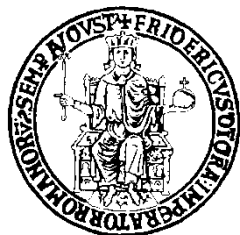


# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



## SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale**

**Corso di Laurea in Ingegneria per l' Ambiente e il Territorio**

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

**Dipartimento di Ingegneria Industriale**

**ANALISI DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA PER LA  
SOSTITUZIONE DEGLI ASSORBITORI PRESENTI ALL'INTERNO  
DELLA CENTRALE FRIGORIFERA PRESSO IL C.I.R.A.**

### **RELATORI**

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

CH.MO PROF. ING. MASSIMO DENTICE D'ACCADIA

### **CANDIDATO**

MARCO BALDISSARA

MATR. M67/131

### **CORRELATORE**

ING. MARIA VICIDOMINI

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

L'energia costituisce la principale risorsa in grado di consentire lo sviluppo economico di una società. Esiste infatti una stretta corrispondenza tra crescita economica e incremento dei consumi energetici. Parlare di energia significa quindi parlare di uno dei grandi indicatori che vengono utilizzati per stabilire il livello di sviluppo economico di un Paese.

Proprio per questo diventa indispensabile poter usare l'energia con la massima efficienza.

**In quest'ottica si pone l'obiettivo del mio lavoro di tesi, che tratta dell'analisi di fattibilità per la sostituzione degli assorbitori presenti all'interno della centrale frigorifera presso il Centro Italiano Ricerche Aerospaziali(C.I.R.A.).**

Il C.I.R.A. si presenta come un complesso particolarmente energivoro sia per il tipo di sperimentazioni che vengono svolte all'interno dei suoi laboratori ma anche per la dimensione degli involucri edilizi che lo caratterizzano, i quali necessitano pertanto di grandi quantità di energia per la climatizzazione.

Nelle Figure 1 e 2 vengono mostrati due dei principali impianti sperimentali presenti al CIRA:

- Ice Wind Tunnel (IWT) per le simulazioni a 10.000 m di quota;
- Plasma Wind Tunnel(PWT)per le simulazione del ritorno in atmosfera ad alta velocità.



Figura 1:Ice Wind tunnel



Figura 2: Plasma Wind Tunnel

Lo strumento principale per conoscere e quindi intervenire efficacemente sulla situazione energetica di un'azienda è la diagnosi energetica: si tratta di un'analisi approfondita condotta attraverso sopralluoghi presso l'unità produttiva e l'esame di documenti forniti dall'azienda.

Verranno raccolti i dati di consumo e i costi energetici. Su questa base si procederà nella ricostruzione dei modelli energetici.

## Caratterizzazione Energetica del C.I.R.A.

Per lo sviluppo della mia tesi, sono stati considerati i dati dei consumi energetici relativi all'anno 2011.

Attraverso l'utilizzo dei dati della manutenzione, si è riuscito a risalire ai giorni e quindi ai mesi di funzionamento degli Assorbitori presenti all'interno del C.I.R.A.. Quest'ultimi funzionano in modo disomogeneo, dal mese di Marzo fino al mese di Ottobre (Figura 3). Pertanto la caratterizzazione dei consumi di Gas, verterà soltanto sui mesi sopracitati.

I dati aziendali dei consumi di Gas sono divisi in due categorie:

- i consumi di gas relativi alle prove tecniche;
- I consumi di gas degli edifici;

Per poter discretizzare il dato relativo alla climatizzazione degli edifici per tipologia di struttura considerata, è stato ricavato un coefficiente dato dal rapporto tra la quantità totale degli  $\text{sm}^3$  di gas consumati per i  $\text{m}^3$  totali degli edifici presenti all'interno del CIRA. Moltiplicando questo coefficiente per i  $\text{m}^3$  della singola struttura e per il PCI del Gas Naturale ( $9,59 \text{ kWh/m}^3$ ), si può ottenere la quantità di energia primaria consumata per tipologia di edificio.

