

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

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

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE**

**TESI DI LAUREA**

**SIMULAZIONE DINAMICA ED ANALISI ENERGETICA DI  
INTERVENTI DI OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA PRESSO IL  
“CEINGE”**

**RELATORE**

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

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

**CORRELATORE**

ING. GABRIELE FERRUZZI

**CANDIDATO**

NELLO MAIO

M67/122

Soddisfare il fabbisogno energetico mondiale attraverso l'utilizzo dei tradizionali combustibili fossili (gas, petrolio, carbone) diventa sempre più difficile, considerando il loro effetto inquinante sull'atmosfera e la loro scarsa disponibilità nel prossimo futuro. La sfida di tutti i paesi del mondo è creare condizioni per un sistema energetico più sicuro, più efficiente, a più basso contenuto di carbonio derivante dalle fonti fossili, con la conseguente riduzione delle emissioni, senza rallentare lo sviluppo economico e sociale e indirizzando il sistema energetico mondiale verso un percorso più sostenibile. Per questo motivo bisogna porre attenzione al corretto utilizzo dell'energia, cercando di ottimizzare dal punto di vista energetico ogni singola attività svolta dall'essere umano.

Questo è stato il punto di partenza del seguente lavoro di tesi, con il quale sono stati studiati e modellati diversi sistemi di regolazione, andando ad analizzare il comportamento energetico dell'insieme edificio-impianto.

L'edificio esaminato è il "CEINGE- *Biotecnologie Avanzate*" è una società consortile senza scopo di lucro che si occupa di biotecnologie avanzate e delle sue possibili applicazioni. Il Centro di Ricerca CEINGE sorge su un suolo di proprietà dell'Università di Napoli Federico II ed è costituito da corpi di fabbrica strutturalmente indipendenti, articolati su tre livelli, nell'area di Cappella dei Cangiani, in un sito adiacente alle Facoltà di Medicina e di Farmacia della suddetta Università, con accesso da Via Comunale Margherita n. 482. Il Ceinge risulta essere un edificio particolarmente energivoro soprattutto per quanto riguarda i consumi di energia elettrica dovuti all'assorbimento delle macchine destinate alla climatizzazione, al quale si va a sommare il contributo dovuto all'illuminazione, alle apparecchiature da laboratorio e alle macchine da ufficio, il cui utilizzo non dipende dal periodo dell'anno. Al fine di ridurre i consumi dovuti alle macchine per la climatizzazione, nel seguente lavoro, si vanno a studiare diversi sistemi di regolazione implementabili all'interno dell'impianto, andando prima però ad analizzare i seguenti elementi:

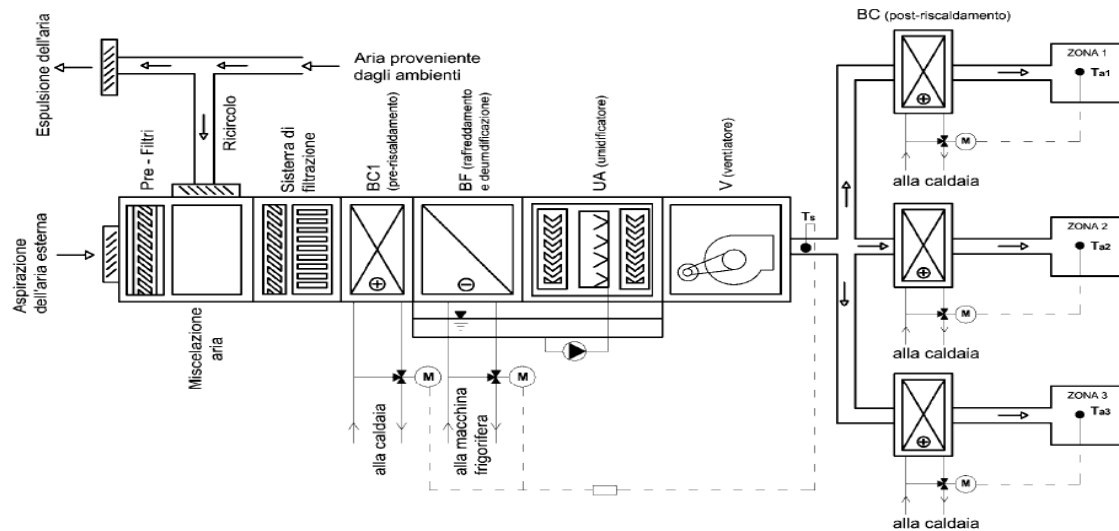
- l'edificio del *CEINGE*, modellato tramite un plug-in del software google SketchUp "Trnsys-3D";
- l'impianto del *CEINGE* modellato tramite il software Trnsys17.

