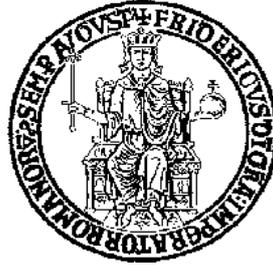


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

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

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

ELABORATO DI LAUREA

**ANALISI TECNICO ECONOMICA DI POSSIBILI INTERVENTI DI
RAZIONALIZZAZIONE ENERGETICA PRESSO IL C.I.R.A.**

RELATORI

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

CH.MO PROF. ING. ADOLFO PALOMBO

CORRELATORI

ING. ANNAMARIA BUONOMANO

ING. GABRIELE FERRUZZI

CANDIDATO

SALVATORE FABOZZI

MATR. M67/44

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

Di fronte alla necessità di ridurre l'impatto ambientale prodotto dagli edifici, si sta pian piano diffondendo una maggiore sensibilità sui problemi del risparmio energetico. La Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia ha dato impulso a un rinnovamento legislativo, che in Italia ha prodotto, a livello nazionale, il Decreto 19 agosto 2005 n. 192 e s.m.i.e, a livello locale, una serie di regolamenti rivolti alla riduzione dei consumi e alla certificazione energetica. Si ritrova tra questi il pacchetto di norme tecniche UNI/TS 11300 "Prestazioni energetiche degli edifici" che rappresenta una grande opportunità di armonizzazione e razionalizzazione delle procedure di valutazione energetica ad oggi esistenti. L'obiettivo dunque che oggi giorno ci si prefissa è comprendere gli aspetti di riduzione e uso razionale dell'energia, contenere il consumo delle risorse non rinnovabili e ridurre l'impatto ambientale dei sistemi energetici a servizio degli edifici. Per raggiungere tali mete occorre ragionare in maniera integrata sul cosiddetto *sistemaedificio-impianto*.

Per realizzare un sistema energeticamente efficiente occorre, quindi, che si massimizzino gli apporti energetici naturali e si minimizzino le dispersioni termiche interne. Occorre cioè un involucro che reagisca in maniera flessibile alle sollecitazioni esterne minimizzando le dispersioni termiche nel periodo invernale e limitando l'innalzamento della temperatura nel periodo estivo.

Per contro il sistema impianto dovrà essere modulato in maniera adeguata alle reali efficienze dell'involucro edilizio. Ovviamente progettare un involucro che massimizzi i guadagni di energia e minimizzi le perdite fa sì di non dover far uso di sistemi impiantistici di elevata potenza.

In definitiva, è logico affermare che una progettazione energeticamente efficiente deve prevedere sia una corretta costruzione dell'involucro edilizio sia un'adeguata scelta delle apparecchiature coinvolte nell'impianto di climatizzazione.

Il problema delle dispersioni energetiche si presenta di rilevante importanza negli edifici di vecchia data, costruiti in periodi in cui le tecniche di efficientamento energetiche non erano ancora sufficientemente diffuse.

Oggetto del presente elaborato è dunque la valutazione energetica di un edificio esistente presso il Centro Italiano delle Ricerche Aerospaziali(CIRA) e proporre alcuni possibili interventi che ne migliorino le prestazioni.

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 la vetustà 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 la simulazione del ritorno in atmosfera ad alta velocità.



Figura 1:Ice Wind tunnel

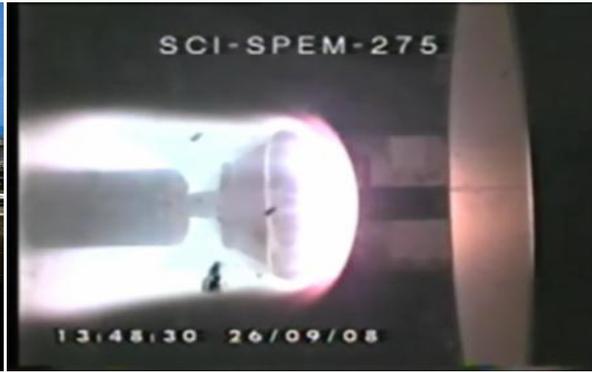


Figura 2: Plasma Wind Tunnel

Al fine di effettuare una valutazione energetica di uno dei fabbricati si è scelta un'analisi in regime dinamico.

