

Benetti Giovanni 1064565

Corso di Tecnologie delle Energie Rinnovabili

Relazione di Progetto - Sistema Energetico per una Serra Elettricamente Indipendente



1. Presentazione del Progetto

L'obiettivo è quello di sviluppare e simulare un modello di alimentazione energetica, realizzato con il software di TRNSYS, per la gestione dei fabbisogni di una serra di dimensioni ridotte.

Il sistema si basa sull'integrazione di due fonti rinnovabili principali: Pannelli Fotovoltaici e Micro-Turbine Eoliche del tipo Darrieus; verranno scelti nello specifico dimensioni e modelli che saranno in grado di garantire una "conversione" sufficiente in energia elettrica. Tale energia è utilizzata in via prioritaria per il funzionamento di una Pompa di calore aria-acqua, la quale è responsabile della climatizzazione interna della serra.

Il progetto affronta il problema della riduzione della dipendenza dalla rete elettrica attraverso l'uso di tecnologie rinnovabili e sistemi di accumulo. La soluzione proposta risulta particolarmente interessante per applicazioni in ambito privato e semi-industriale (agricolo), laddove la disponibilità di fonti rinnovabili locali può ridurre significativamente i costi energetici e migliorare la sostenibilità complessiva.

2. Componenti Principali

2.1 Pannelli Fotovoltaici

Viene impostata una superficie fotovoltaica installata di circa 80 m² per un totale di 35 moduli fotovoltaici del costruttore 3SUN-Gigafactory. In particolare il modello scelto è il B48-LE del tipo CF-500.

Dal punto di vista tecnico, i moduli scelti presentano una potenza di picco unitaria di 500 Wp (potenza di picco in W) con un rendimento medio superiore al 20%. L'intero campo fotovoltaico raggiunge quindi una potenza di picco complessiva di circa 17.5 kWp.

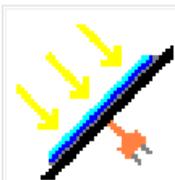
I pannelli adottano tecnologia a celle monocristalline, caratterizzata da alta efficienza anche in condizioni di irraggiamento diffuso, e sono dotati di vetro temperato antiriflesso per massimizzare l'assorbimento solare.

Per quanto riguarda i dettagli simulativi, si è cercato di inserire quante più informazioni contenute nella scheda tecnica dei pannelli all'interno della relativa type, comprendendo quindi dati come: l'efficienza, come questa cambia con la temperatura, la condutività del rivestimento esterno ed il suo spessore.

Scheda Tecnica:

https://www.3sun.com/content/dam/threesun/documents/technical/3SUN_B48%20LE_3SHBGA-CF-495-510_revisione1.2_ITA.pdf

Type:

General	Description	Variables	Files
Object:	Simple Photovoltaic System; Covered and PV Efficiency from Correlations		
Author:	Jeff Thornton		
Organization:	TESS		
Editor:	Jeff Thornton		
Creation Date:	TRNSYS v16.0	Last Modification:	October 2004
Model Type	<input checked="" type="radio"/> Detailed <input type="radio"/> Simplified <input type="radio"/> Empirical <input type="radio"/> Conventional		
Validation	<input checked="" type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input type="checkbox"/> In Assembly		
	Type Number :	562	Add
	Allowed Instances :		Del
	Choose icon ...		
	KeyWords :		
	Collector Electric Photovoltaics Solar		

2.2 Micro-turbine Eoliche

La scelta è ricaduta sulla tipologia Darrieus, modello DS-3000W del distributore ETNEO. Rispetto alle turbine ad asse orizzontale, la soluzione scelta presenta un rendimento inferiore ma una maggiore capacità di funzionare con venti turbolenti e multidirezionali, rendendola adatta a contesti semi-urbani e urbani.

Si è deciso in questo caso di optare “all’installazione” di 4 turbine. Ognuna inizia a lavorare ad un valore di cut-in di circa 2.5 m/s e raggiunge la massima potenza ad un valore di cut-out di 12 m/s; in questo modo si è in grado di generare potenza elettrica all’interno di un range che va da 0.5 kW fino a 12 kW in condizioni nominali.

Anche in questo caso si è cercato di inserire quanti più dettagli tecnici reali all’interno della simulazione, prendendo spunto dalla scheda tencinca dell’elemento, la quale indica dettagliatamente la curva di potenza della turbina.

Scheda Tecnica:

<https://etneo.com/wp-content/uploads/file-etneo/specifiche%20energia/hivawt/Specifiche%20DS3000%20turbina%203000W.pdf>

Type:

General	Description	Variables	Files
Object:	Wind Turbines (WECS)		
Author:	Contributors are listed in the TRNSYS manual		
Organization:	Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison		
Editor:	MKu and TESS		
Creation Date:	1999-10-25	Last Modification:	June 2015
Model Type	<input type="radio"/> Detailed <input checked="" type="radio"/> Simplified <input type="radio"/> Empirical <input type="radio"/> Conventional		
Validation	<input type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input checked="" type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input checked="" type="checkbox"/> In Assembly		
	Type Number :	KeyWords :	
	90	<input type="button" value="Add"/>	
	Allowed Instances :	<input type="button" value="Del"/>	
	<input type="button" value="Choose icon ..."/>	<input type="button" value="▼"/>	

2.3 Batteria e Inverter

Accoppiati al sistema di generazione fotovoltaico, vengono integrati (come da “manuale”): un inverter, necessario alla conversione del tipo di corrente generata dai pannelli (DC) a quella utilizzata negli impianti elettrici (AC) ed un pacco batteria, con lo scopo di massimizzare l'autonomia energetica.

Il pacco batterie scelto è il modello HVE 19.3-1 del costruttore BYD. Esso presenta 3 moduli, ognuno da 6.45 kWh, collegati in serie tra loro, per una capacità totale dichiarata di 19.35 kWh. La scelta è stata fatta secondo una stima preliminare, tale da garantire la copertura di domanda energetica notturna nelle condizioni più rigide possibili di temperatura.

Tra il sistema di carica e generazione, viene “installato” l'inverter consigliato, sempre di casa BYD, Power Box SH5K. Per questo elemento viene fatta la precisazione: nella simulazione si sceglie di dividere in due porzioni la potenza uscente dall'impianto fotovoltaico, questo è necessario per evitare che la potenza di picco di 17.5 kW superi quella massima ammisible dal singolo inverter, equivalente a 9 kW.

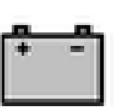
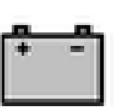
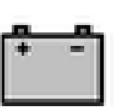
Rispetto agli altri componenti le type utilizzate richiedono meno specifiche, le quali si limitano ad efficienze e capacità massima, di Scarica e Carica delle Batterie.

