

PPVM
Predictive
Photo-Voltaic
Management

Predictive Photo-Voltaic Management

Edito in data 12/06/2022

Sommario

Premessa	1
Descrizione dell'impianto e del modello di calcolo	2
Previsione della potenza fotovoltaica	3
Carichi elettrici e loro tipologia	3
Carichi programmabili	3
Attivazione dei carichi opzionali	3
Gestione ottimale della potenza	3
Installazione del software	6
Requisiti Hardware e Software	6
Utilizzo del software	7
Pagina Home	7
Pagina "Descrizione"	11
Pagina di Login	11
Pagina di configurazione	12
File Schedule	12
Fogli di input/output	13
Foglio Input	14
Foglio Carico	17
Sincronizzazione dei dati	17
Caratterizzazione impianto	17
Foglio Output	19
Programmazione	20
Contatti	21
Bibliografia	22
Appendice	23
Calcolo dell'irraggiamento solare	23

Premessa

Questa relazione descrive le caratteristiche del software **PPVM** sviluppato da ePowering, finalizzato alla gestione ottimale di un impianto fotovoltaico provvisto di sistema di accumulo e connesso ad un impianto caratterizzato dalla presenza di carichi elettrici fissi e programmabili, con le caratteristiche descritte nel seguito.

Il modello incorpora metodologie e algoritmi frutto delle ricerche svolte presso l'Università di Salerno, i cui risultati sono stati pubblicati di recente su una rivista scientifica [1]. Il modello proposto è in grado di fornire previsioni dell'insolazione solare reale e della potenza fotovoltaica prodotta da un impianto composto da uno o più campi diversi in un arco temporale di 48 ore tenendo conto delle previsioni meteo e degli effetti della nuvolosità. I risultati pubblicati dimostrano come attraverso la previsione dell'insolazione e l'utilizzo di metodologie di ottimizzazione sia possibile soddisfare i carichi richiesti con una riduzione significativa (dell'ordine del 20%) dei costi associati al prelievo di energia dalla rete, rispetto ai risultati ottenibili ricorrendo a metodi di gestione convenzionali, non predittivi.

Il modello dell'impianto è accoppiato ad algoritmi di ottimizzazione vincolata non lineare. I risultati, forniti con frequenza oraria o comunque programmabile da parte dell'utente, consentono di pianificare in anticipo l'eventuale ricarica da rete di un sistema di accumulo e l'utilizzo di carichi opzionali e programmabili, quali la ricarica di veicoli elettrici e l'utilizzo di macchinari, selezionando tra le molte soluzioni possibili quella che permette la massima riduzione dei costi per l'energia e delle emissioni di CO2 associate.

Descrizione dell'impianto e del modello di calcolo

L'impianto industriale in oggetto è caratterizzato da:

- Un impianto fotovoltaico con pannelli fissi (non orientabili), di cui è nota la localizzazione, le dimensioni, la potenza nominale e il rendimento; l'impianto potrà essere composto da uno o più campi fotovoltaici, ognuno caratterizzato tramite i dati progettuali (Area dei pannelli, Angolo di tilt, Angolo di Azimut, Rendimento);
- una utenza elettrica (carico) di cui è assegnabile l'assorbimento di potenza nell'arco della giornata; possono essere definiti e memorizzati più profili di carico;
- una utenza programmabile, costituito da un carico opzionale che può essere collocato in orari e giorni diversi nell'arco dell'orizzonte temporale, in funzione della disponibilità di energia e di criteri fissati dall'utente;
- il collegamento alla rete elettrica, caratterizzato da un valore massimo della potenza da prelevare e da cedere alla rete e da una struttura dei costi assegnata (fasce F1, F2 e F3), per il prelievo e la cessione dell'energia;
- un sistema di storage (i.e. batteria al litio), di cui è nota la capacità;
- un computer connesso alla rete Internet, che accede al server sul quale è implementato il software di calcolo, che permette all'utente di implementare i comandi dei carichi opzionali.

La riduzione dei costi e delle emissioni di CO2 si ottiene:

- massimizzando l'utilizzazione dell'energia da fotovoltaico;
- limitando il prelievo dalla rete;
- privilegiando il prelievo nelle ore in cui il prezzo è minore;
- programmando i carichi opzionali nelle fasce orarie di massima disponibilità di energia pulita.

Uno schema di massima dell'impianto è mostrato nella Figura 1, dove sono illustrate le principali interazioni tra i suoi componenti, sia in termini di scambi energetici (linee continue) che di flussi di informazioni (linee tratteggiate).

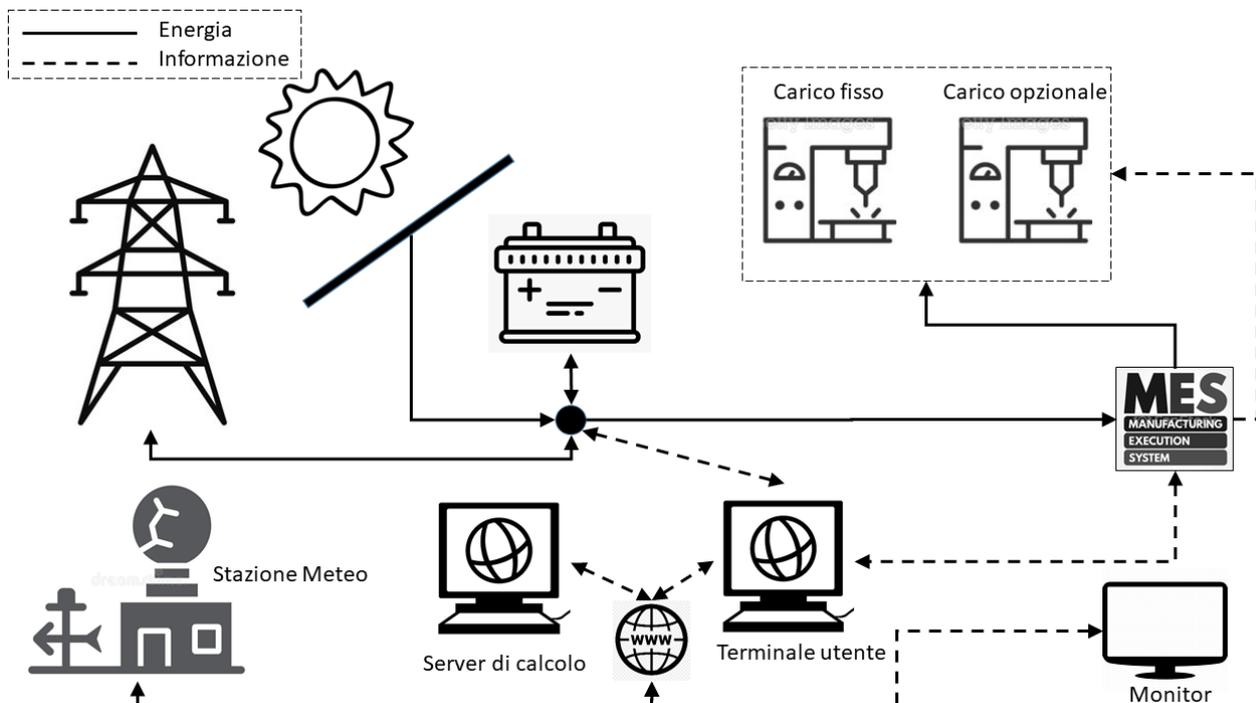


Figura 1 - Schema dell'impianto

Previsione della potenza fotovoltaica

La previsione della potenza dai campi fotovoltaici è ottenuta a partire dal calcolo dell'irradiazione diretta, attraverso il calcolo della declinazione, dell'angolo solare, del fattore AM (Air Mass), dell'irraggiamento e dell'incidenza. Le formule e la relativa simbologia sono presentate in Appendice.

Carichi elettrici e loro tipologia

I carichi elettrici possono essere caratterizzati sia in termini di assorbimento di potenza che in termini di collocazione temporale. In generale, sono possibili diverse combinazioni per la loro definizione, come presentato nella Tabella 1. Sono definiti **Carichi fissi** quelli caratterizzati da una collocazione temporale e un livello di potenza assegnato (il caso A della tabella), mentre vengono definiti **Carichi programmabili** quelli nei quali almeno uno dei due fattori possa essere variato (casi B, C e D).

Carichi programmabili

I **carichi programmabili** (oppure opzionali) sono quei carichi elettrici la cui attivazione non è obbligatoria, e che possono essere collocati in momenti diversi. L'utente può definire i limiti entro i quali il software può collocare i carichi opzionali, in termini di fasce orarie e di assorbimento massimo e minimo di potenza.

Tabella 1 - Opzioni disponibili per il carico elettrico

		Livelli di potenza	
		Fissati	Variabili
Tempo e durata	Fissati	A	B
	Variabili	C	D

L'allocazione dei carichi programmabili viene effettuata dal modello di calcolo in funzione della potenza attesa da fotovoltaico e dei profili di potenza per i carichi obbligatori, privilegiando le fasce orarie che presentano la massima differenza tra potenza solare e carichi obbligatori. A parità di condizioni, il carico viene allocato nelle fasce orarie più prossime, dato che l'affidabilità della previsione tende generalmente a ridursi con l'allungamento dell'orizzonte temporale.

La programmazione dei carichi opzionali può essere effettuata con frequenza selezionabile dall'utente: ogni ora, o anche una volta al giorno.

Attivazione dei carichi opzionali

In funzione delle scelte dell'utente, l'attivazione dei carichi opzionali potrà essere automatica (attraverso collegamento con il MES), oppure potrà richiedere il consenso da parte dell'utente, che verrà informato dal sistema di monitoraggio attraverso funzioni di messaggistica.

Gestione ottimale della potenza

Una volta noti i carichi obbligatori e fissati i carichi opzionali, il software seleziona il profilo di prelievo o di cessione di potenza alla rete ed al sistema di storage (batteria) al quale corrisponde il minimo costo per il prelievo di energia dalla rete (ovvero il massimo guadagno dovuto alla cessione di energia).

Il profilo orario di prelievo/cessione ottimale nell'arco dell'orizzonte temporale (48 h) viene calcolato da un algoritmo di ottimizzazione non lineare vincolata accoppiata con il modello dell'impianto, secondo i seguenti criteri:

- minimizzazione del costo per il prelievo di energia dalla rete (ovvero massimizzazione dei ricavi per la cessione di energia, nel caso sia presente un surplus);
- soddisfacimento dei carichi orari (obbligatori e opzionali);
- mantenimento del livello di carica nella batteria al termine dell'orizzonte temporale previsto.

