

La produzione di energia elettrica da pannelli fotovoltaici è fortemente influenzata dall'andamento della temperatura della cella fotovoltaica: maggiore è la temperatura della cella, peggiore è il rendimento dell'impianto. A parità di condizioni di irraggiamento solare, la potenza elettrica generata da una cella subisce un calo compreso fra lo 0,3% e lo 0,5% per ogni grado di aumento della temperatura della cella stessa. Poiché la massima produzione di energia elettrica fotovoltaica avviene durante i mesi primaverili ed estivi, ossia quelli di massimo irraggiamento, è bene adottare sistemi che consentano di limitare l'aumento di temperatura delle celle.

Lo scopo del presente lavoro è quello di dimostrare l'aumento di produzione annua di energia elettrica di un impianto fotovoltaico, grazie alla presenza del verde pensile e del sistema di raffreddamento di pannelli fotovoltaici mediante bagnatura a pioggia programmabile.



Prototipo GENERA: sistema integrato composto da impianto fotovoltaico, verde pensile e sistema di raffreddamento situato a Bologna.

IMPIANTO FOTOVOLTAICO	
Potenza impianto	8,36 kW _p
Numero moduli	48 da 175 W _p /cad.
Superficie totale occupata	63 m ²
Tipologia	Silicio monocristallino
Numero inverter	2

IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO	
Numero ugelli	21
Portata ugello	1,6 l/min.
Durata ciclo di irrigazione	1'
Frequenza accensioni	Ogni 30'

VERDE PENSILE	
Superficie totale occupata	59 m ²
Tipologia verde pensile	Tetto verde estensivo (T.V.)
Tipologia vegetata	Sedum
Spessore della stratigrafia	20 cm

STRUMENTI DI MISURA E DI ACQUISIZIONE DATI

Il prototipo GENERA è dotato dei seguenti strumenti di misura:

- Centralina meteo con sistema di acquisizione dati WeatherLink



- ASFV/TPAN – Sensore di temperatura dei pannelli (PT100)



- Sistema di raccolta e monitoraggio dell'acqua di ritorno dal tetto - «LEM»



- Sistema di acquisizione dati da impianto fotovoltaico MaxTalk

FASE SPERIMENTALE

Sono stati acquisiti i dati di produzione dell'impianto fotovoltaico nelle configurazioni descritte negli esperimenti 1 e 2.

ESPERIMENTO 1

La prima parte della sperimentazione si è occupata di valutare la producibilità dell'impianto fotovoltaico del prototipo GENERA, nelle seguenti condizioni:

- Sistema di raffreddamento dei moduli: non attivo
- Verde pensile: effetto benefico annullato con l'installazione di una guaina bituminosa di colore nero.



Guaina bituminosa nera posata in copertura.