Le simulazioni effettuate in regime dinamico, permettono un'analisi molto più realistica e completa valutando nel dettaglio i contributi apportati dall'inerzia termica dell'involucro e dalle ventilazione naturale, che hanno ripercussioni sulle prestazioni termiche sia in regime invernale, sia in quello estivo.

E' possibile affermare, dunque, che il reale comportamento termico-dinamico dell'edificio è strettamente dipendente dalle oscillazioni delle condizioni interne all'edificio (determinate dalla modalità di occupazione e di gestione degli impianti) e contemporaneamente dalle fluttuazioni delle condizioni climatiche che si verificano al suo esterno. Per determinare, quindi, tali effetti è necessario procedere con valutazioni di tipo dinamico, che considerino la variabile temporale, correlata alla capacità termica dei materiali, nello studio dei fenomeni di trasmissione del calore. Considerare una valutazione di tipo dinamico consente di valutare per quanto riguarda l'involucro edilizio, non solo la resistenza termica (unica caratteristica valutata in regime stazionario), ma anche un fenomeno molto importante : che è l'effetto di mitigazione termica, fra le condizioni interne ed esterne, che avviene nel tempo. Si assiste dunque a due effetti:

1. **smorzamento dell'onda termica:** la quantità di calore che passa da un ambiente all'altro viene ridotta grazie all'isolamento;
2. **sfasamento dell'onda termica:** effetto che dipende dalle proprietà termo fisiche del materiale che compone le pareti esterne dell'edificio. In particolare, le murature riescono ad accumulare calore in quantità dipendente dalle loro caratteristiche di capacità termica e massa.

Risulta dunque di fondamentale importanza considerare la variabilità delle sollecitazioni termiche con il tempo. Esistono a tale scopo diversi software che consentono di effettuare simulazioni del comportamento energetico dell'edificio. In questo lavoro di tesi si è studiato l'edificio attraverso il software TRNSYS 17.

TRNSYS17 è un software che lavora in regime dinamico e grazie al quale è possibile effettuare delle simulazioni nel tempo del sistema edificio-impianto. Tale strumento contiene diverse interfacce grafiche. Nel lavoro si è fatto riferimento solamente a tre di esse: TRNSYS3D, TRNBUILD e SIMULATION STUDIO.

Esaminati tutti i dati architettonici necessari alla simulazione si è pensato (attraverso TRNSYS3D) a come meglio passare dal “modello geometrico” al “modello energetico”. Dopo aver effettuato un’attenta analisi si è proceduto schematizzare il fabbricato in questione in questo modo:

due zone adiacenti tra loro denominate Zona A e Zona B in modo tale da risultare una struttura convessa. Di seguito viene riportato in figura 3 la zonizzazione dell’edificio e le caratteristiche di trasmittanza per tutte le superfici coinvolte.

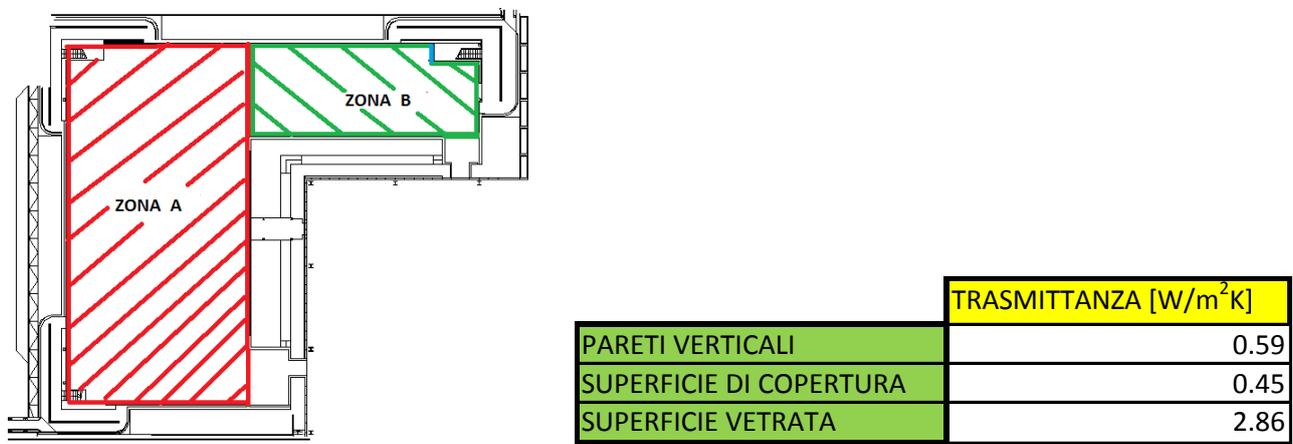


Figura 3 :Zonizzazione dell’area e caratteristiche delle superfici

La **Zona A** presenta una superficie di 1068 m² mentre la **Zona B** ha invece una superficie di 360 m². Il risultato della modellazione si presenta come in figura 4