Dato che gli assorbitori, utilizzano l'acqua surriscaldata generata dai generatori di calore a gas, sommando i consumi di energia di gas mese per mese, otteniamo i consumi di energia primaria totale dell'anno 2011 per la climatizzazione degli edifici e delle aree all'interno del C.I.R.A., che risulta essere pari a 1,3 TWh.

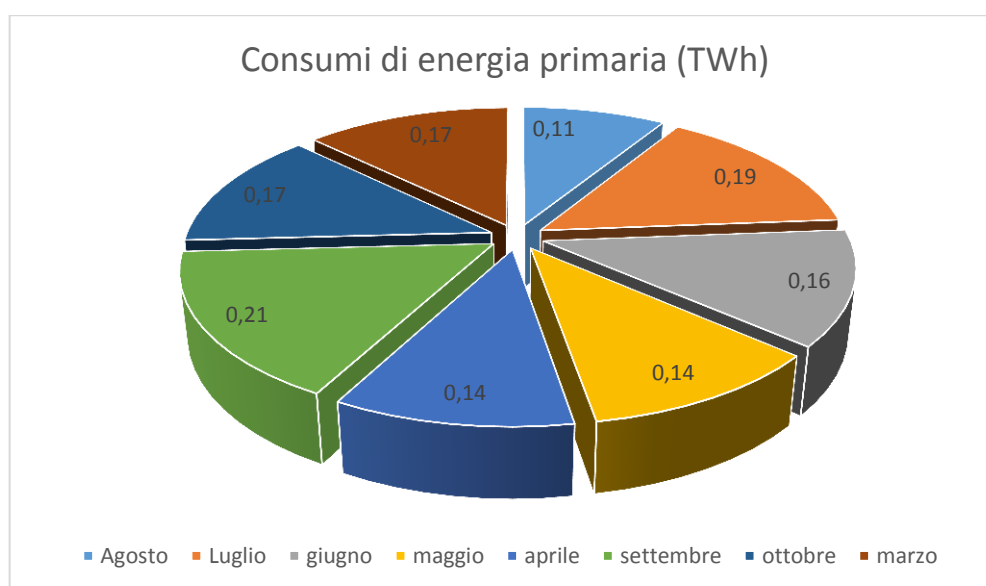


Figura 3 Consumi di gas divisi per mese relativi all'anno 2011.

Noto il consumo di Energia primaria si può ricavare il consumo di energia frigorifera di cui hanno bisogno i locali per la climatizzazione estiva.

L'energia frigorifera è stata calcolata moltiplicando l'energia primaria per il rendimento delle caldaie e per il rendimento delle pompe di calore ad assorbimento.

Ottenendo così un valore di energia frigorifera pari a:

$$E_{\text{frigo}} = E_p * \eta_{\text{cald}} * C.O.P._{\text{ass}} = 1,3 \text{ (TWh)} * 0,85 * 0,62 = 0,68 \text{ TWh.}$$

Nota l'energia frigorifera, è stato ricavato il consumo di potenza del C.I.R.A., utilizzando i dati di un edificio, quello realizzato sulla copertura a terrazzo del primo livello del fabbricato "uffici direzionali", come rappresentativo del consumo di tutto il complesso, ottenendo il diagramma in Figura 4:

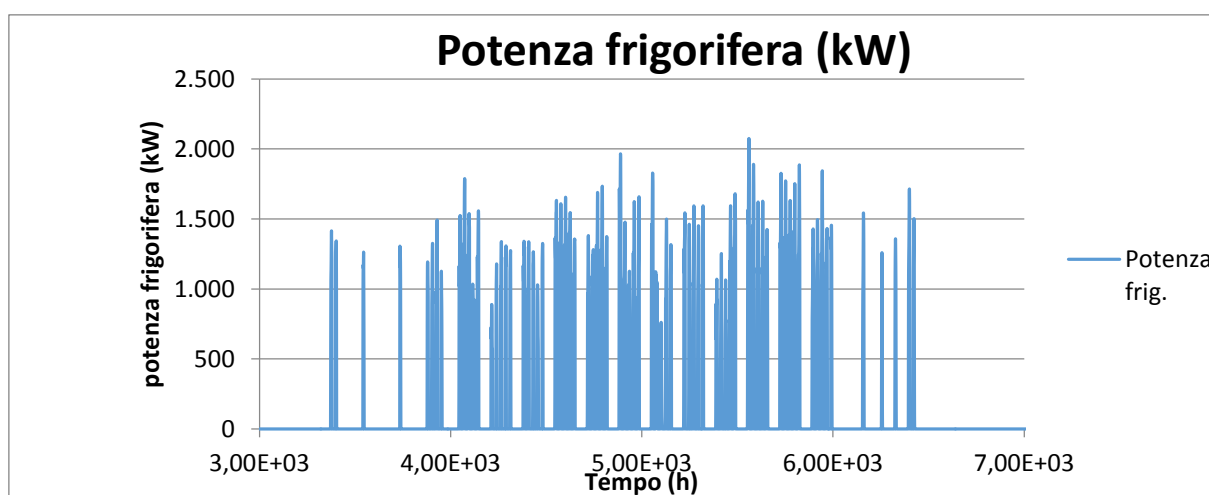


Figura 4 Potenza frigorifera(kW) in funzione del tempo.

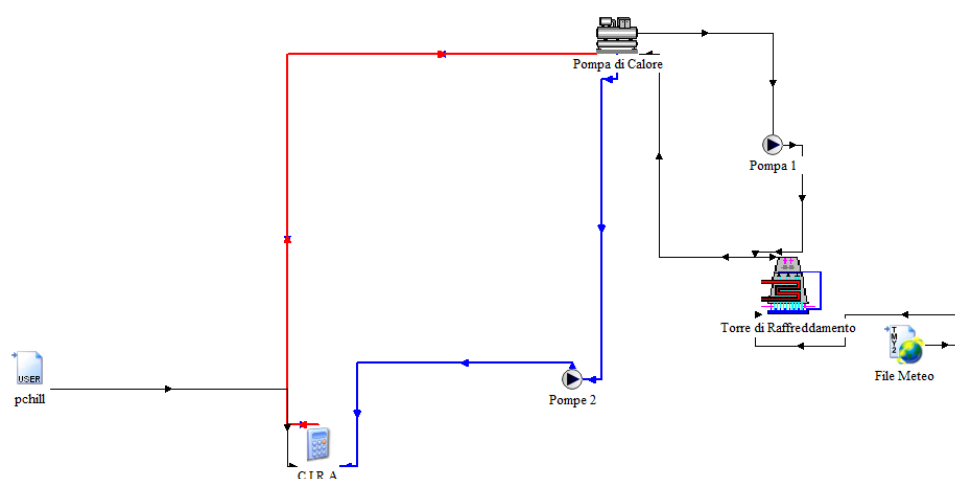
Da tali dati è stato possibile ricavare la ripartizione delle potenze e dei consumi per fascia oraria e stagionale. La situazione energetica, così inquadrata, viene analizzata al fine di individuare interventi migliorativi per la riduzione dei consumi e dei costi e la valutazione preliminare di fattibilità tecnico-economica. Nello specifico verranno presi in considerazione due scenari d'intervento:

- nel primo scenario si valuterà la convenienza, sia dal punto di vista energetico che da quello economico, della sostituzione dei tre assorbitori da 1500 kW ciascuno presenti all'interno della centrale frigorifera del C.I.R.A., con due Pompe di Calore ad alta efficienza da 2500 kW.
- nel secondo scenario verranno valutati attraverso gli stessi indici e parametri del primo scenario, i vantaggi nella sostituzione degli assorbitori con una sola Pompa di Calore da 2500 kW anziché due.

## Sostituzione degli Assorbitori all'interno della centrale frigorifera

Per poter valutare correttamente i vantaggi della sostituzione degli assorbitori, occorre conoscere come varia dinamicamente il C.O.P. della macchina. Questa analisi non può essere fatta dal solo dato nominale, ma è necessario implementare un modello di simulazione dinamica. Per la costruzione del modello è possibile avvalersi del software TRNSYS (Transient System Simulation Program), disponibile in commercio dal 1975. È un software pensato per l'analisi, con notevole grado di dettaglio, delle prestazioni transitorie di sistemi energetici termici il cui comportamento sia variabile nel tempo. Tale strumento contiene diverse interfacce grafiche. Nel lavoro si è fatto riferimento solamente a SIMULATION STUDIO.