Schede Tecniche:

https://www.vpsolar.com/download/catalog/Storage/BYD/BYD-Battery-Box-HVE/Datasheet_BYD-Battery-Box-HVE-V1_EN.pdf

https://www.vpsolar.com/download/catalog/Inverter/BYD/BYD-Power-Box/Datasheet_BYD-Power-Box-SH3-6K-V1_EN.pdf

Type:

<table border="1"><tr><th colspan="2">General</th><th>Description</th><th>Variables</th><th>Files</th></tr><tr><td>Object:</td><td colspan="4">Electrical Storage Battery</td></tr><tr><td>Author:</td><td colspan="4">Contributors are listed in manuals</td></tr><tr><td>Organization:</td><td colspan="4">Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison</td></tr><tr><td>Editor:</td><td colspan="4">TESS</td></tr><tr><td>Creation Date:</td><td>2/12/1999</td><td>Last Modification:</td><td colspan="2">February 2016</td></tr><tr><td>Model Type</td><td><input type="radio"/> Detailed</td><td><input checked="" type="radio"/> Simplified</td><td><input type="radio"/> Empirical</td><td><input type="radio"/> Conventional</td></tr><tr><td>Validation</td><td colspan="5"><input checked="" type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input type="checkbox"/> In Assembly</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>Type Number :</td><td>47</td><td>KeyWords :</td><td><input type="text"/></td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>Allowed Instances :</td><td><input type="text"/></td><td>Add</td><td><input type="button" value="Add"/></td></tr><tr><td colspan="2"></td><td></td><td><input type="button" value="Del"/></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>Choose icon ...</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	General		Description	Variables	Files	Object:	Electrical Storage Battery				Author:	Contributors are listed in manuals				Organization:	Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison				Editor:	TESS				Creation Date:	2/12/1999	Last Modification:	February 2016		Model Type	<input type="radio"/> Detailed	<input checked="" type="radio"/> Simplified	<input type="radio"/> Empirical	<input type="radio"/> Conventional	Validation	<input checked="" type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input type="checkbox"/> In Assembly							Type Number :	47	KeyWords :	<input type="text"/>			Allowed Instances :	<input type="text"/>	Add	<input type="button" value="Add"/>				<input type="button" value="Del"/>					Choose icon ...				<table border="1"><tr><th colspan="2">General</th><th>Description</th><th>Variables</th><th>Files</th></tr><tr><td>Object:</td><td colspan="4">Regulator / Inverter</td></tr><tr><td>Author:</td><td colspan="4">Contributors are listed in manuals</td></tr><tr><td>Organization:</td><td colspan="4">Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison</td></tr><tr><td>Editor:</td><td colspan="4">SEL and TESS</td></tr><tr><td>Creation Date:</td><td>2/12/1999</td><td>Last Modification:</td><td colspan="2">June 2015</td></tr><tr><td>Model Type</td><td><input type="radio"/> Detailed</td><td><input checked="" type="radio"/> Simplified</td><td><input type="radio"/> Empirical</td><td><input type="radio"/> Conventional</td></tr><tr><td>Validation</td><td colspan="5"><input checked="" type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input type="checkbox"/> In Assembly</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>Type Number :</td><td>48</td><td>KeyWords :</td><td><input type="text"/></td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>Allowed Instances :</td><td><input type="text"/></td><td>Add</td><td><input type="button" value="Add"/></td></tr><tr><td colspan="2"></td><td></td><td><input type="button" value="Del"/></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>Choose icon ...</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	General		Description	Variables	Files	Object:	Regulator / Inverter				Author:	Contributors are listed in manuals				Organization:	Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison				Editor:	SEL and TESS				Creation Date:	2/12/1999	Last Modification:	June 2015		Model Type	<input type="radio"/> Detailed	<input checked="" type="radio"/> Simplified	<input type="radio"/> Empirical	<input type="radio"/> Conventional	Validation	<input checked="" type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input type="checkbox"/> In Assembly							Type Number :	48	KeyWords :	<input type="text"/>			Allowed Instances :	<input type="text"/>	Add	<input type="button" value="Add"/>				<input type="button" value="Del"/>					Choose icon ...			
General		Description	Variables	Files																																																																																																																															
Object:	Electrical Storage Battery																																																																																																																																		
Author:	Contributors are listed in manuals																																																																																																																																		
Organization:	Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison																																																																																																																																		
Editor:	TESS																																																																																																																																		
Creation Date:	2/12/1999	Last Modification:	February 2016																																																																																																																																
Model Type	<input type="radio"/> Detailed	<input checked="" type="radio"/> Simplified	<input type="radio"/> Empirical	<input type="radio"/> Conventional																																																																																																																															
Validation	<input checked="" type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input type="checkbox"/> In Assembly																																																																																																																																		
		Type Number :	47	KeyWords :	<input type="text"/>																																																																																																																														
		Allowed Instances :	<input type="text"/>	Add	<input type="button" value="Add"/>																																																																																																																														
			<input type="button" value="Del"/>																																																																																																																																
		Choose icon ...																																																																																																																																	
General		Description	Variables	Files																																																																																																																															
Object:	Regulator / Inverter																																																																																																																																		
Author:	Contributors are listed in manuals																																																																																																																																		
Organization:	Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison																																																																																																																																		
Editor:	SEL and TESS																																																																																																																																		
Creation Date:	2/12/1999	Last Modification:	June 2015																																																																																																																																
Model Type	<input type="radio"/> Detailed	<input checked="" type="radio"/> Simplified	<input type="radio"/> Empirical	<input type="radio"/> Conventional																																																																																																																															
Validation	<input checked="" type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input type="checkbox"/> In Assembly																																																																																																																																		
		Type Number :	48	KeyWords :	<input type="text"/>																																																																																																																														
		Allowed Instances :	<input type="text"/>	Add	<input type="button" value="Add"/>																																																																																																																														
			<input type="button" value="Del"/>																																																																																																																																
		Choose icon ...																																																																																																																																	

2.4 Pompa di Calore

Elemento fondamentale per la corretta climatizzazione della serra, viene scelto il modello Aquarea T-CAP Monoblocco Gen.H, Monofase da 9 kW della PANASONIC. Tale macchina possiede un ampio range di temperature a cui può lavorare, partendo da -20°C fino a 60°C, essa è in grado di operare in duplice modalità di riscaldamento e raffrescamento.

All'interno della simulazione, secondo i diversi input e parametri impostati, la pompa emette una carica termica all'interno della serra, positiva quando si tratta di riscaldamento e viceversa negativa per il raffrescamento. A fronte del suo funzionamento è richiesto un determinato consumo elettrico, assecondato seconda una precisa logica (paragrafo successivo), dalle fonti rinnovabili, dalle batterie o anche dalla rete.