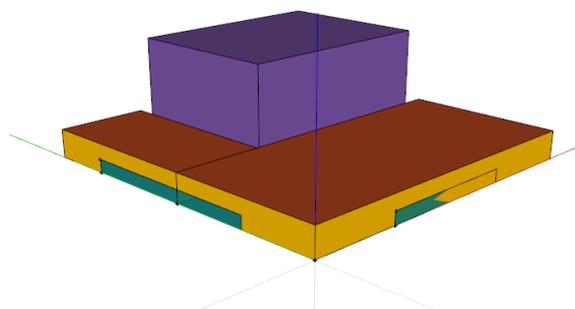


Figura 4:Modello tridimensionale dell’edificio

Attraverso l'uso di Simulation Studio è stato possibile completare il modello con una serie di controllori che simulino il reale funzionamento del sistema *edificio-impanto*. Lo schema che si presenta in ultima analisi è quello mostrato in figura 5.

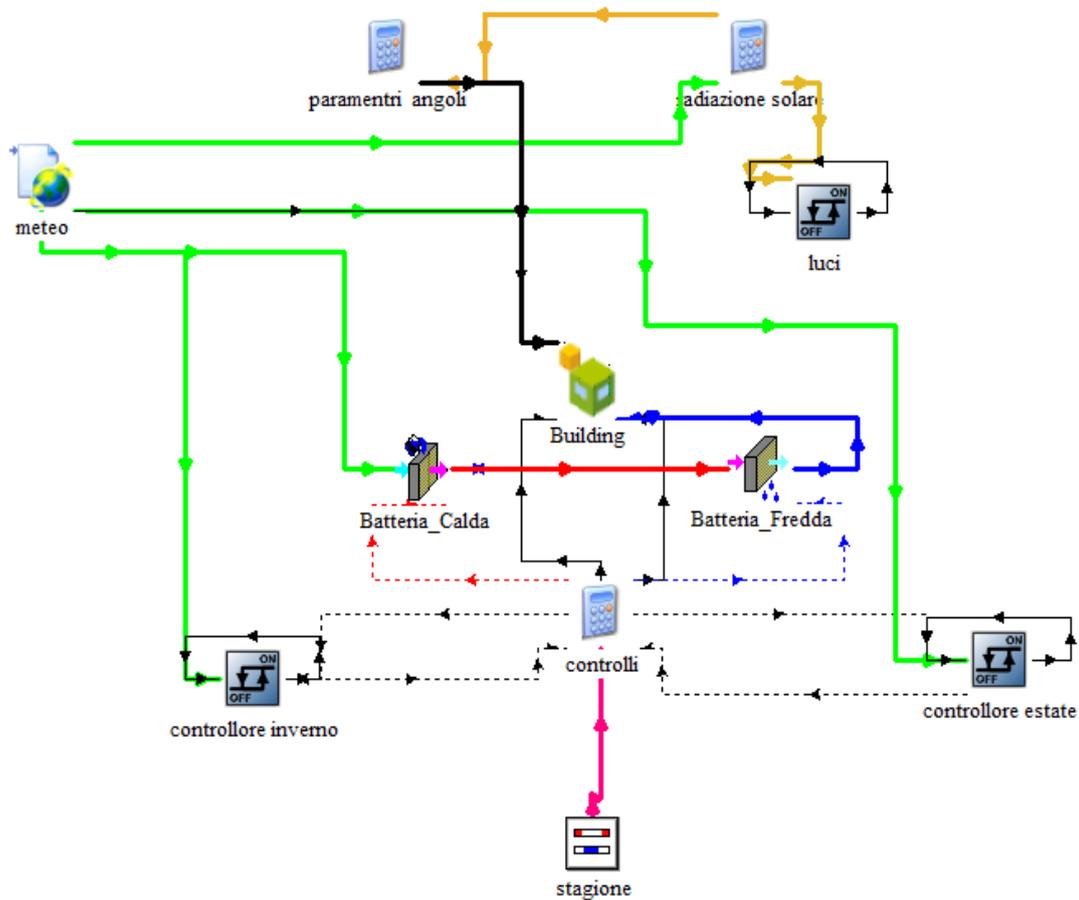


Figura 5 Modello utilizzato per le simulazioni dinamiche

Il modello si presenta costituito da un “Type building” all’interno del quale sono state specificate tutte le caratteristiche relative all’involucro edilizio, dei dati occupazionali, infiltrazione, ventilazione e comfort. Si è rappresentata l’UTA attraverso due Type denominati “Batteria calda” e “Batteria fredda” regolati da due controllori differenziali denominati “controllore inverno” e “controllore estate” che ne permettessero l’accensione e lo spegnimento in base alle condizioni esterne e quelle di set-point . Il file meteo invece ci fornisce tutte le informazioni relative alle variabili climatiche (temperatura, umidità relativa, radiazione solare ecc.). Si evidenzia anche che il modello creato può essere usato come base di ulteriori simulazioni che oltre allo studio dell’involucro edilizio potrebbero portare ad un’analisi più approfondita dell’impianto.