Tabella 2 - Fasce orarie dell'energia elettrica definite dall'Autorità (ARERA)

F1 (ore di punta)	8-19 da lunedì a venerdì, festività nazionali escluse
F2 (ore intermedie)	7-8 la mattina, 19-23 da lunedì a venerdì e 7-23 il sabato, festività nazionali escluse
F3 (ore fuori punta)	24-7 e 23-24 da lunedì a sabato, domenica e festivi tutte le ore della giornata
F23 (o F2+F3)	19-8 tutti i giorni, il sabato e la domenica e i giorni festivi. Questa fascia comprende le ore incluse nelle fasce F2 e F3

Riguardo al vincolo sullo stato di carica (SOC) della batteria, il vincolo equivale ad imporre che, se al tempo iniziale la batteria si trova al 70% della carica, dovrà tornare al 70% al termine delle 48 ore; l'assenza di una carica netta scaricata o caricata in batteria permette di confrontare tra loro le diverse soluzioni di gestione individuate dall'algoritmo di ottimizzazione in termini di costo o ricavo totale per l'energia prelevata o ceduta, a parità di energia complessivamente immagazzinata nel periodo (cioè zero).

Il ruolo della batteria (come avviene per i veicoli ibridi) è quello di offrire un grado di libertà che può consentire al sistema di privilegiare le condizioni più convenienti lungo l'orizzonte temporale in termini di i) minimizzare l'accesso alla rete; ii) privilegiare l'eventuale accesso alla rete nelle ore in cui le tariffe sono più favorevoli; iii) evitare che eventuali surplus prodotti da fotovoltaico possano essere dissipati per il superamento della quota di potenza.

La presenza di un algoritmo predittivo è utile nel prevenire situazioni in cui eventuali surplus di potenza vadano perduti o debbano essere ceduti in rete a tariffe poco convenienti. In questo caso, l'algoritmo programma l'utilizzo della batteria in modo da evitare o minimizzare tali evenienze.

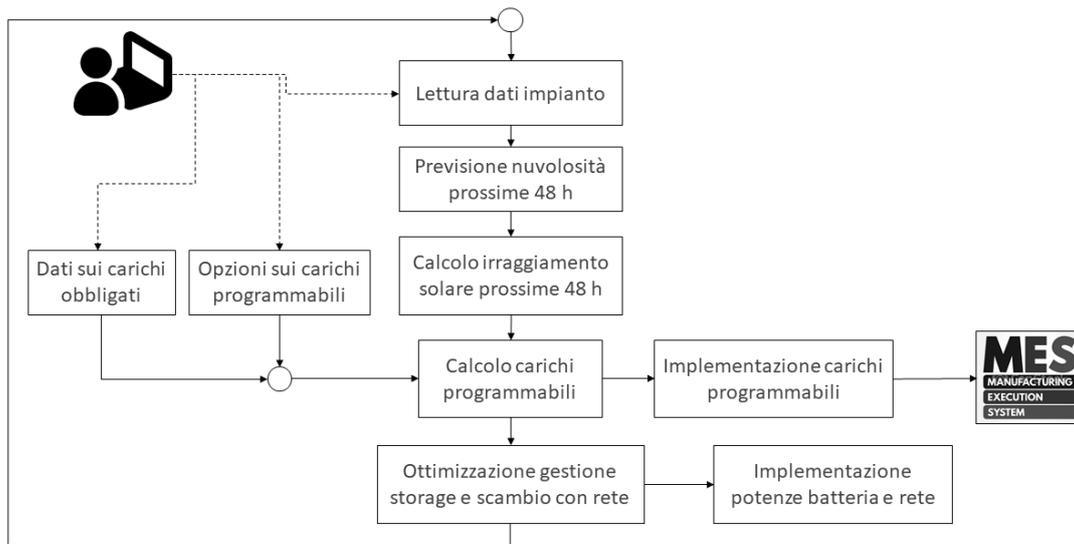


Figura 2 - Diagramma di flusso del modello di calcolo

Installazione del software

Per l'installazione del software è necessario comunicare ad ePowering i seguenti dati:

- A. indirizzo email con il quale è stato installato Dropbox;
- B. nome della cartella da creare in Dropbox;
- C. nome della cartella da creare sul server Web (può essere uguale al nome per il punto precedente); tale nome coincide con la password di accesso per il Login.

Il software PPVM funziona in modalità Client-Server. Lo schema nella Figura 3 ne chiarisce il funzionamento:

1. L'utente opera nella **propria cartella**, residente su Dropbox, oppure sulla **interfaccia Web**, che accede direttamente al server Dropbox. Assegna e personalizza i dati di input ed assegna gli orari del calcolo (file Schedule.xlsx).
2. I dati vengono sincronizzati dal software Dropbox e vengono condivisi con la cartella sul Server di calcolo.
3. All'orario prefissato, viene lanciato il calcolo dal lato Server e vengono prodotti risultati e grafici, memorizzati nella cartella Archivio.
4. La cartella Archivio viene condivisa tramite Dropbox, rendendo i dati disponibili per l'utente.
5. I file con i risultati vengono inviati al server web tramite ftp e visualizzati sulla bacheca web dall'utente.

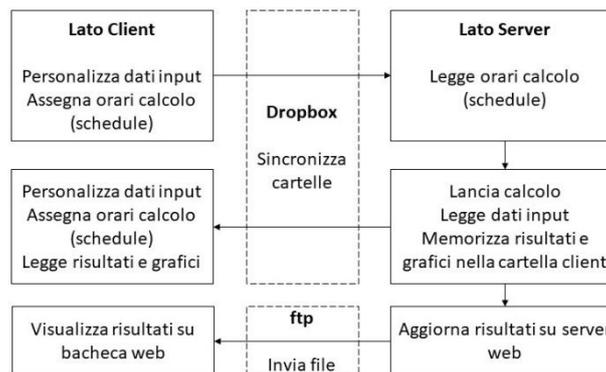


Figura 3 - Schema di funzionamento del software in modalità Client-Server

Requisiti Hardware e Software

Per l'implementazione del software, si richiede la disponibilità di un PC con i seguenti requisiti:

- Sistema operativo Windows 10 o successivo;
- Monitor, Tastiera, Mouse;
- Collegamento ad Internet via LAN o Wifi.
- Installazione di Microsoft Excel (se si vogliono editare i file di configurazione in modalità locale, altrimenti è possibile utilizzare la versione on-line di Excel, disponibile attraverso l'interfaccia Web);
- Installazione di Dropbox.

Utilizzo del software

L'interfaccia utente è costituita da una pagina Web, accessibile al link: www.hysolarkit.com/bacheca_PPVM (NB: la pagina di accesso potrà essere spostata in futuro).

Pagina Home

La pagina Home fornisce il quadro dei risultati relativi all'ultimo calcolo effettuato, o anche di un caso presente in archivio e selezionato dall'utente. La schermata presenta il caso ottimizzato a confronto con il caso "base", ottenuto senza l'allocatione ottimale dei carichi opzionali e senza la batteria. Cliccando sulle miniature delle figure è possibile visualizzarle a schermo intero e zoomare ulteriormente per ingrandire i grafici.

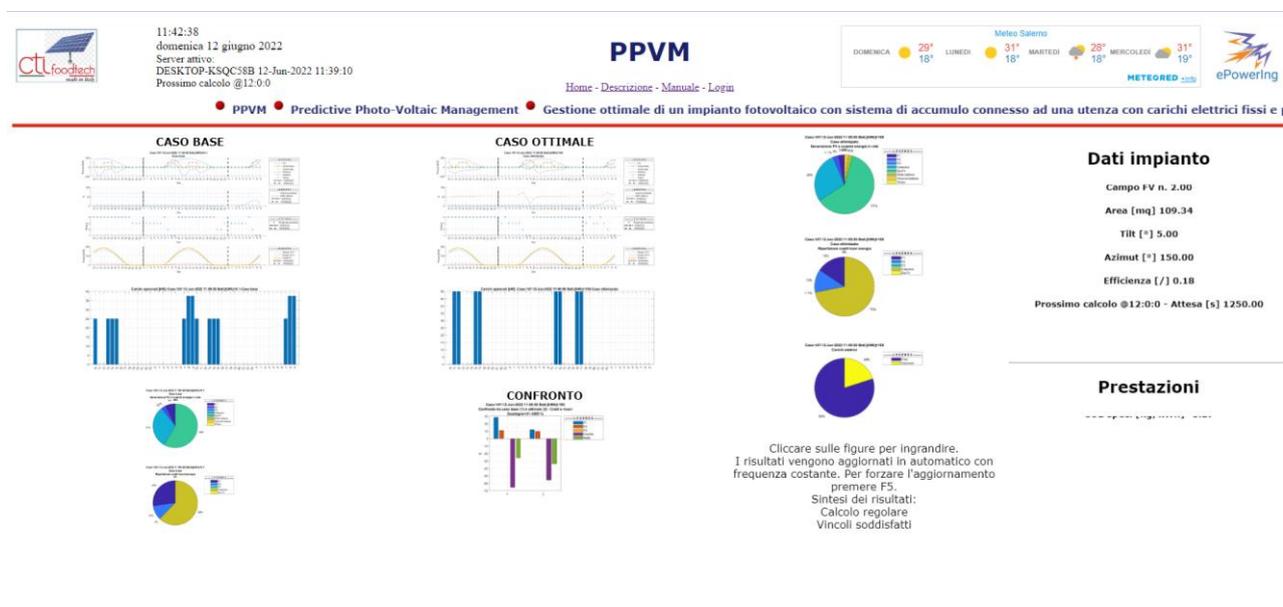


Figura 4 - Pagina Home di PPVM

La prima figura in alto a sinistra (Figura 5) descrive le principali variabili lungo l'orizzonte temporale considerato (48 ore) a partire dall'ora in cui è effettuato il calcolo. I tre diagrammi riportano i) le potenze in gioco (dal fotovoltaico, da e verso la rete, da e verso la batteria, l'eventuale potenza persa, i carichi elettrici obbligatori e opzionali); ii) l'indice di nuvolosità e lo stato di carica (SOC) della batteria; iii) la potenza attesa dai campi fotovoltaici.

Il secondo grafico (Figura 7) descrive la programmazione suggerita per i carichi opzionali, sotto forma di istogramma.

Altri grafici, a forma di torta (Figura 8), descrivono la ripartizione percentuale per le seguenti variabili: i) energie scambiate nell'arco delle 48 ore, con il dettaglio delle frazioni prelevate dalla rete nelle diverse fasce di prezzo (F1, F2 ed F3), l'energia ceduta alla rete, quella scambiata con la batteria e l'energia persa; ii) i relativi costi (e ricavi) associati agli scambi di energia, iii) i carichi obbligatori e quelli opzionali.