Nella type sono state inserite entrambe le curve relative all'Heating ed al Cooling, modellate empiricamente sulla base dei dati presenti nella scheda tecnica. Scelto un punto nominale, sono stati estratti i dati per proporzionamento ed interpolazione laddove possibile, fino a stilare, come da richiesta della type, delle "curve" che relazionano 4: Temperature dell'aria esterna, Temperature di immissione dell'acqua, Frazione della Capacità Termica utilizzata e Frazione della Potenza Massima utilizzata.

Esempio: Curva di Heating

T _{air}	T _{water_in}	Fraction capacity and power
-15	18	!Fraction capacity and power at T _{air} = -15 deg. C and T _{water_in} = 18
-10	18	!Fraction capacity and power at T _{air} = -10 deg. C and T _{water_in} = 18
-5	20	!Fraction capacity and power at T _{air} = -5 deg. C and T _{water_in} = 20
0	20	!Fraction capacity and power at T _{air} = 0 deg. C and T _{water_in} = 20
5	20	!Fraction capacity and power at T _{air} = 5 deg. C and T _{water_in} = 20
10	22	!Fraction capacity and power at T _{air} = 10 deg. C and T _{water_in} = 22
15	22	!Fraction capacity and power at T _{air} = 15 deg. C and T _{water_in} = 22
-15	28	!Fraction capacity and power at T _{air} = -15 deg. C and T _{water_in} = 28
-10	28	!Fraction capacity and power at T _{air} = -10 deg. C and T _{water_in} = 28
-5	30	!Fraction capacity and power at T _{air} = -5 deg. C and T _{water_in} = 30
0	30	!Fraction capacity and power at T _{air} = 0 deg. C and T _{water_in} = 30

L'obiettivo della pompa di calore è garantire una temperatura interna che rimanga nel range che va dai 15°C sino ai 30°C, questo contando le variazioni di temperature esterne ed irradianza che giunge sulla serra. Ovviamente tale range può essere modificato secondo il tipo di coltura, in questo caso è stato deciso un range piuttosto ampio per testare il comportamento generale.

Oltre a ciò, si è cercato di rendere non troppo aggressiva la risposta della pompa di calore, in questo modo sia il riscaldamento, sia il raffrescamento, aumenta o diminuisce progressivamente, "limitando" il rispettivo cambiamento della temperatura interna.

Scheda Tecnica:

https://www.aircon.panasonic.eu/CH_it/model/wh-mxc09h3e5/

Type:

General		Description	Variables	Files
Object:	Air-to-Water Heat Pump			
Author:	Jeff Thornton			
Organization:	Thermal Energy System Specialists, LLC			
Editor:	David Bradley			
Creation Date:	October 2005	Last Modification:	September 2010	
Model Type	<input type="radio"/> Detailed <input type="radio"/> Simplified <input checked="" type="radio"/> Empirical <input type="radio"/> Conventional			
Validation	<input checked="" type="checkbox"/> Qualitative <input type="checkbox"/> Analytical <input type="checkbox"/> Numerical <input type="checkbox"/> Experimental <input checked="" type="checkbox"/> In Assembly			
		Type Number :	941 Conditioning Device Cooling Device Heat Pump Heating Device	
		Allowed Instances :	<input type="button" value="Add"/> <input type="button" value="Del"/>	
		Choose icon ...		

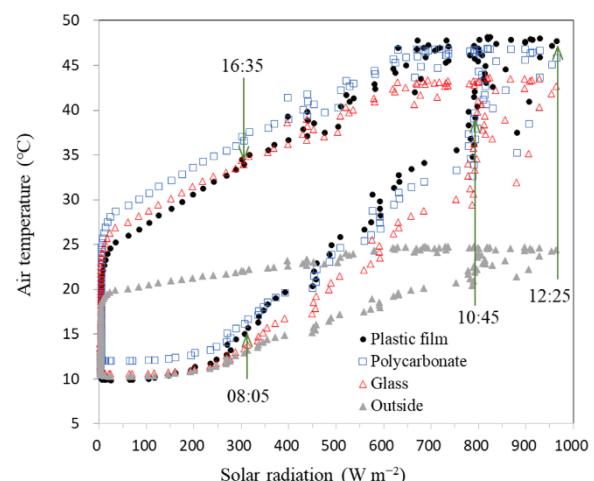
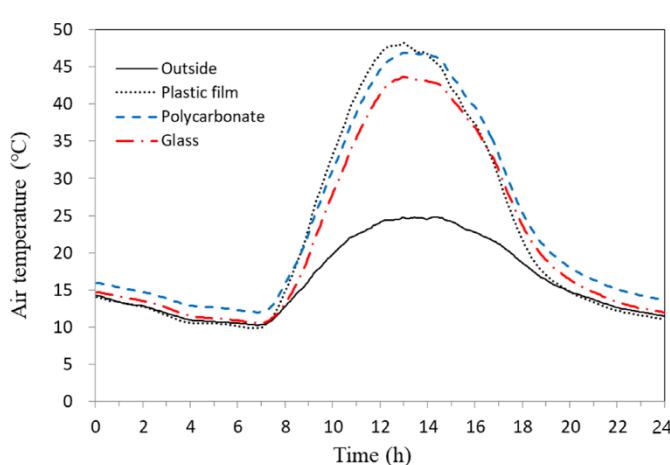
2.5 Equation Block della Serra

Una parte corposa del progetto riguarda l'estrapolazione del comportamento della temperatura interna in funzione delle due quantità ambientali più importanti: la radiazione solare e la temperatura dell'aria esterna.

Il punto di partenza è basato su dati empirici che illustrano l'andamento della temperatura in funzione delle due variabili già citate.

