



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

L'Efficienza Energetica al Campus Luigi Einaudi: analisi impianti e consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Università degli Studi di Torino

Anno Accademico 2014/2015

Tutor Accademico: Paolo Gambino

Tutor Aziendale: Andrea Tartaglino



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

Questa tesi è frutto di uno stage svolto tra Maggio e Settembre presso l'Università di Torino in un progetto di risparmio energetico. In particolare io e lo studente Federico Dattila abbiamo redatto un Report sul Campus Luigi Einaudi.

① Obiettivo dello Stage

② Consumi Generali

③ Cogeneratore

④ Software di controllo

⑤ Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

⑥ Conclusioni



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Obiettivo dello Stage

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico
UTA

TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni

Analizzare il Campus Luigi Einaudi sul piano energetico ed individuare possibili soluzioni di Risparmio Energetico.

In particolare

- Analisi dei consumi complessivi
- Impianto termico





UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Consumi CLE

Confronto consumi con altri siti cogenerati

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

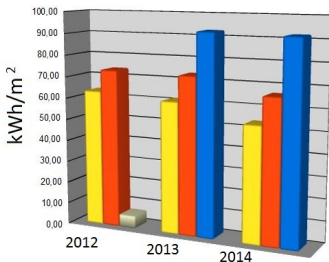


Figura: $\frac{kWh}{m^2}$

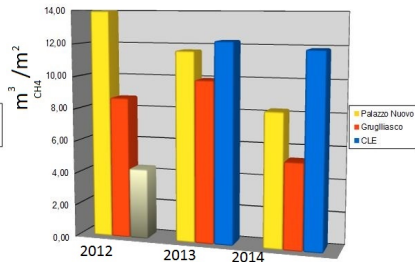


Figura: $\frac{m^3_{metano}}{m^2}$

In entrambi i casi il Cle risulta il più energivoro!

Esigenze

Inaugurazione

- Cle 2012
- Palazzo Nuovo 1967

- Grugliasco: facoltà veterinaria e agraria gruppi frigoriferi, serre
- Cle: facoltà umanistiche, non possiede centri di calcolo



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Consumi CLE

Consumi Mensili Energia Elettrica

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impianto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

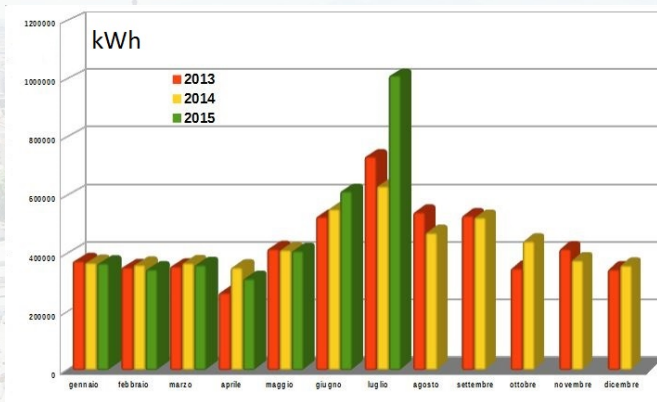


Figura: Consumi mensili a confronto

Consumo medio annuale 5229440 kWh = 5,2 GWh



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Consumi CLE

Anomalia Luglio 2015

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

Luglio 2015 è stato un mese
particolare a livello nazionale:

- Potenza richiesta 21 luglio alle
ore 16 **59.126 MW Record
Nazionale**
- Precedente Record 17 dicembre
2007 56.822 MW