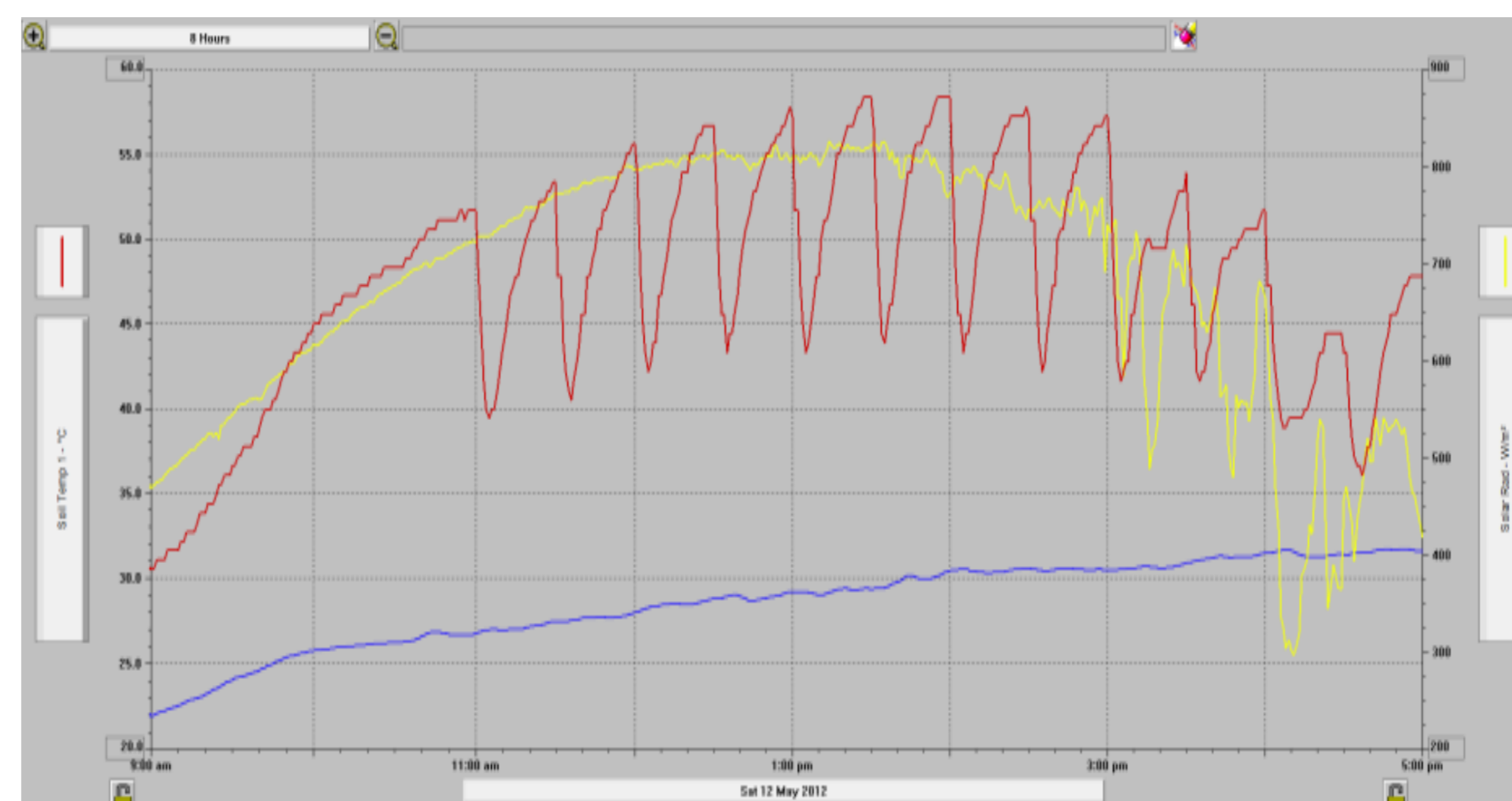
ESPERIMENTO 2

La sperimentazione è seguita con la valutazione della producibilità dell'impianto fotovoltaico del sistema integrato GENERA, nelle seguenti condizioni di funzionamento:

- Sistema di raffreddamento dei moduli: attivo
- Verde pensile: presente.

Nella tabella sottostante vengono riportati i dati relativi alle condizioni di bagnatura dei pannelli.

CONDIZIONI DI BAGNATURA DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI	
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



Andamento della temperatura superficiale della cella fotovoltaica (rosso), della temperatura dell'aria (blu) e dell'irraggiamento solare (giallo) con sistema di raffreddamento attivo di un giorno tipo del periodo di studio (software WeatherLink).



Sistema di raffreddamento in funzione.

