

2.3.3. TEST FOTOVOLTAICO

La quantificazione dei benefici dovuti all'interazione fra l'impianto solare fotovoltaico ed il verde pensile e dei benefici ottenibili dalla bagnatura dei pannelli fotovoltaici, rappresentano gli obiettivi dell'attività sperimentale descritta nel presente capitolo. A tal fine sono state eseguite campagne di misura della produzione di energia elettrica fotovoltaica dell'impianto posto in copertura del prototipo: in condizioni di bagnatura dei moduli fotovoltaici attraverso l'apposito impianto d'irrigazione, in condizioni di assenza di bagnatura ed, infine, in condizioni di assenza di bagnatura e copertura totale della superficie verde del tetto con guaine bituminose. Per ognuna delle prove eseguite sono state monitorate, attraverso la stazione meteorologica del prototipo, la radiazione solare incidente, la temperatura esterna, la temperatura di cella e la velocità del vento. La descrizione dettagliata degli esperimenti condotti è di seguito riportata.

2.3.3.1. ESPERIMENTO IN CONDIZIONE DI BAGNATURA DEI MODULI FOTOVOLTAICI (FV-1)

L'obiettivo del presente esperimento è quello di valutare come il sistema di raffreddamento dei pannelli fotovoltaici incida sul rendimento dell'impianto. Il test ha avuto inizio il 28 aprile 2012 e si è concluso il 13 maggio 2012.

Per i vincoli imposti dalla centralina che governa l'impianto di irrigazione, è stato deciso di eseguire cicli di bagnatura dei pannelli, della durata di un minuto, ogni trenta minuti partendo alle ore 11.00 fino alle ore 16.30. Il periodo di funzionamento del sistema di raffreddamento è stato scelto considerando le ore che durante la giornata sono caratterizzate da irraggiamento solare elevato e, di conseguenza, elevate temperature di cella.

Nella seguente tabella vengono riassunti i dati descrittivi del presente esperimento eseguito sul prototipo di Genera:

ESPERIMENTO IN CONDIZIONE DI BAGNATURA DEI MODULI FOTOVOLTAICI	
Periodo svolgimento esperimento	Dal 28/04/2012 al 13/05/2012
Accensione impianto	Ore 11.00
Spegnimento impianto	Ore 16.30
N° cicli di irrigazione giornalieri	12
Durata ciclo di irrigazione	1'
Frequenza accensioni	Ogni 30'
ΔT_{medio} raggiunto ad ogni ciclo	14°C

Tabella 2-9: Dati generali descrittivi dell'esperimento FV-1.

In figura 2.31 viene riportato il grafico rappresentante gli andamenti dell'irraggiamento solare (Solar Rad) e della temperatura dei pannelli (Soil Temp 1). Il nome attribuito alla temperatura dei pannelli, Soil Temp 1, che significa temperatura del terreno, è dovuto al fatto che nel software WeatherLink non è possibile modificare le nomenclature di input e non vi sono ingressi preimpostati per la temperatura dei pannelli solari, di conseguenza, si è deciso di inserire il cavo del sensore che misura la temperatura della cella nella porta adibi-

ta ad un eventuale sonda del terreno. Dal punto di vista funzionale non comporta nessun tipo di ostacolo, in quanto la grandezza fisica misurata è la stessa.

Osservando il grafico si può facilmente notare come, sia l'irraggiamento che la temperatura dei pannelli, hanno un intervallo di valori massimi tra le 11.00 e le 16.00, evidenziando uno stretto legame tra l'innalzamento delle due grandezze fisiche caratterizzato da un lieve ritardo della temperatura dei pannelli rispetto all'irraggiamento solare.

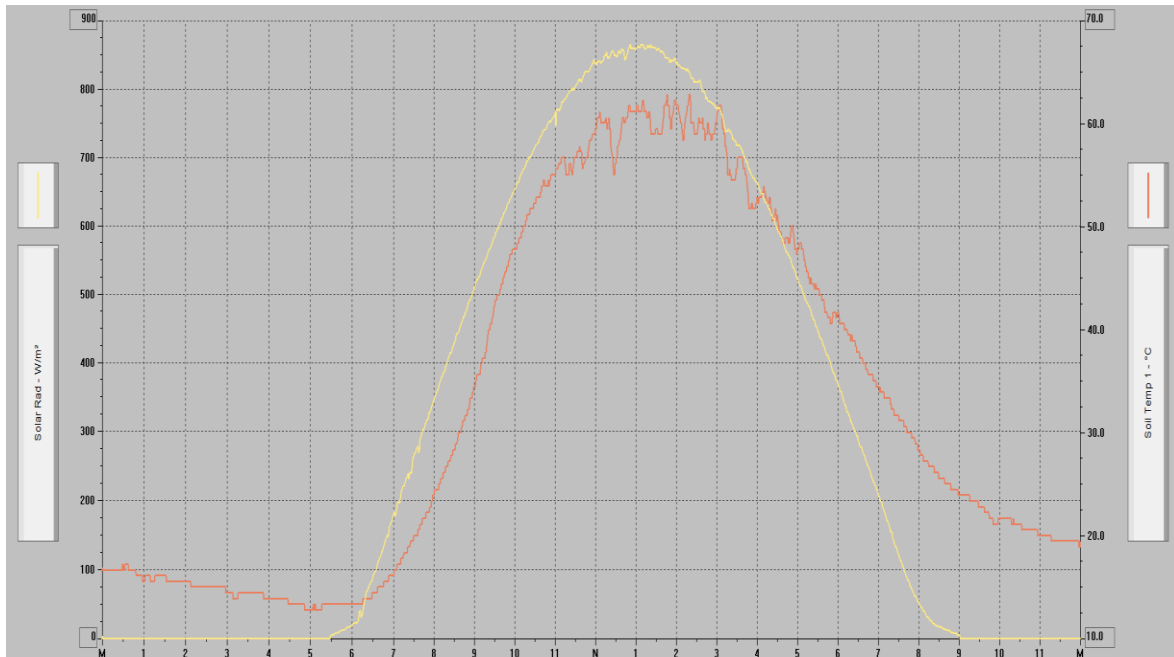


Figura 2-27: Andamenti Irraggiamento Solare e Temperatura dei Pannelli in una giornata tipo.
L'irraggiamento solare, in giallo, è misurato in W/m^2 , mentre la temperatura dei pannelli, in rosso, è misurata in $^{\circ}C$.

Il surriscaldamento dei pannelli, ed il conseguente abbattimento delle loro prestazioni, è condizionato da diversi fattori, quali la temperatura esterna, la direzione del vento, velocità del vento, l'umidità relativa dell'aria e l'irraggiamento solare, che domina su tutti gli altri fattori considerata anche la zona geografica in cui è insediato il prototipo di Genera.

Il sistema di raffreddamento dell'impianto fotovoltaico ha il compito di abbassare la temperatura dei pannelli con l'intento di mantenerla sotto un certo valore, per ottimizzare il rendimento dei pannelli stessi, raggiungendo un giusto compromesso tra aumento di redditività dell'impianto e consumo di acqua. La determinazione dell'intervallo ottimale di temperatura in cui far lavorare i pannelli sarà oggetto di studio al termine della fase sperimentale.

In figura 2.32 si nota il comportamento della temperatura dei pannelli nella fascia oraria in cui il sistema di raffreddamento è in funzione:

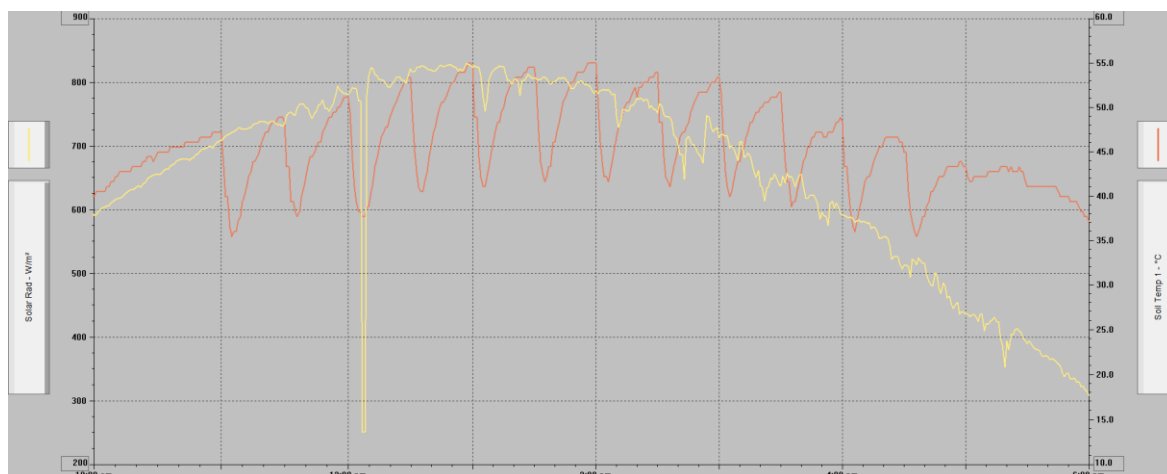


Figura 2-28: Comportamento della Temperatura dei pannelli con sistema di raffreddamento attivo

I dati vengono acquisiti da WeatherLink e da MaxTalk con una frequenza di 1 minuto. I due software hanno, però, un diverso metodo di acquisizione in quanto WeatherLink fornisce un valore mediato su tutto il periodo di rilevazione (1min), mentre MaxTalk estrae i dati puntuali con la frequenza pari a 1 minuto.

Terminata la fase di sperimentazione, si è passati all'elaborazione dei dati raccolti. Per valutare l'influenza che l'impianto di raffreddamento ha sulla produzione di energia elettrica, sono state rapportate la potenza trasmessa dai pannelli all'inverter con la potenza teoricamente sfruttabile. Il motivo per cui è stato deciso di considerare il dato di potenza a monte dell'inverter è dato dal fatto che non si volevano considerare le perdite di carico che avvengono all'interno dell'inverter nel passaggio da corrente continua in corrente alternata.

La potenza teoricamente sfruttabile è il prodotto tra l'irraggiamento solare intercettato dai pannelli fotovoltaici e la superficie complessiva dei moduli caratterizzata dalla sua posizione (Azimut) e dall'inclinazione (Tilt). È stato convertito il dato di irraggiamento solare per un metro quadrato sul piano orizzontale (fornito da WeatherLink) nel piano inclinato e per la superficie effettiva che caratterizzano l'impianto fotovoltaico del progetto Genera, utilizzando il programma di simulazione dinamica Trnsys 16.

In tabella 2.10 vengono riportati i dati utilizzati in questo calcolo:

Nomenclatura	Valore	Unità di misura
Irraggiamento solare sul piano orizzontale	Da WeatherLink	W/m ²
Latitudine	44°29' N	
Costante solare	1353	W/m ²
Spostamento dell'ora solare	-3,84	Gradi
Coefficiente di riflessione del tetto verde	0,2	
Inclinazione pannelli fotovoltaici (Tilt)	6	Gradi
Azimut pannelli solari	9	Gradi

Tabella 2-10: Dati generali per la conversione dell'irraggiamento solare

Determinato l'esatto valore di irraggiamento, minuto per minuto, che incide sui pannelli fotovoltaici è stato possibile calcolare la potenza teoricamente sfruttabile e compararla con la potenza effettivamente sviluppata (figura 2.33).

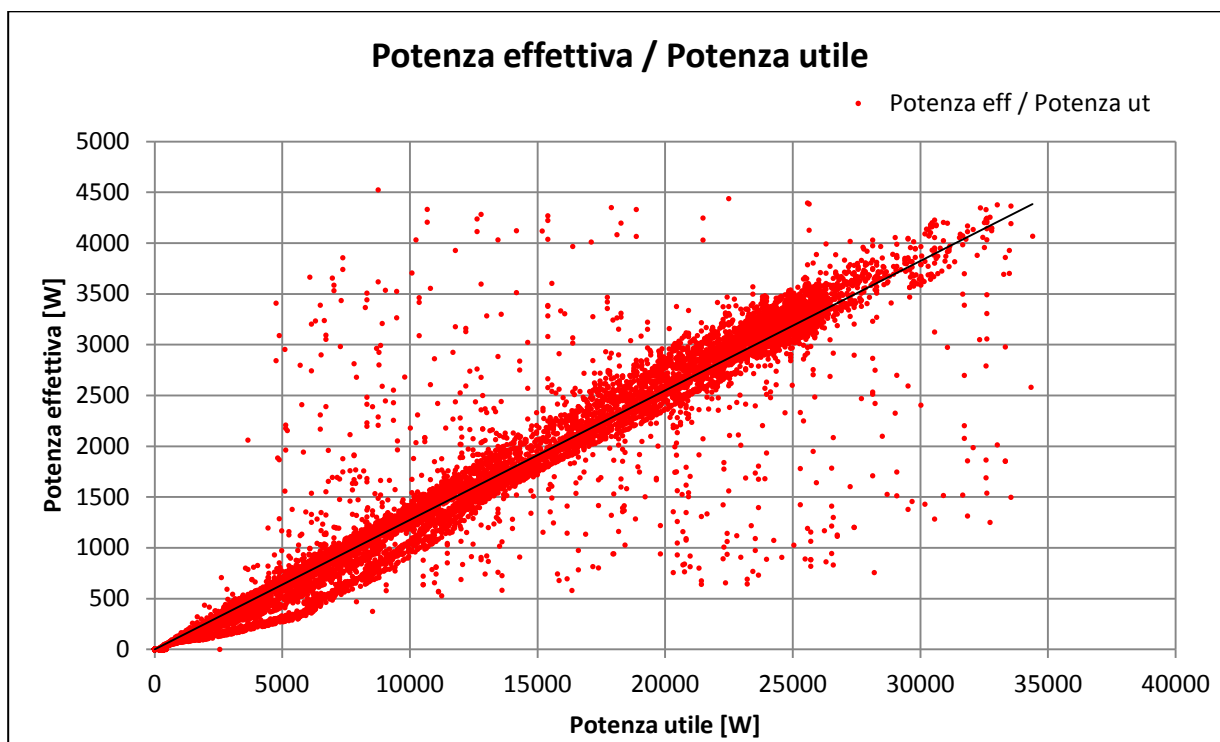


Figura 2-29: Diagramma tra Potenza effettiva e Potenza utile

Il rapporto tra la potenza effettiva e la potenza utile è il rendimento dell'impianto fotovoltaico in quanto:

(1)

dove I e S sono rispettivamente l'irraggiamento solare in W/m^2 e la superficie occupata dai pannelli solari in m^2 ; ed il rendimento dell'impianto fotovoltaico a meno delle perdite che si hanno a valle dei pannelli è:

(2)

dove $P_{\text{effettiva}}$ è il dato reale che viene acquisito, ogni minuto, tramite MaxTalk.

In figura 2.33, ogni punto rosso rappresenta la potenza ottenuta riferita ad una precisa potenza utile. Il rapporto tra le potenze, in un determinato minuto del periodo di esecuzione del test, deve risultare ≤ 1 perché, come sopra dimostrato, rappresentano il rendimento dell'impianto in un certo istante. È possibile quindi affermare che tutti i valori individuati che sono maggiore di 1 sono errori, dovuti alle differenti modalità di acquisizione dati che caratterizzano i software WeatherLink e MaxTalk.

Per capire meglio il motivo della presenza di errori si pensi ad un generico minuto in cui si ha per 50 sec un irraggiamento molto basso dovuto alla presenza di nuvole che oscurano i pannelli solari, mentre gli ultimi 10 sec le nubi si spostano e l'irraggiamento si porta a livel-

li molto elevati. Allo scadere del minuto WeatherLink, che fornisce un dato mediato sul periodo di acquisizione, avrà in output un valore di radiazione solare molto basso rispetto agli ultimi 10 sec di sole, mentre MaxTalk, che rileva il dato puntuale di potenza erogata allo scadere del minuto, fornisce un valore elevato. È immediato capire come il rapporto tra queste due potenze è viziato dal passaggio della nuvola, falsando così il calcolo del rendimento in quel dato periodo. Analogamente si giustificano i picchi negativi di rendimento considerando un minuto di acquisizione caratterizzato da 50 sec di sole e gli ultimi 10 sec di nuvole.

Il valore medio del rendimento dell'impianto fotovoltaico durante l'esperimento FV-1 è stato di:

(3)

2.3.3.2. ESPERIMENTO IN CONDIZIONE DI ASSENZA DI BAGNATURA DEI MODULI FOTOVOLTAICI (FV-2)

Terminato l'esperimento FV-1, sono stati acquisiti i medesimi dati con il sistema di raffreddamento spento, in modo da poter confrontare i risultati e scoprire quanto incida effettivamente l'abbassamento della temperatura delle celle, tramite bagnatura dei moduli, sulla produzione di energia elettrica con pannelli fotovoltaici.

Il periodo di acquisizione scelto va dal 01/06/2012 al 30/06/2012.

Analogamente all'esperimento FV-1, i dati rilevati dell'irraggiamento solare sul piano orizzontale, sono stati convertiti e sono stati calcolati i valori relativi alla posizione geografica ed agli angoli di Tilt e Azimut che caratterizzano i moduli dell'impianto fotovoltaico del progetto Genera.

Di conseguenza è stato possibile calcolare la potenza teoricamente sfruttabile e compararla con la potenza effettivamente sviluppata (figura 2.34):

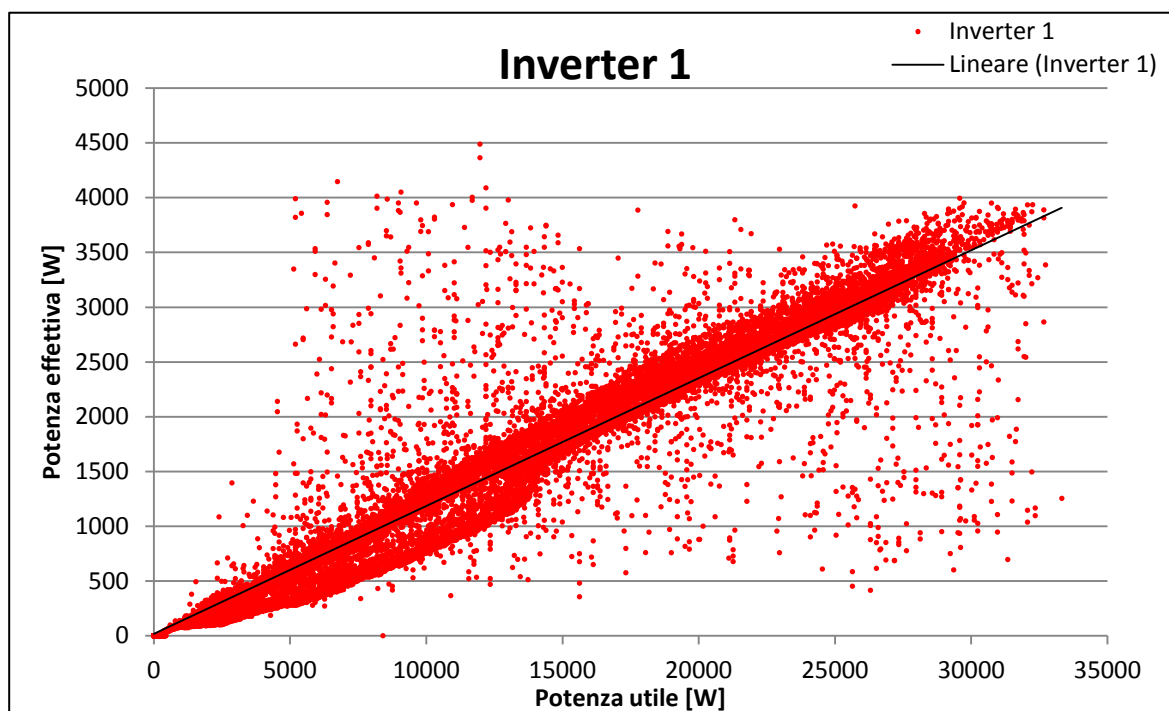


Figura 2-30: Diagramma tra Potenza effettiva e Potenza utile

Il valore medio del rendimento dell'impianto fotovoltaico durante l'esperimento FV-1 è stato di:

(4)

2.3.3.3. CONFRONTO DEGLI ESPERIMENTI FV-1 E FV-2

La differenza tra le medie di rendimento è di 1,85 punti percentuali. Bisogna notare come il miglioramento è spalmato su tutto il periodo di prova, anche sulle ore in cui l'impianto di raffrescamento è spento e che, per i vincoli imposti dalla centralina dell'impianto di irrigazione, la frequenza con cui è stato attivato l'impianto di raffrescamento è molto bassa. Dall'analisi dei dati sperimentali è stato possibile constatare come sia possibile variare la frequenza di bagnatura, accorciando gli intervalli fra una bagnatura e quella successiva, per ottenere degli incrementi di producibilità maggiori. Lo studio della dipendenza della producibilità dalla frequenza di bagnatura, tenendo conto dei consumi idrici, potrà essere oggetto di futuri approfondimenti.

Un altro aspetto che si vuole mettere in evidenza è come la temperatura esterna influisca sulla potenza effettiva erogata dall'impianto. A questo scopo è stato studiato l'andamento della potenza effettiva rispetto alla potenza utile per vari intervalli di temperatura esterna, considerando solamente i periodi della giornata in cui l'irraggiamento solare ha superato il valore di 700W/m^2 (che equivalgono a 22.050 W per inverter).