Lo schema che si presenta in ultima analisi è quello mostrato in Figura 5.

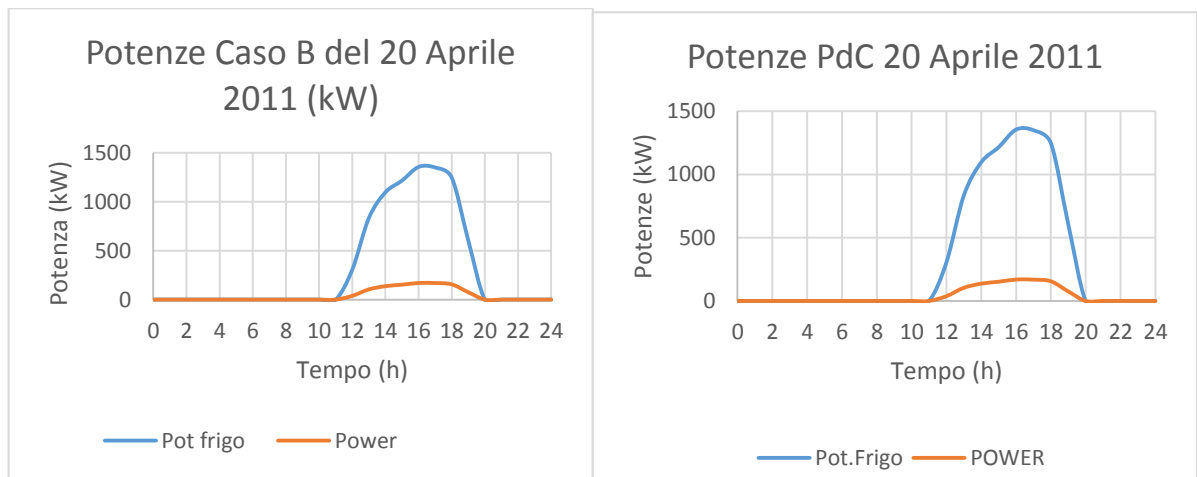


**Figura 5 Finestra di assemblaggio di TRNSYS Simulation studio.**

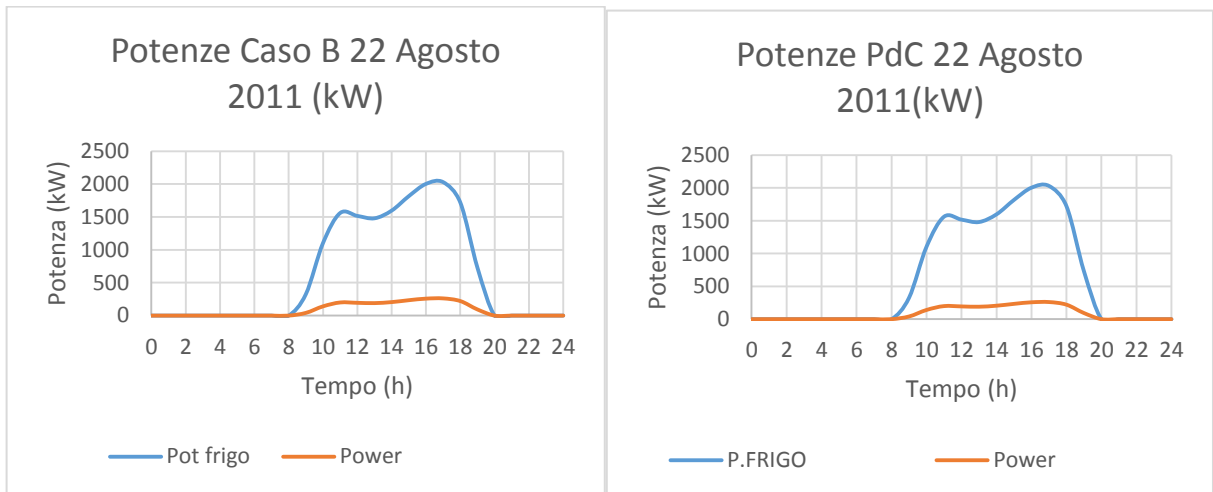
Il modello si presenta costituito da un type “Pompa di Calore” all’interno del quale sono state specificate tutte le caratteristiche relative alla pompa di calore utilizzata. Inoltre si è rappresentata la Torre di raffreddamento, attraverso il Type denominato “Torre di Raffreddamento”. Il file meteo invece ci fornisce tutte le informazioni relative alle variabili climatiche (temperatura, umidità relativa, radiazione solare ecc.).