Le caselle di testo scorrevoli sulla destra riepilogano i) i dati caratteristici dell'impianto fotovoltaico (numero di campi, area, angoli di tilt e di azimut, rendimento); ii) prestazioni complessive nell'arco delle 48 ore (energia da fotovoltaico, energia scambiata con la rete, carichi elettrici, energia persa, indice di costo, CO2 complessiva (kg) e per unità di carico elettrico soddisfatto (kg/kWh).

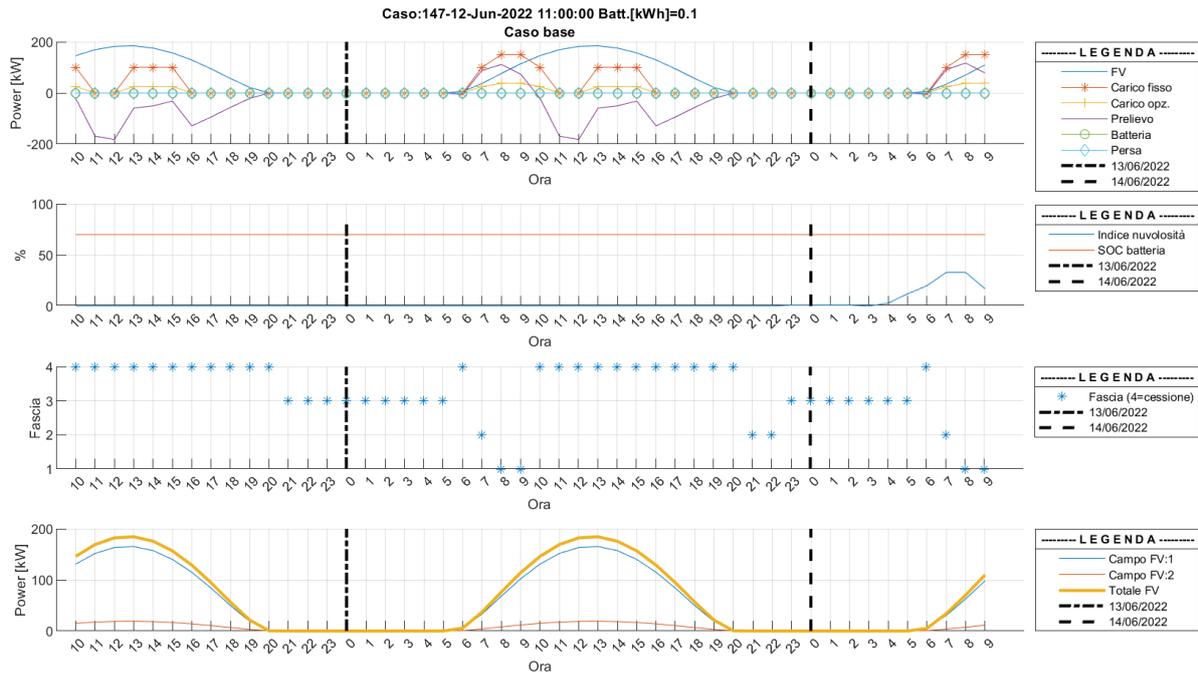


Figura 5 - Andamento delle variabili lungo l'orizzonte temporale (Caso Base)

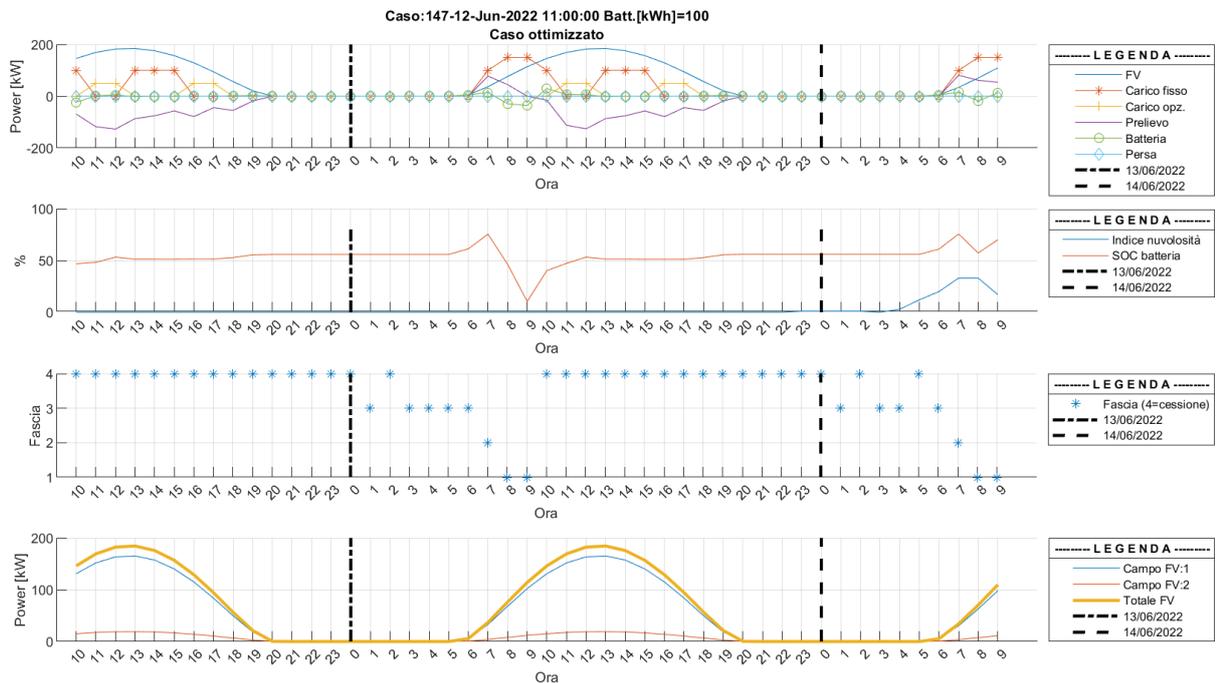


Figura 6 - Andamento delle variabili lungo l'orizzonte temporale (Caso ottimizzato)

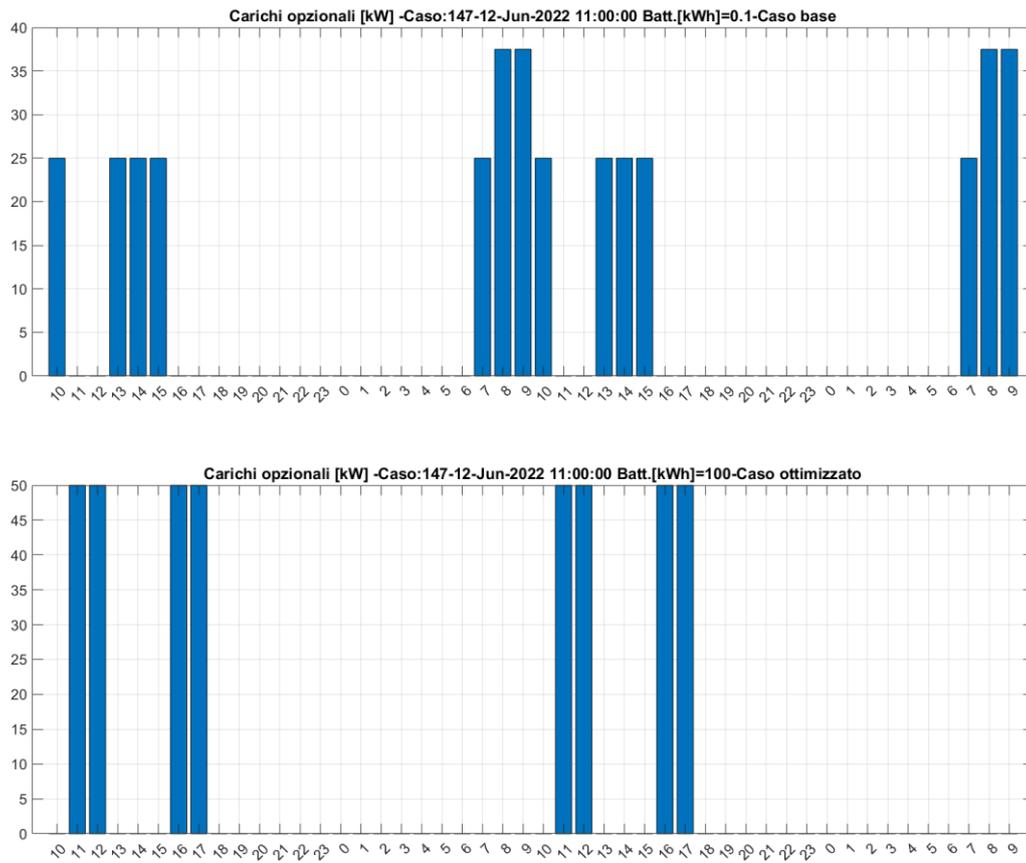


Figura 7 – Programmazione suggerita per i carichi opzionali (in alto il caso base, in basso il caso ottimizzato)