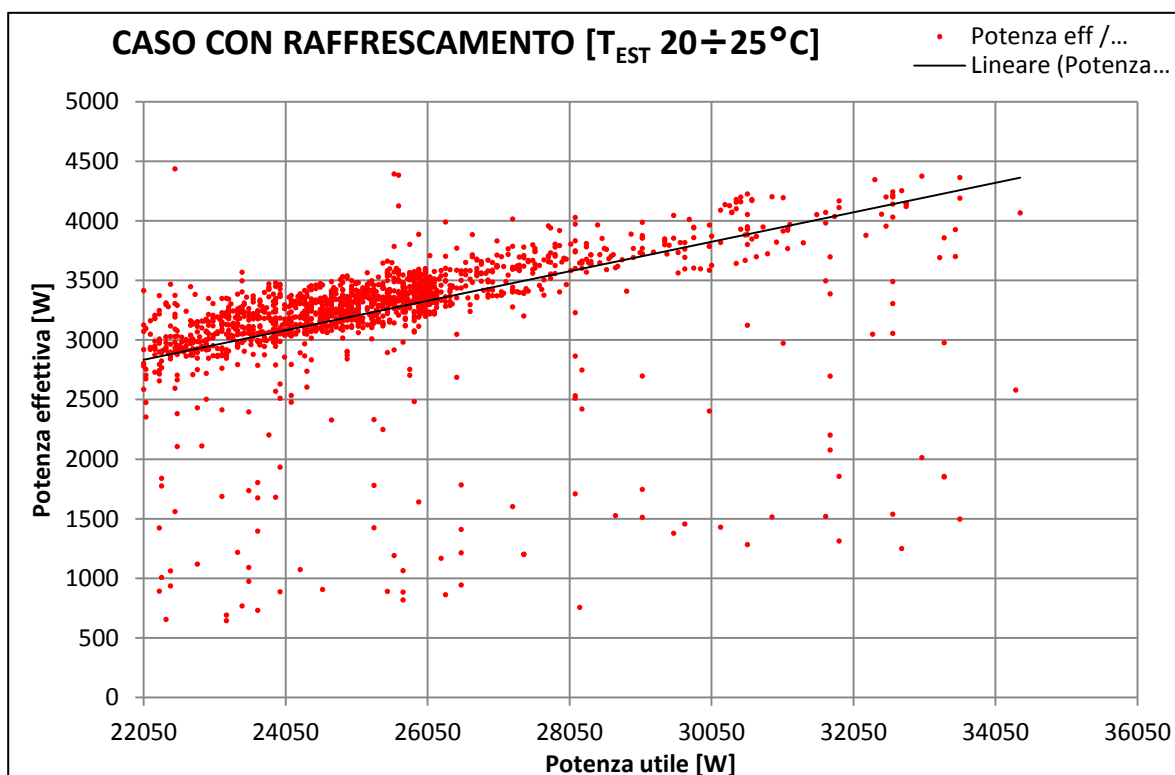


Figura 2-31: Caso con impianto di raffrescamento attivo, tra $20\div 25^{\circ}\text{C}$

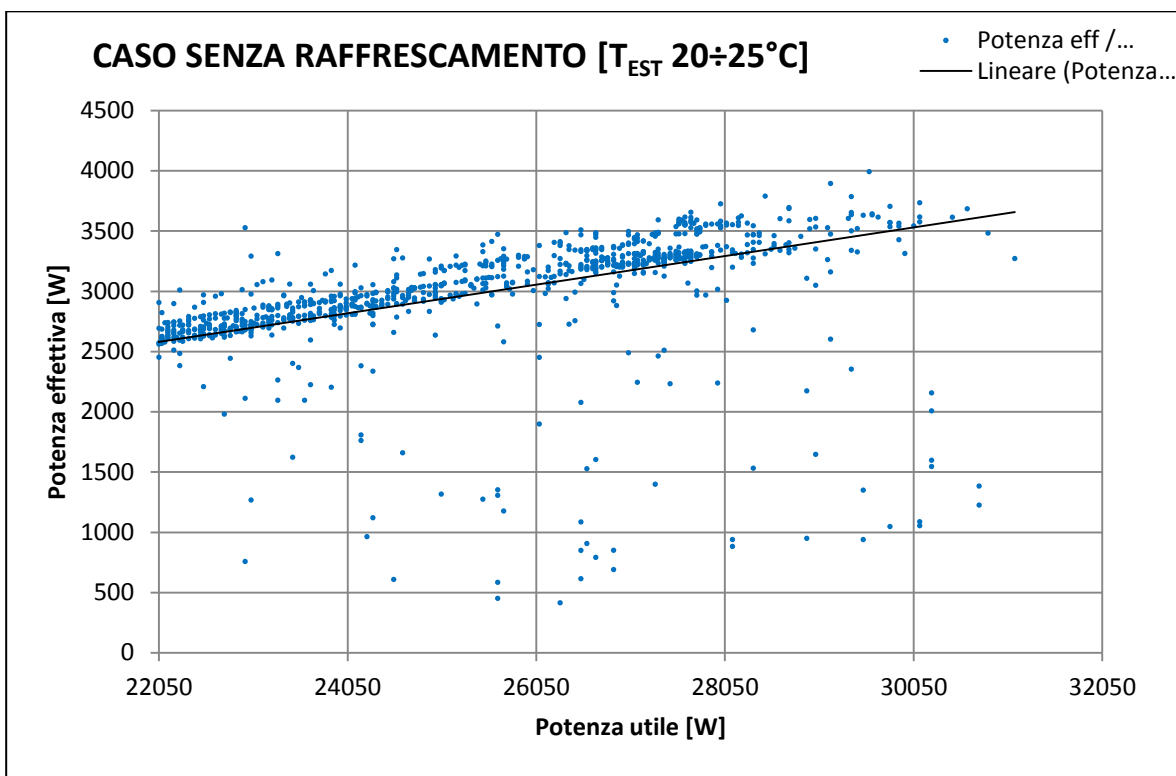


Figura 2-32: Caso con impianto di raffrescamento disattivo, tra 20÷25°C.

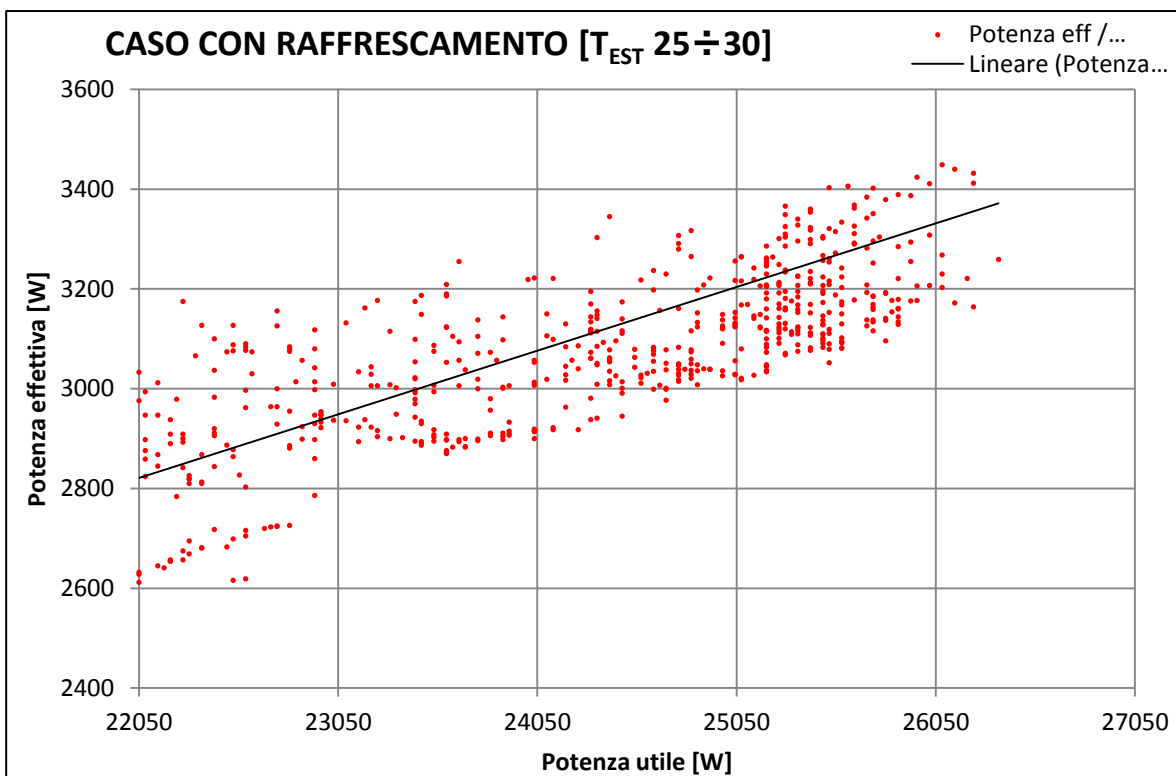


Figura 2-33: Caso con impianto di raffrescamento attivo, tra 25÷30°C

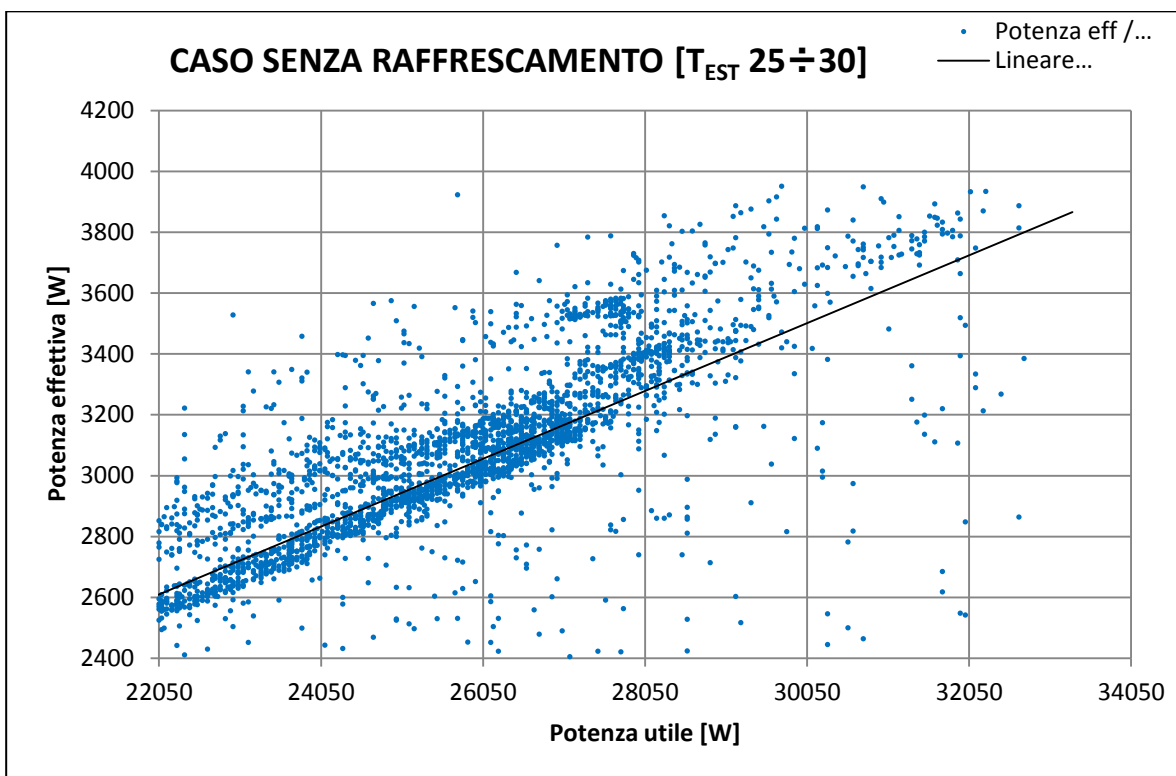


Figura 2-34: Caso con impianto di raffrescamento disattivo, tra 25÷30°C

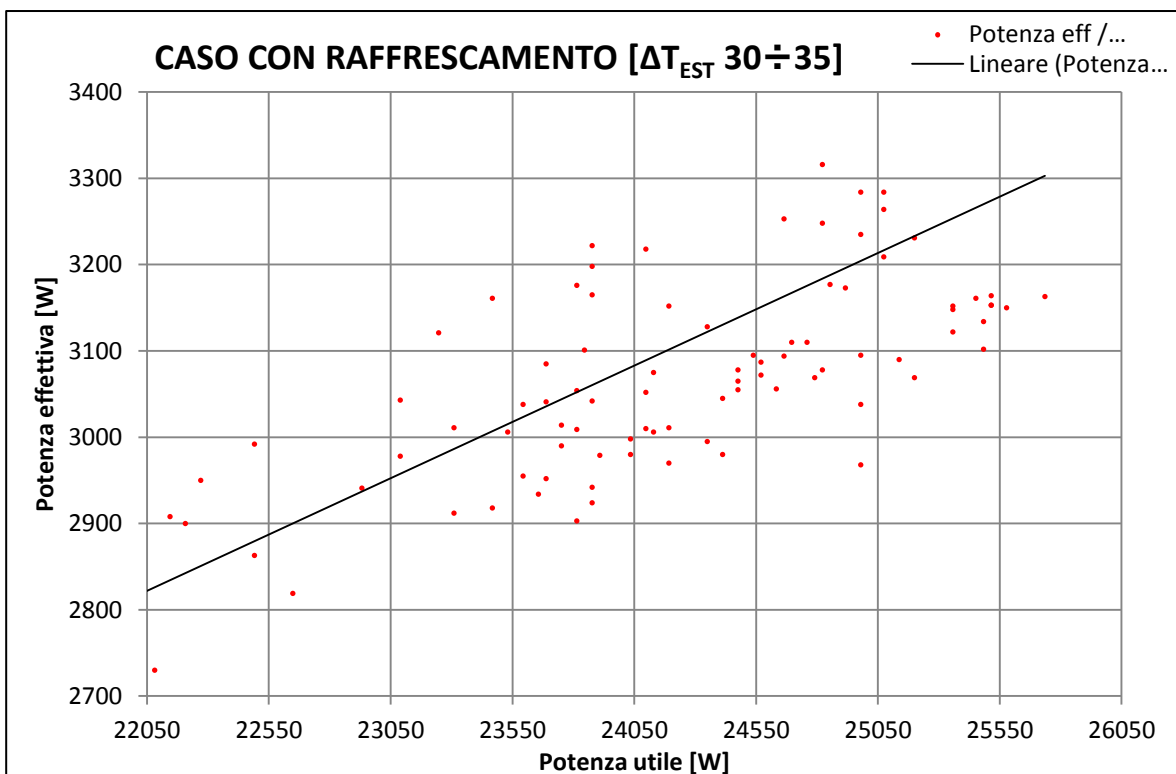


Figura 2-35: Caso con impianto di raffrescamento attivo, tra 30÷35°C

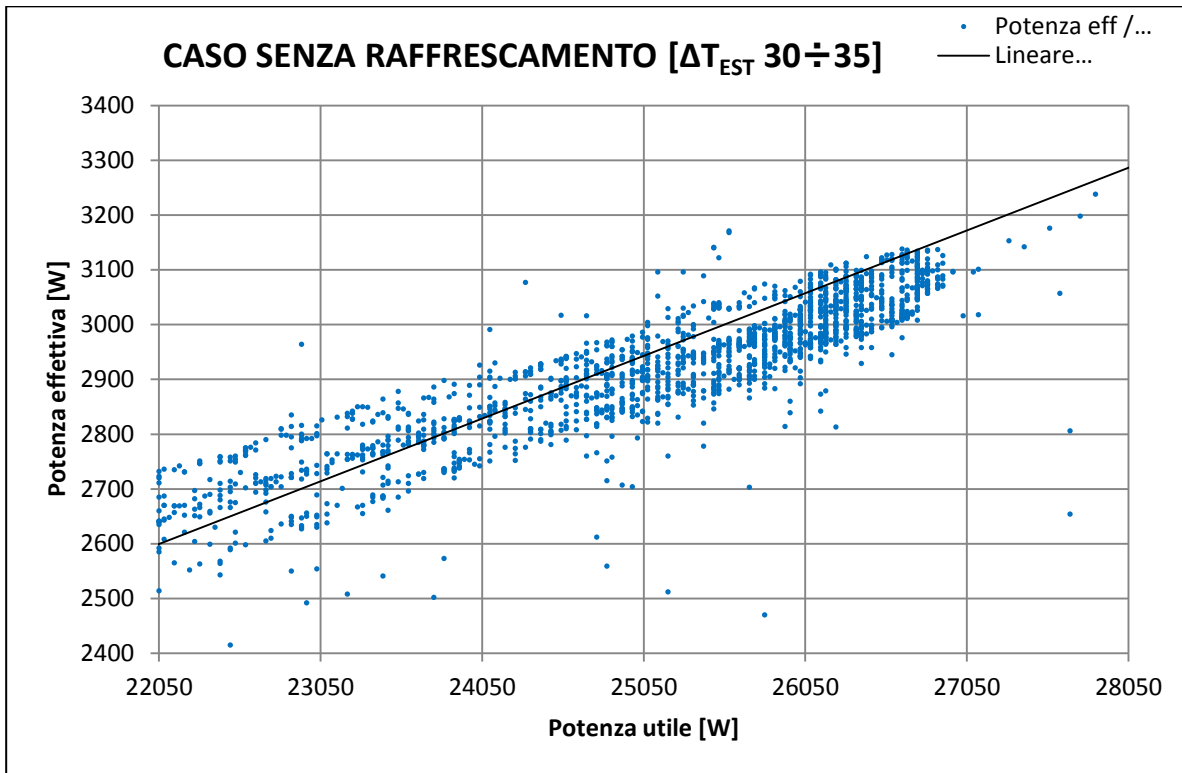


Figura 2-36: Caso con impianto di raffrescamento disattivo, tra 30÷35°C

Per ogni fissato intervallo di temperatura dell'aria esterna, le elaborazioni di seguito riportate, sono state ottenute considerando i dati riferiti a diversi intervalli di radiazione solare:

- Rendimento medio con impianto di raffrescamento attivo (η_m con raff.)
- Rendimento medio con impianto di raffrescamento non attivo (η_m senza raff.)
- Numero di dati considerati per il calcolo del η_m con raff.
- Numero di dati considerati per il calcolo del η_m senza raff.
- Incremento percentuale del rendimento dell'impianto fotovoltaico nelle due modalità di funzionamento.

Così facendo è stato possibile osservare l'andamento dei valori calcolati, a parità di temperatura dell'aria esterna, in funzione della radiazione solare incidente.

20 ÷ 22	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,137	0,121	68	45	13,2
650 ÷ 700	0,138	0,117	84	37	17,9
700 ÷ 750	0,133	0,123	128	15	8,1
750 ÷ 800	0,132	0,129	252	7	2,3
800 ÷ 850	0,131	0,117	312	10	12,0

Tabella 2-11: Intervallo di temperatura 20 ÷ 22 °C

22 ÷ 24	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,139	0,118	84	190	17,8
650 ÷ 700	0,134	0,119	63	87	12,6
700 ÷ 750	0,133	0,12	128	116	10,8
750 ÷ 800	0,131	0,116	180	60	12,9
800 ÷ 850	0,133	0,109	108	37	22,0
850 ÷ 900	0,135	0,116	35	105	16,4
900 ÷ 950	0,131	0,109	16	34	20,2

Tabella 2-12: intervallo di temperatura 22 ÷ 24°C

24 ÷ 26	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,14	0,125	11	189	12,0
650 ÷ 700	0,134	0,118	36	146	13,6
700 ÷ 750	0,132	0,117	54	190	12,8
750 ÷ 800	0,13	0,118	110	292	10,2
800 ÷ 850	0,127	0,117	77	342	8,5

Tabella 2-13: intervallo di temperatura 24 ÷ 26°C

26 ÷ 28	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,134	0,119	36	258	12,6
650 ÷ 700	0,134	0,121	31	233	10,7
700 ÷ 750	0,129	0,121	66	174	6,6
750 ÷ 800	0,124	0,119	159	197	4,2
800 ÷ 850	0,126	0,116	62	326	8,6

Tabella 2-14: intervallo di temperatura 26 ÷ 28°C

28 ÷ 30	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,13	0,121	17	108	7,4
650 ÷ 700	0,131	0,118	44	194	11,0
700 ÷ 750	0,129	0,118	43	253	9,3
750 ÷ 800	0,126	0,117	25	301	7,7
800 ÷ 850	0,125	0,116	95	326	7,8

Tabella 2-15: intervallo di temperatura 28 ÷ 30°C

30 ÷ 32	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,131	0,124	8	70	5,6
650 ÷ 700	0,131	0,12	21	99	9,2
700 ÷ 750	0,129	0,12	18	116	7,5
750 ÷ 800	0,127	0,116	59	275	9,5
800 ÷ 850	0,124	0,115	7	692	7,8

Tabella 2-16: intervallo di temperatura 30 ÷ 32°C

Nelle figura 2-41 e 2-42 sono riportati gli andamenti del rendimento dell'impianto fotovoltaico a parità di temperatura dell'aria esterna ed in funzione dell'irraggiamento solare. Gli andamenti sono stati riportati per differenti valori della temperatura dell'aria. Per maggiore chiarezza si specifica che, per la costruzione dei grafici, sono stati considerati tutti i dati di rendimento che sono stati acquisiti, per il primo nella modalità di funzionamento con il sistema di raffreddamento attivo, mentre, per il secondo grafico, con il sistema spento.

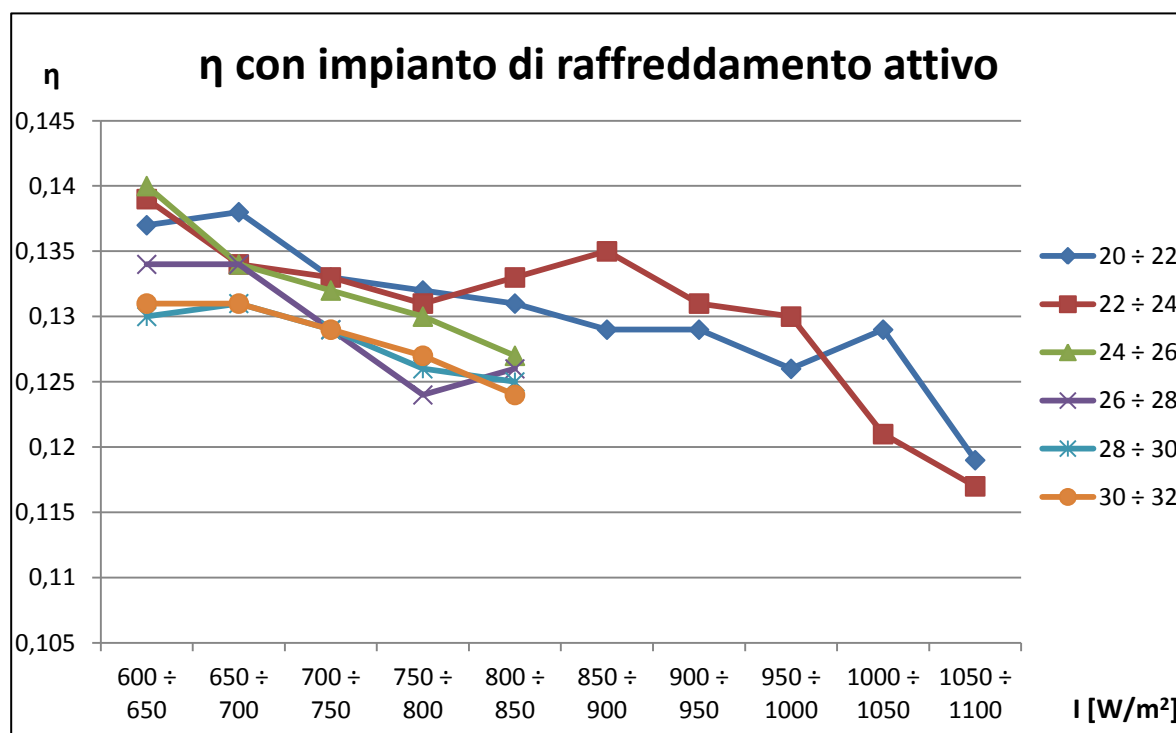


Figura 2-37: Andamenti rendimento con sistema di raffreddamento attivo

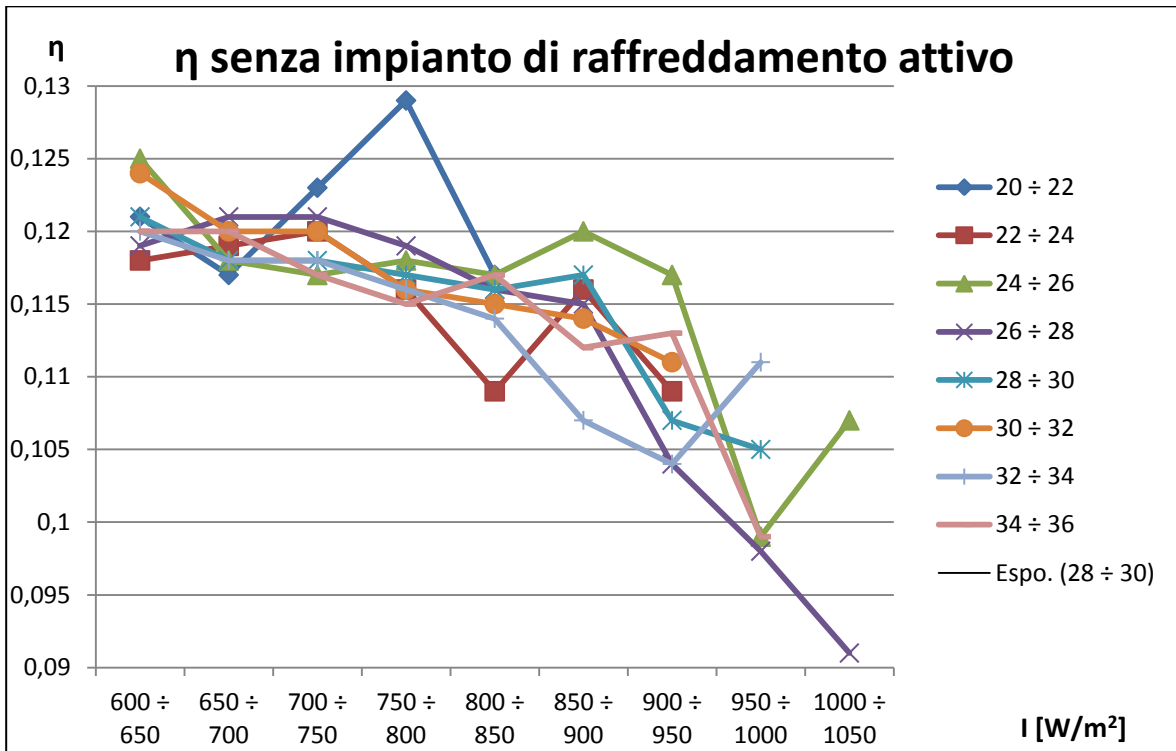


Figura 2-38: Andamenti rendimento con sistema di raffreddamento non attivo

Successivamente sono stati graficati (dalla figura 2-43 alla figura 2-47) gli andamenti dei rendimenti, ottenuti nelle due modalità di funzionamento dell'impianto fotovoltaico, in funzione della temperatura ambiente. In questi grafici vengono evidenziati sia la differenza di rendimento tra impianto di raffreddamento attivo e spento, e l'equazione delle linee di tendenza che approssimano bene gli andamenti in funzione delle temperatura ambiente.

