

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



**SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**ELABORATO DI LAUREA**

**PROGETTAZIONE E SVILUPPO DI UN SET-UP  
SPERIMENTALE PER L'ANALISI DI UN PROTOTIPO DI  
IMPIANTO DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO  
AD ENERGIA SOLARE**

**RELATORE:**

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

CH.MO PROF. ING. MASSIMO DENTICE

**CORRELATORE:**

PROF. ING. GIUSEPPE ROTONDO

PROF. ING. MARILENA MUSTO

**CANDIDATO**

CLAUDIA CERATTO M67/129

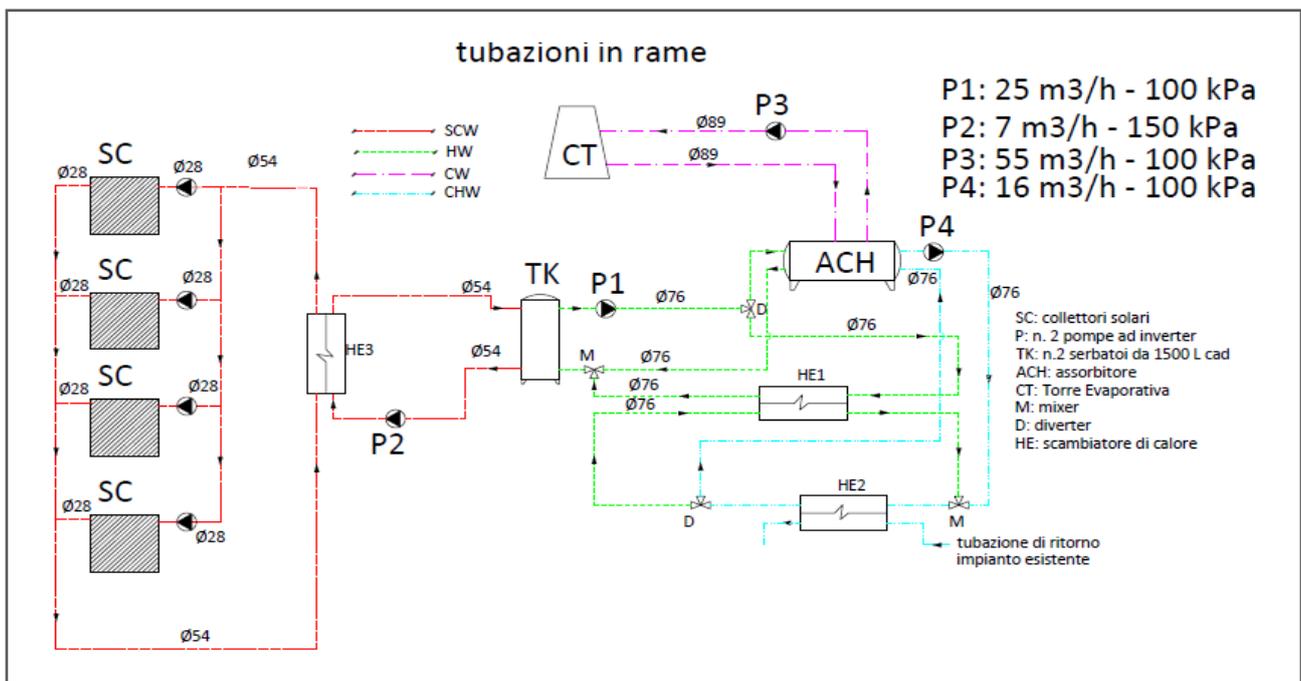
ANNO ACCADEMICO 2012/2013

L'energia è il motore di tutti i fenomeni naturali ed artificiali e come tale è il presupposto fondamentale per la vita. Per soddisfare il fabbisogno energetico mondiale si utilizzano principalmente i tradizionali combustibili fossili, quali gas, petrolio e carbone. Da alcuni anni, però, si conoscono i loro effetti inquinanti e la loro scarsa disponibilità nel prossimo futuro. Per questo motivo si è posta molta attenzione all'energia prodotta da fonti rinnovabili. Infatti, sono sempre più diffusi nel mondo impianti che riescono a convertire l'energia rinnovabile nell'energia utile richiesta, sia nei processi industriali sia semplicemente per lo svolgimento delle attività domestiche (riscaldamento/raffrescamento degli ambienti, produzione di acqua calda sanitaria, produzione di energia elettrica).