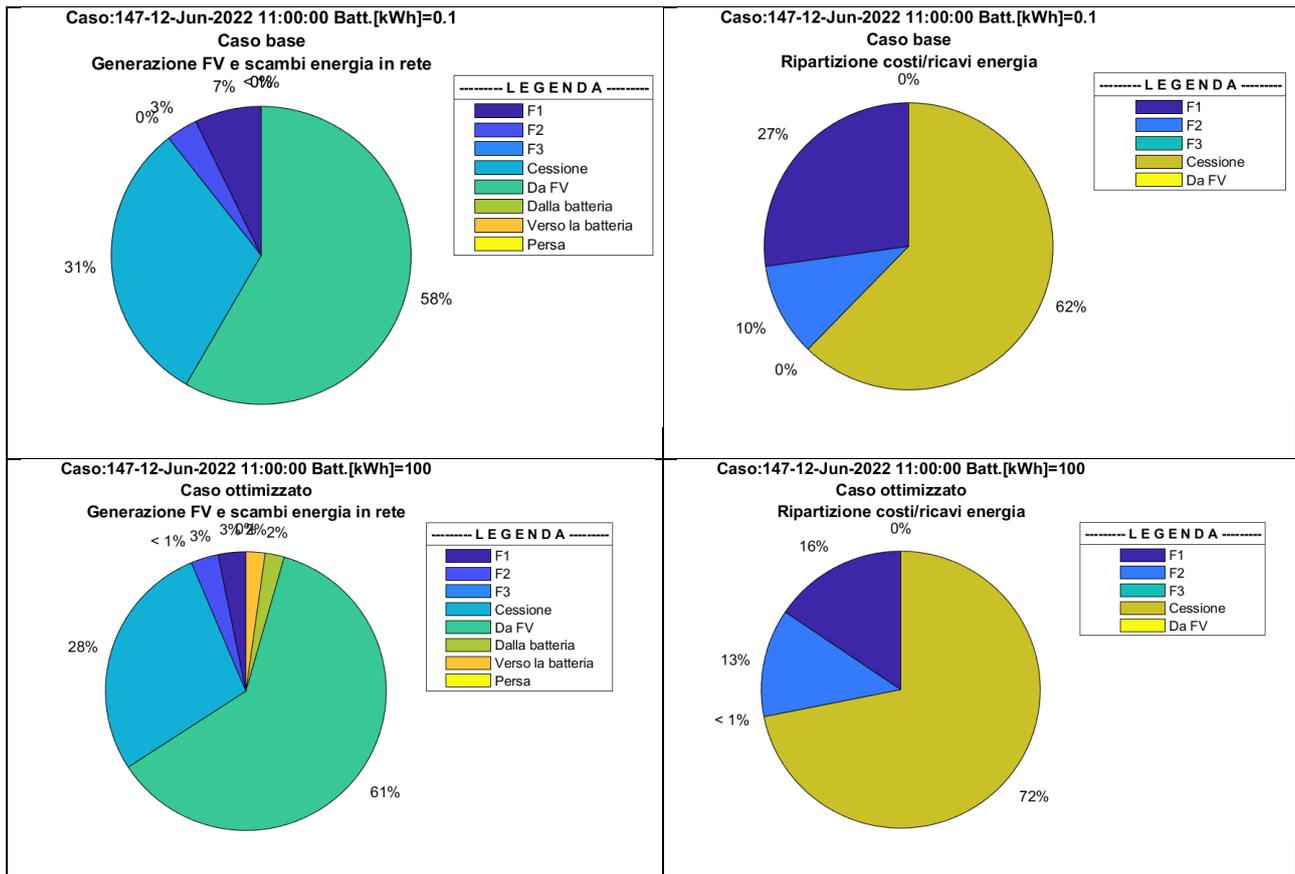


Figura 8 - Diagrammi con ripartizione percentuali di flussi energetici, costi e carichi

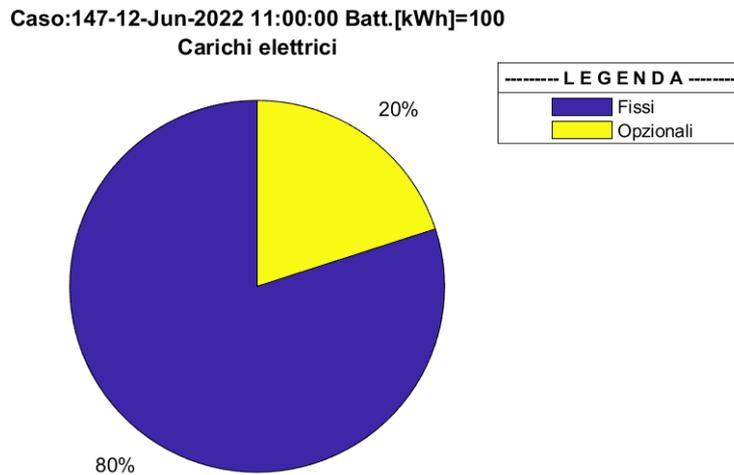


Figura 9 - Diagrammi con ripartizione percentuali dei carichi

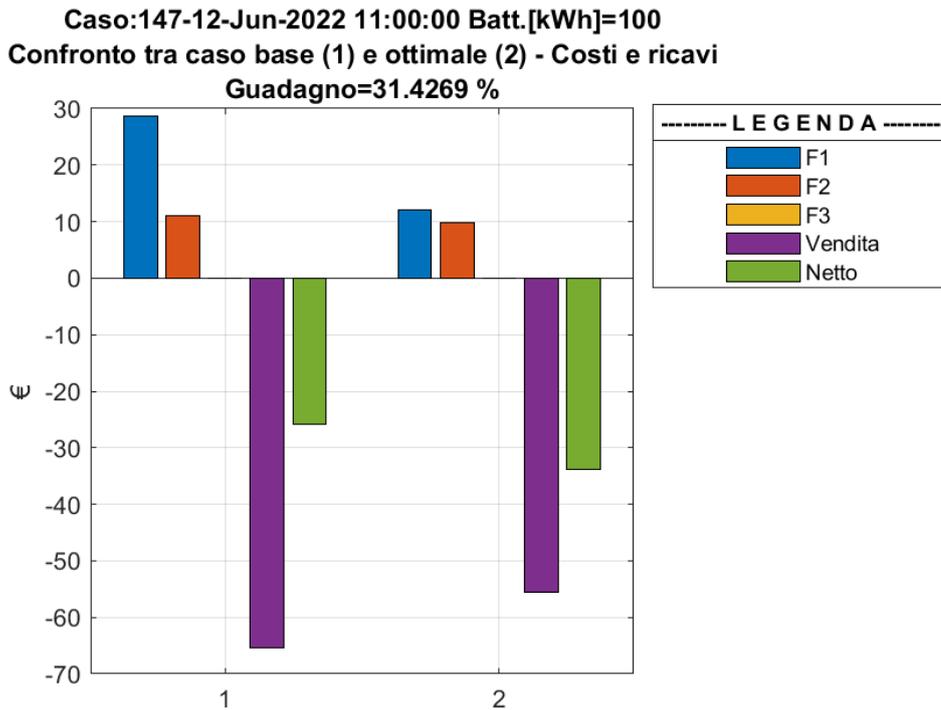
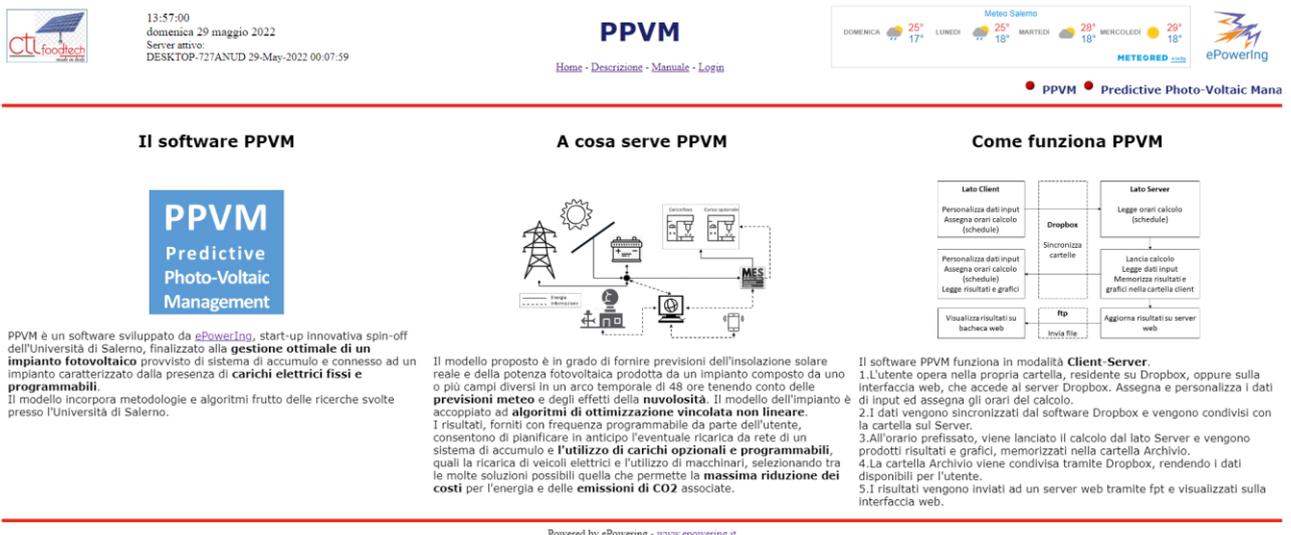


Figura 10 – Confronto tra i due casi in termini di costi e ricavi per l’energia

Pagina “Descrizione”

La pagina di descrizione contiene una presentazione degli obiettivi, delle funzionalità e delle modalità operative del software PPVM (Figura 11).



Il software PPVM

A cosa serve PPVM

Come funziona PPVM

Il software PPVM funziona in modalità Client-Server.

- 1.L'utente opera nella propria cartella, residente su Dropbox, oppure sulla interfaccia web, che accede al server Dropbox. Assegna e personalizza i dati di input ed assegna gli orari del calcolo.
- 2.I dati vengono sincronizzati dal software Dropbox e vengono condivisi con la cartella sul Server.
- 3.All'orario prefissato, viene lanciato il calcolo dal lato Server e vengono prodotti risultati e grafici, memorizzati nella cartella Archivio.
- 4.La cartella Archivio viene condivisa tramite Dropbox, rendendo i dati disponibili per l'utente.
- 5.I risultati vengono inviati ad un server web tramite ftp e visualizzati sulla interfaccia web.

Figura 11 - Pagina “Descrizione” di PPVM

Pagina di Login

La pagina di Login (Figura 12) consente all’utente di accedere alla pagina di configurazione, per la modifica dei dati di input e per la pianificazione dell’agenda dei calcoli.