Temperature Medie a Torino

- Luglio 2013 25,9 °C
- Luglio 2014 21,9 °C
- Luglio 2015 **29,6°C**

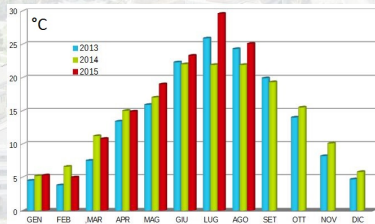


Figura: Temperature medie Torino



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Consumi CLE

Consumi in fasce

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

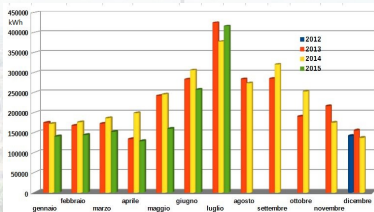


Figura: F1

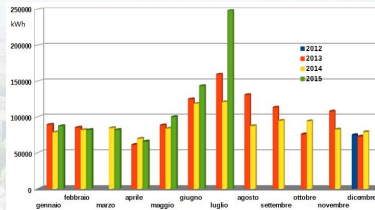


Figura: F2

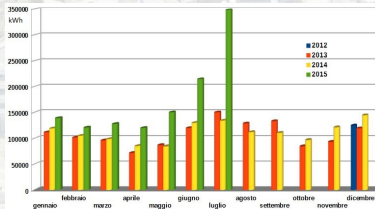


Figura: F3



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Consumi CLE

Consumi in fasce

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:

analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico
UTA

TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni

I consumi in fascia F1 sono simili a quelli degli anni precedenti.
L'aumento riguarda invece le fasce F2 ed F3

Orario	Giorni Feriali	Sabato	Domenica e Festivi
dalle ore 7.00 alle ore 8.00	F2	F2	F3
dalle ore 8.00 alle ore 19.00	F1	F2	F3
dalle ore 19.00 alle ore 23.00	F2	F2	F3
dalle ore 23.00 alle ore 7.00	F3	F3	F3

Figura: Fasce Orarie

Aumento consumo ore
notturne e festivi



scelta energetica per
mantenere un raffrescamento
costante e diminuire il carico
nelle ore diurne



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Consumi CLE

Consumo termico e metano

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

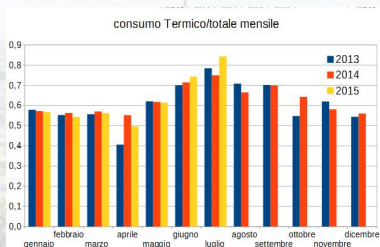
Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico
UTA

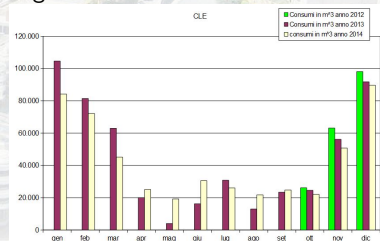
TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni



Togliendo il consumo stimato precedentemente dell'illuminazione, dei computer e dei distributori al consumo totale mensile e dividendo il risultato per quest'ultimo otteniamo delle percentuali di quanto in media l'impianto termico grava sul consumo di energia elettrica. Si nota che è praticamente sempre superiore al 50%

Qui viene illustrato l'andamento stagionale del consumo di metano per il riscaldamento e per la cogenerazione





UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

COGENERAZIONE

Funzionamento

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico
UTA

TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni

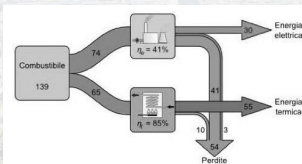


Figura I-1: Efficienza energetica di un sistema convenzionale - generazione separata

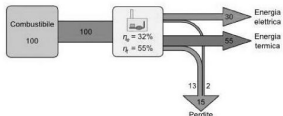


Figura I-2: Efficienza energetica di un sistema di cogenerazione

2

La Cogenerazione è un sistema combinato di produzione di energia. Un motore alimentato a combustibile produce energia elettrica ed il calore liberato, che in una centrale termoelettrica classica, verrebbe disperso si utilizza per il riscaldamento (stesso principio del *Teleriscaldamento*).
Vantaggi

- Ambientali
- Energetici
- Economici

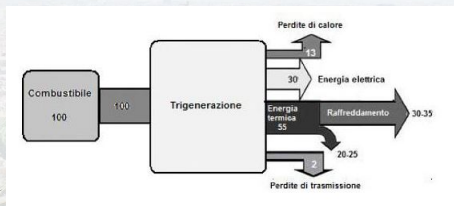


UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

COGENERAZIONE

Trigenerazione

Al campus si è adottato un sistema di **trigenerazione**: oltre alla produzione di calore e energia elettrica si produce anche freddo grazie ad un *ciclo frigorifero* che si basa sull'assorbimento del vapore da parte di un fluido frigorifero.



