

**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 (DII)**

**ELABORATO DI LAUREA**

**Analisi Energetica ed Economica di Interventi di  
Efficientamento Energetico presso il CEINGE - Biotecnologie  
Avanzate**

**RELATORE:**

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

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

**CANDIDATO:**

ANGIOLETTA TORTORELLA

M 67/64

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

Il presente lavoro di tesi, ha come oggetto l'analisi economica ed energetica di possibili interventi di efficientamento energetico presso l'edificio del CEINGE, centro di biotecnologie avanzate, che sorge su un suolo di proprietà dell'Università di Napoli Federico II 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 è una società consortile senza scopo di lucro che si occupa di tecnologie avanzate e delle sue possibili applicazioni. Costituita nel 1983, ha tra i suoi soci la *Regione Campania* (attraverso l'Ente Funzionale per l'Innovazione e lo Sviluppo Regionale - E.F.I. S.p.A.), l'*Università degli Studi di Napoli Federico II*, la *Provincia di Napoli*, la *Camera di Commercio, Industria ed Artigianato di Napoli*, ed il *Comune di Napoli*. In particolare la Regione Campania costituisce il socio di maggioranza detenendo il 60% del capitale sociale, attraverso l'E.F.I. S.p.A. che fa capo all'Assessorato Attività Produttive. Il Centro è dotato di numerose attrezzature specifiche e di facilities di recente acquisizione ed in costante aggiornamento, in relazione alle esigenze dei ricercatori che operano al suo interno, alla necessità di acquisire un patrimonio infrastrutturale adeguato per lo svolgimento della moderna ricerca scientifica nell'era della post-genomica e al costante divenire delle conoscenze tecnologiche.

L'edificio, inaugurato nell'aprile 2004, ha una estensione complessiva di oltre 8'500m<sup>2</sup> e presenta la seguente organizzazione:

- un primo livello, al piano seminterrato in cui vi è un corpo centrale dove trovano collocazione lo stabulario, altri laboratori e locali di servizio. Accanto al corpo centrale vi è un corpo triangolare destinato alla mensa/bar con annessa cucina e magazzino.
- un secondo livello, ove sono invece ubicati 8 laboratori di ricerca con annessi servizi ed il reparto colture cellulari con una spina centrale di laboratori di servizio, nonché gli uffici amministrativi e gli studi dei capi-progetto.
- un terzo livello, in corrispondenza del corpo principale, ove si trovano invece i restanti 8 laboratori di ricerca con annessa spina centrale di servizio ed un'ampia sala destinata a studio e biblioteca con annesse due sale di lettura ed aula multimediale.

L'impianto è costituito da due refrigeratori polivalenti della CLIMAVENETA da 617 kW<sub>F</sub>, che alimenta le 9 CTA, ovvero *centrali trattamento aria* della NOVAIR che vanno a climatizzare gli ambienti di loro competenza. Ai due gruppi CLIMAVENETA sono stati aggiunti, in un secondo momento, una pompa di calore della RHOSS da 260,3 kW<sub>F</sub> che va ad alimentare le due unità trattamento aria della FAST a servizio dei laboratori del piano terra, e la pompa di calore della

McQuay da 57,5 kW<sub>F</sub> che va ad alimentare le due unità trattamento aria della SAMP a servizio della proteomica.

Al Ceinge, sono presenti sia UTA con ricircolo che senza, e la maggior parte di loro è allocata su una struttura metallica appositamente creata sul tetto dell'edificio, inoltre le batterie di post riscaldamento non si trovano nel corpo dell'UTA ma in apposite cassette allocate nelle controsoffittature di ciascun locale al fine di soddisfare il carico ambiente, in quanto ogni ambiente ha esigenze di climatizzazione diverse.

L'impianto della Climaveneta serve UTA con ricircolo, a tutt'aria esterna e fancoils-aria primaria, mentre gli impianti della Rhoss e McQuay servono solo UTA a tutt'aria esterna.

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 presente lavoro si è concentrato sui possibili interventi di risparmio energetico relativi alla climatizzazione, in particolare ha previsto l'installazione di un recuperatore di calore o all'interno del corpo dell'UTA o nelle vicinanze dell'estrattore dell'aria climatizzata. Sono stati previsti tre scenari d'intervento di cui è stata eseguita l'analisi energetica ed economica:

- recuperatore a flussi incrociati direttamente nel corpo dell'UTA;
- recuperatore a flussi incrociati fuori dal corpo dell'UTA;
- recuperatore a batterie con pompa di circolazione dell'acqua fuori dal corpo dell'UTA.