Figura 12 - Pagina di Login di PPVM

Pagina di configurazione

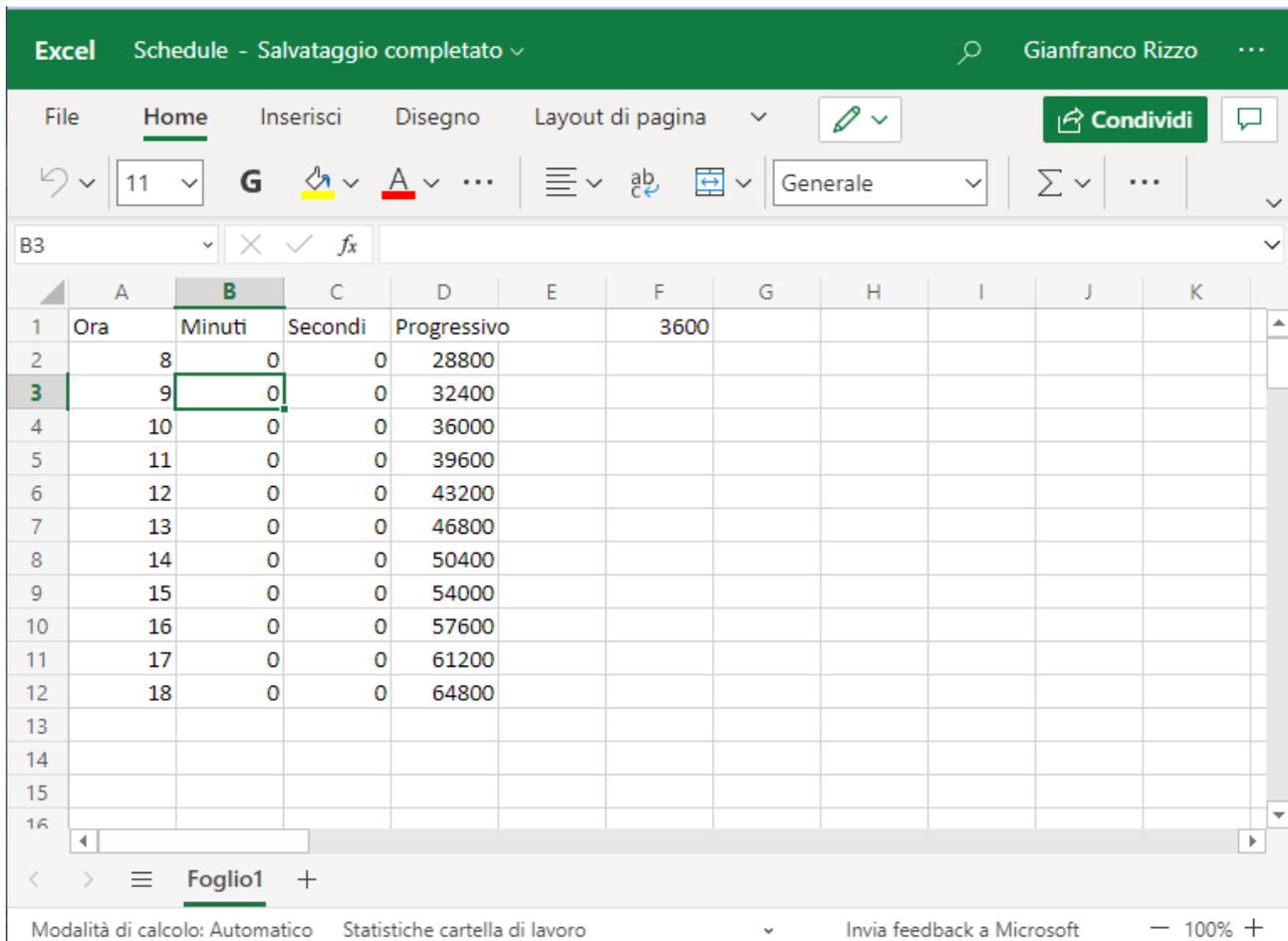
Attraverso la pagina di configurazione (Figura 13) l'utente accede tramite Excel on-line ai file di configurazione.



Figura 13 - Pagina di configurazione

File Schedule

Nel file "Schedule" è possibile impostare gli orari in cui viene lanciato il calcolo. Il formato è Ora, Minuti, Secondi. Nella casella F1 è contenuta la distanza in secondi tra i tempi di lancio del calcolo, volendo impostare dei calcoli ad intervallo costante. In tal caso basta modificare gli orari del primo calcolo della giornata (caselle A2, B2 e C2), e gli altri orari saranno determinati in automatico. E' comunque possibile impostare gli orari in modo completamente manuale, rispettando la loro collocazione nelle colonne A, B e C. Il file viene letto dal software residente sul server circa una volta ogni minuto. I risultati sono disponibili quindi nell'arco di due o tre minuti. Nel caso in cui venga modificato on-line, si deve tener conto del tempo necessario all'aggiornamento della cartella sul server di calcolo.



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

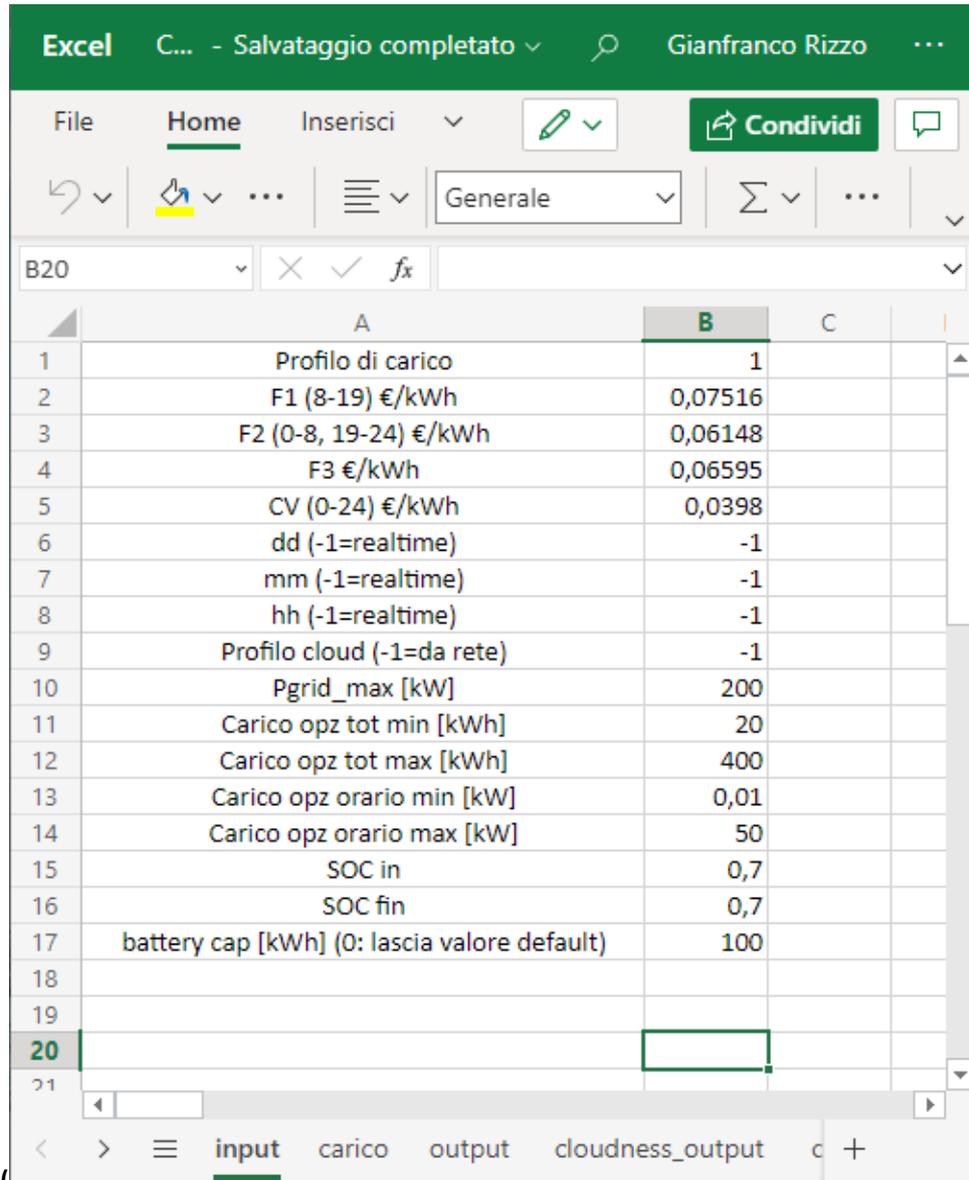
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Ora	Minuti	Secondi	Progressivo		3600					
2	8	0	0	28800							
3	9	0	0	32400							
4	10	0	0	36000							
5	11	0	0	39600							
6	12	0	0	43200							
7	13	0	0	46800							
8	14	0	0	50400							
9	15	0	0	54000							
10	16	0	0	57600							
11	17	0	0	61200							
12	18	0	0	64800							
13											
14											
15											
16											

Figura 14 - Cartella "Schedule" per fissare l'agenda dei calcoli

Fogli di input/output

Il secondo file di configurazione contiene alcuni fogli di calcolo. Parte dei fogli possono essere modificati dall'utente (fogli: input, carico, cloudness input), mentre gli altri fogli contengono dati di output e sono scritti dal programma.

Foglio Input



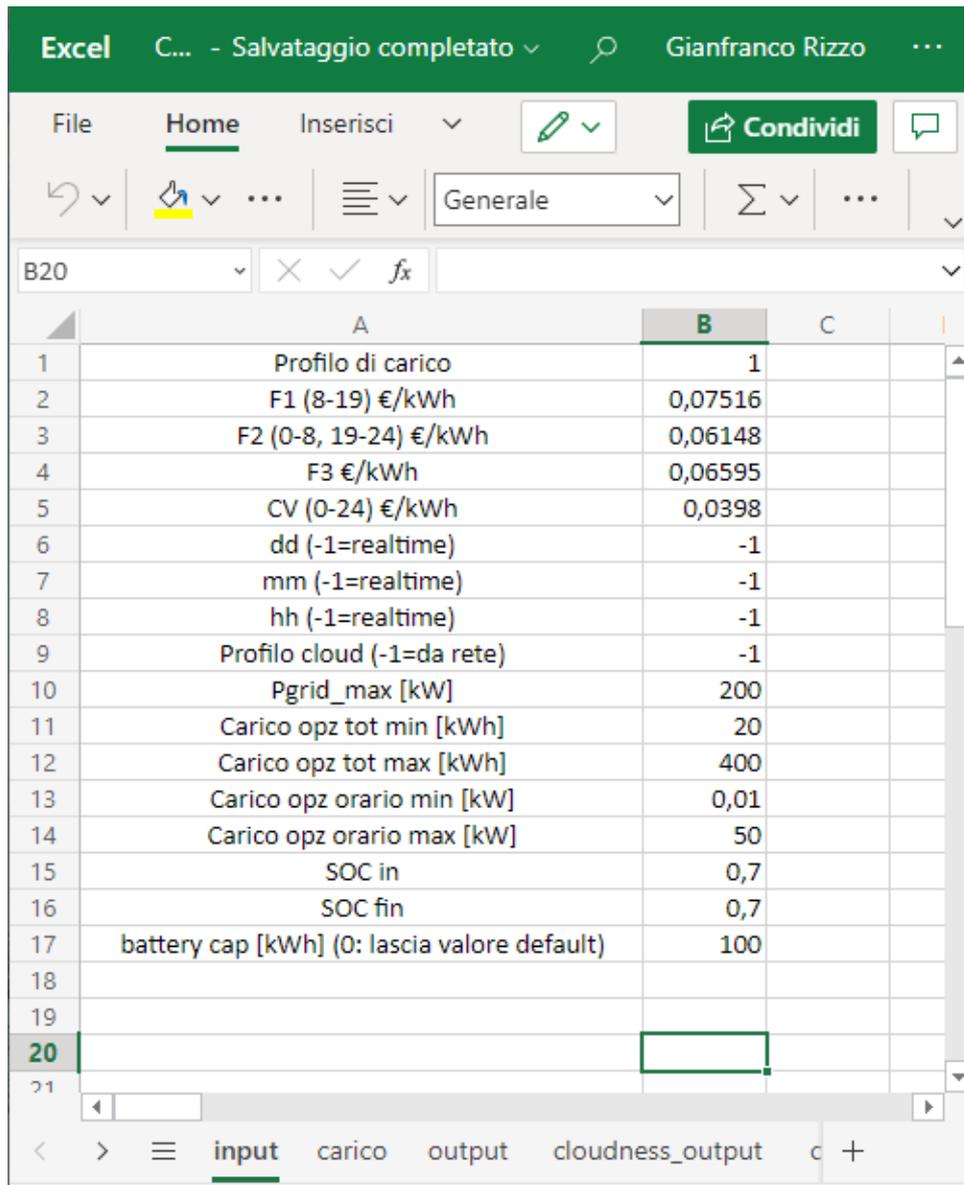
	A	B	C
1	Profilo di carico	1	
2	F1 (8-19) €/kWh	0,07516	
3	F2 (0-8, 19-24) €/kWh	0,06148	
4	F3 €/kWh	0,06595	
5	CV (0-24) €/kWh	0,0398	
6	dd (-1=realtime)	-1	
7	mm (-1=realtime)	-1	
8	hh (-1=realtime)	-1	
9	Profilo cloud (-1=da rete)	-1	
10	Pgrid_max [kW]	200	
11	Carico opz tot min [kWh]	20	
12	Carico opz tot max [kWh]	400	
13	Carico opz orario min [kW]	0,01	
14	Carico opz orario max [kW]	50	
15	SOC in	0,7	
16	SOC fin	0,7	
17	battery cap [kWh] (0: lascia valore default)	100	
18			
19			
20			
21			