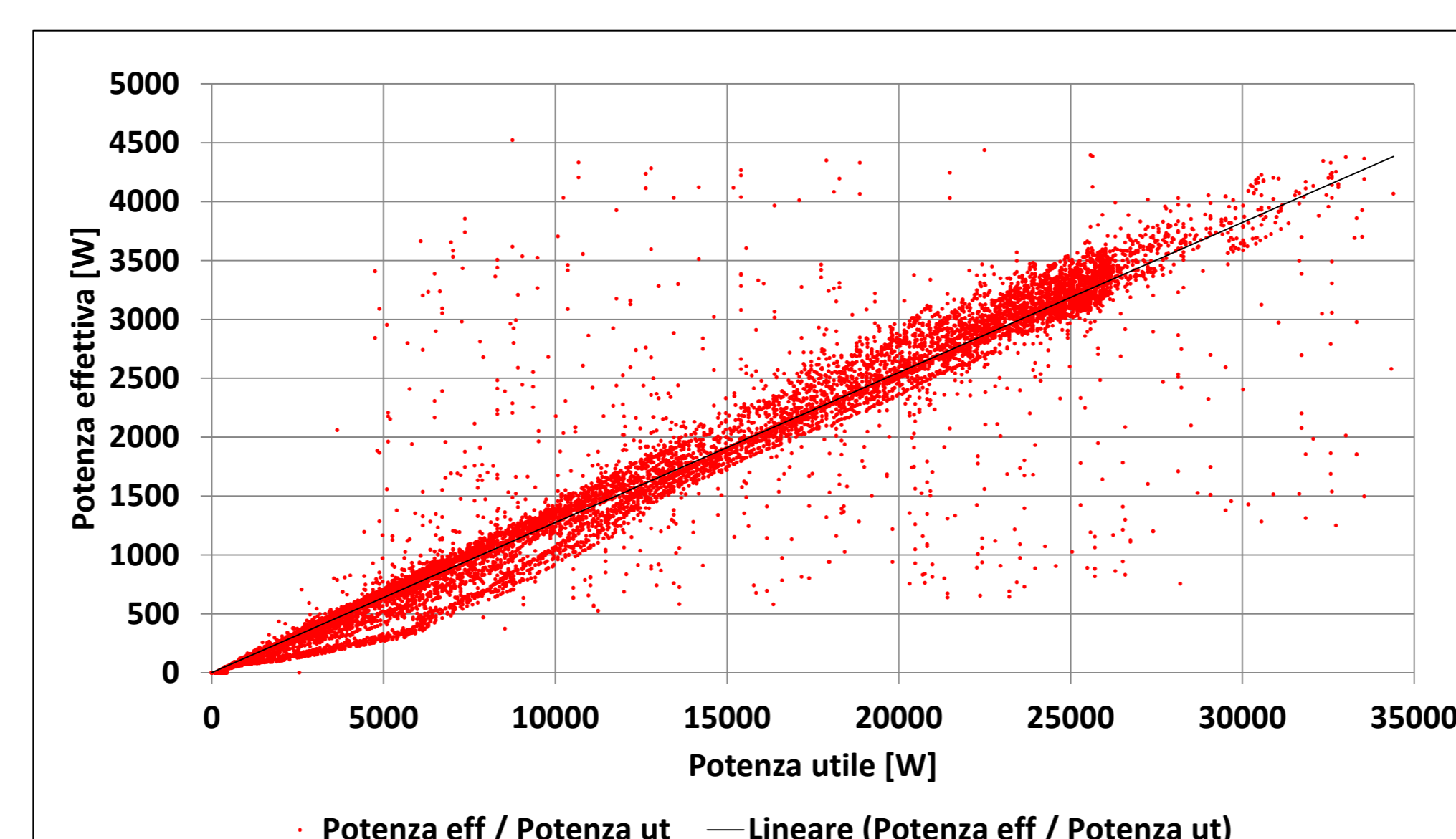