Ricerca:

<https://www.mdpi.com/2073-4395/12/1/143>



Il primo passo è stato ricavare una curva basata su tali grafici, misurando le 3 quantità agli stessi istanti temporali; si è ottenuto:

$$T_{in_ref} = -11.554 + 1.953 * T_{out} + 0.005725 * G$$

Secondoariamente la stessa curva di temperatura è stata “scalata” in funzione dei rapporti tra le misure della serra di riferimento e le misure della serra che si voleva modellare:

$$A_{ref} = 79.5 \text{ m}^2 \quad vs \quad A = 101 \text{ m}^2$$

$$V_{ref} = 45.9 \text{ m}^3 \quad vs \quad V = 61.2 \text{ m}^3$$

$$U_{ref} = 5.8 \frac{W}{m^2 K} \text{ (vetro singolo)} \quad vs \quad U = 2.8 \frac{W}{m^2 K} \text{ (doppio vetro)}$$

Conoscendo tali parametri è stato possibile modificare i valori numerici costanti all'interno dell'equazione secondo una semplice logica: più la serra è grande, maggiore è l'effetto dell'irradianza che impatta su di essa, maggiore è la sua inerzia termica, ma allo stesso tempo è più grande anche la superficie disperndente. A valle di ciò si è ottenuto un comportamento del tipo:

$$T_{in} = 5.433 + 0.898 * T_{out} + 0.00715 * G$$

Quindi, all'interno della simulazione la temperatura mantiene sempre questo andamento qualora la pompa di calore non fosse accesa. Ovviamente non accade sempre. L'interazione tra la potenza termica immessa, quella dispersa ed il livello di temperatura è stata scritta nello stesso blocco-equazione. Dal punto di vista pratico la potenza immessa viene calibrata per superare di circa il 20% la potenza dispersa (in questo modo non si hanno bruschi cambiamenti di temperatura), la quale a sua volta viene definita secondo i parametri termotecnici che competono alla serra.

Type:

```
C_eff = 0.75 !Capacità termica [kWh/K]
eta_Circuiti = 0.9*0.9 !eta FANCOIL *eta Distribuzione
UA = 0.2828 !Conduttanza Serra [kW/K]
beta = 1.25 !Fattore di Sovracopertura della potenza immessa
T_in_nat = 5.433 + 0.898*T_out + 0.00715*G !Curva di Temperatura senza HP, per riferimento

Q_HP_eff = eta_Circuiti*Q_HP !Potenza Termica Teorica Immessa [kW]
Q_loss = UA*(T_in - T_in_nat) !Potenza Termica Dispersa [kW]

Q_HP_pos = GT(Q_HP_eff,0) !Segnale 1 se Q_HP_eff > 0
Q_HP_neg = LT(Q_HP_eff,0) !Segnale 1 se Q_HP_eff < 0
abs_Q_HP_eff = Q_HP_pos*Q_HP_eff-Q_HP_neg*Q_HP_eff !Valore assoluto della Potenza Termica Teorica [kW]

Q_loss_pos = GT(Q_loss,0) !Segnale 1 se Q_loss > 0
Q_loss_neg = LT(Q_loss,0) !Segnale 1 se Q_loss < 0
abs_Q_loss = Q_loss_pos*Q_loss - Q_loss_neg*Q_loss !Valore assoluto della Potenza Termica Dispersa[kW]

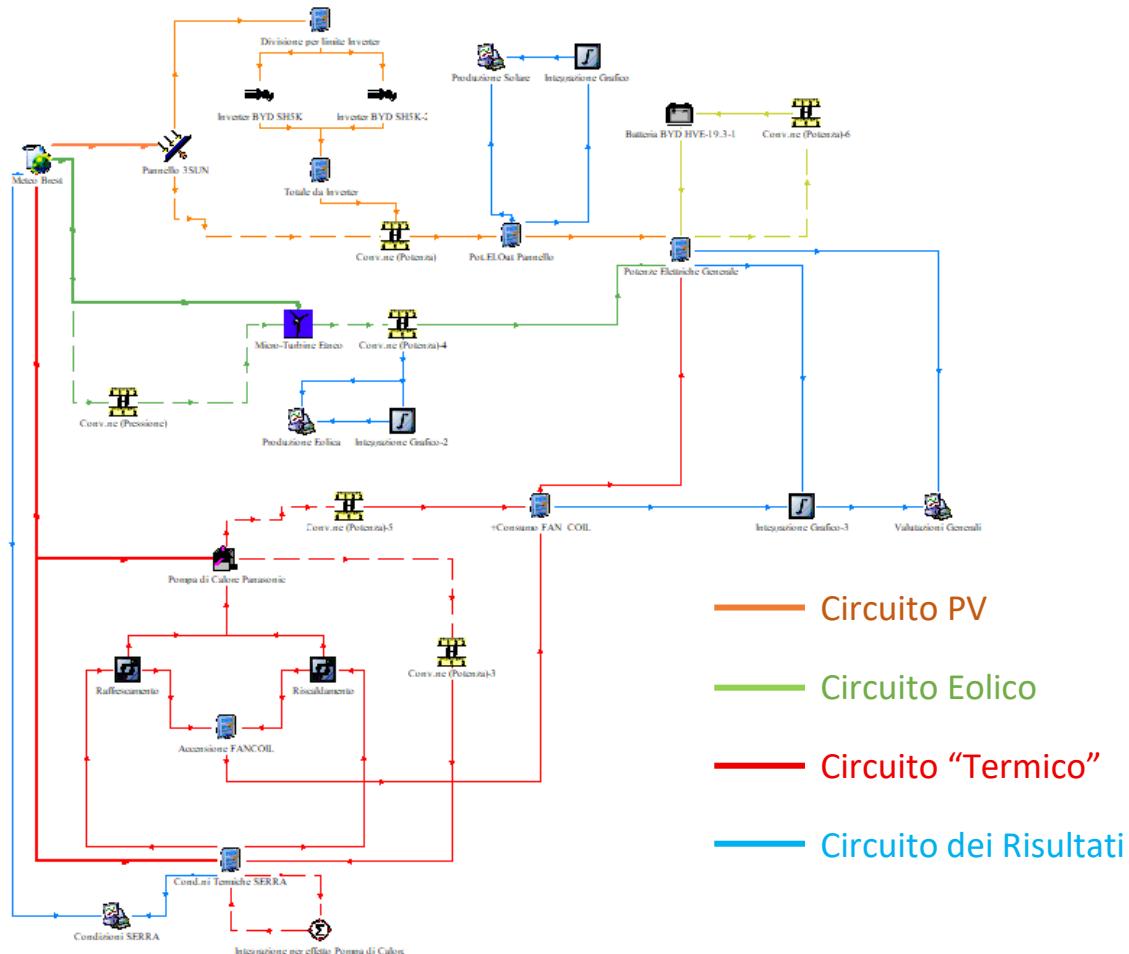
limit_Q_imm = beta* abs_Q_loss !Limite della Potenza Termica Immissibile [kW]
damped_mag = MIN(abs_Q_HP_eff,limit_Q_imm) !Valore per la restituzione del segno
Q_imm = Q_HP_pos* damped_mag - Q_HP_neg*damped_mag !Potenza Termica Reale Immessa [kW]
dTdt = (Q_imm-Q_loss)/C_eff !Output per l'integrazione necessaria a tener conto della Q_HP nei Time-step precedenti
T_in_eff = T_in
```

3. Logica di Funzionamento

Il funzionamento del sistema segue una precisa gerarchia energetica:

- La somma dell'energia prodotta dal sistema fotovoltaico ed eolico è inviata direttamente all'alimentazione della pompa di calore quando necessario;
- In assenza di richiesta termica da parte della serra, quindi di consumo elettrico da parte della pompa di calore, l'energia prodotta viene indirizzata alla ricarica delle batterie, in questo modo si ha a disposizione un deposito energetico qualora la produzione non fosse sufficiente a coprire la domanda;
- Raggiunta la carica massima nell'accumulatore energetico, l'energia residua viene esportata in rete;
- Considerando la condizione critica in cui né la produzione, né la carica delle batterie fossero sufficienti a coprire la domanda, nella simulazione è stata integrata una variabile che tiene conto dell'energia attinta dalla rete. Questa a seconda dei casi, servirà sia ad alimentare la pompa di calore, sia a ricaricare le batterie.