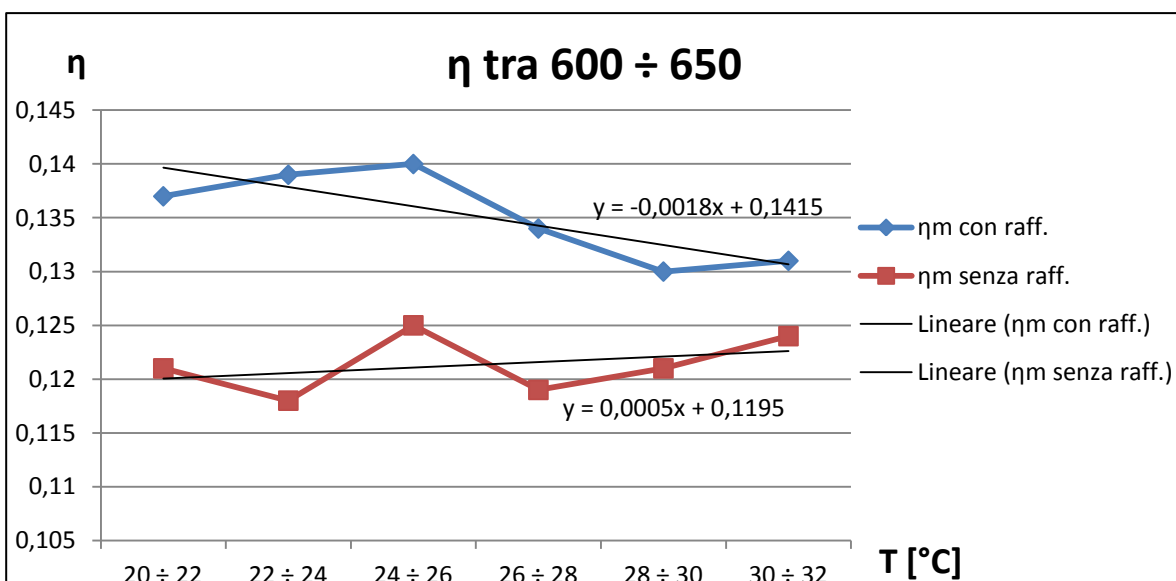


Figura 2-39: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 600 e 650, in funzione della temperatura ambientale

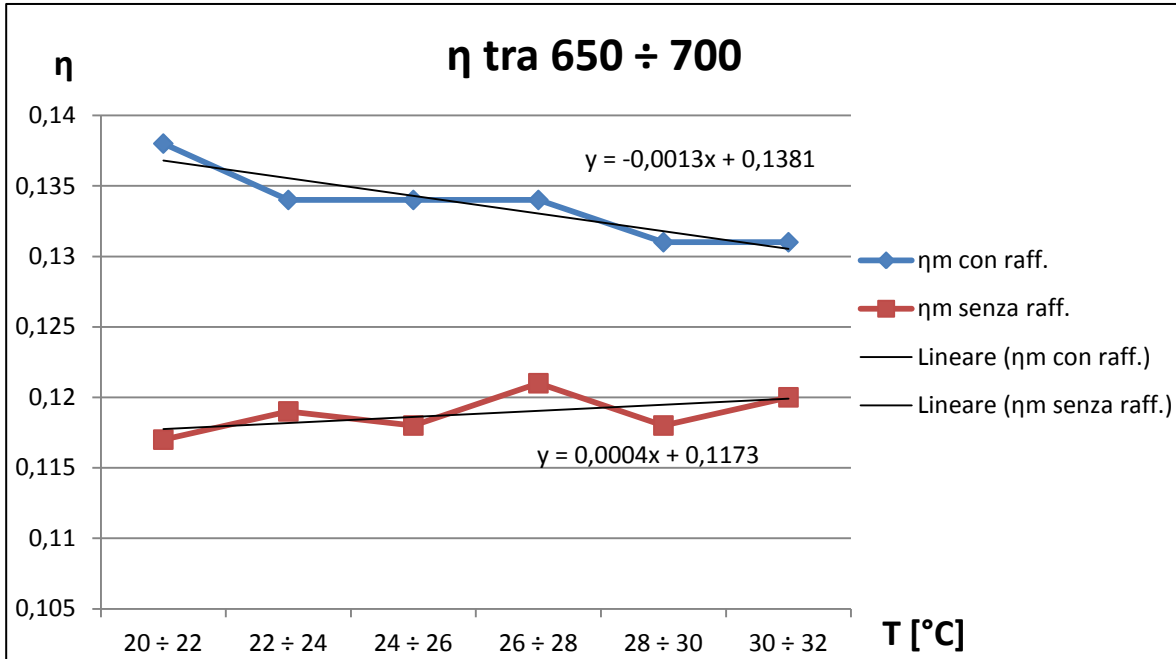


Figura 2-40: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 650 e 700, in funzione della temperatura ambientale

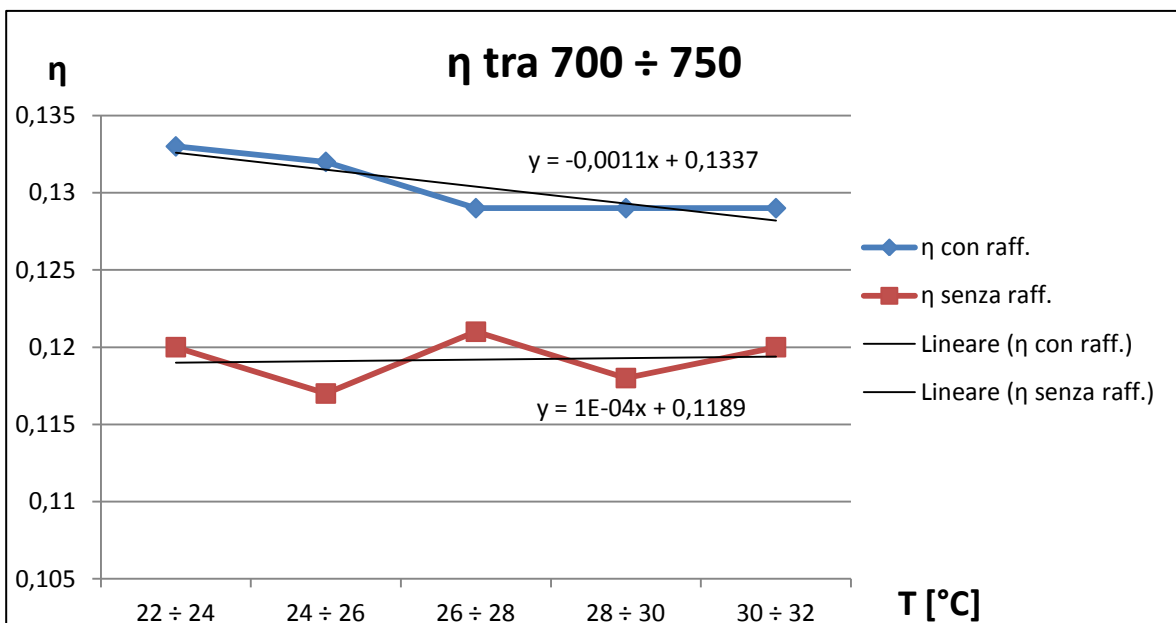


Figura 2-41: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 700 e 750, in funzione della temperatura ambientale

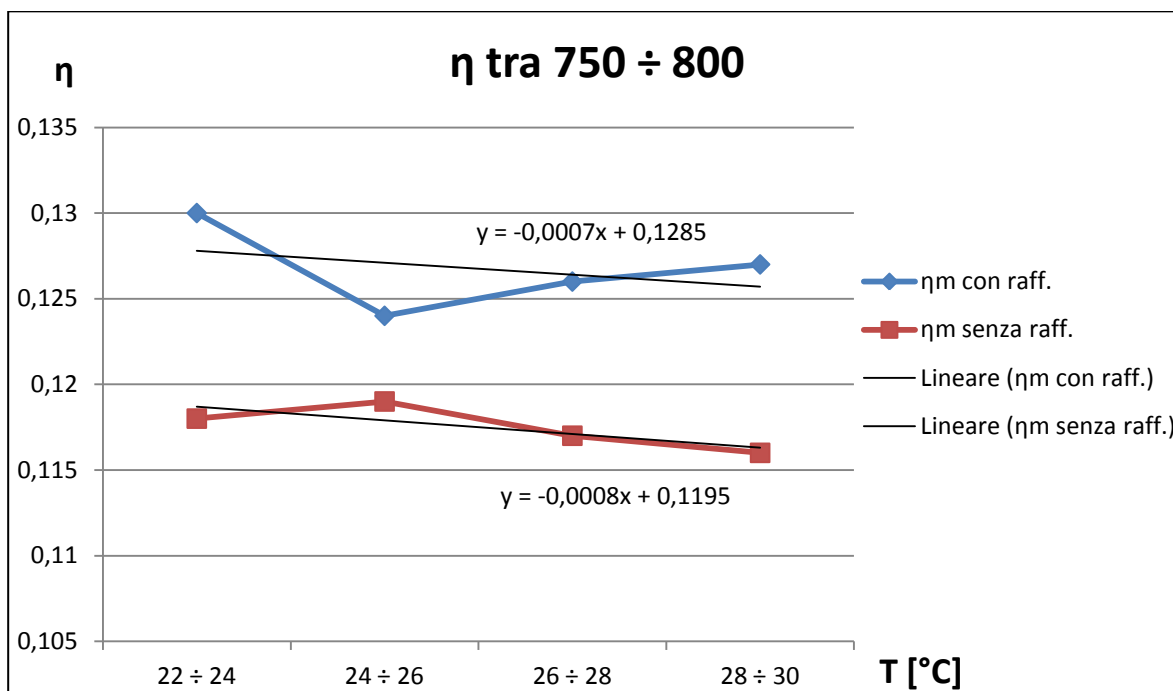


Figura 2-42: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 750 e 800, in funzione della temperatura ambientale

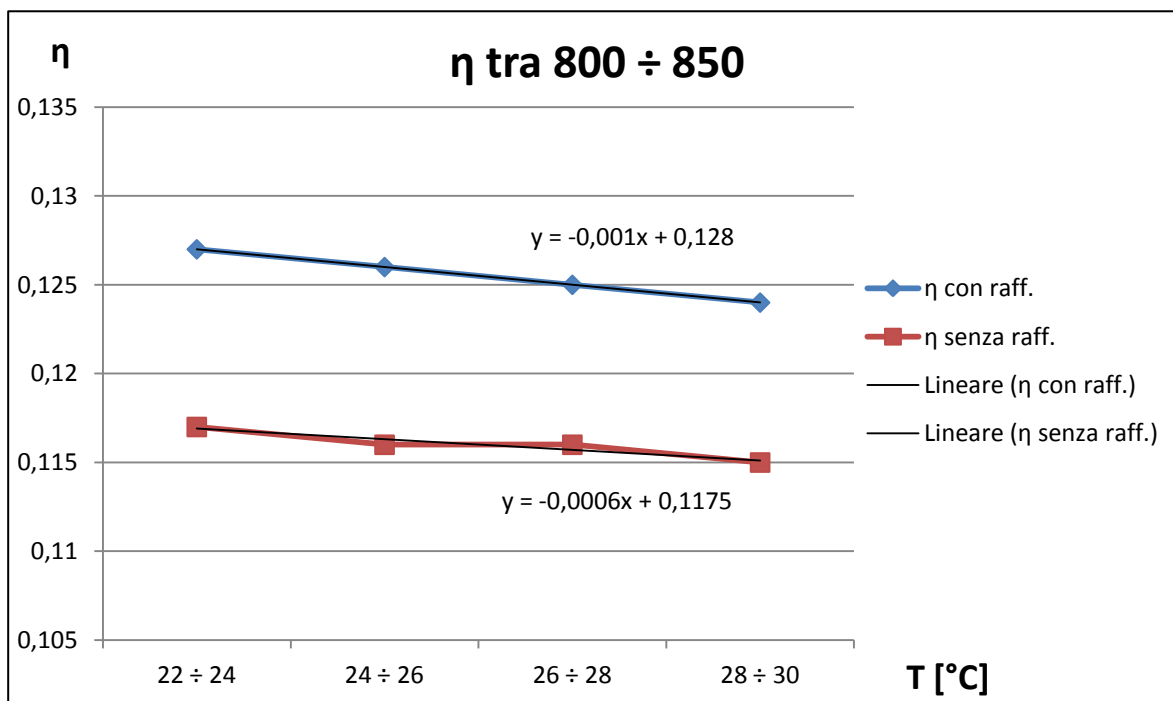


Figura 2-43: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 800 e 850, in funzione della temperatura ambientale

Per determinare l'incremento percentuale ottenibile installando il sistema di raffrescamento presente sul prototipo Genera, sono stati tenuti in considerazione i seguenti dati di entrambe le modalità di funzionamento dell'impianto:

- Rendimento medio calcolato in determinati intervalli di irraggiamento solare e temperatura esterna
- Temperatura media esterna
- Numero di dati a disposizione per i singoli intervalli di dati acquisiti
- Temperatura media pesata in base al numero di dati a disposizione nel caso di sistema di raffrescamento attivo e spento.

Le successive cinque tabelle riportano i suddetti dati per gli intervalli d'irraggiamento considerati e vengono accompagnati dai grafici degli andamenti dell'incremento percentuale del rendimento in funzione della temperatura esterna.

600 ÷ 650 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
20 ÷ 22	21,03	20,97	21,01	0,137	0,121	68	45	13,2
22 ÷ 24	23,11	23,31	23,25	0,139	0,118	84	190	17,8
24 ÷ 26	25,48	24,92	24,95	0,14	0,125	11	189	12,0
26 ÷ 28	26,64	26,94	26,90	0,134	0,119	36	258	12,6
28 ÷ 30	28,95	29,1	29,08	0,13	0,121	17	108	7,4
30 ÷ 32	31,09	31,33	31,31	0,131	0,124	8	70	5,6

Tabella 2-17: Intervallo di irraggiamento solare 600 ÷ 650 [W/m²]

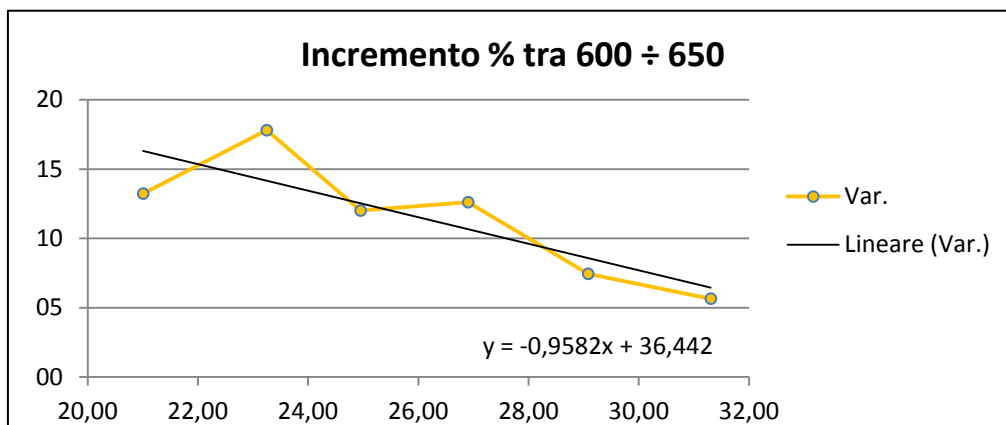


Figura 2-44: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 600 ÷ 650 [W/m²] di irraggiamento solare

650 ÷ 700 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
20 ÷ 22	21,2	21,29	21,23	0,138	0,117	84	37	17,9
22 ÷ 24	22,86	23,42	23,18	0,134	0,119	63	87	12,6
24 ÷ 26	25,05	24,74	24,80	0,134	0,118	36	146	13,6
26 ÷ 28	26,54	27,05	26,99	0,134	0,121	31	233	10,7
28 ÷ 30	28,72	29,11	29,04	0,131	0,118	44	194	11,0
30 ÷ 32	30,96	31,26	31,21	0,131	0,12	21	99	9,2

Tabella 2-18: Intervallo di irraggiamento solare 650 ÷ 700 [W/m²]

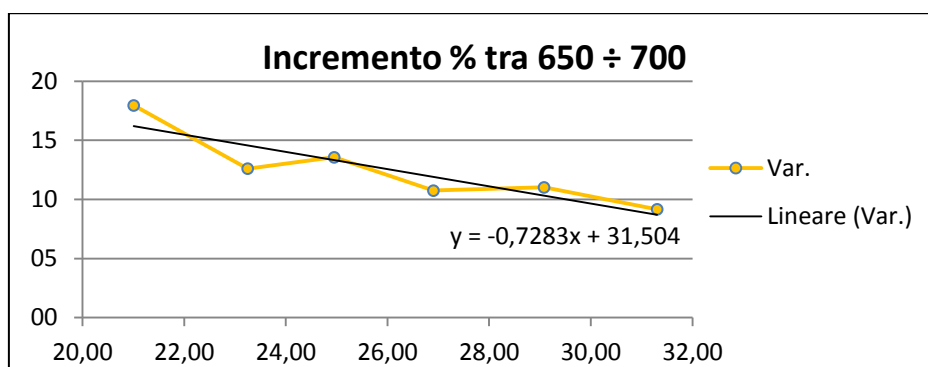


Figura 2-45: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 650 ÷ 700 [W/m²] di irraggiamento solare

700 ÷ 750 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
22 ÷ 24	22,71	23,38	23,03	0,133	0,12	128	116	10,8
24 ÷ 26	25,5	24,9	25,03	0,132	0,117	54	190	12,8
26 ÷ 28	26,65	27,25	27,09	0,129	0,121	66	174	6,6
28 ÷ 30	28,8	29,22	29,16	0,129	0,118	43	253	9,3
30 ÷ 32	30,63	31,24	31,16	0,129	0,12	18	116	7,5

Tabella 2-19: Intervallo di irraggiamento solare 700 ÷ 750 [W/m²]

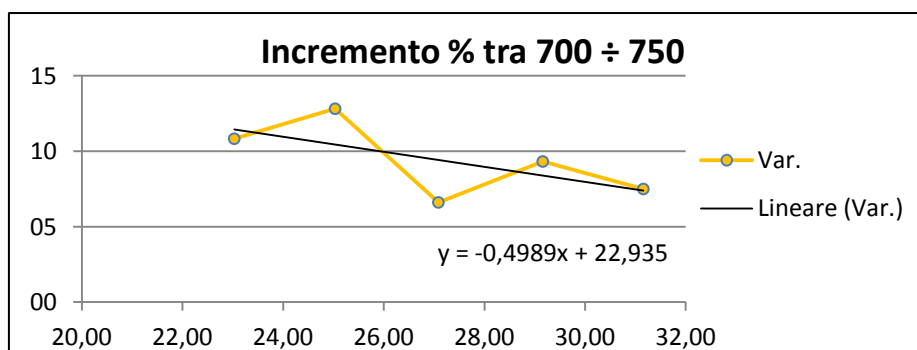


Figura 2-46: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 700 ÷ 750 [W/m²] di irraggiamento solare

750 ÷ 800 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
24 ÷ 26	24,83	25,08	25,01	0,13	0,118	110	292	10,2
26 ÷ 28	27,1	27,12	27,11	0,124	0,119	159	197	4,2
28 ÷ 30	28,62	28,88	28,86	0,126	0,117	25	301	7,7
30 ÷ 32	30,49	30,89	30,82	0,127	0,116	59	275	9,5

Tabella 2-20: Intervallo di irraggiamento solare 750 ÷ 800 [W/m²]

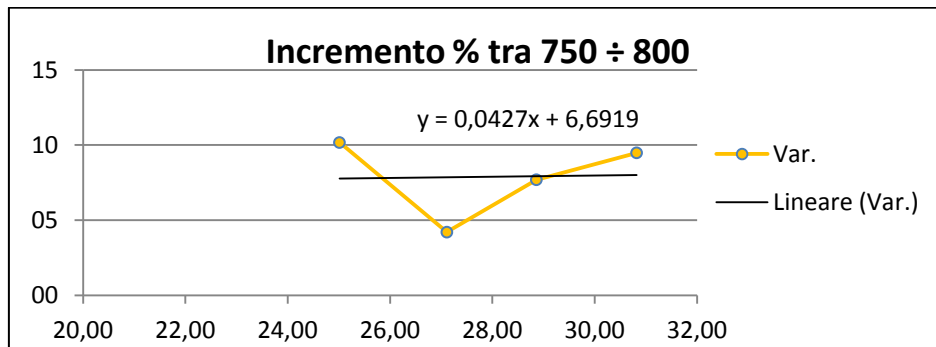


Figura 2-47: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 750 ÷ 800 [W/m²] di irraggiamento solare

800 ÷ 850 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
24 ÷ 26	24,82	25,14	25,08	0,127	0,117	77	342	8,5
26 ÷ 28	27,57	26,96	27,06	0,126	0,116	62	326	8,6
28 ÷ 30	29,06	29,09	29,08	0,125	0,116	95	326	7,8
30 ÷ 32	30,16	31,04	31,03	0,124	0,115	7	692	7,8

Tabella 2-21: Intervallo di irraggiamento solare 800 ÷ 850 [W/m²]

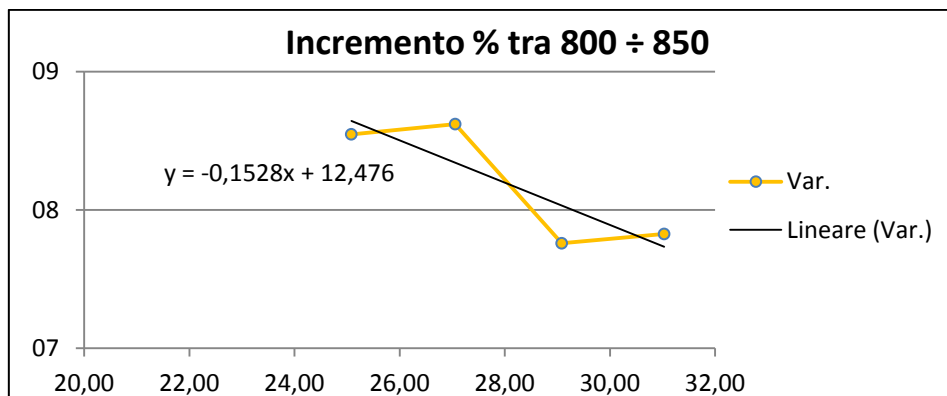


Figura 2-48: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 800 ÷ 850 [W/m²] di irraggiamento solare

Le equazioni trovate saranno riutilizzate nel capitolo 3 (Attività modellistica) per il calcolo dell'incremento di rendimento annuo dell'impianto fotovoltaico ottenibile grazie all'abbattimento della temperatura delle celle per effetto dell'azione del sistema di raffreddamento.