Il foglio INPUT (

Figura 15) contiene dati personalizzabili, utili ad assegnare i carichi fissi e opzionali, a definire i costi relativi alle diverse fasce di prelievo per l'energia ed il corrispettivo di vendita e il limite di potenza (assunto uguale in caso di prelievo e di cessione).

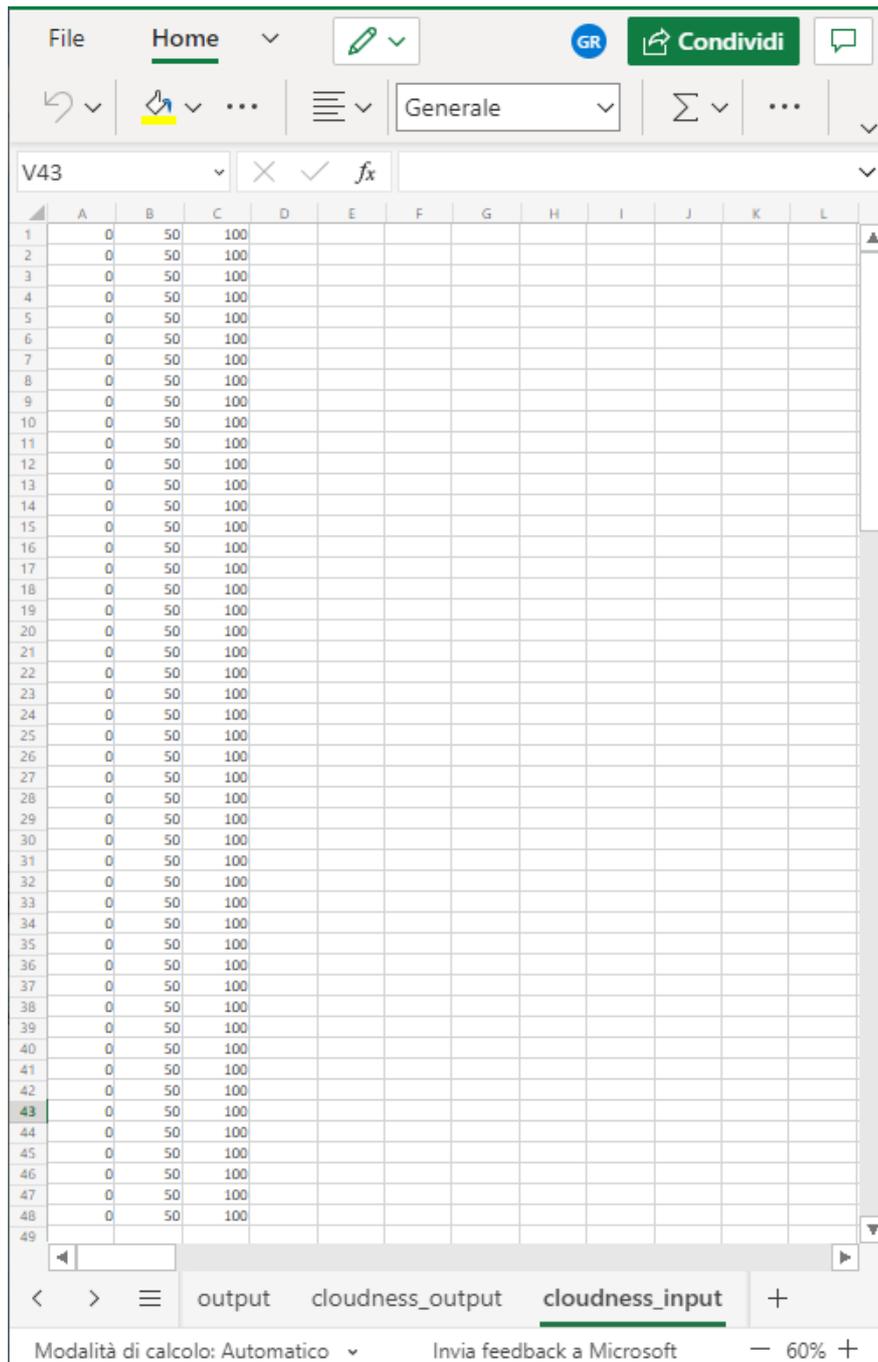
Il programma è normalmente impostato per effettuare calcoli in tempo reale (ovvero, prevedere il funzionamento nelle 48 ore a partire dall'ora in cui parte il calcolo), ma si può utilizzare anche per simulare il funzionamento in una data diversa. In tal caso è sufficiente sostituire i valori -1 nelle caselle B6, B7 e B8 con i valori di giorno, mese e ora per cui si vuole simulare il funzionamento. Sarà in tal caso necessario anche sostituire il valore -1 nella casella B9 con il valore indicativo del profilo di nuvolosità da simulare, con riferimento al foglio "cloudness_input" (Figura 16). Questo foglio contiene una o più colonne di dati (righe 1-48) con i valori di nuvolosità (in percentuale) relativo alle diverse ore da simulare. Nell'esempio, contiene tre profili, relativi ad una nuvolosità costante e pari allo 0%, al 50% ed al 100%. Nella casella B9 del foglio "input" andrebbe quindi indicato il valore 1, 2 o 3, a seconda del caso scelto.

Qualora invece la nuvolosità venga stimata dal provider meteo (come di norma), i valori di nuvolosità vengono memorizzati nella cartella "cloudness_output".



	A	B	C
1	Profilo di carico	1	
2	F1 (8-19) €/kWh	0,07516	
3	F2 (0-8, 19-24) €/kWh	0,06148	
4	F3 €/kWh	0,06595	
5	CV (0-24) €/kWh	0,0398	
6	dd (-1=realtime)	-1	
7	mm (-1=realtime)	-1	
8	hh (-1=realtime)	-1	
9	Profilo cloud (-1=da rete)	-1	
10	Pgrid_max [kW]	200	
11	Carico opz tot min [kWh]	20	
12	Carico opz tot max [kWh]	400	
13	Carico opz orario min [kW]	0,01	
14	Carico opz orario max [kW]	50	
15	SOC in	0,7	
16	SOC fin	0,7	
17	battery cap [kWh] (0: lascia valore default)	100	
18			
19			
20			
21			

Figura 15 - Foglio "input"