Mappa dello Schema:



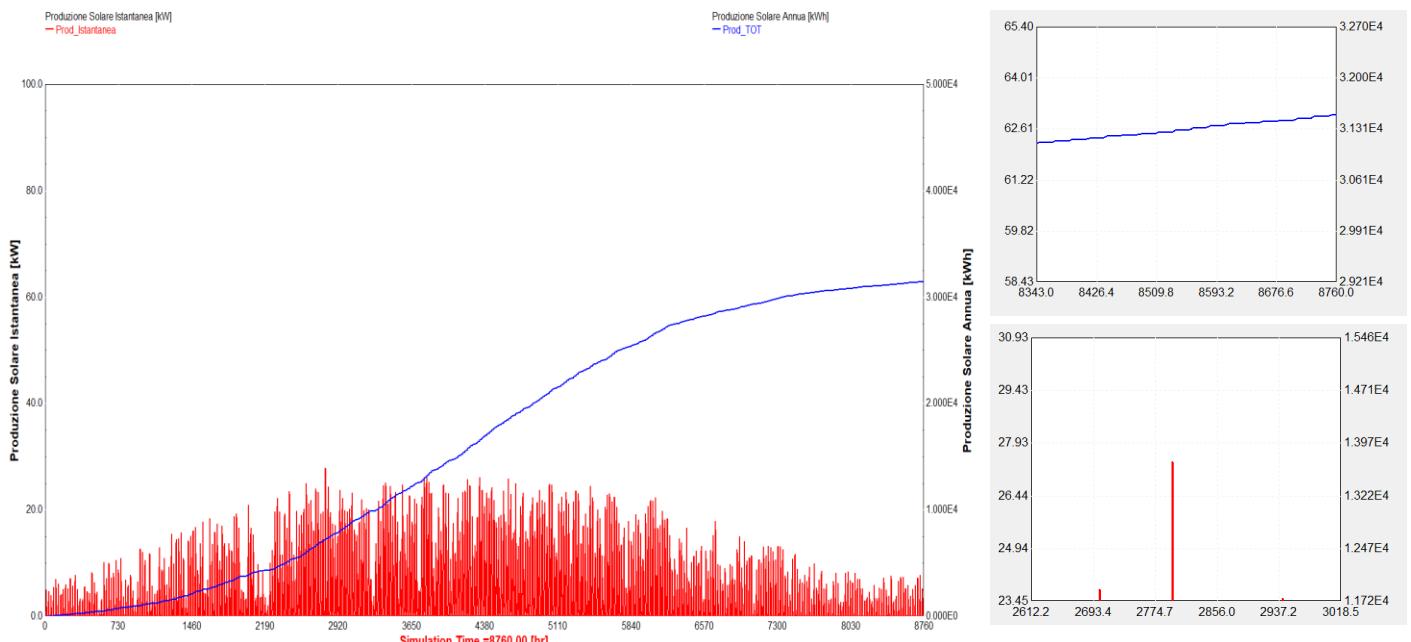
4. Risultati della Simulazione

La simulazione è impostata con un passo temporale di 10 minuti, nella locità di Brest, particolarmente adatta a simulare le due produzioni, fotovoltaica ed eolica, ma anche un comportamento abbastanza dinamico della serra.

Il clima mitigato dalla presenza del mare, garantisce temperature minime che si spingono raramente sotto gli 0°C, ma anche temperature estive che non estremizzano al limite il funzionamento della pompa di calore, volta in questo caso, al raffreddamento della serra.

4.1 Produzione da Pannelli Fotovoltaici

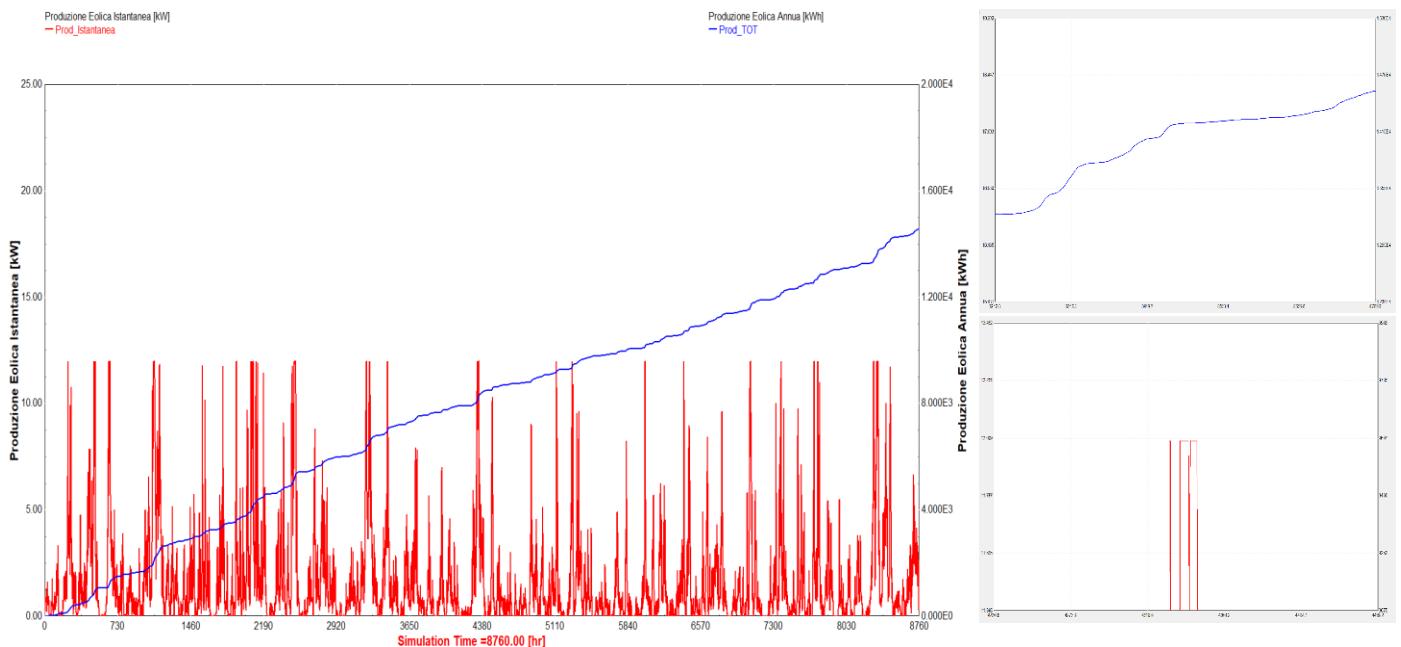
Il grafico generato permette di avere una prima valutazione grafica e numerica della potenza elettrica prodotta mediante l'impianto fotovoltaico.