Porgendo particolare attenzione nei dispositivi di conversione dell'energia solare si è analizzato il comportamento di un impianto di solar heating and cooling realizzato in partnership dal DII dell'Università Federico II di Napoli, dall'Anea (Agenzia napoletana energia e ambiente), dall'ABC (Acqua Bene Comune) Napoli (ex Arin, Azienda risorse idriche napoletane Spa) e dall'Idaltermo Srl. Tale impianto è costituito da:

- 4 stringhe di collettori solari termici piani con piastra selettiva;
- due serbatoi per l'accumulo dell'acqua calda;
- una macchina frigorifera ad assorbimento a singolo effetto che lavora con la coppia di fluidi H<sub>2</sub>O-LiBr.

Uno schema dell'impianto è riportato in figura 1:



**Figura1-Schema dell'impianto**

Come si evince dalla figura 1, nell'impianto sono presenti quattro stringhe di collettori solari piani capaci di captare sia la radiazione diretta che quella diffusa. Il fluido termovettore presente in ogni

circuito solare è un composto di acqua e glicole. Una volta che questo fluido si è riscaldato, viene inviato ad uno scambiatore a piastre capace di trasferire il calore ad un fluido costituito da sola acqua che va a alimentare i serbatoi. I puffers hanno un volume di 1500 l ciascuno e permettono di immagazzinare il calore prodotto dai collettori solari per poi fornirlo, al momento necessario, al generatore della macchina frigorifera. Il funzionamento dei puffers è regolato da un sistema di valvole di regolazione che permettono l'attivazione di un solo serbatoio, di entrambi i serbatoi o di nessuno dei due; in quest'ultimo caso si parla di funzionamento diretto.

Una volta che il fluido caldo ha alimentato l'assorbitore, questo è capace di produrre energia frigorifera che va direttamente all'utenza. Per questo impianto è previsto anche un funzionamento invernale per la produzione di energia termica da dare all'utenza. In questo caso, infatti, l'acqua calda immagazzinata nei serbatoi va ad alimentare direttamente il fan-coil dell'utenza.

Per quanto riguarda il collettore solare si è valutato sperimentalmente il prototipo con le migliori caratteristiche e prestazioni. Infatti, attraverso la comparazione delle diverse parti, si è individuato il prototipo definitivo di progetto. I materiali scelti per le quattro parti principali del collettore sono:

- un vetro extrachiario come corpo trasparente per la parte superiore;
- un tubo da 10 mm in rame con lamina deformata "a omega" per il captatore;
- un'isolante di lana di roccia;
- una vasca di alluminio stampata come fondo del collettore.



**Figura 2- Collettore solare del progetto Sahara.**

Per motivi di spazio si è scelta un'inclinazione di 5° rispetto all'orizzontale ed un'esposizione verso Sud-Ovest.

Il gruppo frigorifero utilizzato nel progetto è un macchina ad assorbimento a singolo effetto che utilizza come fluidi di lavoro acqua e bromuro di litio; la macchina è prodotta dalla ditta giapponese Yazaki e commercializzata in Italia dalla ditta MAYA. Il gruppo frigorifero utilizzato è un modello WFC-SC 20; esso è alimentato dall'acqua calda prodotta dal campo solare, ed ha una potenza frigorifera di 70 KW ed un COP di 0,7.