Nel caso specifico:
Rendimento

- Calore 43,5%
- Elettrico 43,7%
- Totale **87,2%**



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

COGENERAZIONE

Sostenibilità ambientale

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

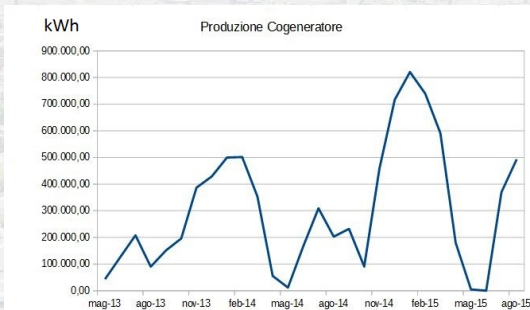
Ventilconvettori

Conclusioni

Grazie a questo
funzionamento si
sono già risparmiati
 876870 m^3 di metano
in due anni e mezzo.
Il metano ha densità
 $0,656 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ quindi
utilizzando la formula

$$M_{CO_2} = M_{comb} \frac{44}{12} c$$

con
 $c(\text{frazione
ponderale})=0.75$
si ottiene che si è
evitata l'emissione
 1581873 Kg di CO_2 !



*L'andamento è stagionale siccome il cogeneratore
funziona ad inseguimento termico: nelle mezze
stagioni la richiesta di acqua calda o fredda è bassa*



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Sistema Siemens

Comandi ControlRoom

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

La ControlRoom

Situata nella Palazzina
Einaudi

- monitora gli accessi al Campus
- detiene i comandi del software Siemens

Il software Siemens

permette di controllare da remoto l'impianto elettrico e di condizionamento. In particolare comanda:

- temporizzazioni
- controllo temperature
- monitoraggio cabine di consegna



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Sistema Siemens

Set temperature

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:

analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impianto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

Da Control Room risultano possibili tre modalità di funzionamento per i terminali (batterie post riscaldamento, ventilconvettori, travi attive)

- **COMFORT:** range di temperatura di 3°C (intorno ai 21-24 °C);
- **RIDOTTO:** range di temperatura di 9°C (intorno ai 19-28 °C);
- **SPEGNIMENTO:** l'impianto risulta disattivato.

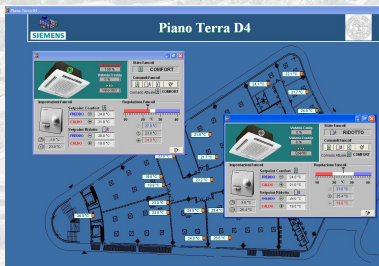


Figura: Due terminali vicini con settaggi differenti



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Sistema Siemens Problematiche

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impianto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

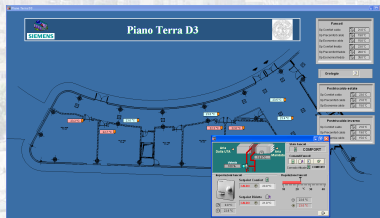


Figura: Batteria di post riscaldamento attiva
con temperatura aula di 22,6°C

Problema

- È possibile anche per gli utenti modificare la temperatura da appositi termostati in loco



Settaggi temperature diversi
per climatizzatori adiacenti!

- Sistema chiuso: la manutenzione viene svolta da tecnici della ditta produttrice con costi elevati



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Impanto Termico

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:

analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

Il Campus possiede diversi tipi di locali (aule, uffici, biblioteca) che necessitano di diversi tipi di condizionamento in base alle utenze.