Come ci si aspetta la produzione maggiore avviene nel periodo intermedio dell'anno, quando la radiazione solare raggiunge i massimi valori. Il picco di potenza, pari a circa 14.3 kW è alle ore 12 del 27 Aprile, in pieno clima primaverile, mentre la potenza totale prodotta annualmente è pari a circa 31.5 MWh.

4.2 Produzione da Turbine Eoliche

Il grafico generato permette di avere una prima valutazione grafica e numerica della potenza elettrica prodotta mediante l'impianto eolico.

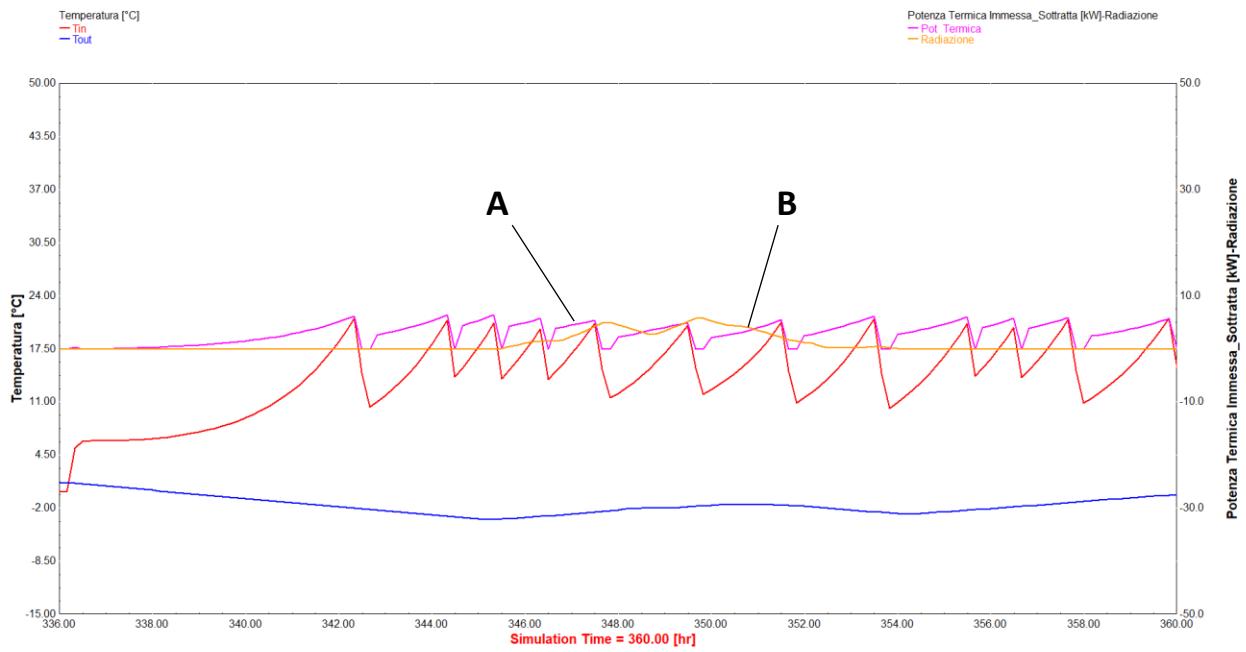


Rispetto all'impianto fotovoltaico, l'impianto eolico ha chiaramente un andamento nella produzione meno prevedibile, connesso ovviamente al fatto che la risorsa vento non ha un valore "fisso" nel tempo. Tuttavia, data l'area particolarmente ventosa di Brest, c'è comunque una buona produzione media di potenza, la quale raggiunge picchi di 12 kW, in accordo con le 4 turbine Darrieus da 3 kW nominali ciascuna. La produzione annua sfiora invece circa 14.6 MWh.

4.3 Comportamento interno della Serra

In questo caso vengono riportati grafici che mostrano come la temperatura interna della serra si comporta nei due casi, clima freddo e clima caldo, scegliendo rispettivamente le 24h più fredde (15-16 Gennaio) e più calde (21-22 Luglio). Si sceglie di mostrare solo 24h per un maggiore dettaglio nella visualizzazione del comportamento.

Nei grafici, oltre che l'andamento delle temperature esterne ed interne, sono riportate anche: la radiazione solare, in modo da evidenziare come alla sua crescita ci sia un forte incremento di temperatura ("Effetto Serra") e la potenza termica (positiva se di riscaldamento, negativa se di raffreddamento) immessa dalla pompa di calore.