Le simulazioni effettuate in regime dinamico hanno permesso un'analisi molto realistica e completa valutando nel dettaglio i contributi apportati dall'inerzia termica dell'involucro e dalla ventilazione naturale, che hanno ripercussioni sulle prestazioni termiche sia in regime invernale, ma soprattutto in quello estivo. L'analisi dinamica ha permesso di considerare il giusto peso di fattori come l'escursione termica giorno-notte sulla la variazione dei consumi durante i mesi dell'anno. Vengono riportati nelle figure 6 e 7 i consumi annuali invernali ed estivi relativi alla situazione attuale.

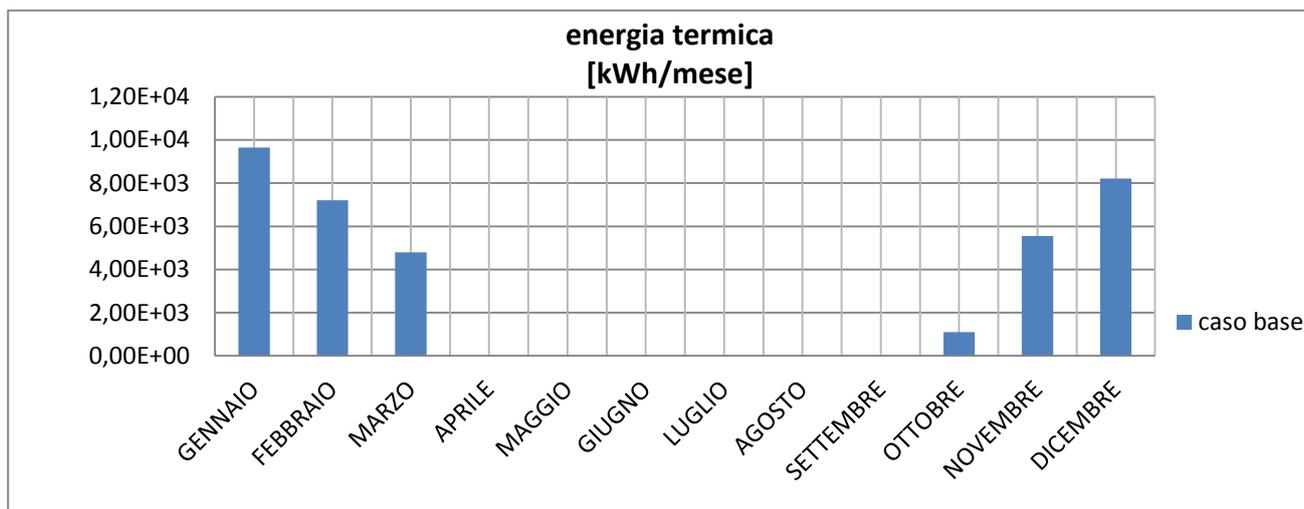


Figura 6 Andamento dei consumi invernali

L'andamento dei consumi di energia termica nella figura 6 mostra come i consumi di energia termica diminuiscono nei mesi più caldi ed aumentano nei mesi più freddi. Il consumo più elevato si verifica nel mese di Gennaio 9.650 kWh mentre il mense dove si è registrato il minor consumo è stato il mese di Ottobre con 1110 kWh. Il consumo totale per la stagione invernale è 36.550 kWh.