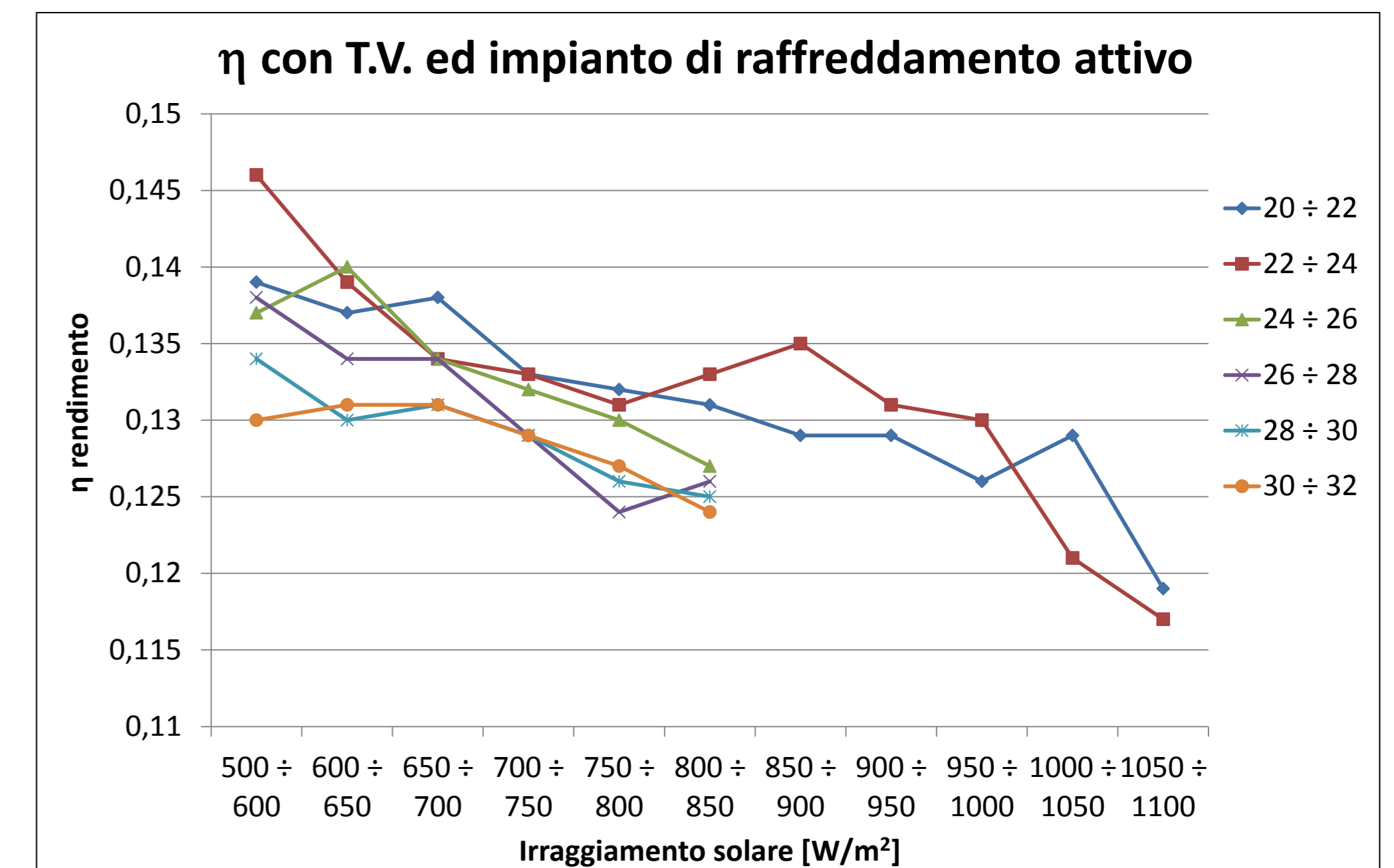