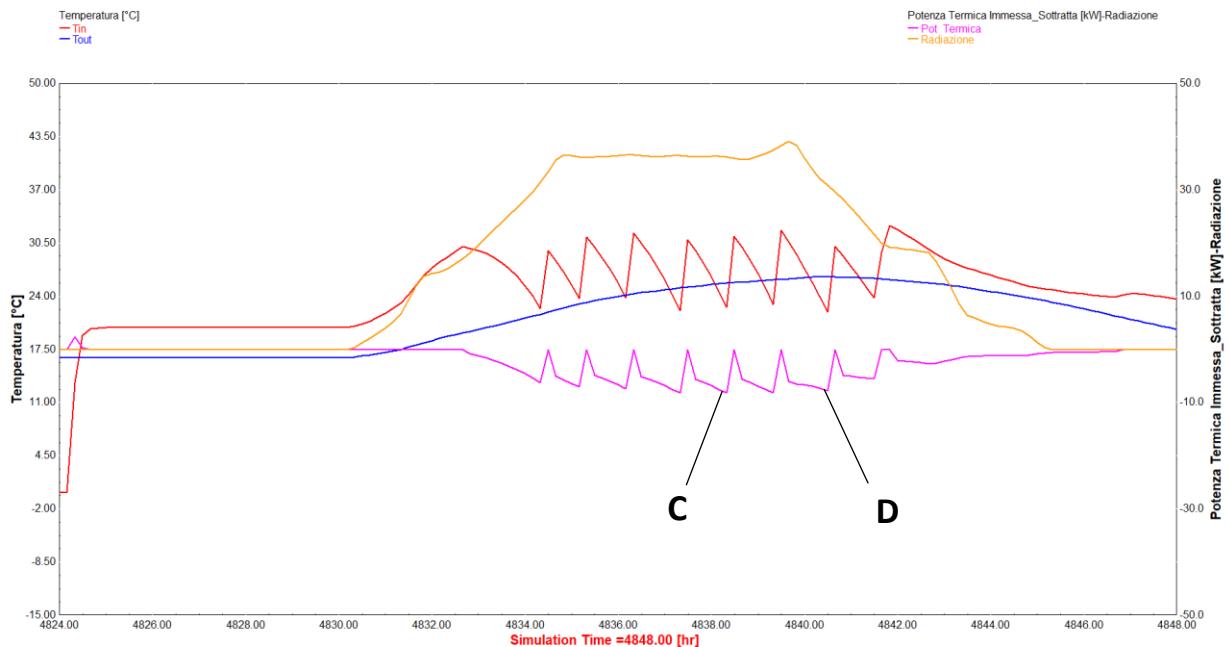
Trascurando le prime ore, in cui l'andamento anomalo è dato dal tipo di integrazione che si sta usando nella simulazione, il quale non riesce a calcolare valori antecedenti allo start, si può notare bene come all'accensione della pompa di calore, **Carica Termica Positiva**, la **Temperatura Interna** tenda a crescere sino al raggiungimento della temperatura di Set-Point, 20°C.

È apprezzabile anche l'effetto della **Radiazione**, la quale quando entra in gioco, diminuisce la potenza termica necessaria al riscaldamento, come si vede nei tratti **A** e **B**. In questi tratti, il valore in termini di kW della **Carica Termica** è minore rispetto ad altri punti: circa 5 kW vs 6.5 kW.

Un'importanza relativamente minore è data invece alle continue accensioni e spegnimenti della pompa. Queste infatti potrebbero essere "regolate" con una logica che va a smorzare la potenza termica immessa, man mano che ci si avvicina al Set-Point. In questo modo la crescita di **Tin** sarebbe più dolce e la pompa non dovrebbe continuamente accendersi e spegnersi.

(Non si è trovato il modo di implementare tale logica, a causa dell'assenza di type di integrazione che memorizzano i parametri di interesse dal Time-step precedente, fornendoli poi a quello successivo).

In maniera del tutto analoga si può analizzare anche il caso di raffreddamento:



Di nuovo, trascurando il comportamento anomalo iniziale, si nota chiaramente come l'immissione di **Carica Termica Negativa**, abbassi la **Temperatura Interna** sino al raggiungimento della temperatura di Set-Point, 24°C.

Ovviamente in questo caso la **Radiazione** ha un effetto opposto rispetto a prima, obbligando la pompa a lavorare più frequentemente e con “maggior” potenza nei tratti **C** e **D**, in cui si raggiungono valori di **Carica Termica Negativa** di -8 kW, rispetto ai -7 kW negli altri tratti.

(Analogamente a prima si spiegano le continue accensioni e spegnimenti).

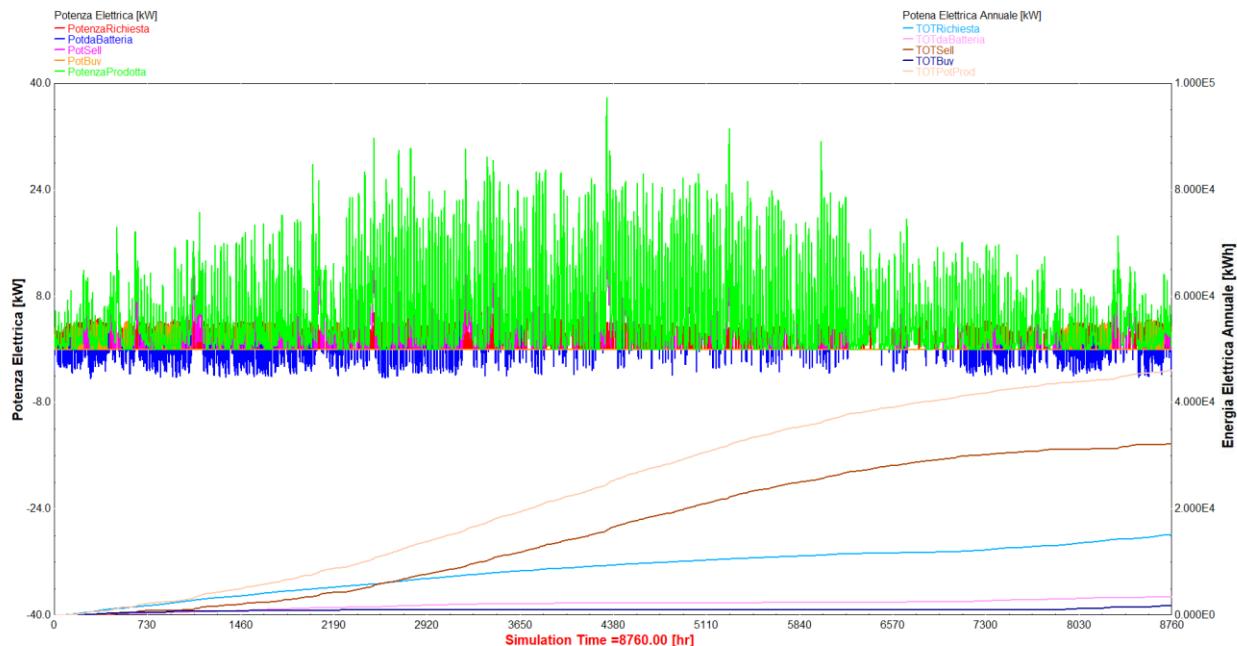
4.4 Valutazioni Finali

Come ultimo grafico, si è deciso di generare il comportamento elettrico complessivo del sistema, piazzando le principali potenze elettriche coinvolte:

- **Potenza Elettrica Richiesta**, la quale fa fede al consumo elettrico della pompa di calore, in accordo alle sue curve caratteristiche implementate nella relative *type*;
- **Potenza Elettrica da/per la Batteria**, la quale segue la logica che si è definita precedentemente per Scaricare (potenza negativa) o Caricare (potenza positiva) la batteria;
- **Potenza Elettrica “Prodotta”**, la quale somma la potenza convertita in elettricità dai due impianti rinnovabili;

- **Potenza Comprata/Importata**, conteggiata qualora gli impianti e le batterie non fossero sufficienti per l'alimentazione della pompa di calore;
- **Potenza Venduta/Esportata**, conteggiante in caso di surplus della conversione di potenza elettrica.