2.3.3.4. ESPERIMENTO IN CONDIZIONE DI ASSENZA DI BAGNATURA DEI MODULI FOTOVOLTAICI E COPERTURA DEL TETTO VERDE FV-3

Volendo dimostrare come il sistema integrato del prototipo Genera incida sulla produttività annua di un impianto fotovoltaico, è stato deciso di monitorare e acquisire i dati per la seguente configurazione del prototipo:

- Sistema di raffreddamento moduli: non attivo
- Irrigazione verde pensile: non attiva
- Verde pensile: è stata applicata una copertura bituminosa per annullare gli effetti.

In questo modo sono state ricreate le condizioni normali in cui generalmente ci si imbatte nel parco fotovoltaico ad oggi installato.

Il periodo di acquisizione scelto va dal 03/08/2012 al 13/09/2012.

Analogamente agli esperimenti precedenti, i dati rilevati dell'irraggiamento solare sul piano orizzontare, sono stati convertiti e sono stati calcolati i valori relativi alla posizione geografica ed agli angoli di Tilt e Azimut che caratterizzano i moduli dell'impianto fotovoltaico del progetto Genera.

Di conseguenza è stato possibile calcolare la potenza teoricamente sfruttabile e compararla con la potenza effettivamente sviluppata (figura 2.53):

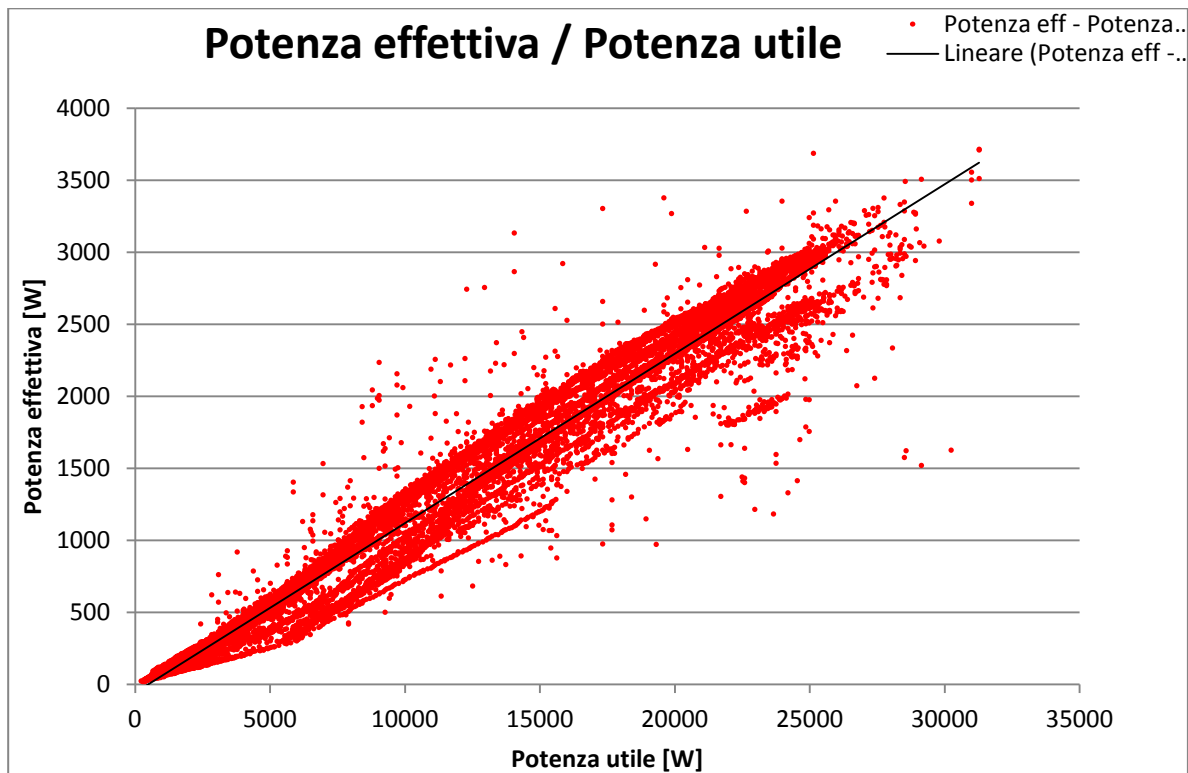


Figura 2-49: Diagramma tra Potenza effettiva e Potenza utile

Il valore medio del rendimento dell'impianto fotovoltaico durante l'esperimento FV-3 è stato di:

2.3.3.5. CONFRONTO TRA GLI ESPERIMENTI FV-1 E FV-3

Per ogni fissato intervallo di temperatura dell'aria esterna, le elaborazioni di seguito riportate, sono state ottenute considerando i dati riferiti a diversi intervalli di radiazione solare:

- Rendimento medio con impianto di raffrescamento attivo (η_m con raff.)
- Rendimento medio con impianto di raffrescamento non attivo (η_m senza raff.)
- Numero di dati considerati per il calcolo del η_m con raff.
- Numero di dati considerati per il calcolo del η_m senza raff.
- Incremento percentuale del rendimento dell'impianto fotovoltaico nelle due modalità di funzionamento.

Così facendo è stato possibile osservare l'andamento dei valori calcolati, a parità di temperatura dell'aria esterna, in funzione della radiazione solare incidente.

20 ÷ 22 [°C]	η_m senza TV	η_m con TV + Raff.	N° dati senza Raff.	N° dati con TV + Raff.	Incremento [%]
500 ÷ 600	0,104	0,139	56	42	33,7
750 ÷ 800	0,11	0,132	3	252	20,0
800 ÷ 850	0,11	0,131	3	312	19,1

Tabella 2-22: Intervallo di temperatura 22 ÷ 24 °C

22 ÷ 24 [°C]	η_m senza TV	η_m con TV + Raff.	N° dati senza Raff.	N° dati con TV + Raff.	Incremento [%]
500 ÷ 600	0,11	0,146	180	124	32,7
600 ÷ 650	0,1	0,139	51	84	39,0
650 ÷ 700	0,101	0,134	19	63	32,7
700 ÷ 750	0,109	0,133	19	128	22,0

Tabella 2-23: Intervallo di temperatura 22 ÷ 24 °C

24 ÷ 26 [°C]	η_m senza TV	η_m con TV + Raff.	N° dati senza Raff.	N° dati con TV + Raff.	Incremento [%]
500 ÷ 600	0,107	0,137	479	12	28,0
600 ÷ 650	0,11	0,14	273	11	27,3
650 ÷ 700	0,111	0,134	106	36	20,7
700 ÷ 750	0,1	0,132	74	54	32,0
750 ÷ 800	0,095	0,13	9	110	36,8

Tabella 2-24: Intervallo di temperatura 24 ÷ 26 °C

26 ÷ 28 [°C]	η_m senza TV	η_m con TV + Raff.	N° dati senza Raff.	N° dati con TV + Raff.	Incremento [%]
500 ÷ 600	0,113	0,138	396	87	22,1
600 ÷ 650	0,114	0,134	394	36	17,5
650 ÷ 700	0,114	0,134	653	31	17,5
700 ÷ 750	0,108	0,129	359	66	19,4
750 ÷ 800	0,101	0,124	77	159	22,8
800 ÷ 850	0,094	0,126	20	62	34,0

Tabella 2-25: Intervallo di temperatura 26 ÷ 28 °C

28 ÷ 30 [°C]	η_m senza TV	η_m con TV + Raff.	N° dati senza Raff.	N° dati con TV + Raff.	Incremento [%]
500 ÷ 600	0,117	0,134	503	44	14,5
600 ÷ 650	0,115	0,13	334	17	13,0
650 ÷ 700	0,112	0,131	382	44	17,0
700 ÷ 750	0,113	0,129	531	43	14,2
750 ÷ 800	0,112	0,126	351	25	12,5
800 ÷ 850	0,106	0,125	66	95	17,9

Tabella 2-26: Intervallo di temperatura 28 ÷ 30 °C

30 ÷ 32 [°C]	η_m senza TV	η_m con TV + Raff.	N° dati senza Raff.	N° dati con TV + Raff.	Incremento [%]
500 ÷ 600	0,12	0,13	301	38	8,3
600 ÷ 650	0,118	0,131	233	8	11,0
650 ÷ 700	0,117	0,131	287	21	12,0
700 ÷ 750	0,113	0,129	312	18	14,2
750 ÷ 800	0,114	0,127	585	59	11,4
800 ÷ 850	0,113	0,124	76	7	9,7

Tabella 2-27: Intervallo di temperatura 30 ÷ 32 °C

Nelle figura 2-54 e 2-55 sono riportati gli andamenti del rendimento dell'impianto fotovoltaico a parità di temperatura dell'aria esterna ed in funzione dell'irraggiamento solare. Gli andamenti sono stati riportati per differenti valori della temperatura dell'aria. Per maggiore chiarezza si specifica che, per la costruzione dei grafici, sono stati considerati tutti i dati di rendimento che sono stati acquisiti, per il primo nella modalità di funzionamento con il sistema di raffrescamento attivo, mentre, per il secondo grafico, con il sistema spento.

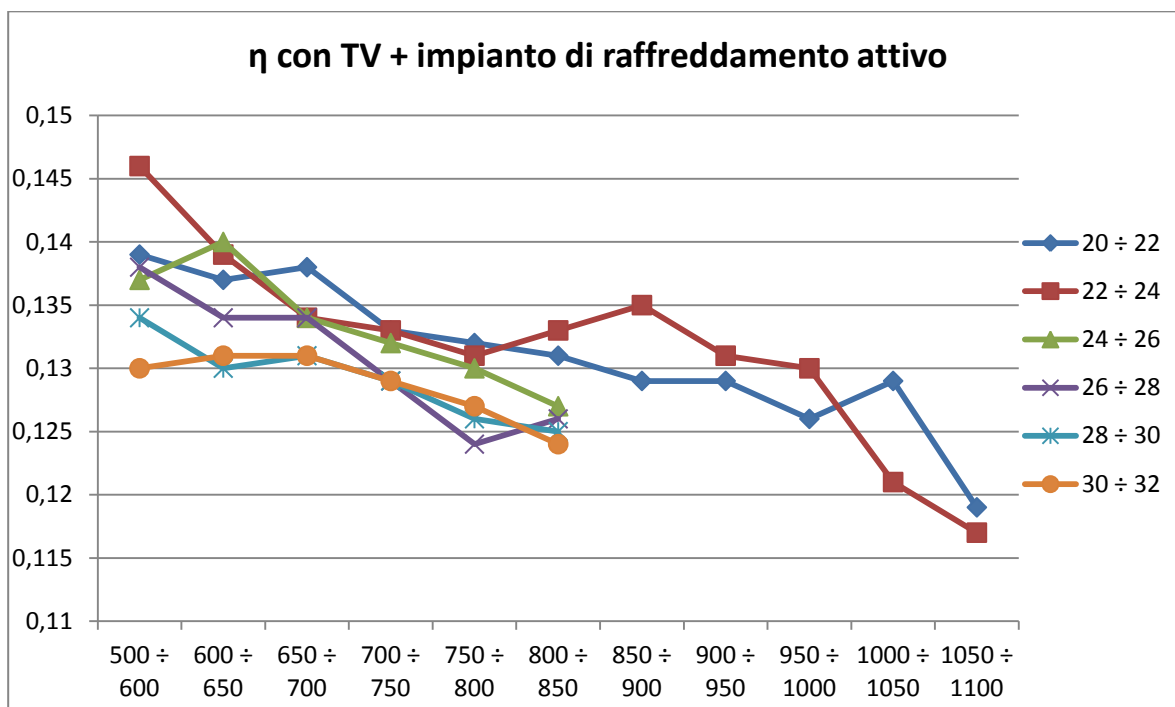


Figura 2-50: Andamenti rendimento con tetto verde e sistema di raffreddamento attivo

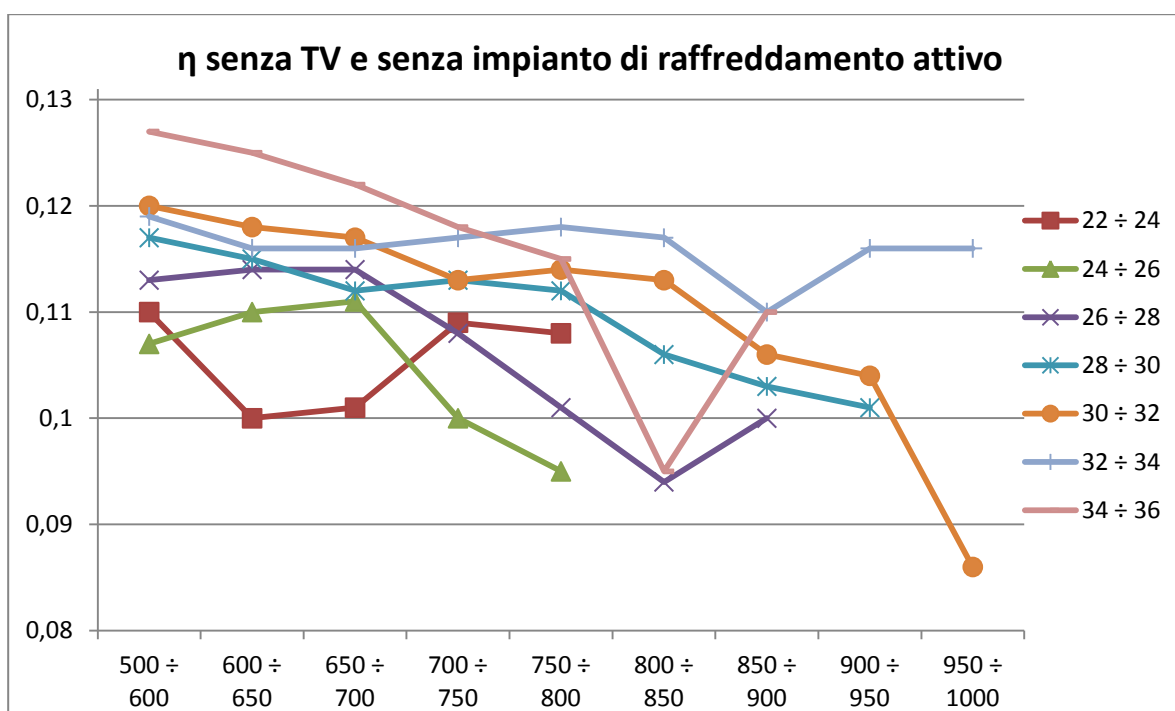


Figura 2-51: Andamenti rendimento con tetto verde e sistema di raffreddamento attivo

Successivamente sono stati graficati (dalla figura 2-56 alla figura 2-61) gli andamenti dei rendimenti, ottenuti nelle due configurazioni dell'impianto fotovoltaico, in funzione della temperatura ambiente. In questi grafici vengono evidenziati sia la differenza di rendimento che le equazioni delle linee di tendenza che approssimano bene gli andamenti in funzione delle temperatura ambiente.

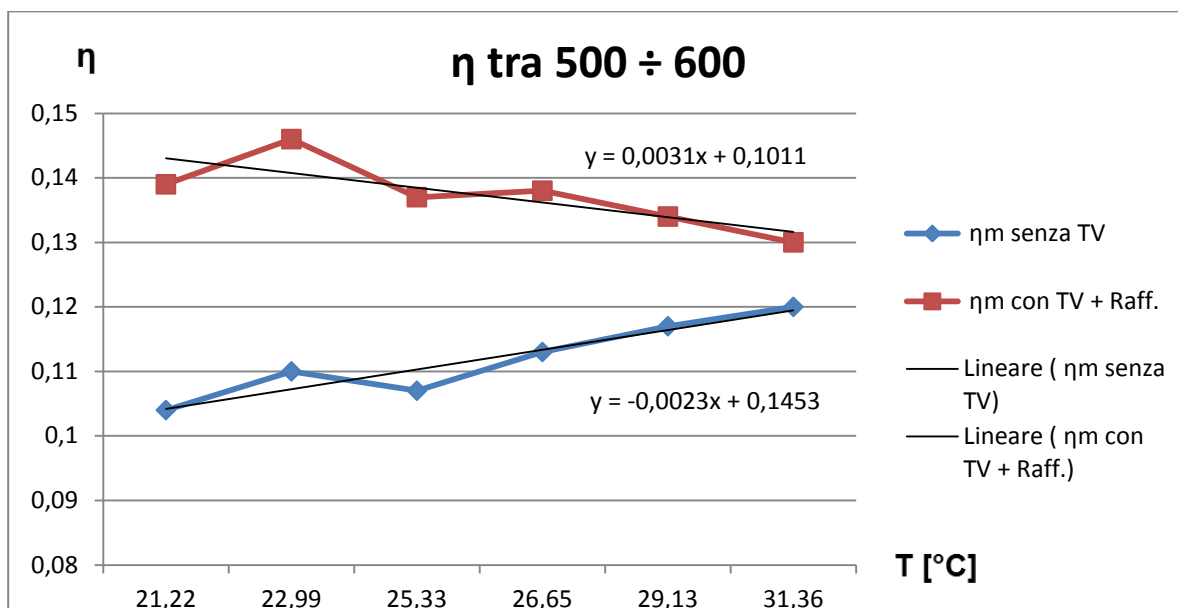


Figura 2-52: Andamento dei rendimenti nell'intervallo di irraggiamento solare tra 500 e 600, in funzione della temperatura ambientale

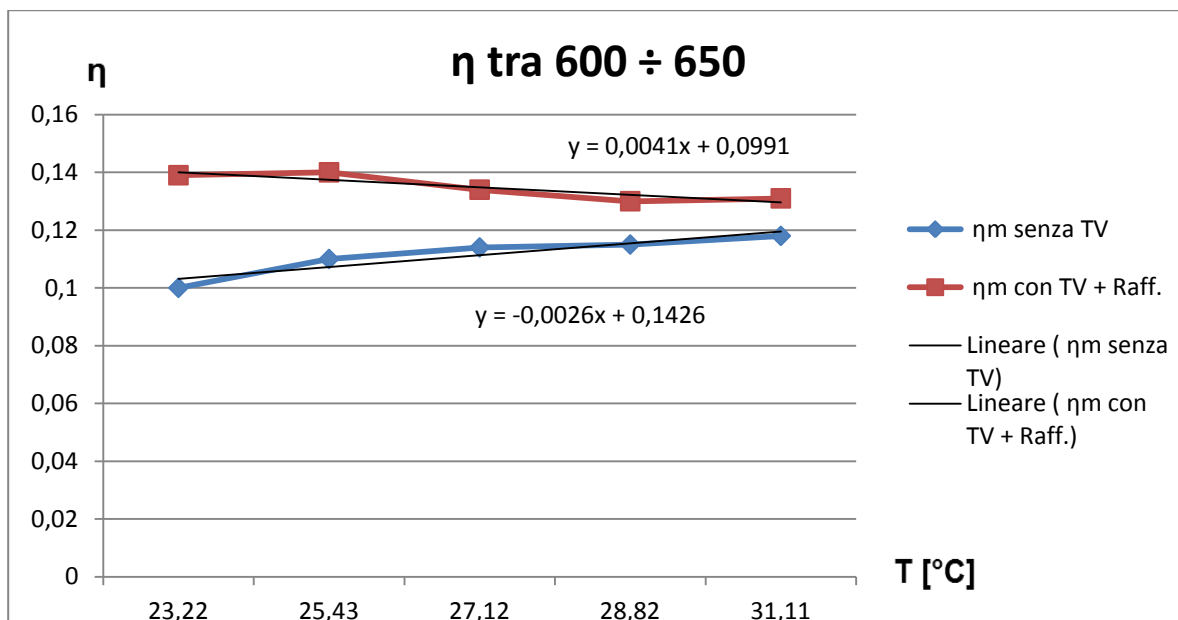


Figura 2-53: Andamento dei rendimenti nell'intervallo di irraggiamento solare tra 600 e 650, in funzione della temperatura ambientale