I tre livelli su cui si articola il centro, sono internamente divisi tutti in modo molto simile, ossia laboratori, studi e sale riunioni, per questo motivo l'analisi svolta è stata fatta prendendo in esame solo quattro zone, evidenziate in rosso nella seguente Figura 1.



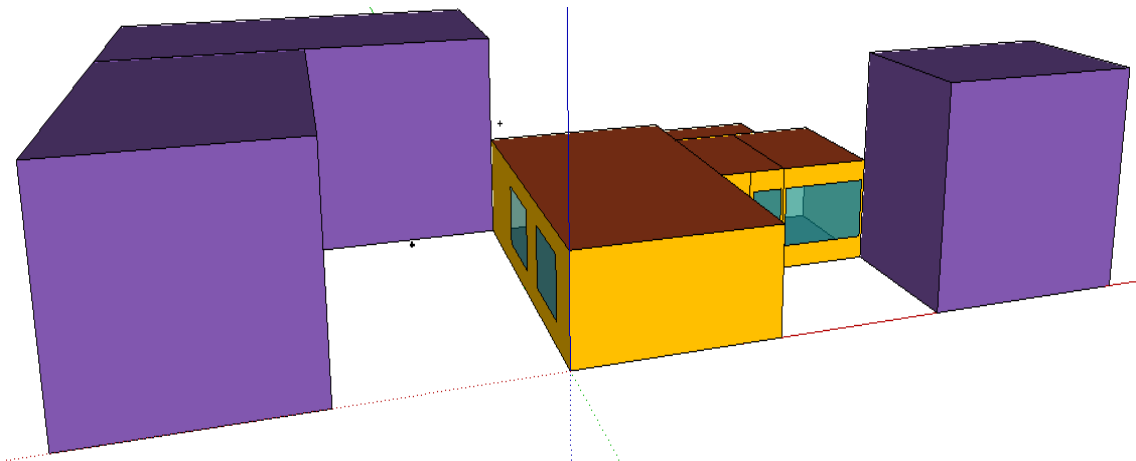
Figura 1- Pianta primo piano CEINGE con in rosso le zone modellate

L'impianto di condizionamento a servizio delle zone esaminate è composto da un'unità di trattamento aria "UTA" con ricircolo, della *NOVAIR* servita da un gruppo polivalente della *CLIMAVENETA*. L'impianto di condizionamento è un impianto a tutt'aria multizone, come riportato nella seguente Figura 2.



**Figura 2- Schema UTA con impianto multizone**

Il modello energetico delle zone dell'edificio esaminate, costruito tramite il software *Trnsys-3D*, permette di simulare un flusso dinamico di energia che si trasferisce da una zona termica all'altra o verso l'esterno. Tale modello viene riportato nella seguente Figura.



**Figura 3 – Modello energetico delle zone del ceinge modellate**

In Figura 3 si può osservare, dai diversi colori utilizzati nella rappresentazione delle varie parti di ogni elemento, come questo modello differenzi le superfici vetrate dalle mura perimetrali, le mura perimetrali dal soffitto, ecc. Questo fa sì che nelle fasi successive si possa andare ad assegnare delle differenti caratteristiche dei materiali che compongono ogni tipo di superficie, invece le superfici riportate in viola nella Figura 3 rappresentano tutti quegli elementi che non partecipano attivamente ai flussi energetici delle zone modellate, ma che indirettamente vanno ad influenzare tali flussi, come ad esempio la presenza di edifici vicini che in