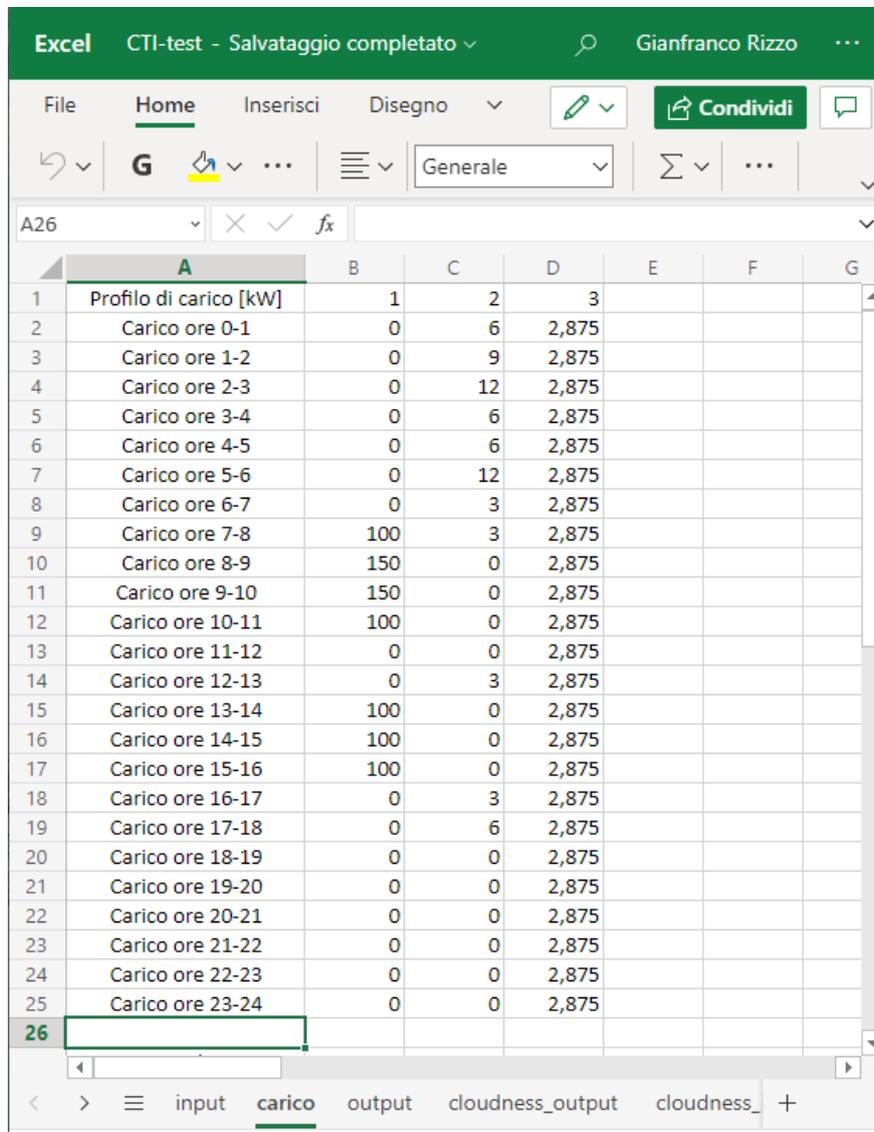


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0	50	100									
2	0	50	100									
3	0	50	100									
4	0	50	100									
5	0	50	100									
6	0	50	100									
7	0	50	100									
8	0	50	100									
9	0	50	100									
10	0	50	100									
11	0	50	100									
12	0	50	100									
13	0	50	100									
14	0	50	100									
15	0	50	100									
16	0	50	100									
17	0	50	100									
18	0	50	100									
19	0	50	100									
20	0	50	100									
21	0	50	100									
22	0	50	100									
23	0	50	100									
24	0	50	100									
25	0	50	100									
26	0	50	100									
27	0	50	100									
28	0	50	100									
29	0	50	100									
30	0	50	100									
31	0	50	100									
32	0	50	100									
33	0	50	100									
34	0	50	100									
35	0	50	100									
36	0	50	100									
37	0	50	100									
38	0	50	100									
39	0	50	100									
40	0	50	100									
41	0	50	100									
42	0	50	100									
43	0	50	100									
44	0	50	100									
45	0	50	100									
46	0	50	100									
47	0	50	100									
48	0	50	100									
49												

Figura 16 - Foglio per l'input manuale dei livelli di nuvolosità da simulare

Foglio Carico

Il foglio Carico (Figura 17) riporta una o più colonne con i profili orari corrispondenti ai carichi fissi previsti. Il profilo di carico scelto è indicato nella casella B1 del foglio "input".



	A	B	C	D	E	F	G
1	Profilo di carico [kW]	1	2	3			
2	Carico ore 0-1	0	6	2,875			
3	Carico ore 1-2	0	9	2,875			
4	Carico ore 2-3	0	12	2,875			
5	Carico ore 3-4	0	6	2,875			
6	Carico ore 4-5	0	6	2,875			
7	Carico ore 5-6	0	12	2,875			
8	Carico ore 6-7	0	3	2,875			
9	Carico ore 7-8	100	3	2,875			
10	Carico ore 8-9	150	0	2,875			
11	Carico ore 9-10	150	0	2,875			
12	Carico ore 10-11	100	0	2,875			
13	Carico ore 11-12	0	0	2,875			
14	Carico ore 12-13	0	3	2,875			
15	Carico ore 13-14	100	0	2,875			
16	Carico ore 14-15	100	0	2,875			
17	Carico ore 15-16	100	0	2,875			
18	Carico ore 16-17	0	3	2,875			
19	Carico ore 17-18	0	6	2,875			
20	Carico ore 18-19	0	0	2,875			
21	Carico ore 19-20	0	0	2,875			
22	Carico ore 20-21	0	0	2,875			
23	Carico ore 21-22	0	0	2,875			
24	Carico ore 22-23	0	0	2,875			
25	Carico ore 23-24	0	0	2,875			
26							

Figura 17 - Foglio Carico per definire i carichi fissi

Sincronizzazione dei dati

E' opportuno ricordare che i file di configurazione sono residenti sul server di Dropbox e sono salvati e sincronizzati automaticamente, ma vengono trasferiti al server di calcolo con un ritardo di alcuni minuti. Pertanto, per dare modo al programma PPVM di leggere i valori aggiornati delle variabili, i calcoli devono essere programmati non prima di alcuni minuti dopo aver completato l'editing dei file di configurazione.

Caratterizzazione impianto

I dati descrittivi dell'impianto sono i seguenti, e vengono memorizzati lato Server:

Coordinate geografiche

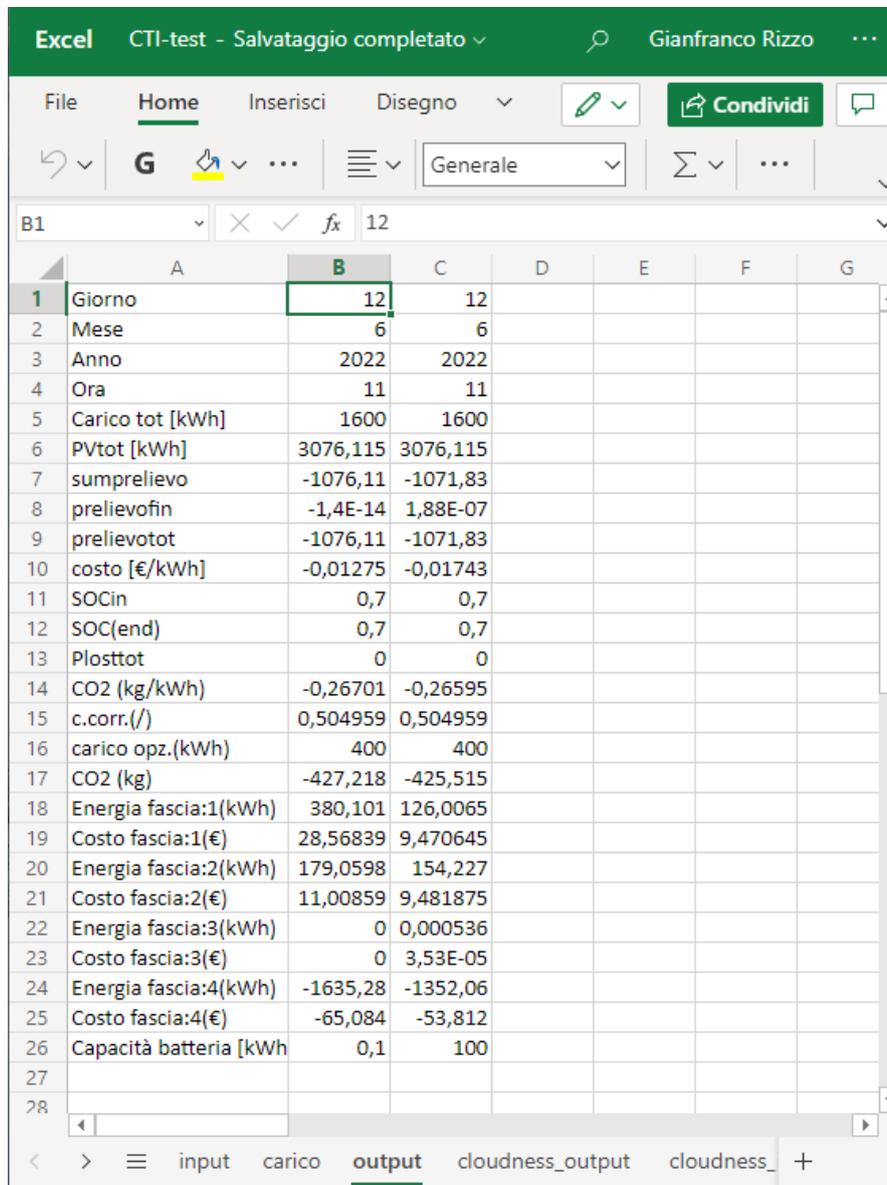
Latitude	40,63646
Longitude	14,84174

Impianto fotovoltaico

Capacità batteria [kWh]	1
Numero di campi fotovoltaici	2
Campo fotovoltaico n.1	
Area pannelli fotovoltaici [m ²]	508,53
Angolo di inclinazione (tilt) [gradi]	5
Orientamento (azimut: 90=est, 0=sud, -90=ovest) [deg]	60
Rendimento dei pannelli [/]	0,18
Campo fotovoltaico n.2	
Area pannelli fotovoltaici [m ²]	508,53
Angolo di inclinazione (tilt) [gradi]	5
Orientamento (azimut: 90=est, 0=sud, -90=ovest) [deg]	-60
Rendimento dei pannelli [/]	0,18

Foglio Output

Il foglio Output riporta una tabella con dei dati riepilogativi del calcolo effettuato. La tabella include anche alcuni dei dati di input, per maggiore leggibilità:



	A	B	C	D	E	F	G
1	Giorno	12	12				
2	Mese	6	6				
3	Anno	2022	2022				
4	Ora	11	11				
5	Carico tot [kWh]	1600	1600				
6	PVtot [kWh]	3076,115	3076,115				
7	sumprelievo	-1076,11	-1071,83				
8	prelievofin	-1,4E-14	1,88E-07				
9	prelievotot	-1076,11	-1071,83				
10	costo [€/kWh]	-0,01275	-0,01743				
11	SOCin	0,7	0,7				
12	SOC(end)	0,7	0,7				
13	Plosttot	0	0				
14	CO2 (kg/kWh)	-0,26701	-0,26595				
15	c.corr.(/)	0,504959	0,504959				
16	carico opz.(kWh)	400	400				
17	CO2 (kg)	-427,218	-425,515				
18	Energia fascia:1(kWh)	380,101	126,0065				
19	Costo fascia:1(€)	28,56839	9,470645				
20	Energia fascia:2(kWh)	179,0598	154,227				
21	Costo fascia:2(€)	11,00859	9,481875				
22	Energia fascia:3(kWh)	0	0,000536				
23	Costo fascia:3(€)	0	3,53E-05				
24	Energia fascia:4(kWh)	-1635,28	-1352,06				
25	Costo fascia:4(€)	-65,084	-53,812				
26	Capacità batteria [kWh]	0,1	100				
27							
28							

Figura 18 - Foglio "output" con riepilogo risultati del calcolo

Programmazione

Il foglio "Programmazione 2" (Tabella 3) riporta una tabella di riepilogo dei risultati per le 48 ore successive a quelle di riferimento del calcolo. Il foglio "Programmazione 1" si riferisce invece al caso Base (senza allocazione ottimale del carico opzionale e senza batteria).