Grafico della potenza utile e della potenza effettiva registrata.

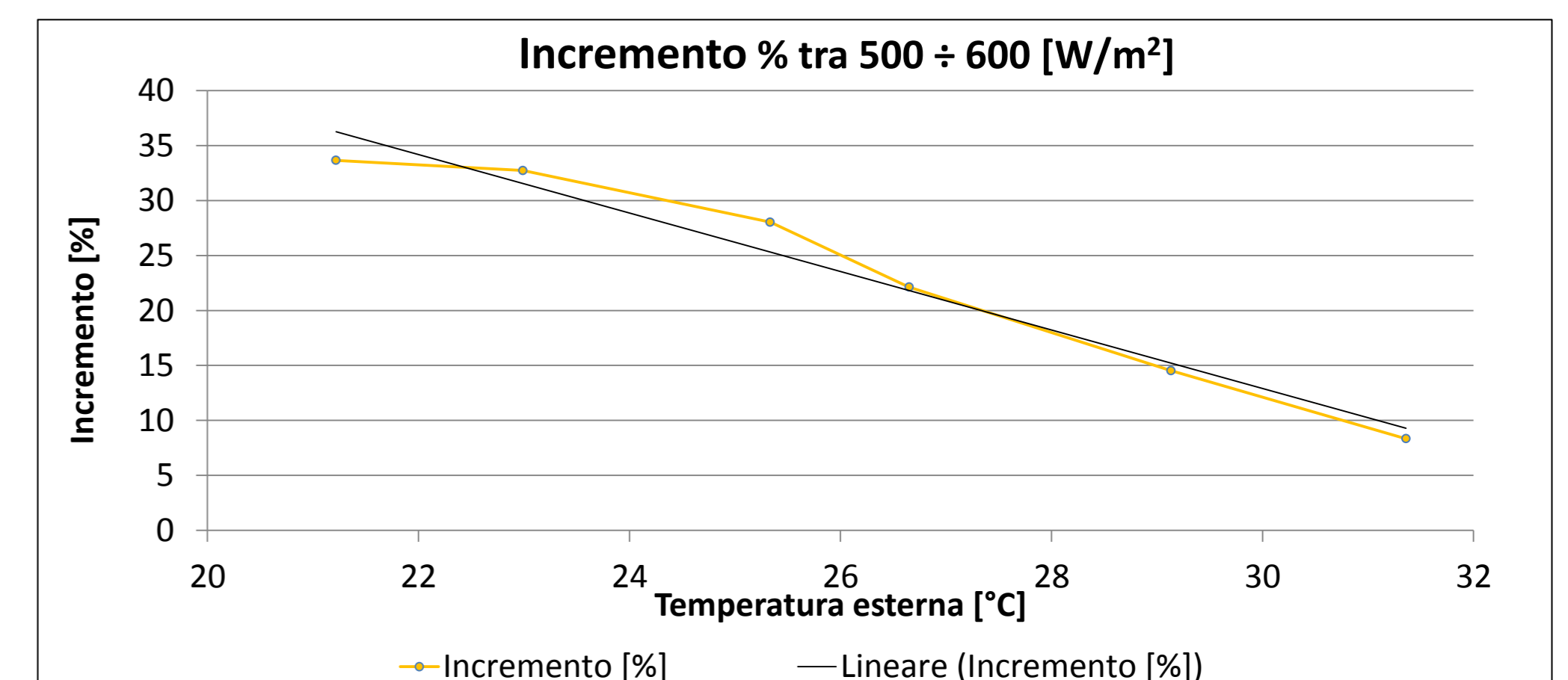


ELABORAZIONE DATI

È stato implementato e tarato un modello di simulazione dinamica per il sistema integrato, per stimare la produzione di energia elettrica nell'arco temporale di un anno. Per la modellazione dell'impianto fotovoltaico è stato utilizzato il software TRNSYS16, in cui sono stati inseriti i dati meteorologici orari di Bologna con tutte le variabili climatiche necessarie per la simulazione.

Dal confronto dei dati acquisiti durante gli esperimenti, sono stati calcolati gli andamenti dell'incremento percentuale di produzione, per determinati intervalli di irraggiamento solare ed in funzione della temperatura esterna.

A titolo di esempio è stato riportato nella figura seguente il grafico di un andamento trovato.



Incremento percentuale nell'intervallo di irraggiamento solare 500 ÷ 600 W/m².

Per calcolare l'aumento di producibilità dovuto alla presenza del verde pensile, in prossimità dell'impianto fotovoltaico, e del sistema di raffreddamento dei moduli, sono stati utilizzati i dati di produzione, risultanti dal modello per la simulazione dinamica del prototipo Genera, e gli incrementi valutati durante la fase sperimentale.

Ipotesi seguite per il sistema di raffreddamento dei pannelli fotovoltaici:

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

Ciascun dato di potenza acquisito, al verificarsi delle suddette ipotesi, è stato incrementato dell'aumento percentuale calcolato. Sono stati così ottenuti i seguenti risultati di energia elettrica prodotta nell'anno di riferimento:

$$EE_{\text{SENZA VERDE PENSILE + SISTEMA DI RAFF. SPENTO}} = EE_1 = 7.639 \text{ kWh}$$

$$EE_{\text{CON VERDE PENSILE + SISTEMA DI RAFF. ATTIVO}} = EE_2 = 8.105 \text{ kWh}$$

quindi

$$\text{VARIAZIONE \% ANNUA} = \frac{EE_2 - EE_1}{EE_1} \times 100 = + 6,09 \%$$

CONCLUSIONI

Il risultato, in termini di aumento percentuale di producibilità dell'impianto fotovoltaico, dovuto alla presenza del verde pensile e del sistema di raffreddamento dei pannelli, è pari al 6,09%.

Le equazioni che descrivono gli incrementi di producibilità sono legate alla frequenza di bagnatura utilizzata durante l'esperimento 2. Ottimizzandola si otterrà una temperatura media dei pannelli minore di quella raggiunta per questo studio, incrementando ulteriormente l'energia elettrica potenzialmente prodotta dall'impianto fotovoltaico.

Per garantire la sostenibilità ambientale, il sistema analizzato nel presente lavoro non può prescindere da un impianto di stoccaggio di acqua piovana e di recupero parziale dell'acqua utilizzata per il raffreddamento dei pannelli.