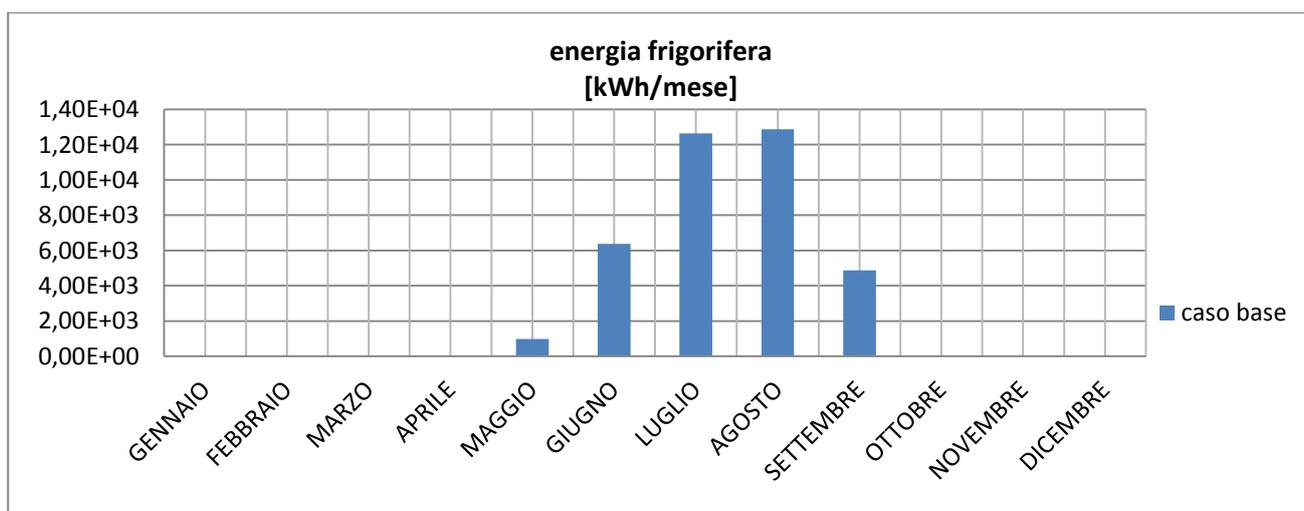


Figura 7 Andamento dei consumi estivi

Il grafico in figura 7 mostra, come era facile intuire, che l'andamento dei consumi estivi si presentano alti in particolare per il mese di Luglio e di Agosto. Il fabbisogno per il mese di Agosto è risultato pari a 12.950 kWh, ben superiore a quello richiesto per il mese più gravoso invernale. Complessivamente per la stagione estiva il consumo risulta pari a 37.850 kWh.

Se si confrontano i fabbisogni invernali ed estivi si vede come complessivamente questi ultimi risultino maggiori anche se di poco. Se in più si considera il fatto che i mesi in cui viene richiesto il raffreddamento sono 5 anziché 6 come quelli invernali, si può concludere che l'edificio in esame venga particolarmente sollecitato durante i mesi più caldi.

Dall'analisi dei consumi e delle temperature è stato possibile proporre degli scenari d'intervento che permettessero di migliorare il comportamento dell'involucro edilizio e dell'impianto al fine di ridurre i consumi soprattutto durante i mesi estivi

Regolazione dell'impianto

Analizzando i grafici dell'andamento delle temperature relativi alle simulazioni effettuate si vede come l'impianto di climatizzazione entri in funzione alle 7 ed in meno di dieci minuti, grazie alla bassa inerzia termica dell'edificio e al tipo di impianto di climatizzazione (a tutt'aria), riesce a portare la struttura alle condizioni che desideriamo. Si è pensato allora di proporre una modifica nell'accensione ed in particolare quella di accendere l'impianto alle ore 8 anziché le 7, e vedere come questo incida sull'andamento delle temperature del PPD e del PMV e dei consumi.