Al fine di conoscere l'energia termica e frigorifera risparmiata installando il recuperatore di calore, su ciascun UTA, è stata eseguita una simulazione dinamica per le 8760 ore dell'anno. Sono state eseguite due simulazioni una per l'estate e una per l'inverno. Per l'estate è stato necessario inserire un controllo sul recuperatore, ovvero quest'ultimo può funzionare solo quando la temperatura interna è più bassa di quella esterna altrimenti si corre il rischio di riscaldare invece che raffreddare, in questi casi infatti deve essere bypassato. Per ogni scenario si è considerato sia un profilo di funzionamento di 24 ore, sia dalle 8:00 alle 20:00 in modo che durante la notte si chiudono le serrande e l'impianto funziona totalmente a ricircolo, ma quest'ultimo si è rilevato fallimentare perché l'energia elettrica che si riuscirebbe a risparmiare, non sarebbe sufficiente ad avere una disponibilità annua tale da far uscire il VAN positivo, quindi si andrebbe a perdere.

Con il primo scenario, si avrebbe un maggior consumo elettrico dei ventilatori, in quanto dovrebbero vincere le ulteriori perdite di carico indotte dal recuperatore anche quando questo è bypassato, mentre nello scenario due, poiché il recuperatore è all'esterno dell'UTA, i ventilatori risentono delle maggiori perdite di carico solo quando quest'ultimo è attivo, stessa situazione con il recuperatore a batterie il quale risulta però meno efficiente di quello a flussi incrociati per via

dell'esistenza di un fluido intermedio che circola tra le batterie. Dei tre scenari, il migliore a livello economico è sicuramente lo scenario due, infatti il VAN e l'IP sono più alti rispetto agli altri due, a dimostrazione del fatto che gli investimenti oltre ad essere molto redditizi ritornano nell'arco di un paio d'anni. Nel seguito si mostra, infatti, come l'IP è il più alto e il SPB e il più basso per lo scenario due (Figure 1 e 2).