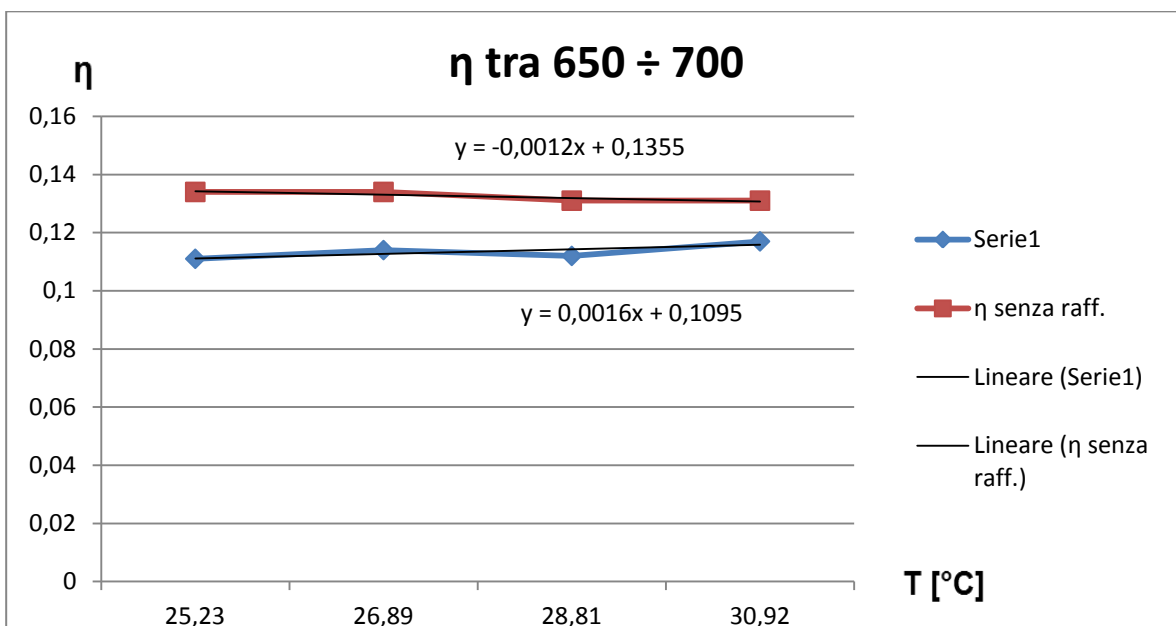


Figura 2-54: Andamento dei rendimenti nell'intervallo di irraggiamento solare tra 650 e 700, in funzione della temperatura ambientale

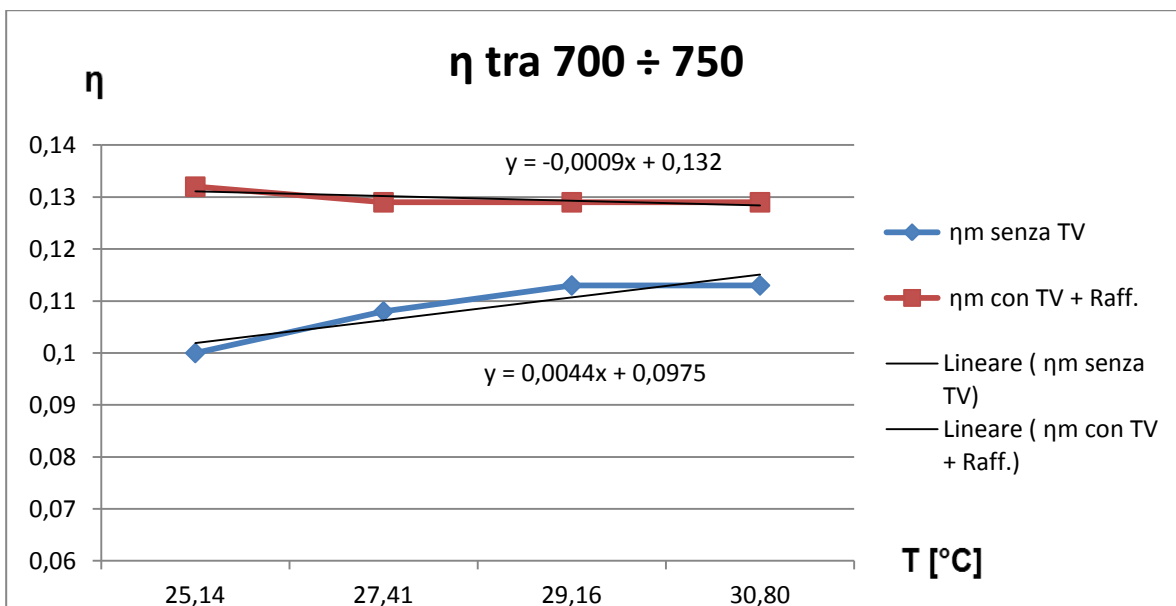


Figura 2-55: Andamento dei rendimenti nell'intervallo di irraggiamento solare tra 700 e 750, in funzione della temperatura ambientale

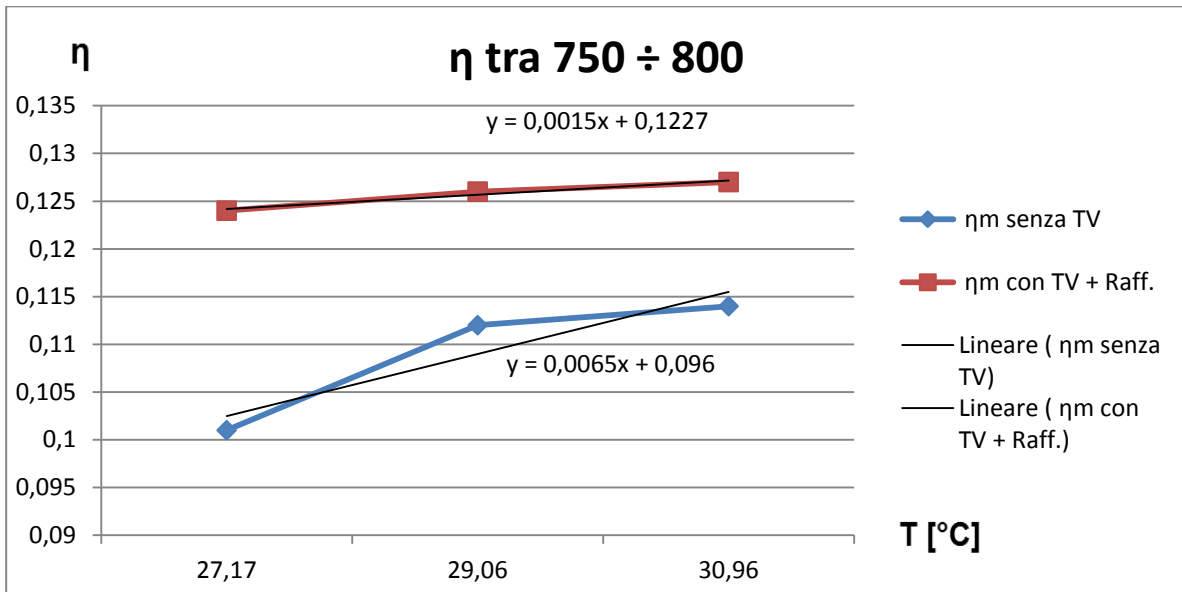


Figura 2-56: Andamento dei rendimenti nell'intervallo di irraggiamento solare tra 750 e 800, in funzione della temperatura ambientale

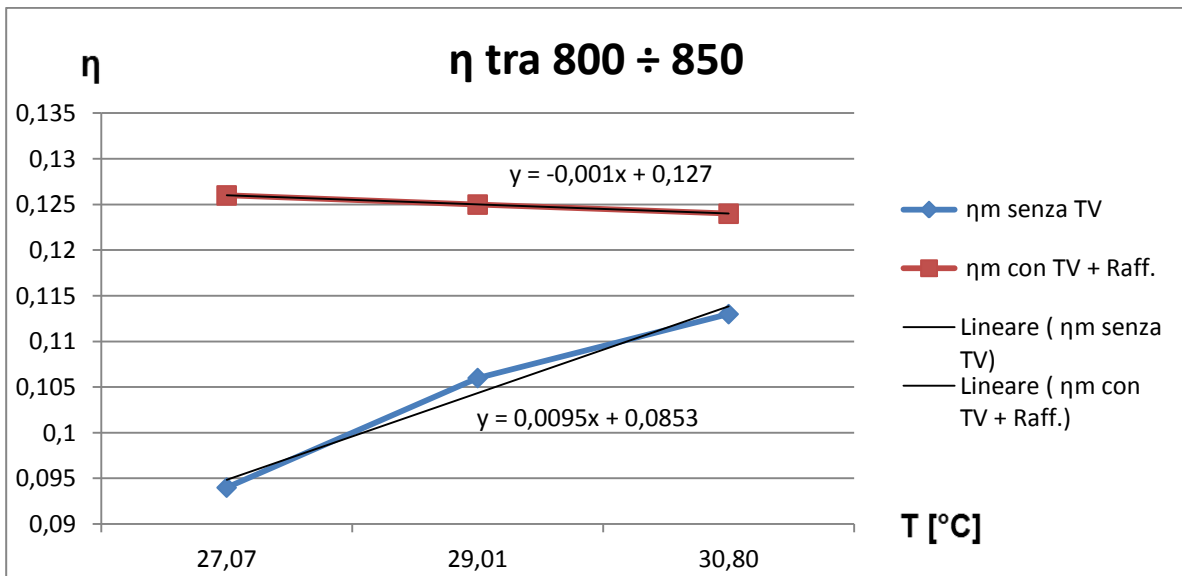


Figura 2-57: Andamento dei rendimenti nell'intervallo di irraggiamento solare tra 750 e 800, in funzione della temperatura ambientale

Per determinare l'incremento percentuale ottenibile installando il verde pensile ed il sistema di raffrescamento presente sul prototipo Genera, sono stati tenuti in considerazione i seguenti dati di entrambe le modalità di funzionamento dell'impianto:

- Rendimento medio calcolato in determinati intervalli di irraggiamento solare e temperatura esterna
- Temperatura media esterna
- Numero di dati a disposizione per i singoli intervalli di dati acquisiti

- Temperatura media pesata in base al numero di dati a disposizione nel caso di sistema di raffrescamento attivo e spento.

Le successive cinque tabelle riportano i suddetti dati per gli intervalli d'irraggiamento considerati e vengono accompagnati dai grafici degli andamenti dell'incremento percentuale del rendimento in funzione della temperatura esterna.

500 ÷ 600 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
20 ÷ 22	21,33	21,07	21,22	0,104	0,139	56	42	33,7
22 ÷ 24	23,01	22,96	22,99	0,11	0,146	180	124	32,7
24 ÷ 26	25,34	25,09	25,33	0,107	0,137	479	12	28,0
26 ÷ 28	26,59	26,93	26,65	0,113	0,138	396	87	22,1
28 ÷ 30	29,13	29,17	29,13	0,117	0,134	503	44	14,5
30 ÷ 32	31,34	31,52	31,36	0,12	0,13	301	38	8,3

Tabella 2-28: Intervallo di irraggiamento solare 500 ÷ 600 W/m²

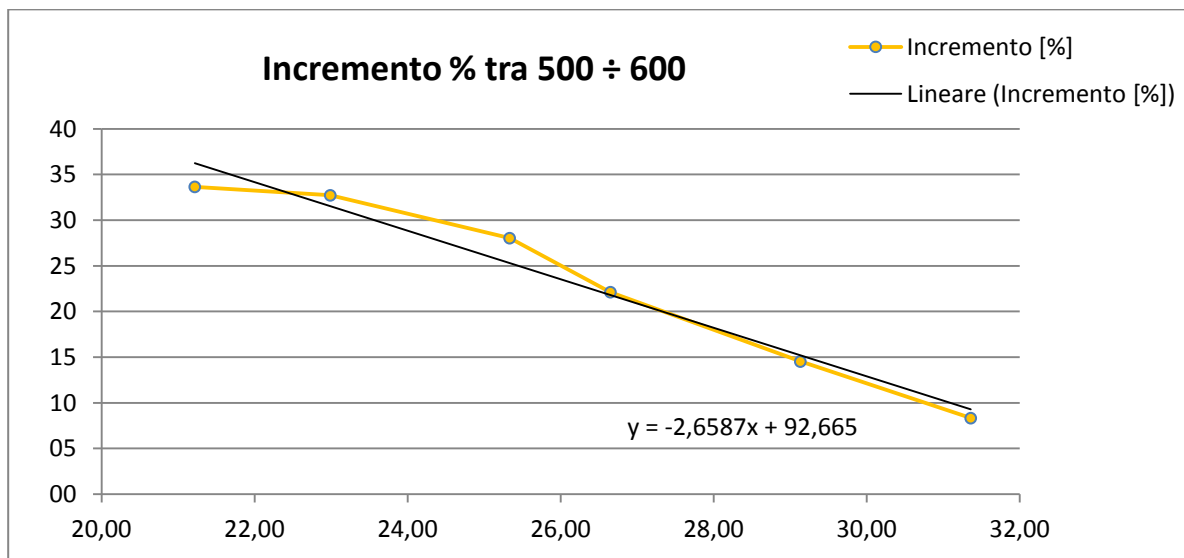


Figura 2-58: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 500 ÷ 600 W/m² di irraggiamento solare

600 ÷ 650 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
22 ÷ 24	23,08	23,31	23,22	0,1	0,139	51	84	39,0
24 ÷ 26	25,45	24,92	25,43	0,11	0,14	273	11	27,3
26 ÷ 28	27,14	26,94	27,12	0,114	0,134	394	36	17,5
28 ÷ 30	28,81	29,1	28,82	0,115	0,13	334	17	13,0
30 ÷ 32	31,1	31,33	31,11	0,118	0,131	233	8	11,0

Tabella 2-29: Intervallo di irraggiamento solare 600 ÷ 650 W/m²

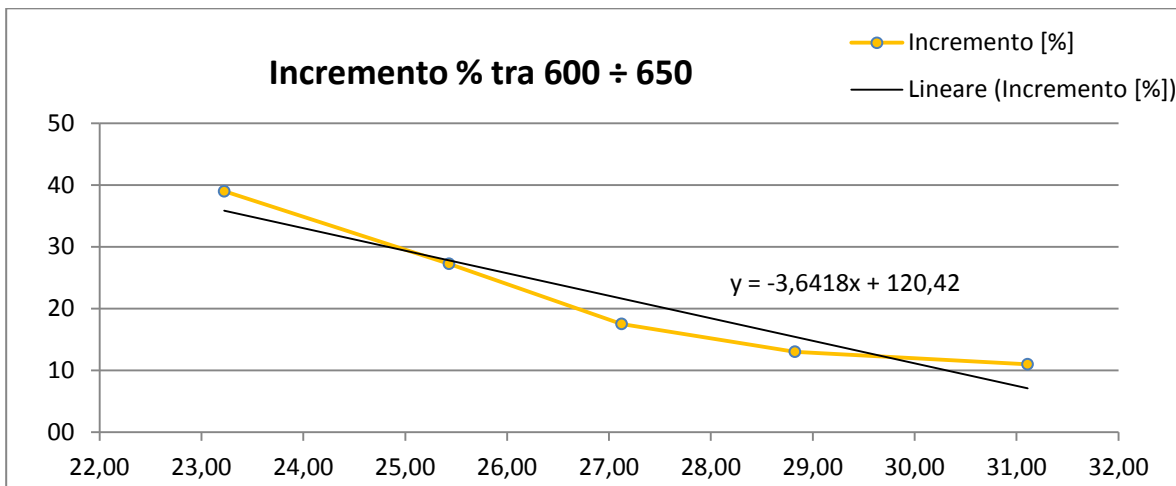


Figura 2-59: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 600 ÷ 650 W/m² di irraggiamento solare

650 ÷ 700 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
24 ÷ 26	25,39	24,74	25,23	0,111	0,134	106	36	20,7
26 ÷ 28	26,88	27,05	26,89	0,114	0,134	653	31	17,5
28 ÷ 30	28,77	29,11	28,81	0,112	0,131	382	44	17,0
30 ÷ 32	30,89	31,26	30,92	0,117	0,131	287	21	12,0

Tabella 2-30: Intervallo di irraggiamento solare 650 ÷ 700 W/m²

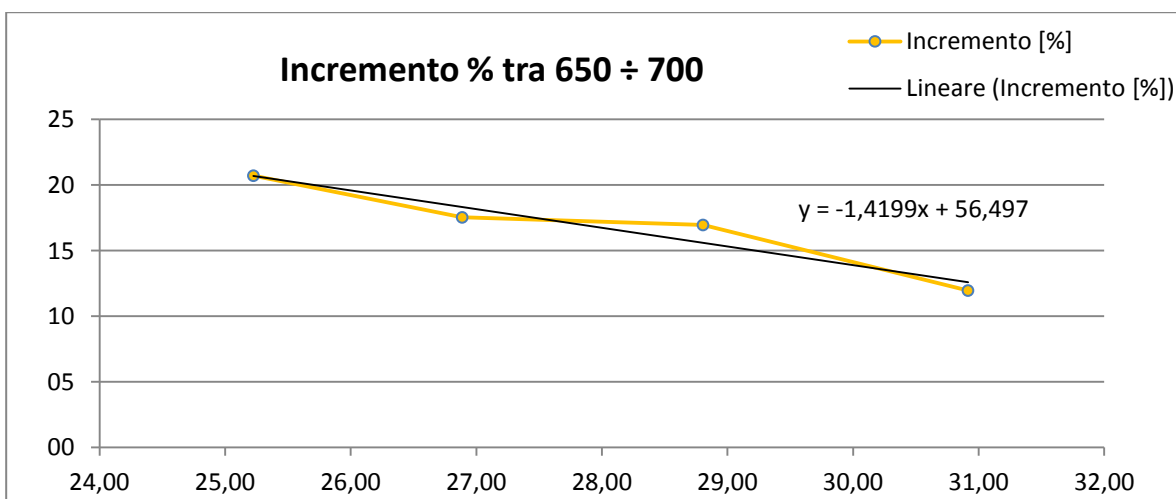


Figura 2-60: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 650 ÷ 700 W/m² di irraggiamento solare

700 ÷ 750 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
24 ÷ 26	25,32	24,9	25,14	0,1	0,132	74	54	32,0
26 ÷ 28	27,44	27,25	27,41	0,108	0,129	359	66	19,4
28 ÷ 30	29,15	29,22	29,16	0,113	0,129	531	43	14,2
30 ÷ 32	30,77	31,24	30,80	0,113	0,129	312	18	14,2

Tabella 2-31: Intervallo di irraggiamento solare 700 ÷ 750 W/m²

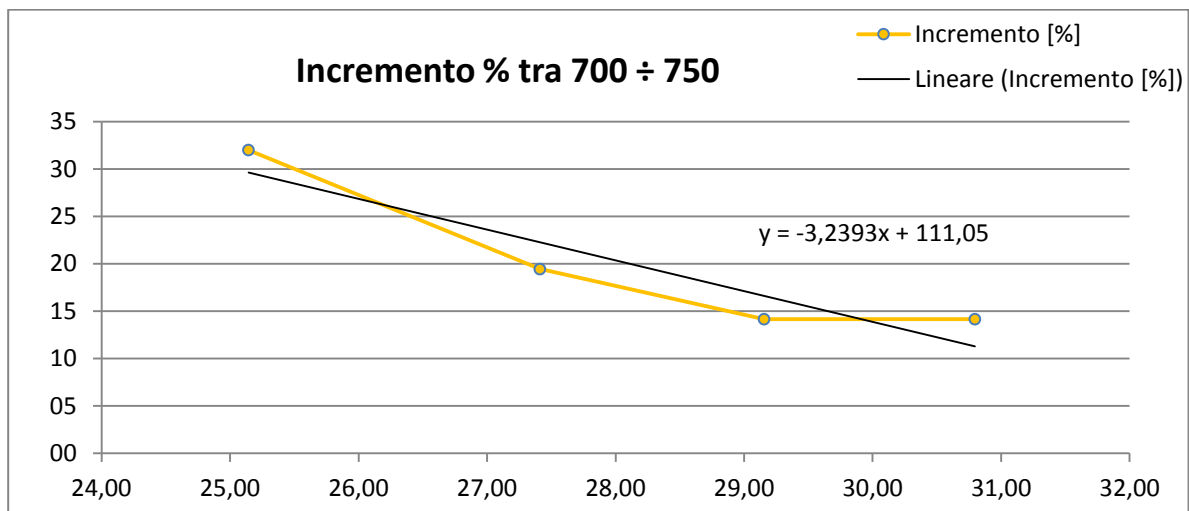


Figura 2-61: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 700 ÷ 750 W/m² di irraggiamento solare

750 ÷ 800 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
26 ÷ 28	27,26	27,12	27,17	0,101	0,124	77	159	22,8
28 ÷ 30	29,07	28,88	29,06	0,112	0,126	351	25	12,5
30 ÷ 32	30,97	30,89	30,96	0,114	0,127	585	59	11,4

Tabella 2-32: Intervallo di irraggiamento solare 750 ÷ 800 W/m²

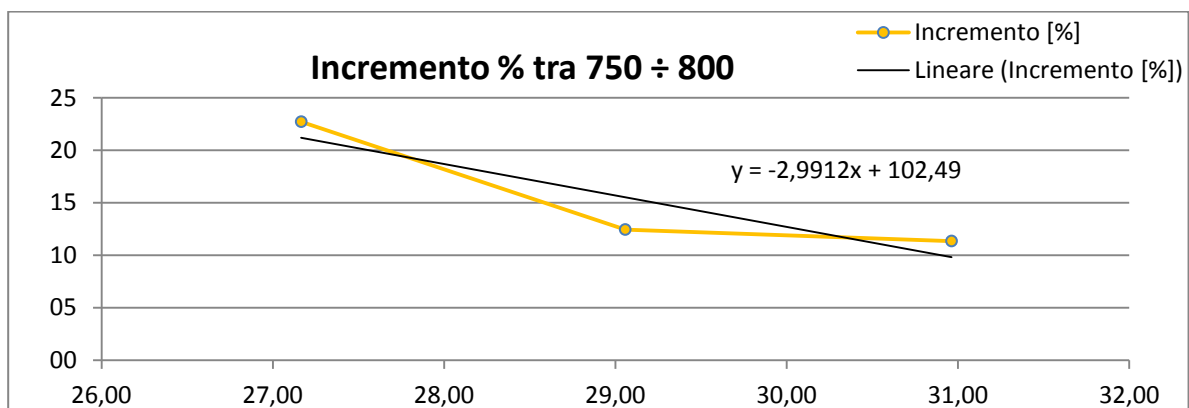


Figura 2-62: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 750 ÷ 800 W/m² di irraggiamento solare

800 ÷ 850 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
26 ÷ 28	27,41	26,96	27,07	0,094	0,126	20	62	34,0
28 ÷ 30	28,89	29,09	29,01	0,106	0,125	66	95	17,9
30 ÷ 32	30,78	31,04	30,80	0,113	0,124	76	7	9,7

Tabella 2-33: Intervallo di irraggiamento solare 800 ÷ 850 W/m²

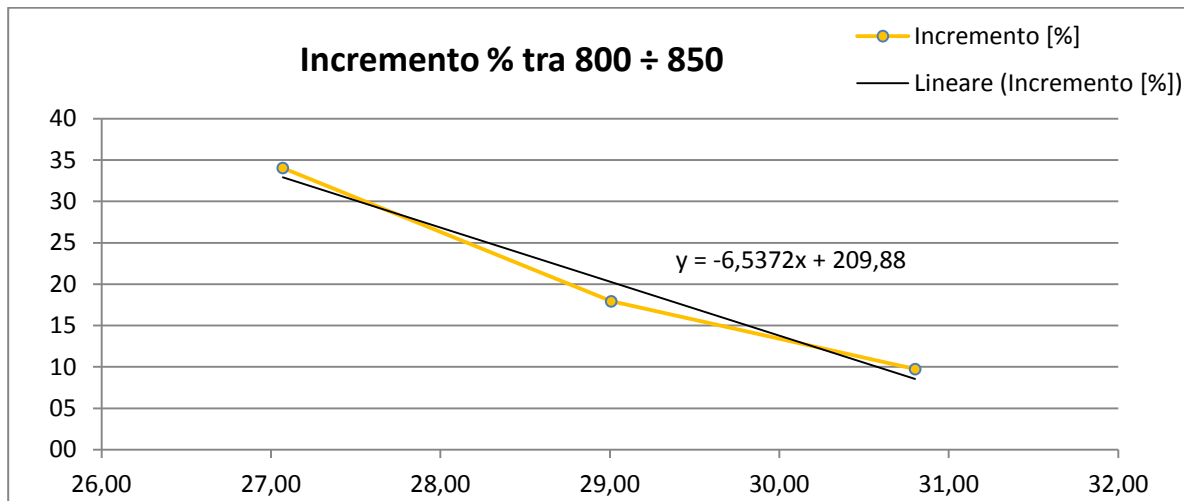


Figura 2-63: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 800 ÷ 850 W/m² di irraggiamento solare

Le equazioni trovate saranno riutilizzate nel capitolo 3 (Attività modellistica) per il calcolo dell'incremento di rendimento annuo dell'impianto fotovoltaico ottenibile grazie all'abbattimento della temperatura delle celle per effetto dell'azione del sistema di raffreddamento.