Ai fini del monitoraggio e del controllo dell'impianto, sono stati anche installati una serie di strumenti di misurazione di alcuni parametri termofluidodinamici di funzionamento. Infatti, sono stati inseriti nell'impianto misuratori di portata, di temperatura, nonché un piranometro per la valutazione della radiazione incidente sui pannelli. In particolare, si sono scelti misuratori di portata elettromagnetici, misuratori di temperatura a termoresistenze e un piranometro PYRA 01 come misuratore di radiazione incidente.

In ultimo si sono svolte analisi giornaliere per confrontare le caratteristiche del collettore I Sun appositamente costruito con quelle di un collettore di più vecchia costruzione (V34-78). A tal proposito sono state fatte analisi sperimentali con rilevazioni manuali e con strumentazioni meccaniche. Infatti, si sono ottenuti dati sulla radiazione, sulla potenza trasferita al fluido termovettore, sulle temperature raggiunte dai collettori e sulle portate. In Figura 3 e in Figura 4 si riporta l'andamento della radiazione e della potenza misurata con rilevazioni manuali.

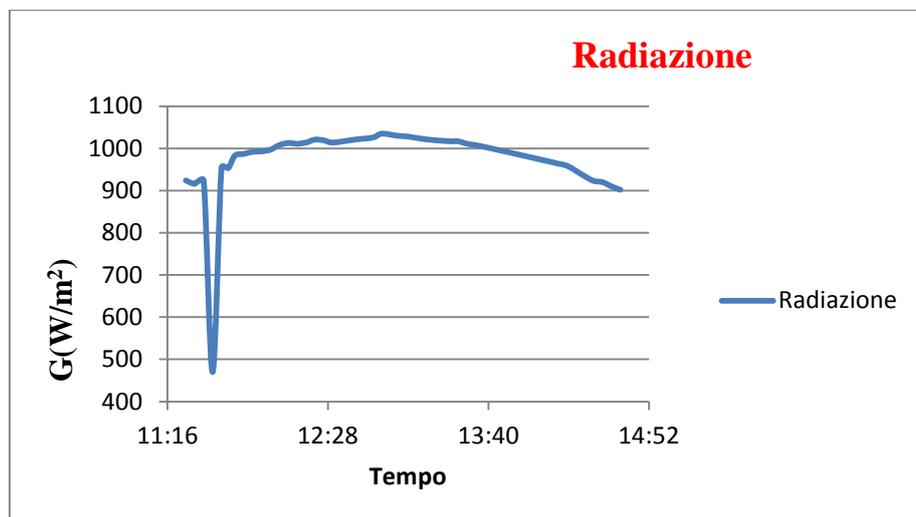
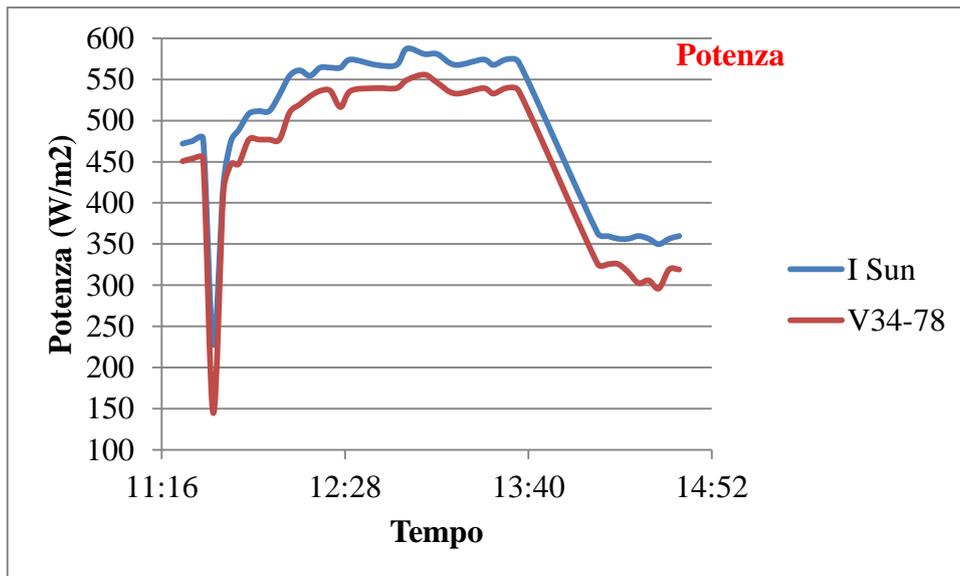