Tabella 3 - Dettaglio del funzionamento dell'impianto nelle 48 ore successive

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Data/Ora	FV kW	Cloud %	Carico fiss	Car.opz. kW	Prelievo kW	Batteria kW	Persa kW	SOC	fascia			
1													
2	12/06/2022 11:00	169,1976	0	0	50	-138,255	-19,0577	0	0,509423	4	151,7477	17,44985	
3	12/06/2022 12:00	182,2082	0	0	50	-126,173	5,854167	0	0,567965	4	163,3711	18,83707	
4	12/06/2022 13:00	184,3609	0	100	0	-88,9354	-4,57447	0	0,52222	4	165,2004	19,16048	
5	12/06/2022 14:00	175,6468	0	100	0	-76,1487	-0,50186	0	0,517202	4	157,2364	18,41043	
6	12/06/2022 15:00	156,7013	0	100	0	-59,1083	-2,40696	0	0,493132	4	140,064	16,63731	
7	12/06/2022 16:00	128,8487	0	0	50	-76,2575	2,513469	0	0,518267	4	114,8938	13,95489	
8	12/06/2022 17:00	94,26157	0	0	50	-45,058	-0,79641	0	0,510303	4	83,70858	10,553	
9	12/06/2022 18:00	56,41102	0	0	0	-52,8747	3,430194	0	0,544605	4	49,67612	6,734899	
10	12/06/2022 19:00	21,24927	0	0	0	-19,3712	1,821755	0	0,562822	4	18,2289	3,020367	
11	12/06/2022 20:00	0,342527	0	0	0	-0,34237	0,000153	0	0,562824	4	0	0,342527	
12	12/06/2022 21:00	0	0	0	0	-0,08392	-0,08392	0	0,561984	4	0	0	
13	12/06/2022 22:00	0	0	0	0	-0,00131	-0,00131	0	0,561971	4	0	0	
14	12/06/2022 23:00	0	0	0	0	-0,00101	-0,00101	0	0,561961	4	0	0	
15	13/06/2022 00:00	0	0	0	0	-4,6E-05	-4,6E-05	0	0,561961	4	0	0	
16	13/06/2022 01:00	0	0	0	0	2,05E-05	1,99E-05	0	0,561961	3	0	0	
17	13/06/2022 02:00	0	0	0	0	-3,6E-05	-3,6E-05	0	0,561961	4	0	0	
18	13/06/2022 03:00	0	0	0	0	4,01E-06	3,89E-06	0	0,561961	3	0	0	
19	13/06/2022 04:00	0	0	0	0	1,54E-05	1,49E-05	0	0,561961	3	0	0	
20	13/06/2022 05:00	0	0	0	0	-3E-06	-3E-06	0	0,561961	4	0	0	
21	13/06/2022 06:00	5,642009	0	0	0	3,55E-05	5,472783	0	0,616689	3	4,924614	0,717395	
22	13/06/2022 07:00	36,91815	0	100	0	72,65492	9,285872	0	0,709547	2	32,87894	4,039205	
23	13/06/2022 08:00	76,10345	0	150	0	49,92067	-23,9759	0	0,469789	1	68,08809	8,015361	
24	13/06/2022 09:00	114,0957	0	150	0	0,01698	-35,8873	0	0,110916	1	102,2531	11,84268	
25	13/06/2022 10:00	146,005	0	100	0	-20,2834	24,94995	0	0,360415	4	130,9346	15,07045	
26	13/06/2022 11:00	169,1976	0	0	50	-108,914	9,975459	0	0,46017	4	151,7477	17,44985	
27	13/06/2022 12:00	182,2082	0	0	50	-122,394	9,519352	0	0,555363	4	163,3711	18,83707	
.....													
41	14/06/2022 02:00	0	1	0	0	-1,4E-05	-1,4E-05	0	0,552874	4	0	0	
42	14/06/2022 03:00	0	0	0	0	3,94E-05	3,82E-05	0	0,552875	3	0	0	
43	14/06/2022 04:00	0	3	0	0	0,000117	0,000114	0	0,552876	3	0	0	
44	14/06/2022 05:00	0	12	0	0	-1,1E-06	-1,1E-06	0	0,552876	4	0	0	
45	14/06/2022 06:00	5,275572	20	0	0	-0,00013	5,117179	0	0,604048	4	4,60477	0,670802	
46	14/06/2022 07:00	34,02209	33	100	0	81,57207	15,12634	0	0,755311	2	30,29974	3,722349	
47	14/06/2022 08:00	70,26199	33	150	0	61,37952	-18,3585	0	0,571726	1	62,86187	7,400128	
48	14/06/2022 09:00	109,4378	17	150	0	14,68928	-25,8729	0	0,312997	1	98,0786	11,3592	
49	14/06/2022 10:00	139,8972	16	100	0	-6,4E-06	38,7003	0	0,7	4	125,4572	14,44001	
50	Totali/medie	3076,115	2,875	1600	400	-1071,83	-1,8E-07	0	0,536908	0	0	0	
51													
68													

Contatti

Prof. Gianfranco Rizzo

Tel. Fisso: 089 964458, 089 964467

Mobile: 320 7406629

eMail: info@epowering.it

Skype: gianfrancorizzo1

Bibliografia

- [1] G Rizzo, F A Tiano, M Marino (2021), **A Provisional Model for the Optimal Management of a Charging Station Assisted by Photovoltaic Panels for Plug-In Electric Vehicles**, Journal of Solar Energy Research Updates, <https://zealpress.com/jms/index.php/jseru/article/view/340>
- [2] V.Badescu, **Verification of Some Very Simple Clear and Cloudy Sky Models to Evaluate Global Solar Irradiance**, Solar Energy Vol. 61, No. 4, pp. 251–264, 1997.
- [3] <https://api.openweathermap.org>

Appendice

Calcolo dell'irraggiamento solare

Si riporta la sequenza delle formule adoperate nel modello di calcolo per valutare la radiazione solare sui pannelli fotovoltaici, di cui sono note le caratteristiche in termini di superficie, rendimento, angolo di tilt e di azimut.

Tabella 4 - Sequenza dei calcoli per il contributo solare

Calcolo della declinazione, in funzione del giorno dell'anno	$\delta = 0.4093 \cdot \sin\left(2\pi \frac{284 + day}{365}\right) \quad 1 \leq day \leq 365$
Calcolo dell'angolo solare, in funzione dell'ora e della longitudine	$\omega = 2\pi(12 - t_{zone})/24 - (\lambda - \lambda_{zone}) - TEQ$
Calcolo dell'angolo di zenit solare, in funzione di latitudine, declinazione e angolo solare	$\cos(z) = \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\omega)$
Calcolo dell'altezza solare	$h = \pi/2 - z$
Calcolo dell'azimut solare, in funzione di altezza solare, latitudine e declinazione	$\cos a_{sun} = \frac{\sin(h) \cdot \sin(\phi) - \sin(\delta)}{\cos(h) \cdot \cos(\phi)}$
Calcolo dell'azimut relativo tra pannello e sole	$\gamma = a_{sun} - a$
Calcolo dell'incidenza, in funzione di altezza solare, azimut relativo e tilt	$\cos(i) = \cos(h) \cos(\gamma) \sin(\beta) + \sin(h) \cos(\beta)$
Calcolo del fattore di attenuazione Air Mass	$AM = \frac{1}{\sin(h)} \quad AM \leq 38$
Calcolo dell'irradiazione diretta	$I = 1.1 \times I_0 \times 0.7^{(AM^{0.678})}$
Calcolo dell'irradiazione diretta incidente	$G_d = I \cdot \cos(i)$
Calcolo del fattore correttivo	$f(G_d, I_{cloud})$
Calcolo dell'irradiazione globale incidente	$G_g = G_d * f(G_d, I_{cloud})$

Gli effetti della radiazione diffusa e della nuvolosità vengono computati attraverso una correlazione che valuta il rapporto tra la radiazione diretta e quella globale, ottenuta a parte da tre modelli disponibili nella letteratura scientifica: il modello BCLS, il modello di Kasten ed il modello di Munro, descritti ed analizzati da Badescu [2] ed utilizzati da ricercatori dell'Università di Salerno in recenti lavori [1].

La stima dell'indice di nuvolosità per il sito di installazione dell'impianto è ottenuta attraverso il servizio on-line openweathermap [3], che permette di stimare l'indice con risoluzione oraria per le 48 successive.

Una correlazione, sviluppata dai proponenti e in via di pubblicazione, permette di calcolare il fattore di correzione f della radiazione diretta per tener conto degli effetti di radiazione diffusa e nuvolosità, a partire da oltre 500 confronti con il valor medio della radiazione globale effettuato con i tre modelli studiati da Badescu [2], al variare di indice di nuvolosità, angolo di inclinazione, altezza solare e azimut. La correlazione ottenuta è molto valida, come mostra il grafico in Figura 19.

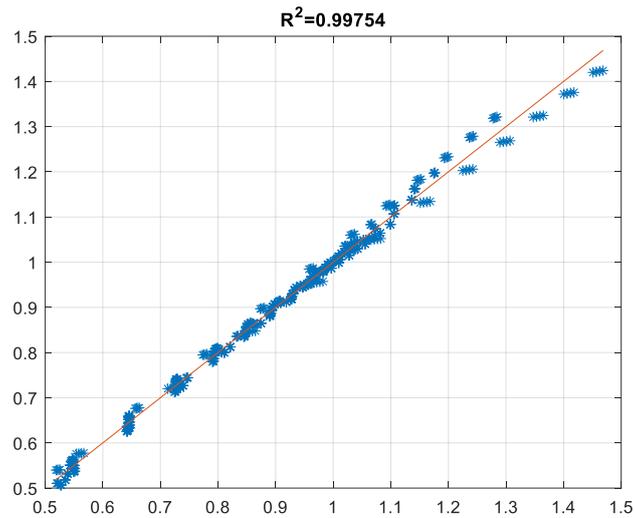


Figura 19 - Confronto tra dati calcolati e misurati per l'indice di correzione per la radiazione globale in presenza di nuvolosità

Tabella 5 - Nomenclatura e simboli

Simbolo	Grandezza	Unità
λ	Longitudine	Radiani
δ	Declinazione	Radiani
ϕ	Latitudine	Radiani
λ_{zone}	Longitudine del meridiano centrale	Radiani
A	Azimut solare	Radiani
AM	Air Mass	/
h	Angolo di altezza solare	Radiani
i	Angolo di incidenza	Radiani
I	Irraggiamento	W/m ²
I_0	Costante solare (1366 W/m ²)	W/m ²
I_{cloud}	Indice di nuvolosità	%
TEQ	Fattore correttivo (posto = 0)	Radiani
t_{zone}	Ora locale (solare)	Ore
z	Angolo di zenit	Radiani
β	Angolo di tilt	Radiani