I risultati ottenuti sono frutto di test vincolati alla frequenza di irrigazione dettata dalla centralina dell'impianto idrico, che non ha permesso di ottimizzare i tempi di bagnatura dei pannelli ed il numero di cicli di irrigazione. Eseguendo un intervento di sostituzione della centralina, in modo da garantire una maggiore flessibilità di programmazione, sarà possibile trovare il set-up ottimale, che consenta di diminuire il salto di temperatura dei moduli fotovoltaici che si verifica tra prima e dopo l'azione di raffreddamento, aumentando così l'incremento percentuale puntuale di rendimento e, di conseguenza, la produzione annua di energia elettrica.

2.3.3.6. ESPERIMENTO SULL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI FOTOCROMO

La Fotocromo Emiliana (s.r.l.) è un'azienda di Castel San Pietro Terme che opera nel settore della fotolitografia. Il 25/11/2009 è avvenuta la messa in servizio dell'impianto fotovoltaico, commissionato dalla suddetta azienda e installato sulla copertura dello stabile di proprietà di Fotocromo.

In tabella 2-34 sono riportati i dati generali dell'impianto fotovoltaico:

DATI GENERALI IMPIANTO FOTOVOLTAICO FOTOCROMO		
Potenza nominale totale	464,80	kW
Messa in servizio dell'impianto	25/11/2009	
Latitudine	44°43' N	
Longitudine	11°52' E	
Altitudine	0,0	m. s. m.
Numero inverter	3	
Numero falde	3	
Inclinazione falda numero 1	30°	
Inclinazione falda numero 2	44°	
Inclinazione falda numero 3	10°	

Tabella 2-34: Dati generali impianto fotovoltaico Fotocromo

Inoltre l'impianto è fornito di un impianto d'irrigazione che copre la totalità dei moduli fotovoltaici, i quali hanno le seguenti caratteristiche:

SUNPOWER: MODULO FOTOVOLTAICO 225		
DATI ELETTRICI		
Potenza di picco (Pmax)	225	Wp
Tensione nominale (Vmp)	41,0	V
Corrente nominale (Imp)	5,49	A
Tensione a circuito aperto (Voc)	48,5	V
Corrente di cortocircuito (Isc)	5,87	A
Tensione massima del sistema (IEC)	1000	V
Coefficienti di temperatura Potenza	-0,38	%/°C
Coefficienti di temperatura Tensione (Voc)	-132,5	mV/°C
Coefficienti di temperatura Corrente (Isc)	3,5	mA/°C
Tensione nominale del fusibile	20	A
Potenza di picco per area unitaria	181	W/m ²

DATI MECCANICI		
Celle solari	72 celle solari SunPower in silicio monocristallino con tecnologia back-contact	
Vetro anteriore	3,2 mm temprato	
Scatola di giunzione	IP-65 con 3 diodi bypass	
Cavi di uscita	Lunghezza dei cavi 900 mm / connettori Multi-Contact	
Telaio	In lega di alluminio anodizzato tipo 6063	
Peso	15	kg
DIMENSIONI		
Altezza	1559	mm
Larghezza	798	mm
Spessore	46	mm

Tabella 2-35: Modulo fotovoltaico SunPower

Il sistema di raffrescamento presenta irrigatori che irrigano lungo una linea retta e ruotano per coprire l'intera superficie. In questo modo i pannelli non subiranno una bagnatura continua durante un ciclo di irrigazione, ma beneficeranno dell'acqua solo per il tempo di passaggio legato alla rotazione dell'irrigatore.

Come è possibile osservare in tabella 2-34, l'impianto fotovoltaico è composto da tre differenti falde inclinate con un angolazione differente. Per lo studio di ricerca è stato deciso di considerare solamente la falda inclinata a 30° per le seguenti motivazioni:

- La falda a 30° è collegata all'inverter st24 che è completamente dedicato ad essa. Questo permette di avere dati omogenei e di immediata interpretazione in quanto la produzione di energia elettrica è eseguita da pannelli che hanno tutti le stesse caratteristiche fisiche e di posizione
- Per la zona geografica in cui è installato l'impianto, la falda a 30° è quella che più si avvicina all'inclinazione ideale a cui devono essere montati i pannelli per sfruttare al massimo l'irraggiamento solare lungo l'anno solare (inclinazione ideale a Bologna: 33°)
- Essendo la falda con minor numero di pannelli, utilizzando quella a 30° si ha il minor consumo idrico.

Nella seguente tabella sono riportati i dati generali del test effettuato sulla falda a 30° dell'impianto fotovoltaico di Fotocromo:

ESPERIMENTO FOTOCROMO	
Periodo svolgimento esperimento	Dal 12/07/2012 al 20/07/2012 e dal 28/07/2012 al 11/08/2012
Accensione impianto	Ore 12.00
Spegnimento impianto	Ore 15.30
N° cicli di irrigazione giornalieri	21
Durata ciclo di irrigazione	2'
Frequenza accensioni	Ogni 10'

Tabella 2-36: Esperimento impianto fotovoltaico Fotocromo con sistema di raffrescamento attivo

Analogamente allo studio effettuato per il prototipo Genera, per ogni fissato intervallo di temperatura dell'aria esterna, le elaborazioni di seguito riportate, sono state ottenute considerando i dati riferiti a diversi intervalli di radiazione solare:

- Rendimento medio con impianto di raffrescamento attivo (η_m con raff.)
- Rendimento medio con impianto di raffrescamento non attivo (η_m senza raff.)
- Numero di dati considerati per il calcolo del η_m con raff.
- Numero di dati considerati per il calcolo del η_m senza raff.
- Incremento percentuale del rendimento dell'impianto fotovoltaico nelle due modalità di funzionamento.

A differenza dello studio effettuato per il prototipo Genera, il numero di dati acquisiti in Fotocromo è molto limitato e ciò si ripercuote sull'accuratezza dei risultati che si vogliono ottenere. Questo problema è dipeso dal sistema di acquisizione dati, caratterizzato da una frequenza massima pari ad un dato ogni 15 minuti. Il fatto che il valore di potenza elettrica venga rilevato puntualmente e quello di radiazione solare mediato sull'intervallo di 15 minuti, comporta l'impossibilità di monitorare con precisione l'andamento delle variabili ed i cambiamenti dovuti all'azione di raffrescamento compiuta dal sistema in fase di studio. Di conseguenza si verificano errori grossolani, i quali vengono riconosciuti, esclusi e barrati in fase di analisi dei dati (vedi tabelle successive).

24 ÷ 26	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	-	0,149	-	3	-
650 ÷ 700	0,018	0,149	4	8	87,9
700 ÷ 750	0,147	0,147	2	2	0,0
750 ÷ 800	-	0,145	-	4	-
800 ÷ 850	0,123	0,15	2	3	18,0
850 ÷ 900	0,156	-	1	-	-
900 ÷ 950	-	0,152	-	1	-
950 ÷ 1000	-	0,135	-	3	-
1000 ÷ 1050	-	0,136	-	6	-
1050 ÷ 1100	-	0,14	-	1	-

Tabella 2-37: Intervallo di temperatura 24 ÷ 26°C

26 ÷ 28	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,144	0,142	5	12	1,4
650 ÷ 700	0,146	0,15	2	11	2,7
700 ÷ 750	0,144	0,134	2	5	7,5
750 ÷ 800	0,142	0,142	1	3	0,0
800 ÷ 850	0,14	0,14	1	3	0,0
850 ÷ 900	0,142	0,138	1	4	2,9
900 ÷ 950	0,104	0,138	2	3	24,6
950 ÷ 1000	0,137	0,137	2	2	0,0
1000 ÷ 1050	0,134	0,133	3	3	0,8

Tabella 2-38: Intervallo di temperatura 26 ÷ 28°C

28 ÷ 30	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,144	0,148	14	18	2,7
650 ÷ 700	0,146	0,142	13	22	2,8
700 ÷ 750	0,142	0,139	11	17	2,2
750 ÷ 800	0,143	0,145	10	17	1,4
800 ÷ 850	0,142	0,142	13	18	0,0
850 ÷ 900	0,145	0,14	6	18	3,6
900 ÷ 950	0,143	0,14	9	17	2,1
950 ÷ 1000	0,14	0,136	7	22	2,9
1000 ÷ 1050	0,133	0,134	1	5	0,7

Tabella 2-39: Intervallo di temperatura 28 ÷ 30°C

30 ÷ 32	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,14	0,142	10	16	1,4
650 ÷ 700	0,145	0,138	15	16	5,1
700 ÷ 750	0,141	0,138	22	18	2,2
750 ÷ 800	0,143	0,14	16	21	2,1
800 ÷ 850	0,143	0,14	19	19	2,1
850 ÷ 900	0,143	0,136	21	25	5,1
900 ÷ 950	0,138	0,134	21	35	3,0
950 ÷ 1000	0,142	0,13	35	41	9,2
1000 ÷ 1050	0,138	0,126	15	7	9,5

Tabella 2-40: Intervallo di temperatura 30 ÷ 32°C

32 ÷ 34	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,12	0,148	10	12	-18,9
650 ÷ 700	0,15	0,138	10	15	8,7
700 ÷ 750	0,145	0,139	6	11	4,3
750 ÷ 800	0,135	0,132	16	17	2,3
800 ÷ 850	0,131	0,138	11	22	-5,1
850 ÷ 900	0,145	0,141	17	25	2,8
900 ÷ 950	0,141	0,137	32	56	2,9
950 ÷ 1000	0,144	0,131	54	55	9,9
1000 ÷ 1050	0,143	0,101	2	1	41,6

Tabella 2-41: Intervallo di temperatura 32 ÷ 34°C

34 ÷ 36	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,144	0,138	7	12	4,3
650 ÷ 700	0,137	0,134	6	13	2,2
700 ÷ 750	0,14	0,133	13	11	5,3
750 ÷ 800	0,14	0,135	11	15	3,7
800 ÷ 850	0,142	0,139	12	15	2,2
850 ÷ 900	0,136	0,133	10	22	2,3
900 ÷ 950	0,142	0,131	17	39	8,4
950 ÷ 1000	0,142	0,132	36	31	7,6
1000 ÷ 1050	0,137	0,097	4	1	41,2

Tabella 2-42: Intervallo di temperatura 34 ÷ 36°C

36 ÷ 38	η_m con raff.	η_m senza raff.	N° dati con raff	N° dati senza raff.	Incremento [%]
600 ÷ 650	0,139	0,144	1	6	-3,5
650 ÷ 700	0,137	0,143	1	4	-4,2
700 ÷ 750	-	0,131	-	2	-
750 ÷ 800	0,136	0,131	1	1	3,8
800 ÷ 850	0,139	0,138	1	14	0,7
850 ÷ 900	0,12	0,133	4	2	-9,8
900 ÷ 950	0,129	0,132	10	1	-2,3

Tabella 2-43: Intervallo di temperatura 36 ÷ 38°C

Nelle figura 2-68 e 2-69 sono riportati gli andamenti del rendimento della falda a 30° a parità di temperatura dell'aria esterna ed in funzione dell'irraggiamento solare. Gli andamenti sono stati riportati per differenti valori della temperatura dell'aria. Per maggiore chiarezza si specifica che, per la costruzione dei grafici, sono stati considerati tutti i dati di rendimen-

to che sono stati acquisiti, per il primo nella modalità di funzionamento con il sistema di raffrescamento attivo, mentre, per il secondo grafico, con il sistema spento.

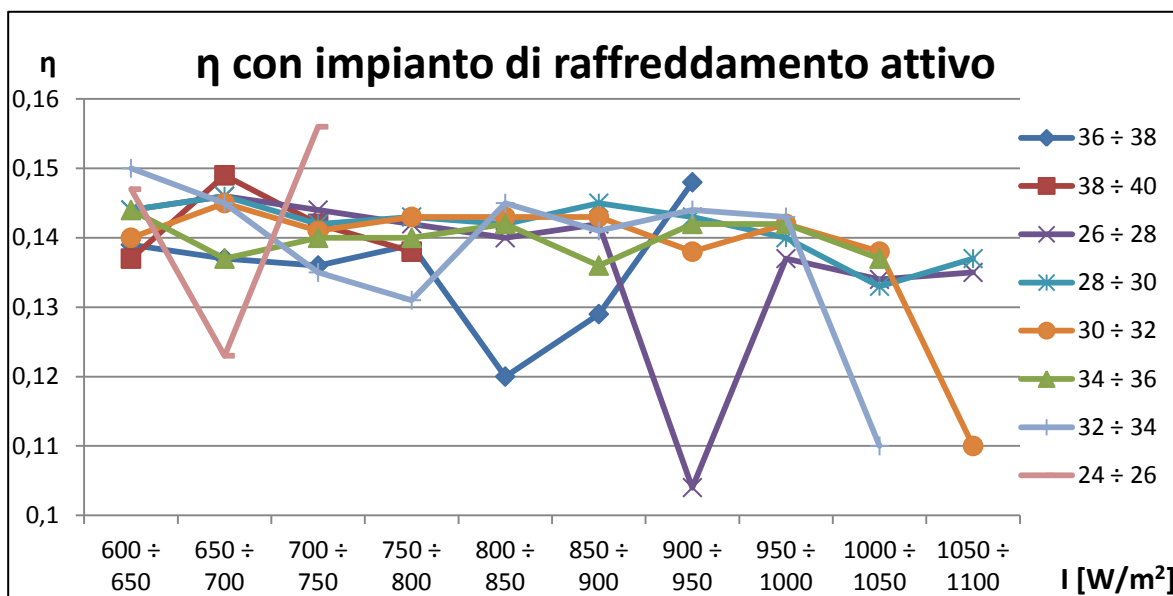


Figura 2-64: Andamenti rendimento con sistema di raffrescamento attivo

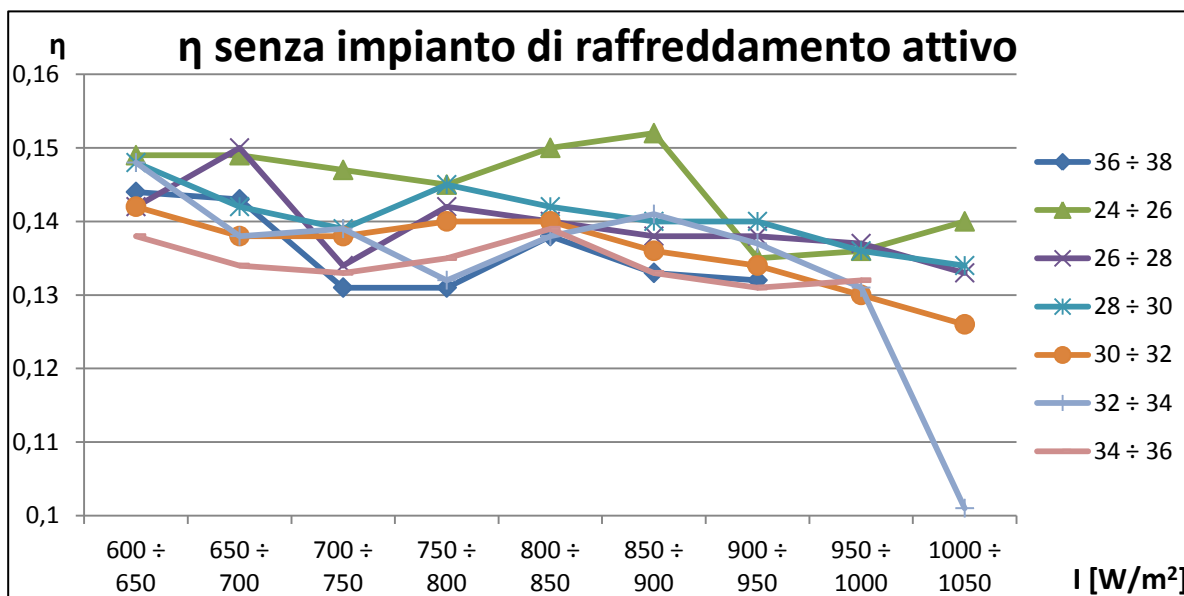


Figura 2-65: Andamenti rendimento con sistema di raffrescamento spento

Successivamente sono stati graficati (dalla figura 2-70 alla figura 2-73) gli andamenti dei rendimenti, ottenuti nelle due modalità di funzionamento dell'impianto fotovoltaico, in funzione della temperatura ambiente. In questi grafici vengono evidenziati sia la differenza di rendimento tra impianto di raffrescamento attivo e spento, sia l'equazione delle linee di tendenza che approssimano bene gli andamenti in funzione delle temperatura ambiente.

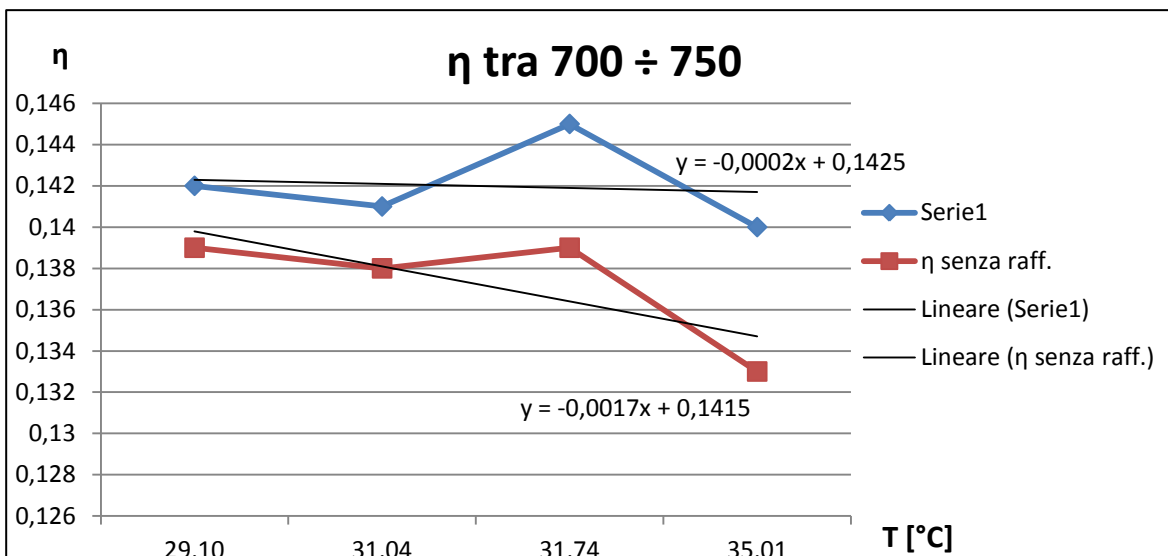


Figura 2-66: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 700 e 750, in funzione della temperatura ambientale

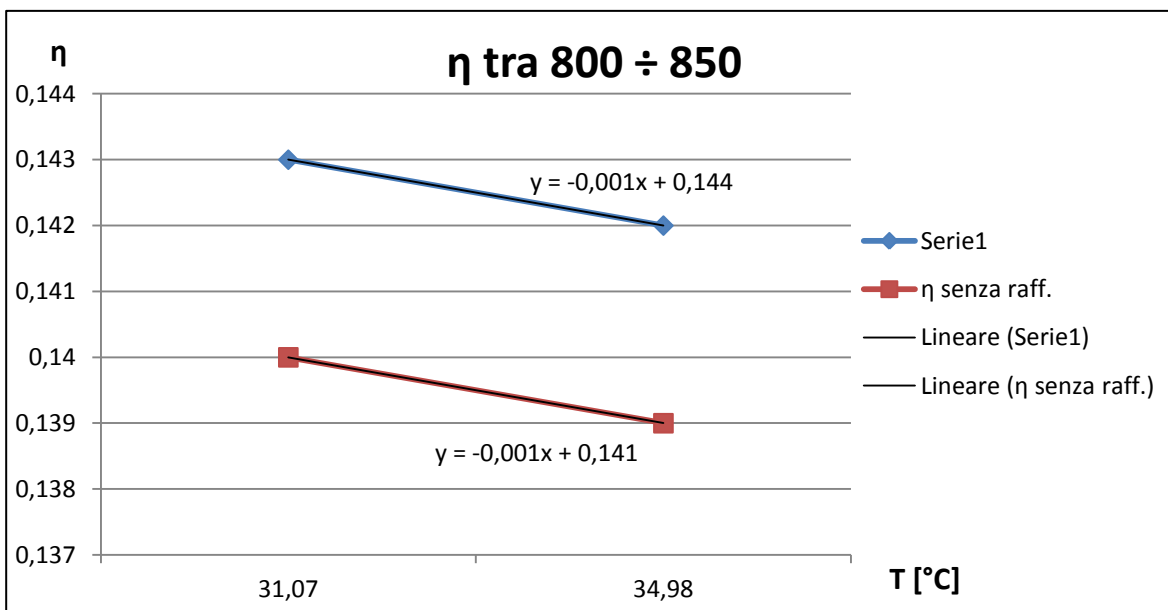


Figura 2-67: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 800 e 850, in funzione della temperatura ambientale