Ciò che si presenta annualmente è riportato:



Si vede chiaramente come la **Potenza Prodotta** superi drasticamente quella **Richiesta** che in minima parte è soddisfatta dai cicli di Scarica della **Batteria**. Infatti osservando i valori annuali delle potenze, si nota quindi che l'impianto risulta molto sovradimensionato rispetto alle reali richieste:

- **Potenza Elettrica Annuale Richiesta**: 15.2 MWh;
- **Potenza Elettrica Annuale dalla Batteria**: 3.52 MWh;
- **Potenza Elettrica Annuale Prodotta**: 46.1 MWh;
- **Potenza Elettrica Annuale Importata**: 1.81 MWh;
- **Potenza Elettrica Annuale Esportata**: 32.3 MWh;

Tale sovradimensionamento può essere vantaggioso dal punto di vista economico, poichè ovviamente maggiore è la quota di esportazione, maggiore è il ritorno economico, soprattutto in scenari come quelli futuri in cui si prevede una sempre maggiore richiesta di potenza elettrica.

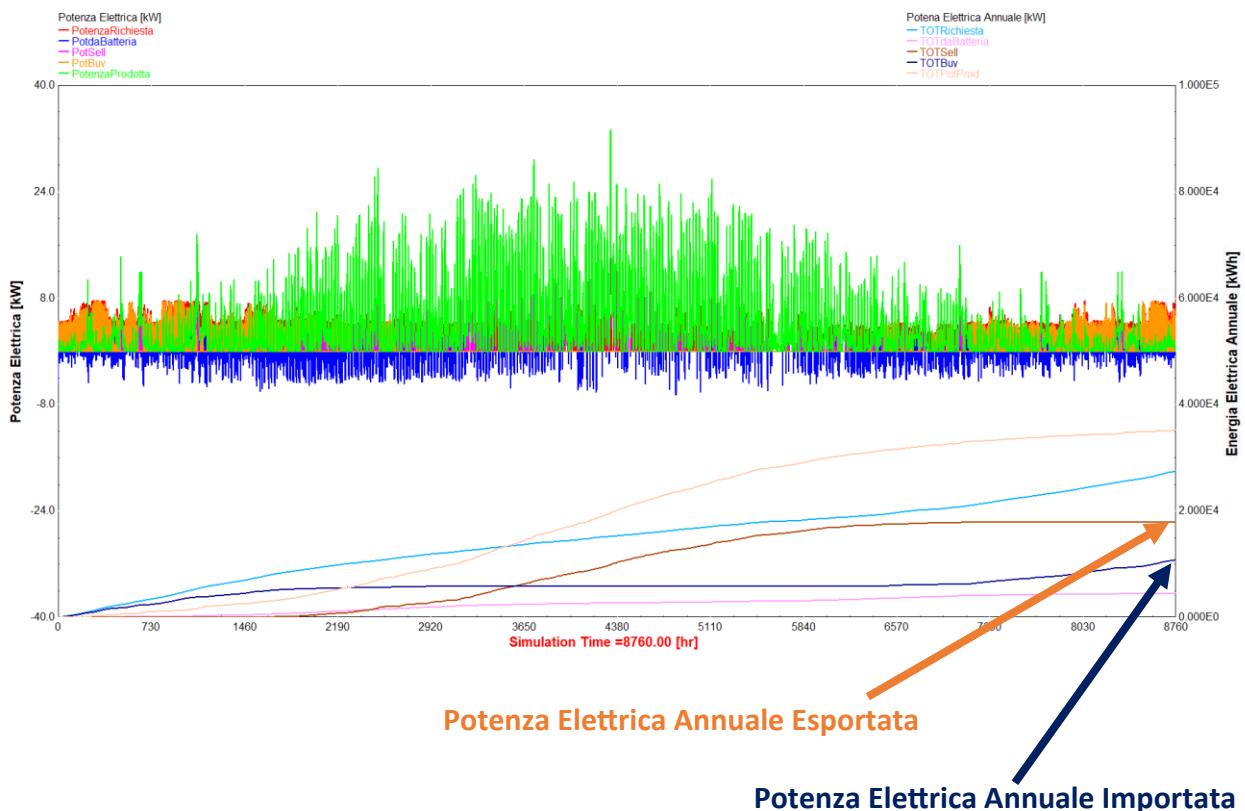
D'altra parte, dal punto di vista tecnico, un sovradimensionamento risulta un problema, poichè l'idea dell'alimentazione di una serra passa in secondo luogo.

Si spiega: se l'obiettivo è esportare un quantitativo di potenza elettrica il più alto possibile, allora ha poco senso consumare superficie utile, posizionando la serra, al posto di ulteriori impianti.

In questi termini esistono diversi scenari possibili per risolvere il problema. Banalmente ridurre le dimensioni degli impianti o aumentare le dimensioni della serra se possibile. O ancora, modificare il posizionamento della serra, quindi degli impianti, in zone climatiche dove si prevede una richiesta energetica maggiore.

A tal proposito, si è realizzata una simulazione alternativa posizionando il sistema in una zona dal clima rigido e ad una maggiore distanza dall'equatore (modifica importante sulla quota fotovoltaica), come quella di Helsinki (FI). Tale simulazione è veritiera solo in parte, poichè in questo caso non si è modificato l'impianto di climatizzazione, quindi la temperatura interna della serra, sebbene estremamente importante, non viene valutata.

Tuttavia si può comunque apprezzare come a fronte di una richiesta elettrica maggiore, dettata da diverse condizioni meteo, la quota di **Potenza Elettrica Annuale Importata** cresca notevolmente, mantenendosi comunque al di sotto di quella **Esportata**.



Tornando all'analisi del sistema originale, è possibile apprezzare più dettagliatamente la logica di funzionamento del sistema, osservando una singola giornata, ad esempio quella del 15-16 Gennaio, in modalità di riscaldamento.



Si vede che a fronte di una **Potenza Elettrica Richiesta**, se quella **Prodotta** non è sufficiente, interviene prima la **Batteria**, la quale si scarica in base alla sua capacità, poi nel caso si è ancora in deficit di potenza, si procede all'**Importazione** dalla rete elettrica. Ovviamente in un funzionamento simile la **Potenza Esportata** rimane nulla fin tanto che la **Richiesta** si annulla e la **Batteria** non si carichi completamente.