Dal software Trnsys sono stati estratti gli andamenti delle potenze frigorifere relativi ai due scenari presi in esame.

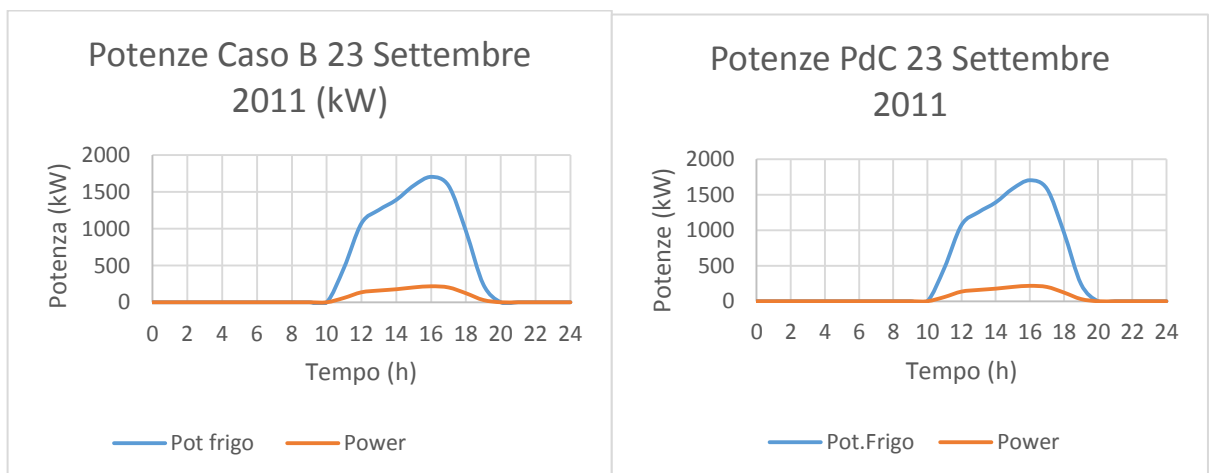
Per riuscire a notare le differenze in termini di potenza frigorifera e di potenza elettrica al compressore, tra lo scenario dell’utilizzo di due PdC da 2500 kW e quello dell’uso di una sola di queste, visto che si tratta di differenze di alcune unità su mille kW, si è scelto di diagrammare solo gli andamenti giornalieri significativi.



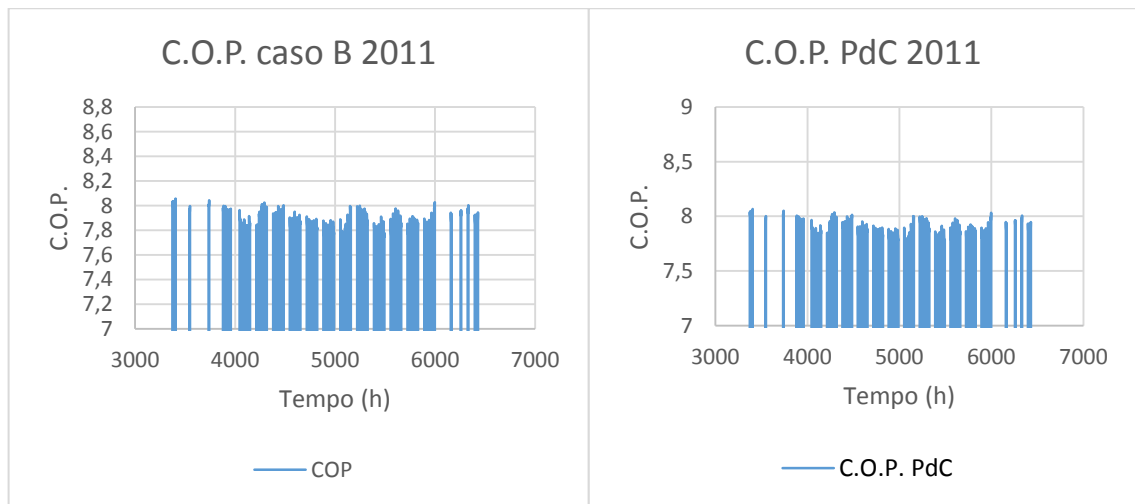
**Figura 6 Confronto tra le due Potenze frigorifere della Pompa di Calore e dei consumi Elettrici al compressore del 20 Aprile 2011.**