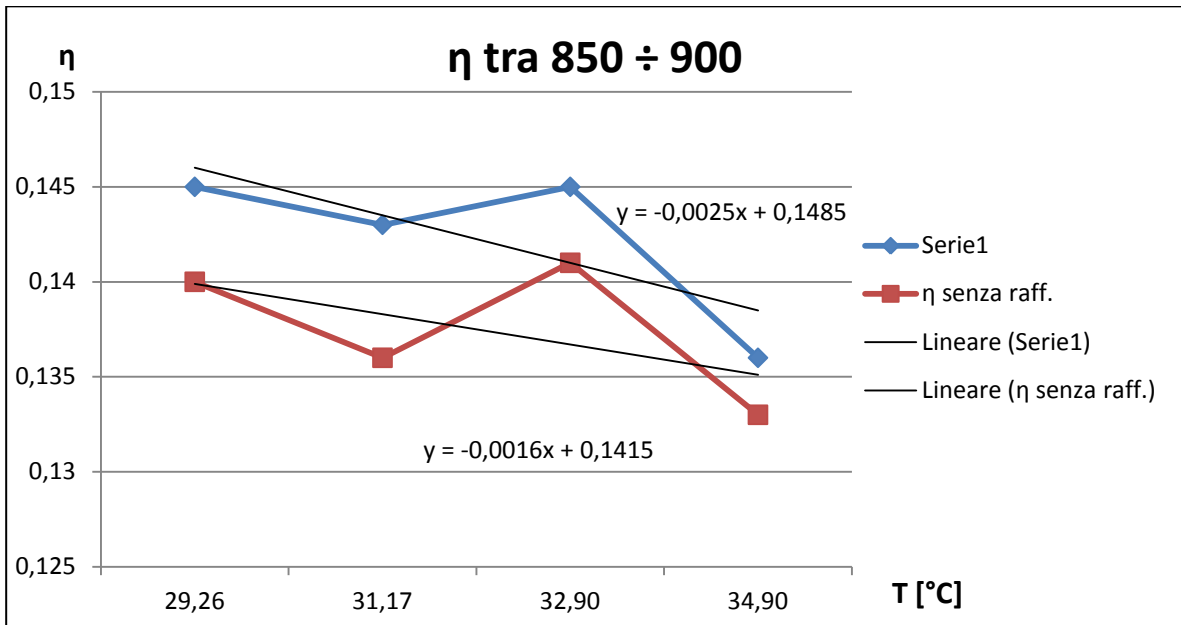


Figura 2-68: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 850 e 900, in funzione della temperatura ambientale

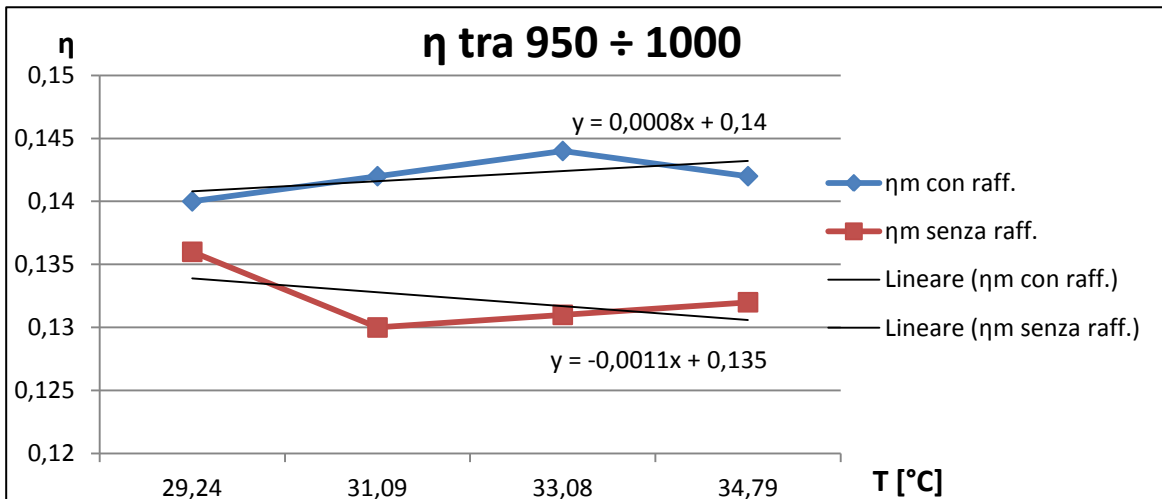


Figura 2-69: Andamento dei rendimenti (con sistema di raffreddamento attivo e spento) nell'intervallo di irraggiamento solare tra 950 e 1000, in funzione della temperatura ambientale

Per determinare l'incremento percentuale che si ottiene installando il sistema di raffreddamento presente sull'impianto fotovoltaico di Fotocromo, sono stati tenuti in considerazione i seguenti dati di entrambe le modalità di funzionamento dell'impianto:

- Rendimento medio calcolato in determinati intervalli di irraggiamento solare e temperatura esterna
- Temperatura media esterna
- Numero di dati a disposizione per i singoli intervalli di dati acquisiti

- Temperatura media pesata in base al numero di dati a disposizione nel caso di sistema di raffrescamento attivo e spento.

Le successive otto tabelle riportano i suddetti dati per gli intervalli d'irraggiamento considerati e vengono accompagnati dai grafici degli andamenti dell'incremento percentuale del rendimento in funzione della temperatura esterna.

600 ÷ 650 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	ηm con raff.	ηm senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
26 ÷ 28	27,36	27,14	27,20	0,144	0,142	5	12	1,4
34 ÷ 36	34,91	34,74	34,80	0,144	0,138	7	12	4,3

Tabella 2-44: Intervallo di irraggiamento solare 600 ÷ 650 [W/m²]

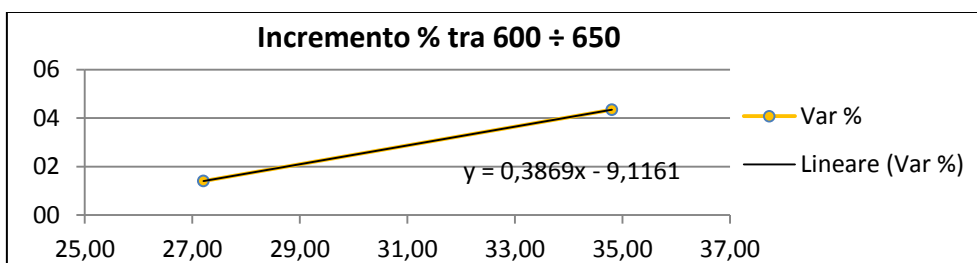


Figura 2-70: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 600 ÷ 650 [W/m²] di irraggiamento solare

650 ÷ 700 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	ηm con raff.	ηm senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
28 ÷ 30	29,15	29,13	29,14	0,146	0,142	13	22	2,8
30 ÷ 32	30,77	30,92	30,85	0,145	0,138	15	16	5,1
32 ÷ 34	33,07	32,95	33,00	0,15	0,138	10	15	8,7
34 ÷ 36	34,98	34,9	34,93	0,137	0,134	6	13	2,2

Tabella 2-45: Intervallo di irraggiamento solare 650 ÷ 700 [W/m²]

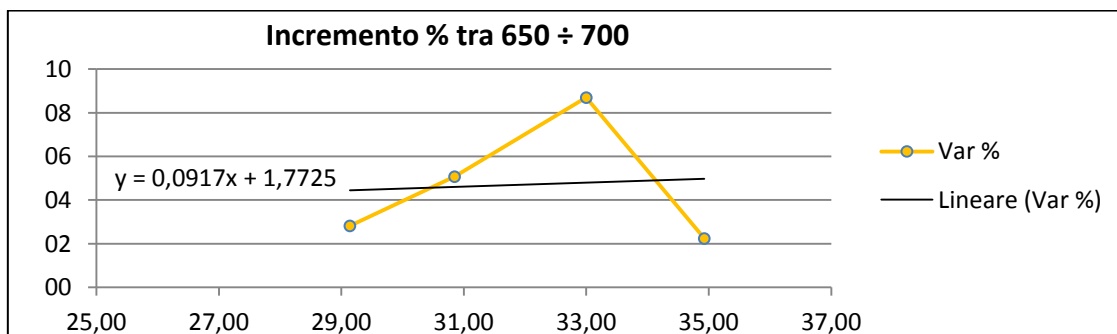


Figura 2-71: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 650 ÷ 700 [W/m²] di irraggiamento solare

700 ÷ 750 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	ηm con raff.	ηm senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
28 ÷ 30	29,06	29,13	29,10	0,142	0,139	11	17	2,2
30 ÷ 32	30,96	31,14	31,04	0,141	0,138	22	18	2,2
32 ÷ 34	32,9	31,1	31,74	0,145	0,139	6	11	4,3
34 ÷ 36	35,07	34,93	35,01	0,14	0,133	13	11	5,3

Tabella 2-46: Intervallo di irraggiamento solare 700 ÷ 750 [W/m²]

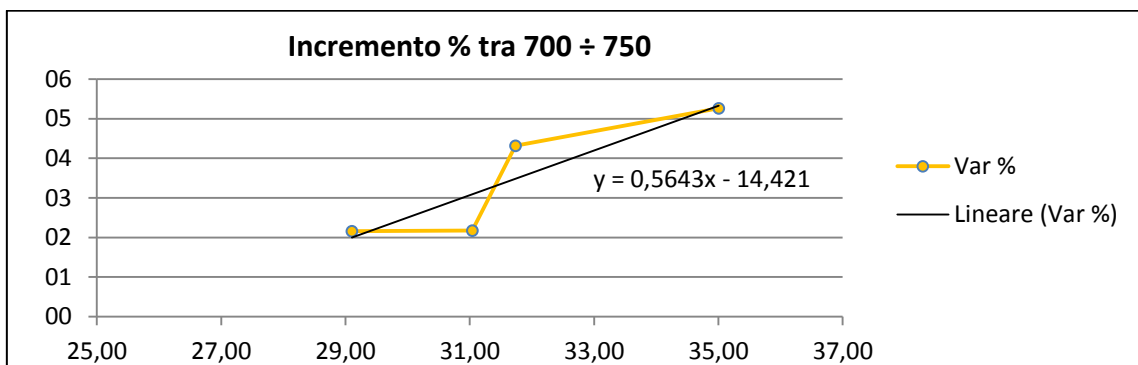


Figura 2-72: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 700 ÷ 750 [W/m²] di irraggiamento solare

750 ÷ 800 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	ηm con raff.	ηm senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
30 ÷ 32	30,89	30,92	30,91	0,143	0,14	16	21	2,14
32 ÷ 34	33,16	33	33,08	0,135	0,132	16	17	2,27
34 ÷ 36	35,1	34,79	34,92	0,14	0,135	11	15	3,70

Tabella 2-47: Intervallo di irraggiamento solare 750 ÷ 800 [W/m²]

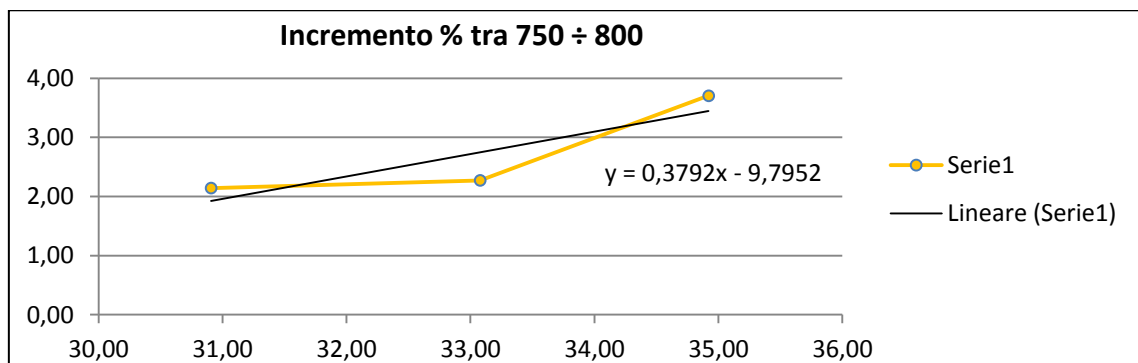


Figura 2-73: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 750 ÷ 800 [W/m²] di irraggiamento solare

800 ÷ 850 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	ηm con raff.	ηm senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
30 ÷ 32	31,07	31,06	31,07	0,143	0,14	19	19	2,1
34 ÷ 36	35,02	34,95	34,98	0,142	0,139	12	15	2,2

Tabella 2-48: Intervallo di irraggiamento solare 800 ÷ 850 [W/m²]

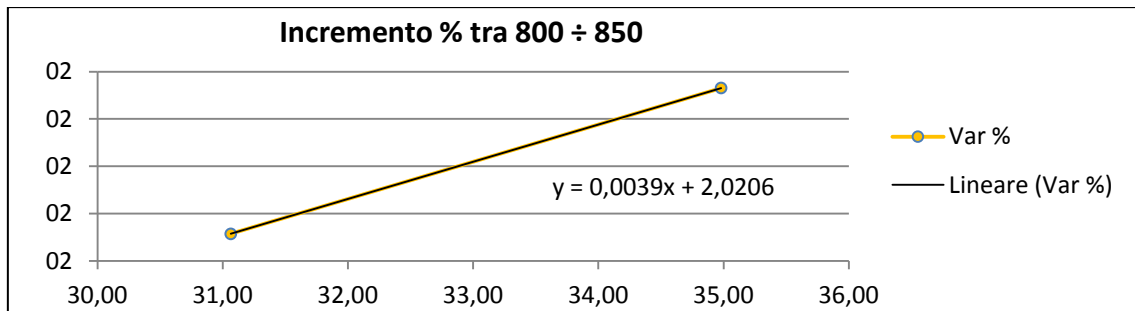


Figura 2-74: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 800 ÷ 850 [W/m²] di irraggiamento solare

850 ÷ 900 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	ηm con raff.	ηm senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
28 ÷ 30	29,12	29,3	29,26	0,145	0,14	6	18	3,6
30 ÷ 32	31,15	31,19	31,17	0,143	0,136	21	25	5,1
32 ÷ 34	32,75	33,01	32,90	0,145	0,141	17	25	2,8
34 ÷ 36	35,06	34,82	34,90	0,136	0,133	10	22	2,3

Tabella 2-49: Intervallo di irraggiamento solare 850 ÷ 900 [W/m²]

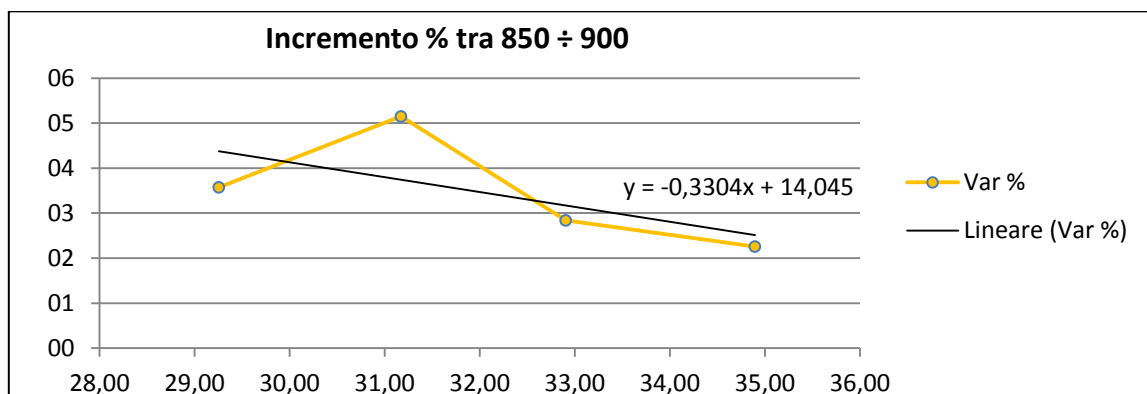


Figura 2-75: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 850 ÷ 900 [W/m²] di irraggiamento solare

900 ÷ 950 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	ηm con raff.	ηm senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
28 ÷ 30	29,12	28,96	29,02	0,143	0,14	9	17	2,1
30 ÷ 32	31,27	31	31,10	0,138	0,134	21	35	3,0
32 ÷ 34	33,11	33,06	33,08	0,141	0,137	32	56	2,9
34 ÷ 36	35,34	34,93	35,05	0,142	0,131	17	39	8,4

Tabella 2-50: Intervallo di irraggiamento solare 900 ÷ 950 [W/m²]

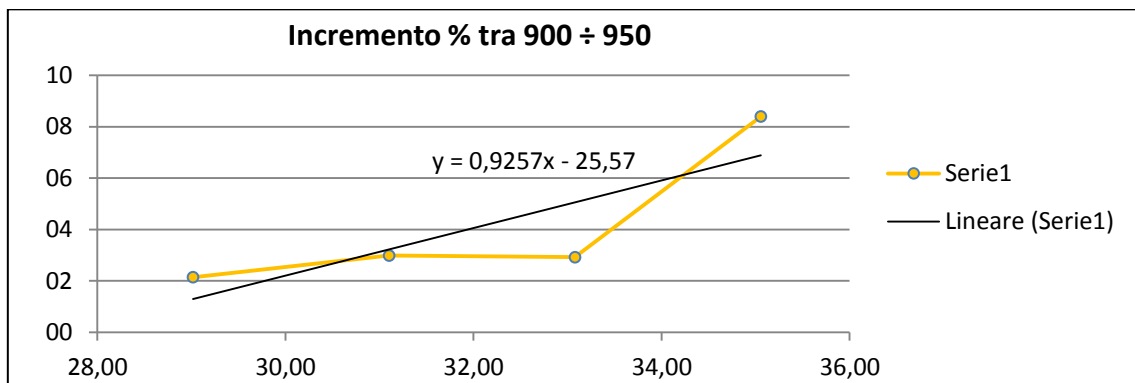


Figura 2-76: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 900 ÷ 950 [W/m²] di irraggiamento solare

950 ÷ 1000 [W/m ²]	Tmedia con raff.	Tmedia senza raff.	Tmedia pesata	ηm con raff.	ηm senza raff.	N° dati con raff.	N° dati senza raff.	Incremento [%]
28 ÷ 30	29,69	29,1	29,24	0,14	0,136	7	22	2,9
30 ÷ 32	30,99	31,18	31,09	0,142	0,13	35	41	9,2
32 ÷ 34	33,16	33	33,08	0,144	0,131	54	55	9,9
34 ÷ 36	34,74	34,85	34,79	0,142	0,132	36	31	7,6

Tabella 2-51: Intervallo di irraggiamento solare 950 ÷ 1000 [W/m²]

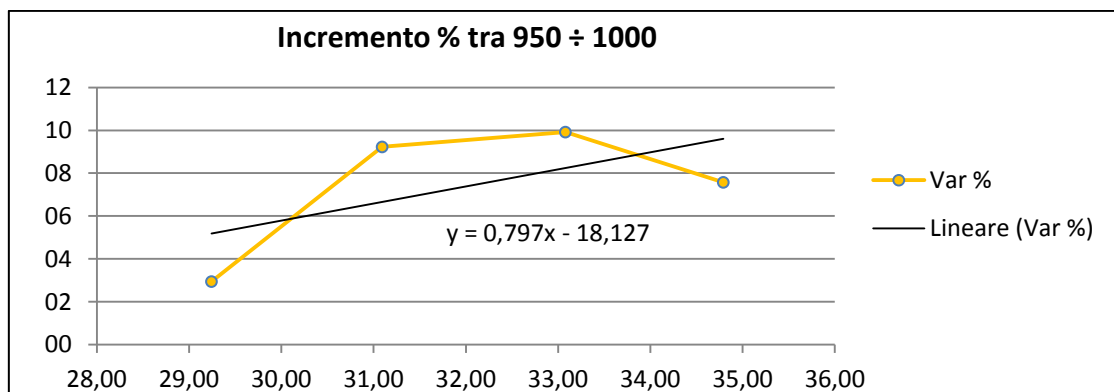


Figura 2-77: Andamento dell'incremento percentuale del rendimento tra 950 ÷ 1000 [W/m²] di irraggiamento solare

I grafici e le equazioni, che descrivono la linea di tendenza, evidenziano che, con la quantità di dati a disposizione per l'impianto Fotocromo, i valori di incremento del rendimento sono falsati dal fatto che non si riesce a rilevare l'andamento del rendimento correttamente. Di conseguenza si consiglia di utilizzare i risultati ottenuti dagli esperimenti FV-1, FV-2 e FV-3, eseguiti sul prototipo Genera, i quali possono essere considerati validi, a parità di condizioni di funzionamento, per impianti fotovoltaici di taglie differenti.

3. ATTIVITA' MODELLISTICA

Lo studio di ricerca relativo all'influenza del sistema di raffrescamento sulla produzione annua di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico, si conclude con l'attività modellistica. Essa è composta da tre fasi distinte:

- Creazione del modello dinamico (tramite TRNSYS 16) dell'impianto idrico per determinare la gestione dell'acqua e dimensionare la cisterna da interrare per la raccolta delle acque meteorologiche e di quelle di sistema
- Creazione del modello dinamico (tramite TRNSYS 16) dell'impianto fotovoltaico del prototipo Genera per valutare la produzione di energia elettrica in un anno meteorologico tipo (Test Reference Year)
- Estensione dei dati trovati durante la fase di sperimentazione ed estenderli a tutto l'anno, calcolando l'incremento di produzione annua che si ottiene con la presenza del sistema di raffrescamento dei moduli fotovoltaici.

3.1. TRNSYS

TRNSYS è un programma di simulazione dinamica con una struttura modulare. Esso riconosce un linguaggio di descrizione di sistema in cui l'utente specifica i componenti che costituiscono il sistema ed il modo in cui sono collegati. La biblioteca TRNSYS include molti dei componenti che si trovano comunemente nei sistemi di energia termica ed elettrica, nonché di componenti per gestire l'input dei dati meteorologici e l'output dei risultati della simulazione. La natura modulare del programma garantisce una grande flessibilità e facilita l'integrazione di modelli matematici non inclusi nella libreria standard di TRNSYS. Il software è adatto ad analisi dettagliate di ogni sistema il cui comportamento dipende dal trascorrere del tempo. TRNSYS è diventato uno dei programmi di riferimento per i ricercatori e gli ingegneri di tutto il mondo e le principali applicazioni sono:

- Sistemi solari (solare termico e fotovoltaico)
- Edifici a basso consumo energetico
- Sistemi HVAC
- Sistemi energie rinnovabili
- Cogenerazione
- Celle
- Combustibile

3.2. GESTIONE ACQUA E DIMENSIONAMENTO CISTERNA

L'intero sistema non può prescindere dall'utilizzo dell'acqua raccolta dalle precipitazioni atmosferiche e da quella che si riesce a recuperare quando si è nelle condizioni di impianto di raffrescamento attivo. Per questo motivo si è deciso di creare un modello che simuli il fabbisogno idrico orario che caratterizza il prototipo Genera durante un anno tipo.

Facendo riferimento al ciclo dell'acqua descritto al paragrafo 2.1.7., in figura 3-1 è possibile osservare l'interfaccia grafica del software TRNSYS che descrive esattamente il prototipo Genera.