Variazione dello spessore dell'isolante del tetto

Un'adeguata coibentazione permette di ridurre il dispendio energetico di un edificio, secondo i criteri della bioedilizia. Se tutte le abitazioni fossero correttamente isolate, i consumi si ridurrebbero del 20% e la resa degli impianti di climatizzazione aumenterebbe. Sulla base di queste considerazioni, ed andando ad osservare che la trasmittanza della superficie di copertura risulta pari a $U=0,456 \text{ W/m}^2$, si è ipotizzato di considerare un ulteriore spessore di 5 cm di polistirene (valore che permette di rispettare i limiti di trasmittanza della norma: $U \leq 0.380 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Sostituzione dei vetri

Le superfici trasparenti dell'involucro edilizio rappresentano un elemento critico. Per questo motivo è stato proposto uno scenario in cui, in base all'orientamento delle superfici esposte, sono stati scelti dei vetri che permettessero di minimizzare gli apporti solari d'estate e, dove era possibile minimizzare le dispersioni d'inverno.

Freecooling

Al fine di ridurre gli apporti termici durante il regime estivo e raffrescare gli spazi devono essere adottate soluzioni progettuali che garantiscano di utilizzare al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio, con particolare riferimento alla ventilazione notturna(freecooling).

Risulta quindi interessante vedere come cambia il fabbisogno estivo e la temperatura interna dell'edificio considerando un controllore che permette l'entrata di aria esterna (dall'UTA) quando questa è al di sotto dei 26°C.

Schermature solari

Data la grande superficie finestrata di cui l'edificio in esame è caratterizzato diventa interessante vedere come i fabbisogno estivo cambia inserendo opportune schermature esterne che blocchino la radiazione solare dall'esterno evitando che entri all'interno dell'edificio.

In ultima analisi sono stati effettuati diversi confronti tra i fabbisogni energetici reali relativi al periodo invernale ed estivo e i fabbisogni ottenuti variando adottando i parametri che caratterizzano gli scenari appena proposti. Si riporta, come esempio,nelle figure 8 e 9 la variazione che si è ottenuta nel fabbisogno estivo e nella temperatura(nel giorno 18/06) considerando delle schermature solari.

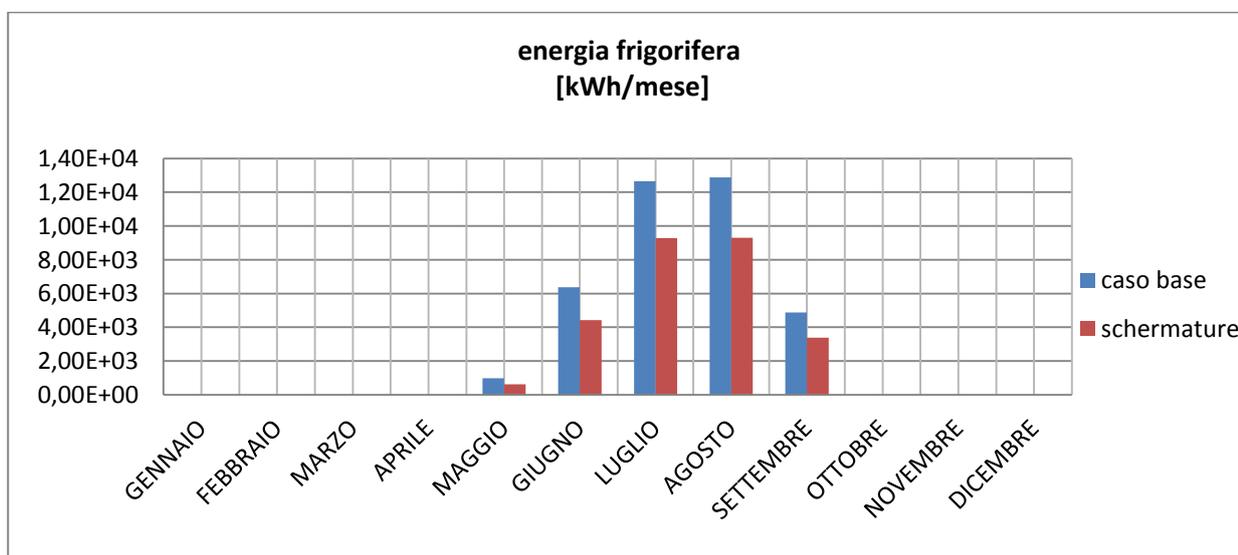


Figura 8 :Confronto dei consumi caso base-schermature

Complessivamente se analizziamo(figura 1.10) i consumi vediamo come si riducono passando ,per esempio ,nel mese di Agosto da12.950 kWh a 9.300 kWh. Complessivamente per la stagione estiva possiamo vedere che i consumi passano da 37.850 kWh a 27.052 kWh con un risparmio del 30%.

