



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia  
e lo sviluppo economico sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

# Studio di sistemi innovativi basati sul raffrescamento evaporativo indiretto per la climatizzazione dei Centri di Elaborazione Dati (CED)

*M. Beccali, V. Lo Brano, P. Finocchiaro, G. Ciulla*



STUDIO DI SISTEMI INNOVATIVI BASATI SUL RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO INDIRETTO PER LA CLIMATIZZAZIONE DEI CENTRI DI ELABORAZIONE DATI (CED)

M. Beccali, V. Lo Brano, P. Finocchiaro, G. Ciulla (Dipartimento Energia, Università degli Studi di Palermo)

Luglio 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia: strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi

Responsabile del Progetto: Ilaria Bertini, ENEA

## INDICE

Studio delle soluzioni impiantistiche tradizionali ed innovative utilizzate per la climatizzazione delle sale CED: il caso del Sistema Informativo di Ateneo di Palermo. Analisi dei carichi elettrici e termici e delle utilizzazioni delle apparecchiature di calcolo .....	4
Analisi dei carichi .....	4
a) Caratterizzazione meteo climatica dell'area urbana di Palermo.....	5
b) Analisi della tipologia costruttiva dell'edificio che ospita la sala CED del SIA.....	6
c) Analisi degli impianti e delle utenze installate presso la sala CED.....	15
Monitoraggio indoor degli ambienti .....	32
Monitoraggio della potenza di calcolo istantanea impegnata dalla macchine del CED.....	42
Modellizzazione in ambiente TRNSYS dei carichi termo-frigoriferi del sala calcolo del SIA di Palermo .....	46
Modellizzazione in ambiente TRNSYS dei carichi termofrigoriferi e sviluppo di un modello di impianto convenzionale di riferimento per la climatizzazione di sale CED: la sala CRESCO del centro di calcolo ENEA di Portici (NA) .....	48
Sviluppo di un modello per la simulazione oraria di componenti e sistemi che sfruttano il raffrescamento evaporativo indiretto e il free cooling per diverse configurazioni utenza – clima.....	54
Analisi tecnico economica relativa alla applicabilità di tecnologie innovative per la climatizzazione delle sale CED.....	61
Conclusioni .....	67
Appendice .....	70

## **Studio delle soluzioni impiantistiche tradizionali ed innovative utilizzate per la climatizzazione delle sale CED: il caso del Sistema Informativo di Ateneo di Palermo. Analisi dei carichi elettrici e termici e delle utilizzazioni delle apparecchiature di calcolo**

Nel presente paragrafo, si riportano le analisi dei carichi elettrici e termici che caratterizzano una sala CED sulla base di dati provenienti da stime teoriche e dal monitoraggio orario di casi reali. In particolare, l'attività ha riguardato la sala CED dell'Università di Palermo che costituisce un caso studio abbastanza rappresentativo della tipologia di centri di calcolo universitari. Gli obiettivi specifici di monitoraggio dei consumi elettrici orari relativi del centro di calcolo (differenziati per condizionamento e per la sezione "calcolo"), e lo studio della loro relazione alla potenza computazionale nominale (TeraFlop nominale) e all'effettiva percentuale di utilizzo del calcolatore, sono stati conseguiti solo in parte. La situazione impiantistica studiata ha infatti evidenziato una forte frammentazione temporale e tipologica delle attrezzature e una strutturazione del sistema di alimentazione elettrico tale da rendere molto complesso, se non impossibile, il rilevamento diretto dei consumi. L'unità di ricerca ha comunque approfondito le proprie indagini sia strumentali che di rilievo che di modellizzazione per ottenere la migliore descrizione possibile della struttura ed evidenziarne le criticità sia in termini energetici che in termini di razionalità di progetto e di fabbisogno di ristrutturazioni impiantistiche in senso lato.