**Figura 7 Confronto tra le due Potenze frigorifere della Pompa di Calore e dei consumi Elettrici al compressore del 20 Agosto 2011.**



**Figura 8 Confronto tra le due Potenze frigorifere della Pompa di Calore e dei consumi Elettrici al compressore del 20 Settembre 2011.**



**Figura 9 andamento del C.O.P. relativo ai due casi analizzati.**

Come si evince dalle Figure 6-7-8, gli andamenti delle potenze frigorifere (linee blu nei diagrammi) del caso B sono simili a quelle del caso dell'utilizzo di due gruppi di PdC. Infatti gli andamenti del COP per entrambi i casi considerati, sono molto simili. Come si può notare dai diagrammi in Figura 9, i COP hanno un andamento quasi costante vicino al valore 8, con valori leggermente inferiori per il caso B.

Per capire se la sostituzione degli assorbitori è conveniente anche dal punto di vista economico oltre che energetico, verranno valutati alcuni indici economici:

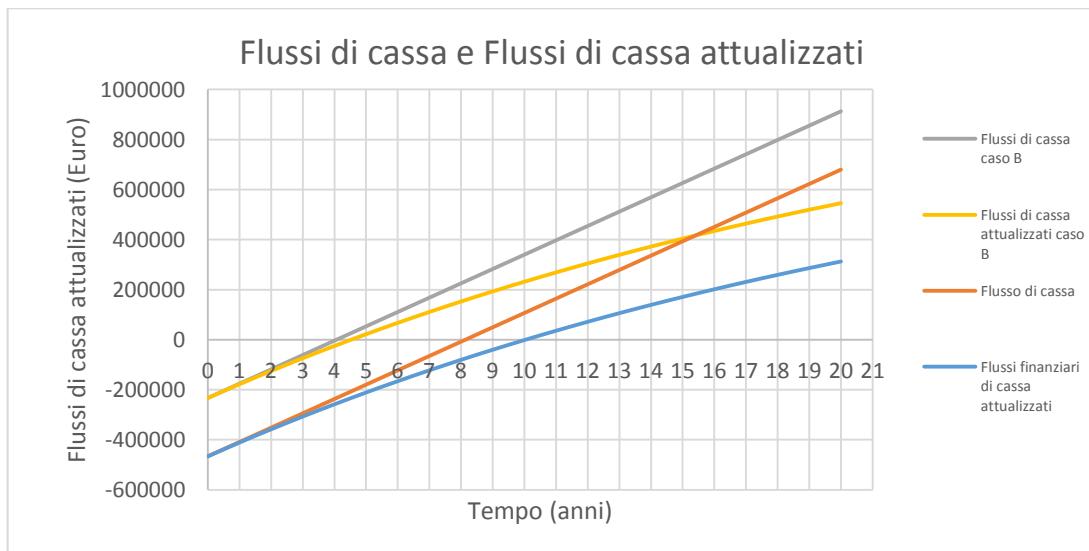
- SPB;
- DPB;
- VAN;
- Indice di Profitto.

Il *costo di un investimento* è dato dai flussi finanziari in uscita, che in questo caso sono rappresentati da:

- Costo della pompa di calore;
- Costo del trasporto della Pompa di Calore e degli attrezzi utili al suo montaggio;
- Costo della messa in opera della Pompa di Calore.

I "benefici" associati all'investimento sono costituiti dai flussi finanziari in entrata, ovvero ai minori flussi in uscita, dovuti al miglior funzionamento della PdC rispetto agli assorbitori.