Gli impianti previsti sono:

- Impianto a travi attive ed aria primaria (uffici)
- Impianto a tuttaria centralizzato (aule medie)
- Impianto a tuttaria con macchine dedicate (aule grandi)
- Impianto a ventilconvettori e aria primaria (corridoi, biblioteca)
- Impianto di estrazione forzata (bagni)

Di questi solamente i ventilconvettori e parte delle **Unità Trattamento Aria** hanno consumi elettrici per il funzionamento.



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Unità Trattamento Aria Funzionamento

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

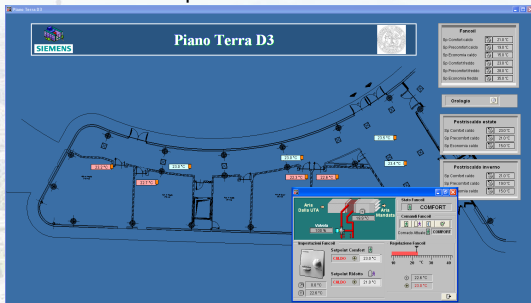
Software di controllo

Impanto Termico
UTA

TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni

Si occupano dell'Aria Primaria



Queste unità prendono l'aria esterna e la trattano a seconda del periodo:

Percorso invernale:

serranda → (recuperatore) → filtro → pre-riscaldamento → sezione umidificante → post-riscaldamento → filtro → ventilatore.

Percorso estivo:

serranda → (recuperatore) → filtro → batteria fredda → post-riscaldamento → ventilatore

Sono poste principalmente in cima agli stabili sotto la copertura





UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Unità Trattamento Aria

Problematiche riscontrate e modifiche

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico
UTA

TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni

Il CLE dispone di **35 UTA** che a loro volta sono composte di due motori per la mandata e la ripresa dell'aria. In periodo estivo questi funzionano a massimo regime cioè a 50Hz e consumano in totale **361kWh**. Per fare una stima se il prezzo del kWh fosse 0,2€ a pieno regime come nel luglio scorso le Uta richiederebbero da sole una spesa di 72€ all'ora! Per diminuire il carico si è optato per far miscelare l'aria nelle Uta diminuendo i giri a 25Hz. La potenza dipende dalla resistenza aerodinamica che dipende dal cubo del numero di giri il consumo diminuisce così di un fattore 8

$$P = \frac{361kW}{8} = 45kW$$



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

TraveAttiva

Struttura Trave

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi

Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

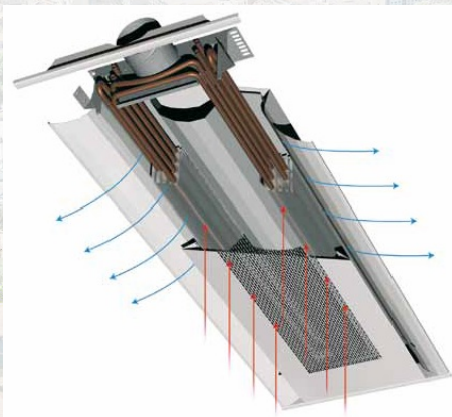
Impianto Termico
UTA

TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni

La **trave attiva** è un terminale installato a soffitto, entro cui viene immessa:

- acqua calda(o refrigerata) per il riscaldamento(o raffrescamento)
- aria primaria per il controllo della purezza e dell'umidità relativa in ambiente



L'aria primaria esce da una feritoia creando una zona di bassa pressione, che richiama l'aria ambiente all'interno della trave. Entrando nella trave l'aria ambiente attraversa uno scambiatore di calore composto di lamelle di alluminio e tubi di rame in cui circola l'acqua fredda o calda.