Figura 3- Radiazione incidente sui pannelli

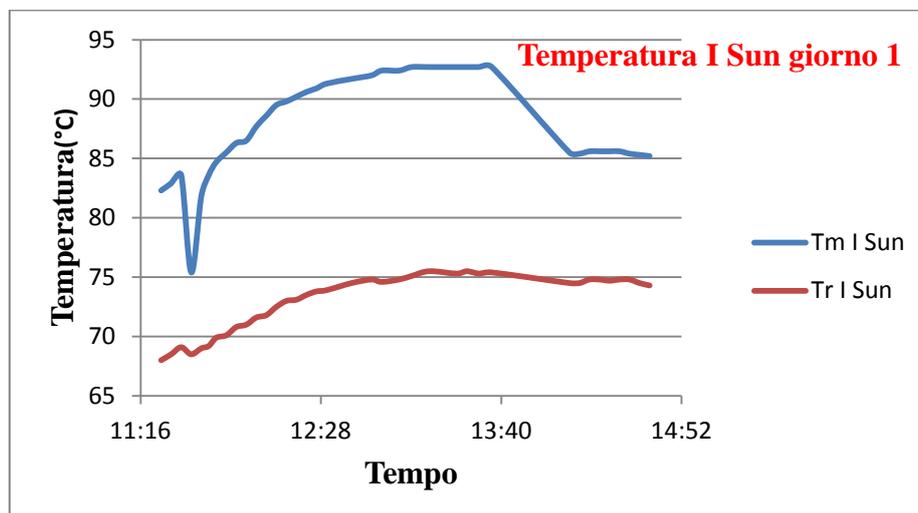


**Figura 4- Potenza trasferita al fluido termovettore**

Come si evince dalle figure, i due andamenti sono molto simili. Lo stesso andamento lo si ha anche per il collettore V34-78, seppur a quest'ultimo corrispondono dei valori di potenza trasferita al fluido termovettore più bassi. I valori di potenza sono stati calcolati con la formula di seguito riportata e adimensionalizzati rispetto all'area dei collettori:

$$[Q' = \dot{m} * c_p * (T_m - T_r)]/A_{coll.}$$

In Figura 5 si può osservare l'andamento delle temperature di mandata e ritorno del fluido termovettore nel collettore I Sun.