### **Analisi dei carichi**

Per poter valutare correttamente i carichi elettrici e termici che caratterizzano la sala CED del Sistema Informativo d'Ateneo (SIA) dell'Università degli Studi di Palermo sono state effettuate le seguenti fasi di lavoro:

- a) Caratterizzazione meteo climatica dell'area urbana di Palermo;
- b) Analisi della tipologia costruttiva dell'edificio che ospita la sala CED del SIA;
- c) Analisi degli impianti e delle utenze installate presso la sala CED;
- d) Monitoraggio indoor degli ambienti;
- e) Censimento delle potenze elettriche impegnate per apparecchiature e l'illuminazione;
- f) Monitoraggio della potenza di calcolo istantanea impegnata dalle macchine del CED.

### a) Caratterizzazione meteo climatica dell'area urbana di Palermo

La città di Palermo ha un clima mediterraneo con inverni miti ed umidi ed estati calde e secche. In inverno la temperatura media oscilla tra gli 8 ed i 14 °C e raramente scende a 0 °C. Fenomeni come la neve e la nebbia sono estremamente rari. A volte è possibile misurare anche 25 °C nel mese di gennaio.

Le piogge, che sono principalmente concentrate nei mesi di ottobre e marzo, sono generalmente deboli o moderate, raramente intense. La temperatura media durante l'estate varia tra i 21 ed i 28 °C. In estate le temperature raggiungono i 33 °C, ma sono anche state registrate temperature di 42 °C. L'umidità media è di circa il 70% nel corso di ogni stagione.

Per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici la normativa vigente richiede l'utilizzo dei dati indicati dalla Norma UNI 10349: *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici*, dal Dlgs.192/2005 e s.m.i. e dal DPR 412/93 e s.m.i.

Nel dettaglio:

- I gradi giorno del Comune di Palermo sono 751 GG, determinati in base al D.P.R. 412 del 26/08/93 e successive modifiche ed integrazioni.
- La Zona climatica in cui ricade l'opera in oggetto è "B", pertanto il periodo di riscaldamento previsto per legge è di giorni 121 e precisamente dal 01/12 al 31/3.
- La temperatura minima di progetto dell'aria esterna secondo norma UNI 5364 e successivi aggiornamenti è di 5 °C.
- Le temperature medie mensili determinate in base alla norma UNI 10349 sono le seguenti:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
11.1	11.6	13.1	15.5	18.8	22.7	25.5	25.4	23.6	19.8	16.0	12.6

**Tabella 1**

- Le irradiazioni medie mensili (esprese in MJ/giorno) relative al periodo di riscaldamento determinate in base alla norma UNI 10349 sono le seguenti:

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Oriz.
Gen	2.4	2.8	5.8	9.5	11.9	9.5	5.8	2.8	7.7
Feb	3.2	4.3	8.1	11.4	13.3	11.4	8.1	4.3	11.1
Mar	4.3	6.7	10.9	13.1	13.4	13.1	10.9	6.7	15.7
Apr	5.9	9.8	13.8	13.9	11.7	13.9	13.8	9.8	20.8
Mag	8.4	12.9	16.1	14.1	10.1	14.1	16.1	12.9	25.2
Giu	10.3	14.7	17.5	14	9.3	14	17.5	14.7	26.9
Lug	9.5	14.4	17.7	14.6	9.8	14.6	17.7	14.4	26.9
Ago	6.8	12.1	16.6	15.8	12	15.8	16.6	12.1	25.2
Set	4.6	8.4	13.6	15.4	14.5	15.4	13.6	8.4	19.6
Ott	3.6	5.2	9.8	13.4	15.2	13.4	9.8	5.2	13.5
Nov	2.7	3.3	7.1	11.3	14.1	11.3	7.1	3.3	9.3
Dic	2.2	2.5	5.3	8.7	11	8.7	5.3	2.5	6.9

**Tabella 2**

- I valori medi mensili della pressione parziale di vapore dell'aria esterna (espressa in Pa) determinati in base alla norma UNI 10349 sono i seguenti:

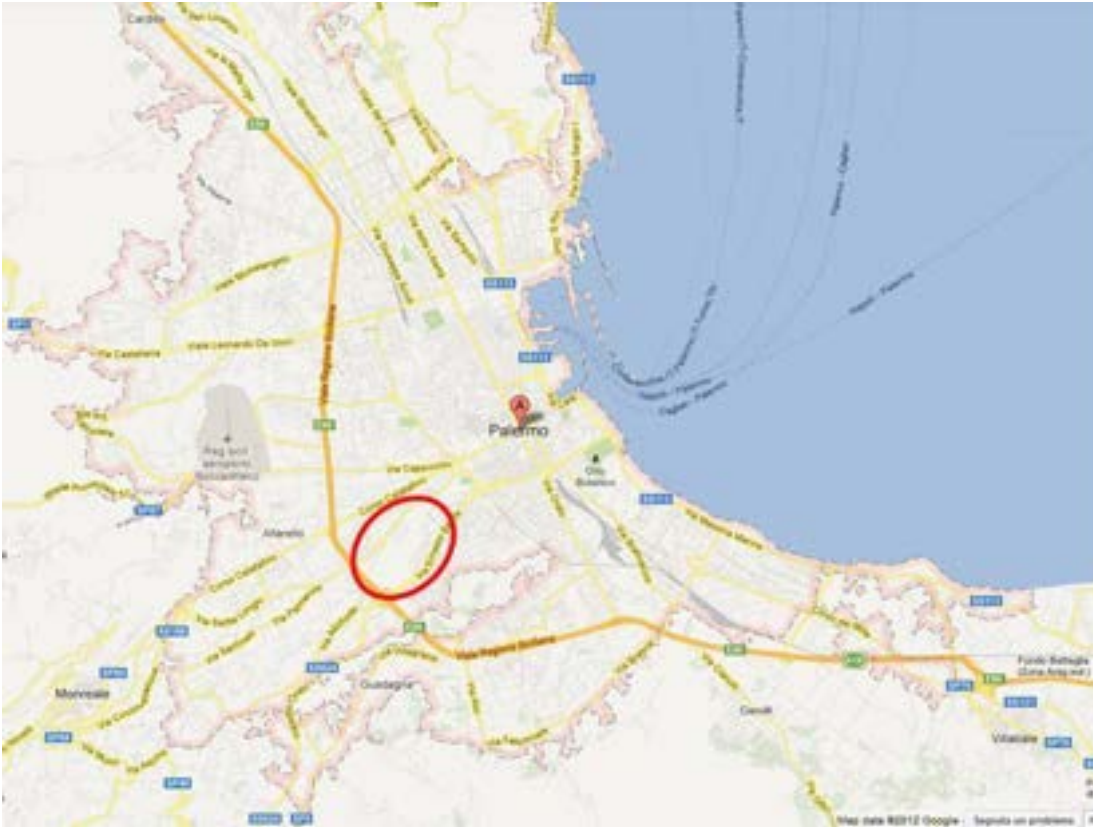
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
888	901	824	1064	1259	1681	1781	1834	1849	1467	1162	928

**Tabella 3**

- La velocità media del vento è 3.60 m/s.

*b) Analisi della tipologia costruttiva dell'edificio che ospita la sala CED del SIA*

Il locale oggetto della seguente relazione dista circa 8 km distante dal mare (evidenziata in rosso nella figura seguente).



**Figura 1: Ubicazione del CED del SIA di Palermo**

La sala CED del SIA dell'Università degli studi di Palermo è sita in viale delle Scienze, con posizione geografica  $38^{\circ}06'N$  e  $13^{\circ}20'E$ . L'edificio ospitante è stato costruito nel 1976 e si articola su tre elevazioni: piano seminterrato, piano terra e primo piano; i piani sono raggiungibili tramite una scala principale. La struttura presenta, come mostrato dalle planimetrie allegate, una pianta rettangolare, con una superficie per piano di circa  $790\text{ m}^2$ .

Il piano terra ospita una serie di locali adibiti ad uffici ed un locale denominato *Sala Macchine*, che ospita i server del SIA.

Il seminterrato è caratterizzato dalla presenza di alcuni locali magazzino e dai locali tecnici; tra questi ultimi un locale adibito a centrale termica, la cabina elettrica coi relativi sistemi di emergenza e un locale ospitante un generatore d'emergenza diesel.

I locali del piano primo sono totalmente destinati ad uso ufficio.

Seguono le rappresentazioni delle piante dei vari piani.