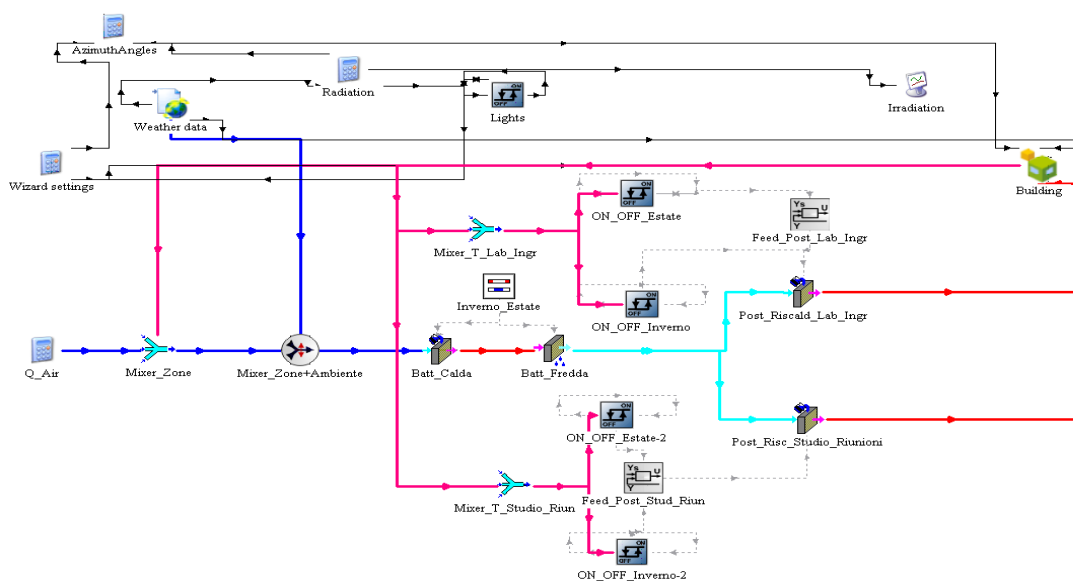
funzione delle diverse ore della giornata possono creare delle ombre sulle zone modellate. Nella seguente Tabella vengono riportate le caratteristiche tecniche delle mura perimetrali delle zone modellate.

Rif.	Materiali	s [m]	$\lambda$ [W/(mK)]	C [W/(m <sup>2</sup> K)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco esterno (cemento)	0.02	1.4000	70,00	2000	0,022
2	Cls cellulare	0.15	0,2800	1,87	800	0,536
3	Poliuretano in lastre	0.05	0.0340	0,68	25	1,471
4	Cls cellulare	0.10	0,2500	2,50	800	0,400
5	Intonaco interno (calce e cemento)	0.02	0,9000	45,00	1800	0,022

**Tabella 1- Caratteristiche tecniche stratigrafia mura perimetrali**

Il ceinge essendo un centro di ricerca è composto principalmente da laboratori, studi e sale riunioni con orari lavorativi che vanno dalle 08:00 alle 18:00 dal Lunedì al Venerdì, all'interno dei laboratori vi è un maggior numero di persone che vi lavorano, dalle 10 alle 15 persone per ognuno di essi, rispetto agli studi. Sempre nei laboratori i carichi termici interni sono molto più grandi rispetto agli altri ambienti, a causa del elevato numero di computer ed apparecchiature necessaria per le analisi. Tutti questi fattori, che influenzano fortemente l'andamento delle temperature di un ambiente e quindi i flussi termici, vengono tenuti in conto all'interno del software Trnsys17 in cui vengono inseriti come input per ogni zona termica modellata.

Il software utilizzato per la creazione di questo modello, al momento del salvataggio, crea un *file .idf* che può essere richiamato dal software *Trnsys17* in modo da poter far interagire l'edificio con l'impianto a suo servizio. Proprio col software *Trnsys17*, ed in particolare con la sua interfaccia *simulation studio*, in un secondo momento si è passati alla modellazione dell'impianto di condizionamento a servizio delle zone modellate. L'insieme Edificio-Impianto, modellati tramite i due software precedentemente descritti, viene mostrato nella seguente Figura.



**Figura 4 – Modello Edificio-Impianto in Trnsys17**

L'impianto simulato, come mostrato in Figura 4, è dotato di una camera di miscelazione tra aria di ricircolo e aria esterna, prese in percentuali diverse a seconda della percentuale di apertura delle serrande, da una batteria di pre-riscaldamento con umidificazione a vapore "Batt\_calda" funzionante solo in regime di funzionamento invernale (dal 01-Ottobre al 31-Marzo), da una batteria fredda con deumidificazione "Batt\_Fredda" funzionante nella restante parte dell'anno, e da due post-riscaldamenti ognuno a servizio di due delle zone modellate. I post sono regolati da un sistema di controllo *feedback* sulla temperatura delle zone servite. Nota l'attuale regolazione dell'impianto si è passati a simulare ed analizzare i risultati ottenuti per tutti i diversi scenari, dove in ogni scenario è stato utilizzato un diverso parametro controllato dal sistema di regolazione come riportato nella Tabella 2.