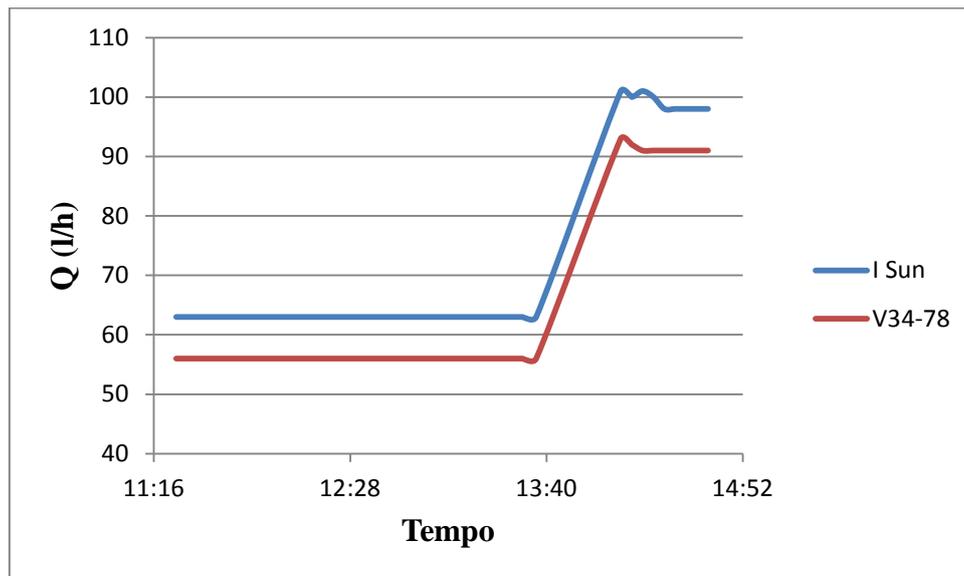


**Figura 5- Temperatura di mandata e temperatura di ritorno del collettore I Sun**

Come ci si aspettava, la temperatura di mandata ha un andamento simile a quello della radiazione, riscontrando un minimo assoluto verso le ore 11:37, momento in cui si è avuta una radiazione molto più bassa. In questo momento la temperatura del fluido termovettore raggiunge i 75.4°C, cioè una temperatura troppo bassa per poter fornire la potenza termica necessaria ad alimentare l'assorbitore.

Nell'intero intervallo di tempo, quindi, escludendo l'intorno delle ore 11:37, la temperatura di mandata del fluido termovettore varia tra gli 80°C e i 90°C, cioè temperature compatibili con quelle dell'assorbitore. In questo range di temperature, infatti, si riesce a raggiungere la potenza termica necessaria ad alimentare l'assorbitore. Guardando invece l'andamento della temperatura di ritorno del fluido termovettore, in Figura 5, notiamo un andamento più regolare in quanto si riscontrano variazioni di temperatura di ritorno minori.

In Figura 6 si può osservare l'andamento delle portate nel tempo.



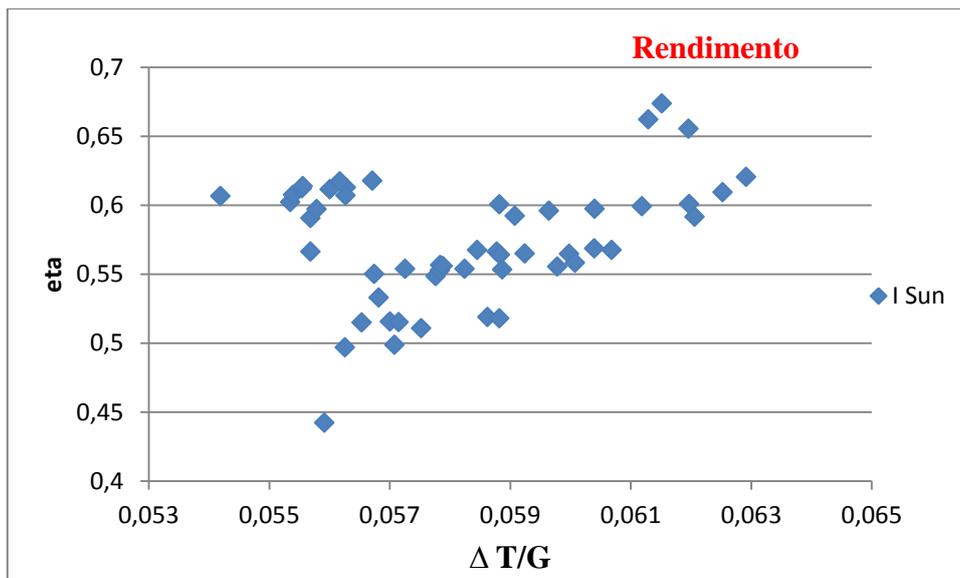
**Figura 6- Andamento delle portate dei due pannelli nel tempo**