Diagrammando i flussi di cassa così ricavati ed i flussi di cassa attualizzati per entrambi i casi presi in esame, si ottiene la Figura 10.



**Figura 10** Flussi di cassa netti ed attualizzati relativi ai due casi presi in esame.

Dal diagramma in Figura 10 si nota che in questo caso l'SPB (che rappresenta il punto d'intersezione della curva dei flussi di cassa con l'asse delle ascisse) ed il DPB (che rappresenta il punto d'intersezione della curva dei flussi di cassa attualizzati con l'asse delle ascisse) del caso B, hanno valori più bassi rispetto al caso dell'utilizzo di due PdC, infatti valgono rispettivamente 4 e 4,3 anni, rispetto agli 8 e 10 anni relativi all'utilizzo di due PdC.

Successivamente è stato ricavato il VAN che rappresenta la somma algebrica dei flussi di cassa originati da un progetto, attualizzati ad un tasso di sconto che tiene conto del costo opportunità della moneta, in un arco di tempo predefinito. Esso consente di calcolare il valore del beneficio netto atteso dall'iniziativa come se fosse disponibile nel momento in cui la decisione di investimento viene assunta.

$$VAN(\text{caso B}) = (\Delta Costo * Fa) - I_0 = 552 \text{ k€}.$$

$$VAN = (\Delta Costo * FA) - I_0 = 318,9 \text{ k€}.$$

dove:

$\Delta Costo$ : rappresenta il risparmio annuale espresso in euro;

$I_0$ : rappresenta l'investimento complessivo attualizzato all'anno 0 espresso in Euro;

$FA$ : rappresenta il fattore di annualità ricavato, considerando una vita utile di 20 anni ed un tasso di attualizzazione di 0,04, assunto pari a 13,7.

Siccome il VAN ha il limite di essere un indice assoluto, a parità di redditività, privilegia investimenti di maggiori dimensioni; si ha, quindi, l'Indice di Profitto che è invece un indice relativo, commisurato all'entità dell'investimento iniziale:



$IP \text{ (caso B)} = VAN/|I_o| = 1,18;$

$IP = VAN/I_o = 0,68.$

## **Conclusioni**

Dall'analisi energetica ed economica svolta, si evince che utilizzando una sola Pompa di Calore si hanno le stesse prestazioni energetiche che si avrebbero utilizzandone due, con tutti i vantaggi sia economici che pratici che ne derivano.

Infatti dai diagrammi mostrati, non si riescono a distinguere notevoli differenze tra i COP delle due tipologie di funzionamento, che si mantengono costanti vicino al valore 8 per entrambi i casi considerati.

Il problema che potremmo riscontrare installando la PdC da 2500 kW sarebbe una diminuzione della Potenza erogabile (rispetto ai 4500 kW di partenza dei tre assorbitori).

Tuttavia per ovviare a tale problematica, si potrebbe pensare di usare gli assorbitori come riserva nel caso di un aumento della potenza frigorifera richiesta.

Inoltre, i dati in nostro possesso dimostrano che utilizzando un'unica PdC da 2500 kW, il sistema non risulta sottodimensionato. Infatti il picco massimo di potenza frigorifera raggiunge il valore di circa 2100kW, inferiore rispetto alla capacità del sistema.

Dal punto di vista economico la scelta dell'installazione di un'unica PdC è sicuramente la più conveniente. Infatti dall'analisi degli indici economici, si nota che si arriva al recupero del capitale dopo circa 4 anni. Di gran lunga più accettabile rispetto agli 8 anni che si avrebbero se installassimo due PdC. Anche il VAN raggiunge il valore di 552 k€, quasi il doppio dell'investimento iniziale di 233 mila euro, con un risparmio annuale di 57,3 k€.

Dai dati riportati e dalle considerazioni fatte si può concludere che utilizzare un'unica Pompa di Calore da 2500kW, rappresenta la soluzione migliore da tutti i punti di vista, avendo delle prestazioni energetiche comparabili con quelle del caso dell'utilizzo di due PdC, ma una redditività dell'investimento di gran lunga superiore.