PARAMETRO	DESCRIZIONE	UNITA' DI MISURA
$T_{BC}$	Temperatura batteria calda	°C
$T_{BF}$	Temperatura batteria fredda	°C
$T_{Post\ 1}$	Temperatura Post riscaldamento Laboratorio Ingresso	°C
$T_{Post\ 2}$	Temperatura Post riscaldamento Studio Riunioni	°C
$\dot{Q}$	Portata d'aria immessa nelle zone	$\frac{kg}{m^3}$
UR	Umidità relativa delle zone	%

Tabella 2 - Descrizione parametri controllati dal sistema di controllo

In dinamico il software plotta l'andamento delle variabili di output specificate al suo interno, restituendo un grafico come mostrato nella seguente Figura.

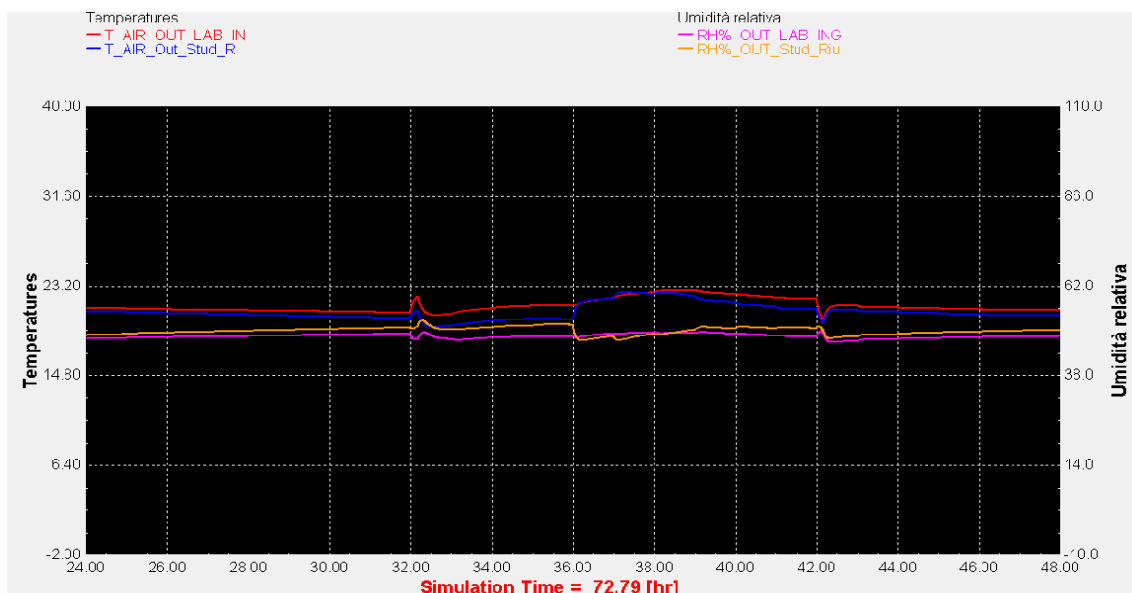


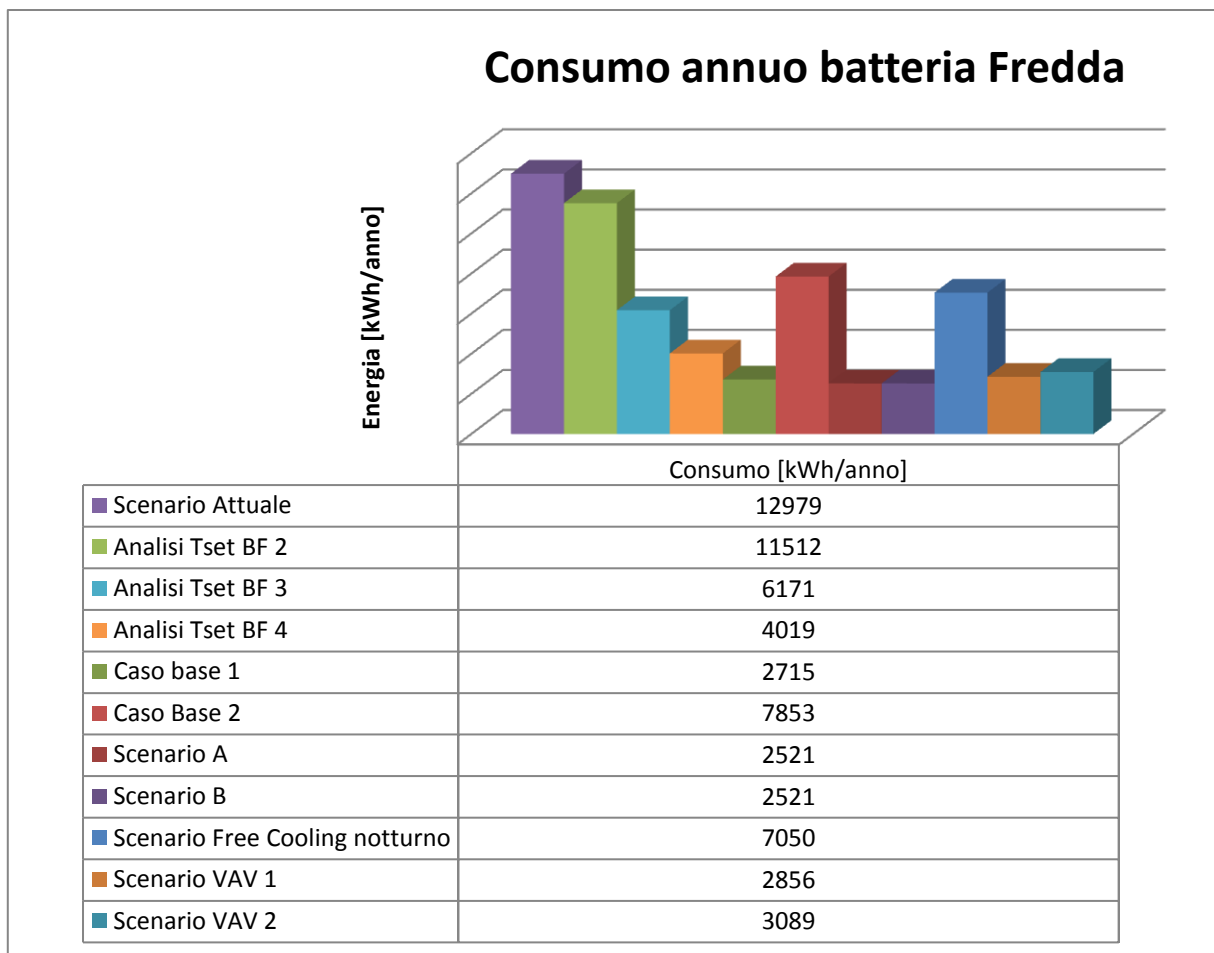
Figura 5 – Andamento dinamico di alcuni degli output del software Trnsys17

Nella Tabella 3 vengono riportate le diverse strategie di controllo utilizzate per l'analisi energetica dell'impianto, in particolare in ogni scenario vi è sempre l'utilizzo di un sistema di controllo ON/OFF che consente l'accensione e lo spegnimento della batteria calda e fredda in particolare in regime invernale la BC sarà accesa se la temperatura d'uscita dalle zone è minore di 20°C e la BF sarà sempre spenta mentre in regime estivo la BF si accenderà solo se la temperatura in uscita dalle zone risulta essere maggiore di 26°C. Mentre le batterie di post-riscaldamento, di cui è dotato l'impianto, possono funzionare sia in regime invernale che estivo. Esse si accendono e si spengono secondo un controllo differenziale ON/OFF regolato dalla temperatura in uscita delle zone servite o dall'umidità relativa a seconda del parametro che viene controllato, mentre un sistema di controllo Feed-back, attivo solo se il controllo differenziale è in ON, regola la temperatura di immissione dell'aria in ambiente in funzione della temperatura in uscita dalle zone controllate.