Questi valori sono stati modificati in funzione della temperatura che i collettori dovevano raggiungere per poter alimentare l'assorbitore. Inizialmente si è considerata una portata costante e pari a 63 l/h, ottenendo quindi valori di temperatura di mandata crescenti nel tempo. Dalle ore 14:08 fino alla fine delle misurazioni, invece, si è aumentata la portata arrivando a valori di 101 l/h. Ovviamente, come ci si aspettava, la temperatura di mandata diminuiva al crescere della portata, arrivando a valori minimi di circa 85°C, cioè valori sufficienti a permettere l'alimentazione dell'assorbitore.

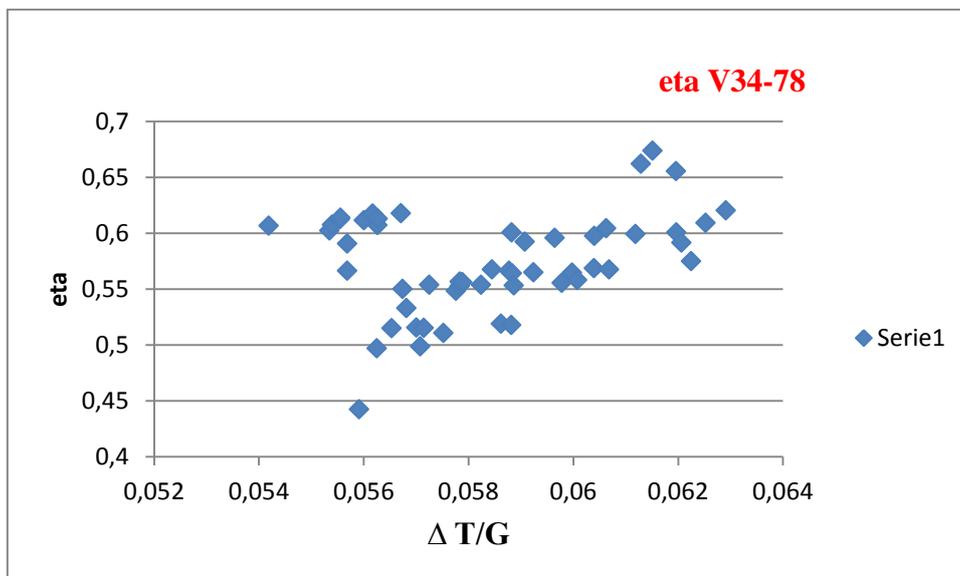
Infine, sono state calcolate le efficienze di entrambi i collettori solari in funzione del rapporto  $\frac{\Delta T}{G}$ . L'efficienza infatti dipende dalla temperatura media del fluido, dalla temperatura ambiente e dalla radiazione incidente. Per questo motivo la curva dei rendimenti viene diagrammata in funzione del rapporto  $\frac{\Delta T}{G}$ , cioè il rapporto tra  $(T_{\text{media}} - T_{\text{ambiente}})$  e la radiazione incidente  $G$ .

Tale rendimento è stato calcolato come il rapporto tra la potenza termica utile ceduta al fluido termovettore e la potenza solare incidente:

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A * G}$$



**Figura 7- Rendimento del pannello I Sun**



**Figura 8- efficienza dei collettori V34-78**

Come si evince dalla Figura 7 i rendimenti del pannello I Sun variano dal 49% al 67% con valori di irradianza compresi tra  $0.054 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$  e  $0.063 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ . In Figura 8 si evidenziano invece i rendimenti del pannello V34-78. Tali efficienze sono state calcolate allo stesso modo, ma risultano valori più bassi del pannello I Sun. Questo è dovuto principalmente ad una potenza nel collettore V34-78 nettamente inferiore, considerando che il termine G al denominatore è uguale nei due casi e l'area dei due collettori è di poco differente.