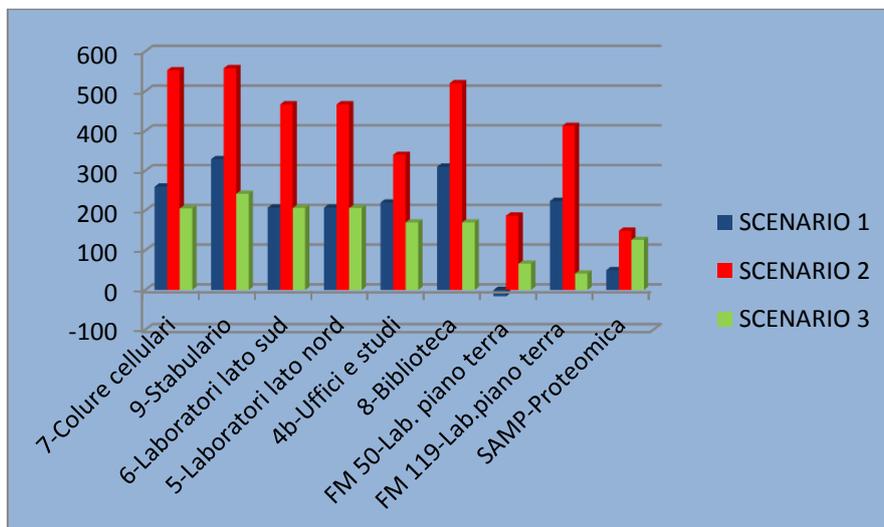


Figura 1 - Indice di profitto per i tre scenari

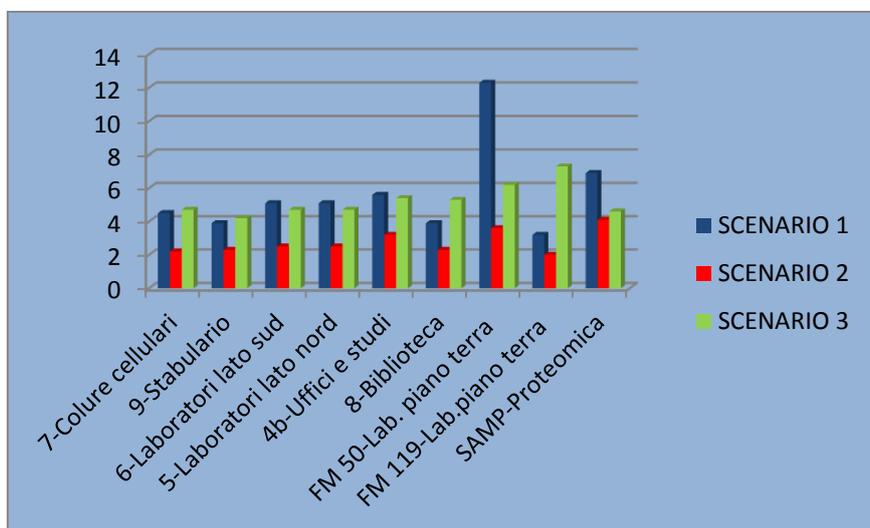
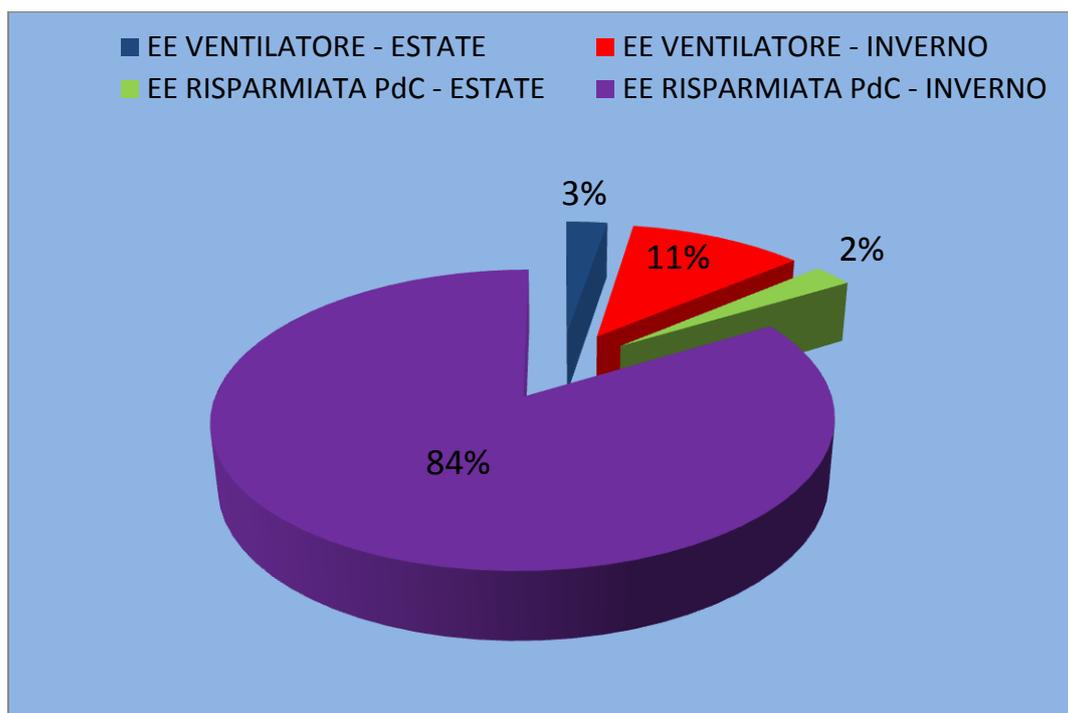


Figura 2 - SPB, tempo di ritorno semplice degli investimenti

Dal punto di vista energetico si può dire che la maggior parte dell'energia elettrica viene risparmiata d'inverno quando il recuperatore è attivo per tutto il periodo della climatizzazione invernale (dal 1/01 al 31/03 e dal 15/11 al 31/12), mentre d'estate, sono molti di più i giorni nei quali il recuperatore deve essere bypassato (Figura 3).