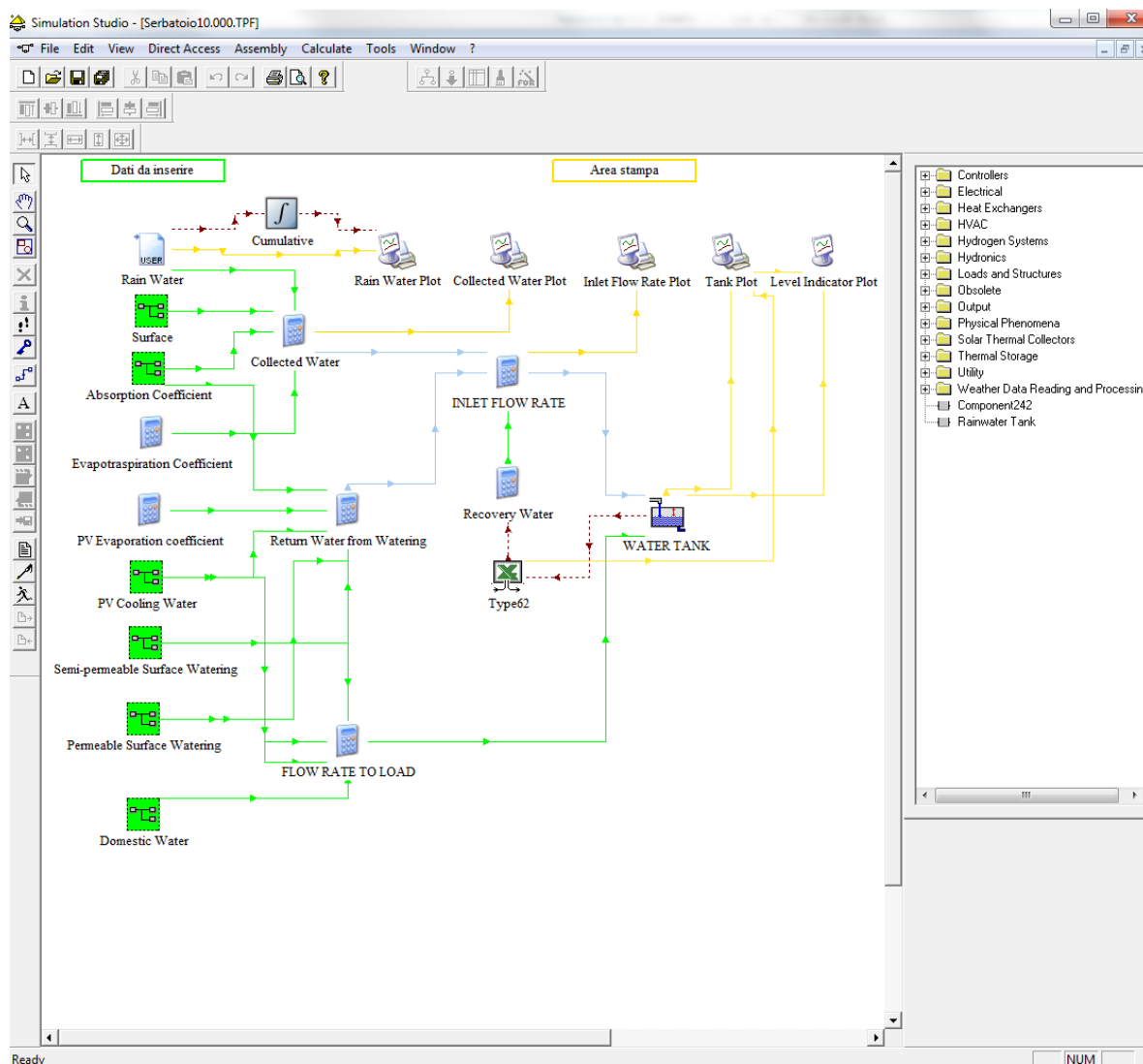


Figura 3-1: Modello dinamico che simula la gestione dell'acqua del prototipo Genera

Il modello è suddivisibile in tre macro-aree:

- Area di inserimento dati, la quale è composta da tutti i type (il type è il nome che viene utilizzato per identificare ogni componente all'interno del software, es. type62 identifica una interfaccia Excel di calcolo) da cui partono le frecce di colore verde
- Area di stampa, la quale è composta da tutti i type a cui arrivano le frecce di colore giallo
- Area di processo o di calcolo, la quale è composta dal type che simula il funzionamento della cisterna (Water Tank) e dai type da cui partono le frecce di colore azzurro.

L'area di inserimento dati è la zona in cui vengono inseriti tutti i coefficienti che descrivono i fenomeni fisici nelle condizioni in cui il sistema dovrà lavorare. Di seguito si elencano i principali fattori da inserire:

- Il dato orario delle precipitazioni atmosferiche dell'anno tipo (TRY)
- Le superfici interessate: sup. pannelli fotovoltaici, sup. giardino che deve essere irrigato, sup. tetto verde, etc.
- Il coefficiente di assorbimento per le differenti stratigrafie di terreno
- I coefficienti di evapotraspirazione del tetto verde e di evaporazione dei pannelli fotovoltaici
- I fabbisogni idrici necessari a: irrigazione giardino e tetto verde nei mesi primaverili ed estivi, raffrescamento fotovoltaico nei periodi in cui il sistema è attivo e i fabbisogni di acqua sanitaria durante tutta la durata dell'anno tipo.

Tutti questi dati sono gli input che entrano nelle equazioni contenute nei type dell'area di processo e di calcolo:

- Collected Water: type che simula la portata oraria di acqua raccolta in cisterna dalle precipitazioni atmosferiche
- Return Water from Watering: type che simula la portata oraria di acqua raccolta in cisterna proveniente dall'irrigazione del giardino, del tetto verde e dal raffrescamento dei pannelli fotovoltaici
- Flow Rate to Load: type che simula la portata oraria di acqua richiesta alla cisterna per soddisfare i fabbisogni sopra descritti
- Inlet Flow Rate: type che simula la portata oraria di acqua raccolta in cisterna
- Water Tank: type che simula il funzionamento orario della cisterna regolando il troppo pieno ed il reintegro dall'acquedotto

L'area di stampa include type in grado di rappresentare graficamente gli andamenti di maggior interesse. In figura 3-2 si può osservare il grafico rappresentante le precipitazioni atmosferiche che caratterizzano l'anno tipo: le linee rosse rappresentano i mm di pioggia caduti in un m², caduti in una determinata ora dell'anno; mentre la linea blu rappresenta la cumulata dell'intero anno di precipitazioni in mm.

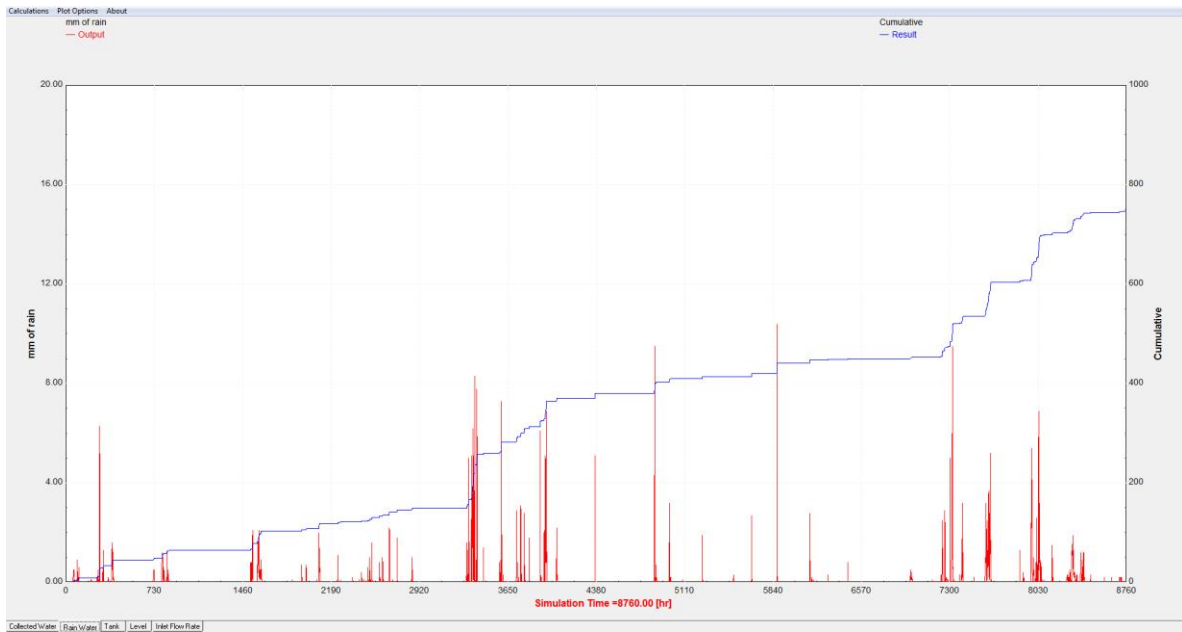


Figura 3-2: Andamento delle precipitazioni anno tipo

3.3. MODELLO DI SIMULAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Per la modellazione dell'impianto fotovoltaico nella libreria di TRNSYS sono presenti type che simulano le varie tipologie di pannelli.

È stato quindi scelto il componente che rappresenta i moduli in Silicio monocristallino ed è stato settato con i dati della scheda tecnica dei pannelli costituenti l'impianto fotovoltaico nel prototipo Genera. In figura 3-3 è possibile osservare l'interfaccia grafica del progetto fotovoltaico:

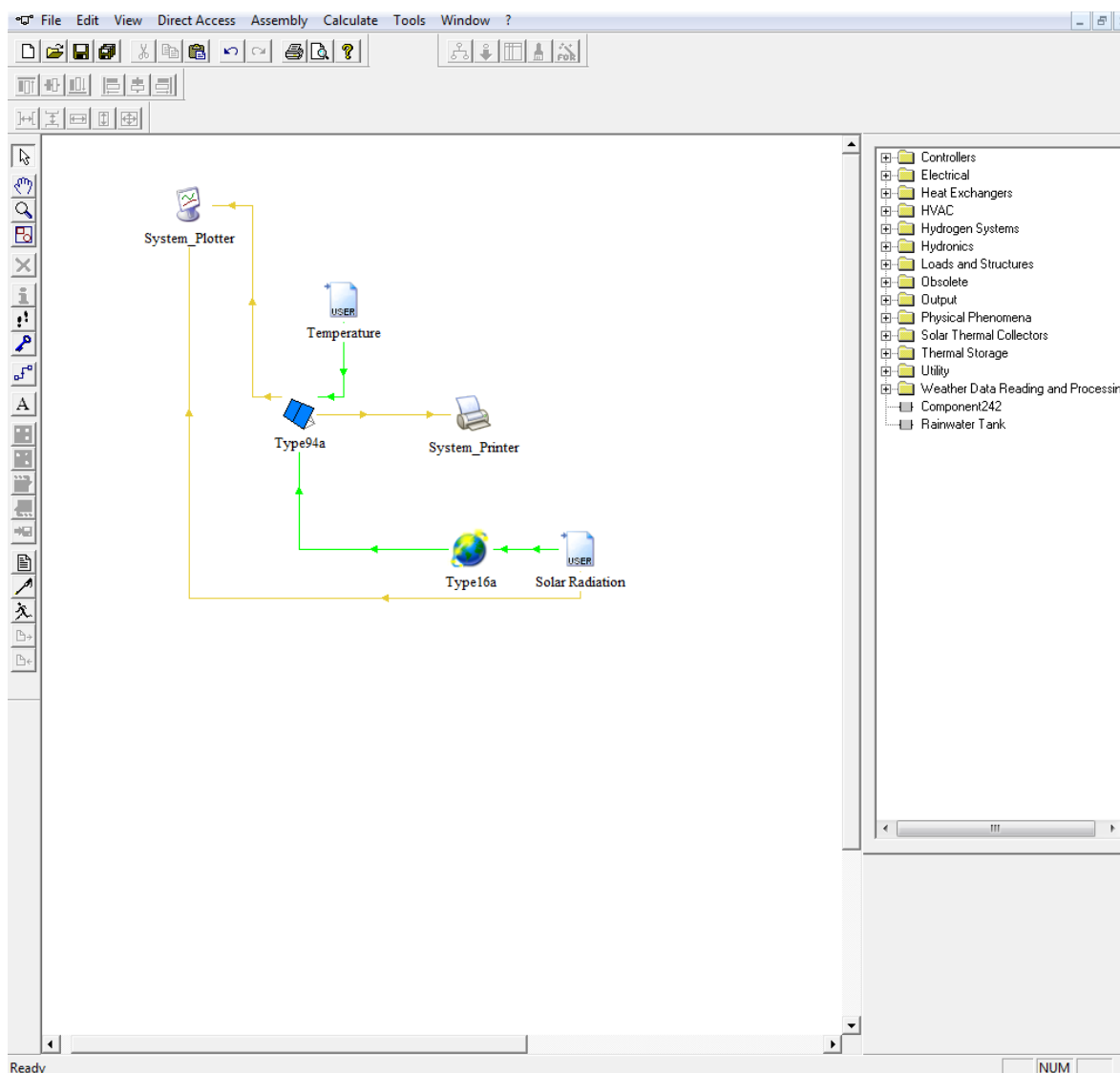


Figura 3-3: Modello dinamico che l'impianto fotovoltaico del prototipo Genera

Il type94a rappresenta l'impianto fotovoltaico il quale, come già illustrato per il modello esposto nel precedente paragrafo, in ingresso ha le frecce di colore verde, che rappresentano gli input forniti al type (irradiazione solare e temperatura esterna) ed in uscita ha le grandezze fisiche che si desiderano graficare (linee di colore giallo).

È di estrema importanza sottolineare che il sistema è stato tarato con i dati storici raccolti tramite i sistemi di misura e acquisizione di cui il prototipo è fornito. Ovvero sono stati inseriti i dati di irraggiamento solare e temperatura esterna di un determinato periodo

dell'anno e si è confrontato lo scostamento fra i dati misurati in situ di produzione fotovoltaica ed il risultato della simulazione. Al fine di ridurre tale scostamento e quindi tarare il modello di simulazione, si è effettuato un "fine tuning", ossia una messa a punto de parametri descrittivi dell'impianto. Eseguita la taratura si è di fronte ad un modello che risponde alle sollecitazioni esterne, quali irraggiamento solare e temperatura aria, fornendo dati di produzione solare prossimi a quelli realmente misurati.

Successivamente, inserendo i dati di irraggiamento solare e di temperatura esterna dell'anno tipo (TRY), si è calcolata la produzione oraria annua di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico del prototipo Genera.

3.4. CALCOLO DELL'INCREMENTO ANNUO DI PRODUZIONE

Per il calcolo dell'incremento annuo di produzione sono state seguite due strade: la prima per valutare il beneficio derivante l'azione di abbassamento della temperatura dei moduli fotovoltaici, grazie alla presenza dell'impianto di raffrescamento, la seconda per ottenere l'incremento di produzione nel caso in cui, oltre al sistema di raffrescamento dei moduli, sia presente il verde pensile in prossimità dell'impianto fotovoltaico. Per tale scopo, è stato preparato un foglio di calcolo Excel che permette di variare le modalità di funzionamento dello stesso.

Nel programma sono stati inseriti i seguenti valori:

- Dati relativi all'anno tipo (TRY) con frequenza oraria: data, ora, temperatura esterna ed irraggiamento solare
- Risultati simulazione dinamica (TRNSYS): sono stati inseriti i dati di potenza oraria, simulati con il modello spiegato nel precedente paragrafo, riferiti all'anno tipo.

Inoltre sono stati inseriti tre fattori che vengono utilizzati per modificare le condizioni di funzionamento del sistema di raffrescamento. Per le ore in cui il sistema risulta attivo, alla rispettiva potenza generata dai pannelli, viene aggiunto un incremento che, seguendo le equazioni che descrivono l'andamento dell'incremento percentuale di produzione di energia elettrica, ed in base all'irraggiamento e alla temperatura esterna in cui ci si trova nella specifica ora del dato giorno, permette di ottenere il valore di potenza generata dai pannelli raffrescati.

I tre fattori con i quali si è in grado di modificare le condizioni di lavoro sono:

- Fattore data
- Fattore ora
- Fattore temperatura.

Per determinare la modalità migliore con cui settare l'impianto di raffrescamento, sono stati verificati cinque differenti casi studio (le condizioni che variano da caso a caso verranno scritte in grassetto):

3.4.1. CASO STUDIO 1 (SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO ATTIVO)

Le condizioni di funzionamento sono:

- Giorni dell'anno in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dal 1 aprile al 30 settembre
- Orari in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dalle 11:00 alle 16:00
- Il sistema si attiva se e solo se la radiazione solare supera i 600 W/m².

Il calcolo dell'aumento di produzione viene eseguito paragonando l'energia elettrica prodotta dall'impianto con e senza l'impianto di raffrescamento attivo, come è possibile visionare di seguito:

quindi

3.4.2. CASO STUDIO 2 (SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO ATTIVO)

Le condizioni di funzionamento sono:

- Giorni dell'anno in cui il sistema di raffrescamento è attivo: **dal 1 gennaio al 31 dicembre**
- Orari in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dalle 11:00 alle 16:00
- Il sistema si attiva se e solo se la radiazione solare supera i 600 W/m².

quindi

3.4.3. CASO STUDIO 3 (SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO ATTIVO)

Le condizioni di funzionamento sono:

- Giorni dell'anno in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dal 1 gennaio al 31 dicembre
- Orari in cui il sistema di raffrescamento è attivo: **dalle 06:00 alle 21:00**
- Il sistema si attiva se e solo se la radiazione solare supera i 600 [W/m²].

quindi

3.4.4. CASO STUDIO 4 (SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO ATTIVO)

Le condizioni di funzionamento sono:

- Giorni dell'anno in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dal 1 gennaio al 31 dicembre
- Orari in cui il sistema di raffrescamento è attivo: **dalle 11:00 alle 16:00**
- Il sistema si attiva se e solo se la radiazione solare supera i **500 [W/m²]**
- Il sistema si attiva se e solo se la temperatura esterna è maggiore o uguale a **25 [°C]**.

quindi

3.4.5. CASO STUDIO 5 (SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO ATTIVO)

Le condizioni di funzionamento sono:

- Giorni dell'anno in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dal 1 gennaio al 31 dicembre
- Orari in cui il sistema di raffrescamento è attivo: **dalle 06:00 alle 21:00**
- Il sistema si attiva se e solo se la radiazione solare supera i 500 [W/m²]
- Il sistema si attiva se e solo se la temperatura esterna è maggiore o uguale a 25 [°C].

quindi

3.4.6. CASO STUDIO 6 (SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO ATTIVO)

Le condizioni di funzionamento sono:

- Giorni dell'anno in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dal 1 gennaio al 31 dicembre
- Orari in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dalle 06:00 alle 21:00
- Il sistema si attiva se e solo se la radiazione solare supera i 500 [W/m²]
- Il sistema si attiva se e solo se la temperatura esterna è maggiore o uguale a **20** [°C].

quindi

3.4.7. CASO STUDIO 7 (PRESENZA DEL VERDE PENSILE E SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO ATTIVO)

Le condizioni di funzionamento sono:

- Giorni dell'anno in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dal 1 gennaio al 31 dicembre
- Orari in cui il sistema di raffrescamento è attivo: dalle 06:00 alle 21:00
- Il sistema si attiva se e solo se la radiazione solare supera i 500 [W/m²]
- Il sistema si attiva se e solo se la temperatura esterna è maggiore o uguale a 20 [°C].

quindi

4. CONCLUSIONI

Il presente studio di ricerca evidenzia come l'azione di abbassamento della temperatura delle celle fotovoltaiche, dovuta alla presenza del verde pensile e all'azione del sistema di raffrescamento installato sul prototipo Genera, comporti un aumento di produttività dell'impianto fotovoltaico. L'incremento percentuale varia secondo la frequenza ed il tempo di bagnatura.

Dai test e dalle elaborazioni effettuati sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- Incremento di produzione annua di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico munito di sistema di raffrescamento dei moduli, rispetto allo stesso in configurazione tradizionale:

- Incremento di produzione annua di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico munito di sistema di raffrescamento e circondato da verde pensile estensivo, rispetto allo stesso in configurazione tradizionale:

I risultati sono stati ottenuti considerando che il sistema di raffrescamento si attivi al verificarsi di due condizioni: la temperatura esterna deve essere maggiore o uguale di 20°C e la radiazione solare deve essere superiore a 500 W/m². Solo il verificarsi della combinazione di queste due condizioni consente l'attivazione del sistema di raffrescamento che rimane in funzione, nella modalità di irrigazione registrata e gestita dalla centralina dell'impianto idrico, fino a quando una delle due non è più verificata.

Sia per un aspetto economico che per uno deontologico, trattandosi di energia da fonti rinnovabile, il sistema può entrare in funzione solo nel momento in cui l'acqua utilizzata per raffreddare i moduli viene rifornita dalla cisterna di accumulo e non acquistata dall'acquedotto.

I risultati ottenuti non tengono conto della spesa energetica per il funzionamento della pompa dell'impianto idrico che si attiva ad ogni ciclo di raffrescamento.

Se questo fattore influenzerà negativamente il risultato, bisogna mettere in evidenza un altro fattore che, al contrario, porta in sé un ulteriore incremento di produzione. Infatti, per i problemi già menzionati di flessibilità della centralina, lo studio di ricerca è rimasto vincolato alla frequenza dei cicli di irrigazione pari a 1 min ogni 30 min. Aumentandola ed ottimizzandola si riuscirà ad ottenere una temperatura media dei pannelli minore di quella attuale, incrementando così il risultato finale.

5. BIBLIOGRAFIA

- Abdolzadeh - Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells - 2009
- Cox Bryce Kevin - The influence of ambient temperature on green roof R-values - 2010
- Czemieli Berndtsson Justyna - Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review - 2009
- Del Barrio Elena Palomo - Analysis of the green roofs cooling potential in buildings - 1997
- Diem Alfred - Integrated rainwater management with green roof - building site "Hohlgrabenaecker" in Stuttgart-Zuffenhausen - 2009
- Eumorfopoulou Ekaterini - The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece 1997
- Hui Sam - Integration of green roof and solar photovoltaic systems 2011
- Jianqiang Gao - Study on the temperature Variation of the water-cooled photovoltaic solar template – 2010
- Koehler Manfred - Energetic aspects of green roofs - 2009
- Koehler Manfred - Energetic effects of green roof to the urban climate near to the ground and to the building surfaces - 2004
- Koehler Manfred - Interaction between pv-systems and extensive green roofs - 2007
- Koehler Manfred - Photovoltaic-panels on greened roofs - positive interaction between two elements of sustainable architecture - 2002
- Koehler Manfred - Urban water retention by greened roofs in temperate and tropical climate
- Koehler Manfred - Using rainwater to cool buildings
- Liu - Thermal performance of green roofs through field evaluation 2003
- Mentens Jeroen - Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? - 2005
- Niachou - Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance - 2001
- Odeh Saad - Improving photovoltaic module efficiency using water cooling - 2009
- Onmura - Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens - 2000
- Roth-Kleyer Stephan - Green roofs as a module of urban water management - 2009
- Sailor David - A green roof model for building energy simulation programs - 2008
- Santamouris - Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green

roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece - 2007

Sarhaddi - Exegetic performance evaluation of a solar photovoltaic (PV) array -2010

Scherba Adam - Modeling the impact of green roof reflectivity, intergrated photovoltaic panels and green roof systems on the summertime heat island - 2011

Schmidt Marco - Rainwater harvesting for mitigating local and global warming - 2009

Sonne Jeffrey - Evaluating green roof energy performance - 2006

Takakuka - Cooling effect of greenery cover over a building - 1998

Wong - The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore - 2002