		PARAMETRI CONTROLLATI					
		T <sub>BC</sub>	T <sub>BF</sub>	T <sub>post 1</sub>	T <sub>post 2</sub>	Q̇	UR
<b>SCENARI</b>	<b>Scenario Attuale</b>	Fissa 22	Fissa 12	Variabile con T <sub>Zone1</sub>	Variabile con T <sub>Zone2</sub>	Costante	NON Controllata
	<b>Analisi T set BF 2</b>	Fissa 22	Fissa 14	Variabile con T <sub>Zone1</sub>	Variabile con T <sub>Zone2</sub>	Costante	NON Controllata
	<b>Analisi T set BF 3</b>	Fissa 22	Fissa 18	Variabile con T <sub>Zone1</sub>	Variabile con T <sub>Zone2</sub>	Costante	NON Controllata
	<b>Analisi T set BF 4</b>	Fissa 22	Fissa 20	Variabile con T <sub>Zone1</sub>	Variabile con T <sub>Zone2</sub>	Costante	NON Controllata
	<b>Caso Base 1</b>	Fissa 22	Fissa 16	Variabile con UR <sub>Zone1</sub>	Variabile con UR <sub>Zone2</sub>	Costante	Controllata Dal Post
	<b>Caso Base 2</b>	Fissa 22	Fissa 16	Variabile con T <sub>Zone1</sub>	Variabile con T <sub>Zone2</sub>	Costante	NON Controllata
	<b>Scenario A</b>	Variabile	Variabile	Spento	Spento	Costante	NON Controllata
	<b>Scenario B</b>	Variabile	Variabile	Variabile con UR <sub>Zone1</sub>	Variabile con UR <sub>Zone2</sub>	Costante	Controllata Dal Post
	<b>Scenario VAV 1</b>	Fissa 22	Fissa 16	Spento	Spento	Variabile e con T <sub>Zone</sub>	NON Controllata
	<b>Scenario VAV 2</b>	Fissa 22	Fissa 16	Variabile con UR <sub>Zone1</sub>	Variabile con UR <sub>Zone2</sub>	Variabile e con T <sub>Zone</sub>	Controllata Dal Post
	<b>Scenario Free Cooling notturno</b>	Fissa 22	Fissa 16	Variabile con T <sub>Zone1</sub>	Variabile con T <sub>Zone2</sub>	Costante	NON Controllata

Tabella 3 - Scenari e parametri controllati con in rosso riportata la situazione attuale

Essendo che il periodo di maggior consumo da parte dell'impianto era quello estivo, vengono riportati nella seguente Figura i consumi annui della batteria fredda per ogni scenario esaminato.



**Figura 6 - Andamento annuo dei consumi batteria fredda UTA**

Si nota, dai valori riportati in Figura 4, come tutti gli scenari alternativi riescano ad avere un miglioramento dei consumi annui, ma alcuni di essi abbattano per più del 50% i consumi rispetto alla situazione attuale. Nella seguente Tabella vengono riportate le variazioni percentuali di energia rispetto al caso base, potendo così giungere ad uno scenario energeticamente più conveniente rispetto agli altri.

	$\Delta ET$ [%]	$\Delta EF$ [%]	$\Delta EE$ [%]	$\Delta C$ [Euro/anno]
<b>Analisi T set BF 2</b>	0.0	11.3	5.6	172.6
<b>Analisi T set BF 3</b>	0.0	52.5	26.0	801.0
<b>Analisi T set BF 4</b>	0.0	69.0	34.2	1054.1
<b>Caso base 1</b>	0.0	79.1	39.2	1207.5
<b>Caso base 2</b>	0.0	39.5	19.6	603.0
<b>Scenario A</b>	0.7	80.6	40.3	1241.4
<b>Scenario B</b>	0.7	80.6	40.3	1241.4
<b>Scenario VAV 1</b>	28.9	78.0	53.2	1641.1
<b>Scenario VAV 2</b>	28.9	76.2	52.3	1613.7
<b>Scenario Free Cooling notturno</b>	0.0	45.7	22.6	697.5

**Tabella 4 - Variazioni percentuale di energia termica ET, frigorifera EF, elettrica EE e delta costo rispetto alla situazione attuale**

Si evince dalla Tabella 4 come lo scenario energeticamente più conveniente risulta essere il sistema VAV.