**Figura 3** - Grafico a torta illustrativo della percentuale di EE risparmiata dalle pompe di calore e consumata dai ventilatori sia d'inverno che d'estate

Infine, il seguente studio, si è concentrato sulla certificazione energetica dell'edificio - impianto diventata obbligatoria con il DM 26/06/2009. E' stato innanzitutto valutata la classe energetica dello stato di fatto dell'edificio - impianto, dopodiché è stata valutata tale classe in seguito ad interventi di risparmio energetico quali:

- schermature solari mobili utilizzate solo d'estate;
- recuperatore di calore attivo sia d'inverno che d'estate;
- free cooling estivo;
- sostituzione dei gruppi frigoriferi polivalenti della Climaveneta con pompe di calore a condensazione modulante ad alta efficienza. Questi gruppi frigo, infatti, funzionano tutto l'anno in freddo e al fine di recuperare il calore al condensatore per raggiungere il livello termico desiderato (55 °C), condensano sempre alla stessa temperatura e ciò induce ad un crollo del COP pari a 1,7, invece le pompe di calore a condensazione modulante, regolano la temperatura di condensazione in funzione della temperatura esterna ciò determina migliori prestazioni.

Per potere attribuire una classe energetica all'edificio - impianto è necessario calcolare l'indice di prestazione energetica globale definito come la somma dell'indice di prestazione relativo alla climatizzazione invernale, all'acqua calda sanitaria, alla climatizzazione estiva ed all'illuminazione:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

Ad oggi non sono state ancora definite in modo chiaro i metodi di calcolo per la determinazione dell'EPe ed EPi, pertanto l' EPgl è dato unicamente dalla somma di EPi ed EPacs. Nel caso del Ceinge gli impianti si occupano solo della climatizzazione e non della produzione di acqua calda sanitaria, pertanto EPgl= EPi. Di seguito, vengono riportati gli indicatori di prestazione energetica sia prima che dopo gli interventi (Tabelle 1 e 2).

INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA	CLIMAVENETA	RHOSS	MCQUAY
EPi [kWh/m3anno]	11.499	67.286	29.893
EPe [kWh/m3anno]	0.011	0.12	0.234
EP e,inv [kWh/m2 anno]	33.009	22.176	25.479
EP i, inv [kWh/m2 anno]	42.64	312.641	161.325
EP i limite [kWh/m3 anno]	5.193	6.564	6.772
EP acs [kWh/m3 anno]	0	0	0
EP globale [kWh/m3 anno]	11.499	67.286	29.893
Classe energetica	C	G	G

**Tabella 1** - Indicatori di prestazione energetica identificativi dello stato di fatto dei tre impianti

INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA	CLIMAVENETA	RHOSS	MCQUAY
EPi [kWh/m3anno]	4.68	35.057	16.653
EPe [kWh/m3anno]	0.008	0.112	0.212
EP e,inv [kWh/m2 anno]	26.71	25.227	26.802
EP i, inv [kWh/m2 anno]	21.784	158.108	86.682
EP i limite [kWh/m3 anno]	5.193	6.564	6.772
EP acs [kWh/m3 anno]	0	0	0
EP globale [kWh/m3 anno]	4.68	35.057	16.653
Classe energetica	A	G	E

**Tabella 2** - Indicatori di prestazione energetica dopo aver realizzato gli interventi di risparmio energetico sui tre impianti

Osservando questi valori, si nota come realizzando gli interventi previsti, tutti gli indicatori di prestazione energetica si abbassano rispetto allo stato di fatto, tranne l'EPe,inv (energia frigorifera richiesta dall'involucro per mantenere le condizioni di comfort estivo, 26 °C) per l'impianto della Rhoss e McQuay che invece tende ad aumentare. Questo risultato può essere spiegato dal fatto che attivando il free cooling estivo (ovvero quando le temperature esterne sono sufficientemente basse l'aria non viene raffreddata meccanicamente ma viene direttamente inviata in ambiente pertanto ciò

farebbe risparmiare sul consumo elettrico delle pompe di calore) per i laboratori serviti dalla Rhoss e McQuay, i ricambi d'aria orari sono molto elevati, circa  $19,40 \text{ h}^{-1}$  per la Rhoss e  $9,32 \text{ h}^{-1}$  per la McQuay, pertanto l'involucro richiederebbe un maggior raffrescamento, quindi non raffreddare l'aria esterna non sarebbe sufficiente a raggiungere il raffrescamento desiderato.

Come si può notare in seguito agli interventi, l'impianto della Climaveneta riesce a raggiungere la classe energetica A, mentre gli impianti della Rhoss e McQuay sono rispettivamente in classe G ed E per via dei ricambi d'aria troppo elevati.