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

TraveAttiva

Effetto Coanda

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

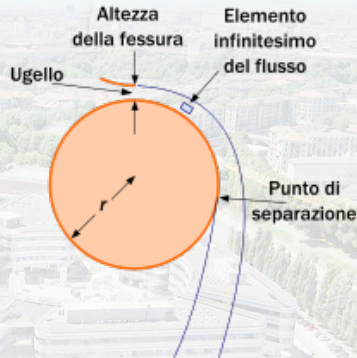
Conclusioni

Effetto Coanda

L'aria miscelata cade ad *Effetto pioggia* seguendo il profilo della trave secondo l'effetto Coanda. La differenza di velocità tra lo strato di fluido a contatto con la superficie e quello esterno fa aderire il fluido alla superficie stessa. Infatti integrando le equazioni di Eulero, cioè quelle di Navier-Stokes per un fluido di viscosità trascurabile, si ottiene:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho \frac{v^2}{r}$$

Tale termine, sempre positivo, evidenzia gradienti di pressione in direzione normale alle linee di flusso curve e diretti verso l'esterno.



Ciò significa che la pressione aumenta allontanandosi dal centro di curvatura spingendo dunque il fluido verso di esso.



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

TraveAttiva problemi

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impianto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

Impianto	Caratteristiche
Posizione della presa d'aria esterna	Sulla copertura
Posizione della espulsione d'aria viziata	Sulla copertura
Posizione dei diffusori di mandata aria	Dalle travi in alto

La trave Attiva non ha uno scarico per l'acqua di condensa. Questo crea non pochi problemi in mesi caldi e umidi in cui il **Punto di rugiada** è alto come il luglio scorso e l'acqua refrigerata è a temperature molto basse. Per affrontare questo problema si è preferito **staccare** le travi e spostare l'operazione di miscelamento direttamente nelle Uta. Pertanto questi terminali risultano **poco utili** a livello pratico in climi come il nostro.



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Ventilconvettori caratteristiche

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi

Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impianto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

Sono dei terminali di condizionamento connessi alla rete di aria primaria
(come le Traviattive).



- Batteria di scambio termico
- Una bacinella raccoglicondensa
- Motori elettrici a 3 velocità
- Ventilatori

Consumo $\sim$ 80W



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Ventilconvettori problematiche

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

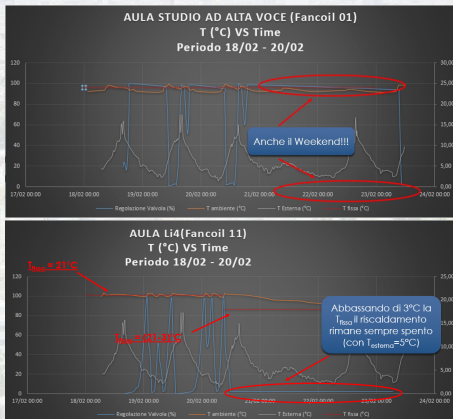
Software di controllo

Impanto Termico
UTA

TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni

- I termostati vengono modificati da utenti che non hanno la visione globale degli altri apparecchi.
- Nonostante il software di controllo permetta una temporizzazione si sono osservati funzionamenti nei weekend inutili. Nella figura sarebbe bastata l'inerzia termica dei locali a mantenere una temperatura media degli ambienti di 15°C





UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

Conclusioni

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi

Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico

UTA

TraveAttiva

Ventilconvettori

Conclusioni

Sebbene lo studio dell'impianto termico vada approfondito con numeri e stime più precise riteniamo ci siano alcune modifiche già evidenti:

Logistica

Settaggi Temperature

- Inibire i termostati locali e integrare il servizio di monitoraggio con il progetto ComforSense
- Allargare il range COMFORT da 3°C a 4°C

- Diminuire la dipendenza dello stabile da ditte esterne ad Unito (Siemens, Tecnozhénit)
- Emendare la frammentazione delle competenze
- Sensibilizzare gli utenti



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI TORINO

L'Efficienza
Energetica al
Campus Luigi
Einaudi:
analisi impianti e
consumi energetici

Giorgio Ghillardi

Obiettivo dello
Stage

Consumi Generali

Cogeneratore

Software di controllo

Impanto Termico
UTA

TraveAttiva
Ventilconvettori

Conclusioni

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