Dal grafico in figura 1.11 possiamo vedere come in un giorno in cui l'impianto è spento (freefloating) le schermature abbassino notevolmente le temperature interne dell'edificio.

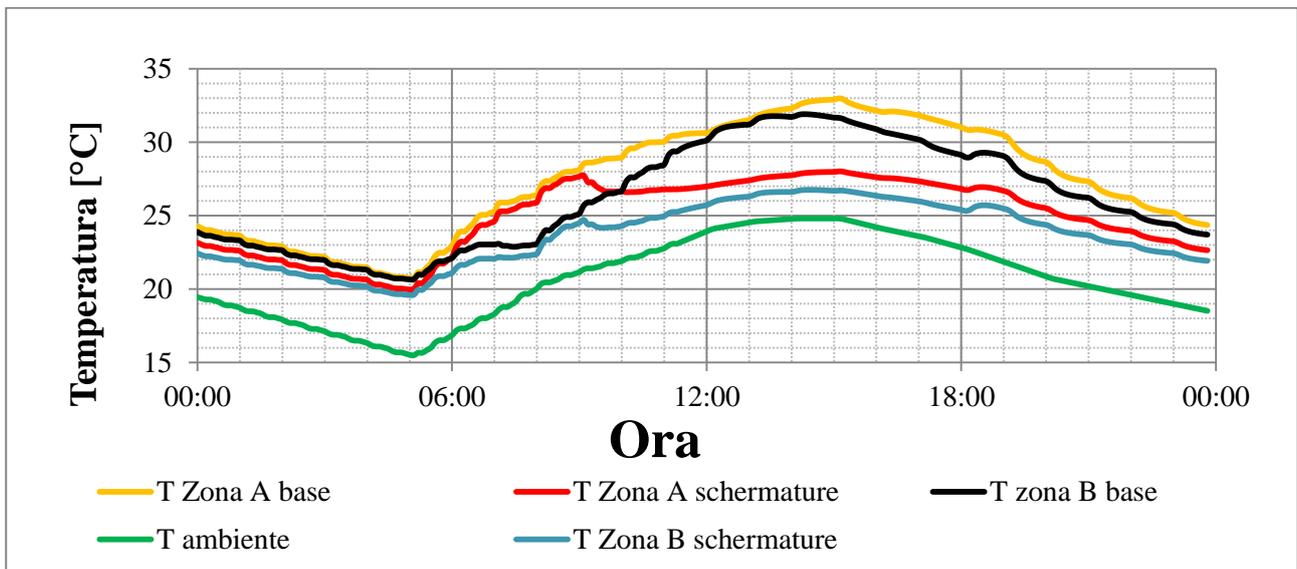


Figura 9: Confronto andamento delle temperatura caso base-schermature(giorno 18/06)

Viene riportata anche una tabella (1) dove vengono mostrati i risparmi in termini economici ed energetici ed il SPB qualora è stato possibile valutarlo (senza incentivi e con incentivi) per tutte le soluzioni .

	Δ energia[kWh]	Risparmio[€]	SPB
vaziazione dello spessore dell'isolante	-5.17E+02	-77	-----
sostituzione dei vetri	4.67E+03	702	13.75 / 8.39
regolazione dell'impianto	3.45E+03	519	-----
schermature solari	6.77E+03	1017	8.6 / 5.6
Freecooling	1.34E+03	201	-----

Tabella 1 Risparmi energetici,di costo e SPB.

In ultimo, possiamo dire che, l'analisi in regime dinamico ha consentito di studiare il comportamento dell'involucro edilizio in modo molto dettagliato.

Grazie alle simulazioni effettuate è stato possibile valutare come la variazione di alcuni parametri influisca in maniera decisiva sia sul fabbisogno invernale ed estivo, sia sulla temperatura interna.

E' quindi possibile affermare che risulta indispensabile un' attenta valutazione energetica in modo da studiare meglio il comportamento reale dell'edificio e quindi poter apportare dei miglioramenti significativi in termini di comfort abitativo e risparmi energetico.