzione.

timestamp	...	SolargisGHI(W/m2)	SolargisGTI(W/m2)
2022-08-01 11:40:00	...	896	978
2022-08-01 11:45:00	...	896	978
2022-08-01 11:50:00	...	896	978
2022-08-01 11:55:00	...	914	1001
2022-08-01 12:00:00	...	914	1001
2022-08-01 12:05:00	...	914	1001
2022-08-01 12:10:00	...	928	1019
2022-08-01 12:15:00	...	928	1019
2022-08-01 12:20:00	...	928	1019

Table 1.5: Dati di Solargis a nostra disposizione, provenienti dal file 2022_08_01_Rofilo_NP00003174_plantDevice.csv

Solar radiation takes a long journey until it reaches Earth's surface. So when modelling solar radiation, various interactions of extra-terrestrial solar radiation with the Earth's atmosphere, surface and objects are to be taken into account. The component that is neither reflected nor scattered, and which directly reaches the surface, is called direct radiation; this is the component that produces shadows. The component that is scattered by the atmosphere, and which reaches the ground is called diffuse radiation. The small part of the radiation reflected by the surface and reaching an inclined plane is called the reflected radiation. These three components together create global radiation.

In solar energy applications, the following parameters are commonly used in practice:

- Direct Normal Irradiation/Irradiance (DNI) is the component that is involved in thermal (concentrating solar power, CSP) and photovoltaic concentration technology (concentrated photovoltaic, CPV).
- Global Horizontal Irradiation/Irradiance (GHI) is the sum of direct and diffuse radiation received on a horizontal plane. GHI is a reference radiation for the comparison of climatic zones; it is also an essential parameter for calculation of radiation on a tilted plane.

- Global Tilted Irradiation/Irradiance (GTI), or total radiation received on a surface with defined tilt and azimuth, fixed or sun-tracking. This is the sum of the scattered radiation, direct and reflected. It is a reference for photovoltaic (PV) applications, and can be occasionally affected by shadow.

Name	Unit Symbol	Description
SolargisGHI	W/m ²	Solargis Global Horizontal Irradiation
SolargisGTI	W/m ²	Solargis Global Tilted Irradiation

Table 1.6: Lista di tutte le features di Solargis, con descrizione.