## Piano seminterrato

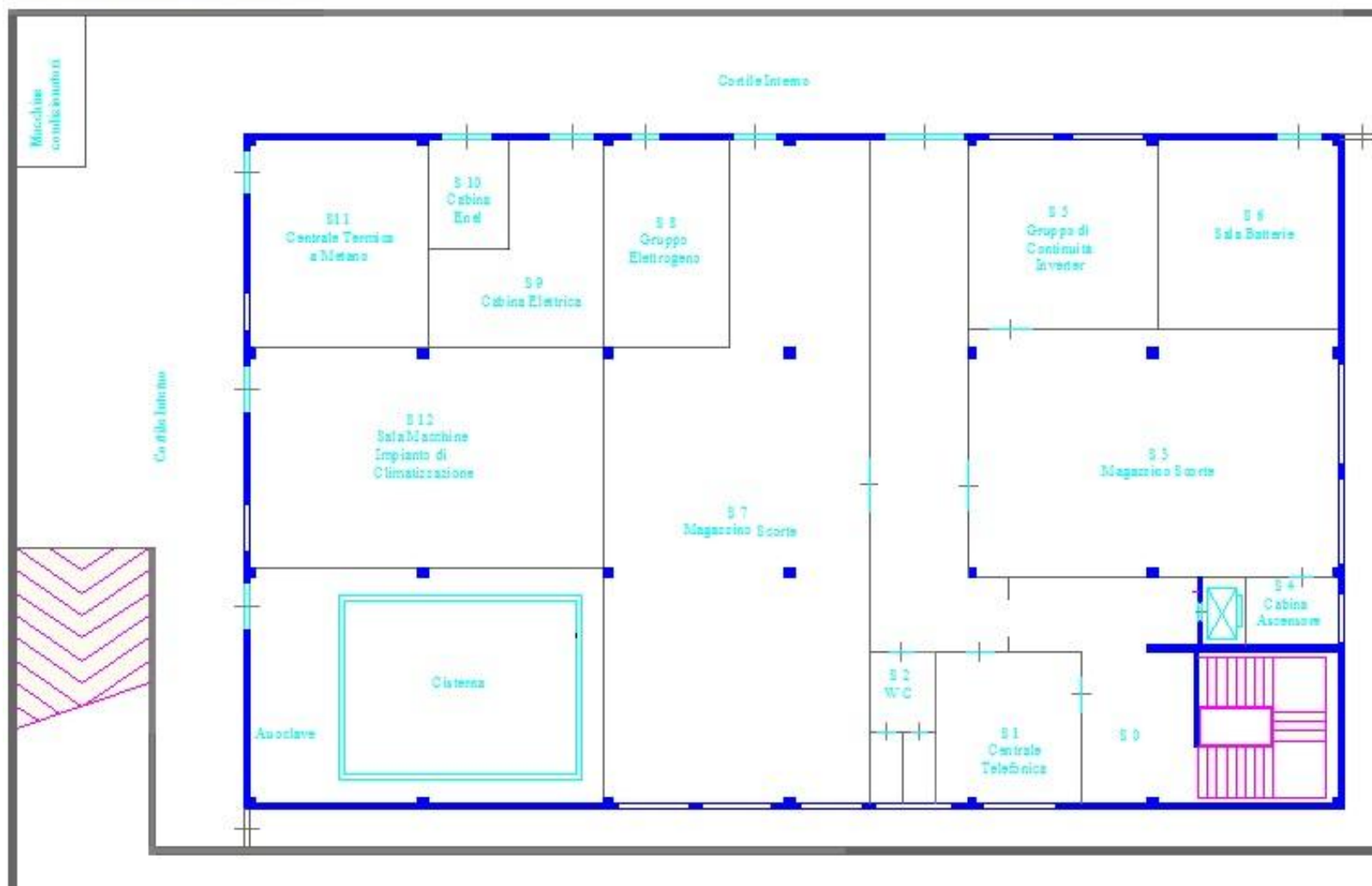


Figura 2: Planimetria piano seminterrato edificio SIA, Università degli Studi di Palermo

## Piano terra

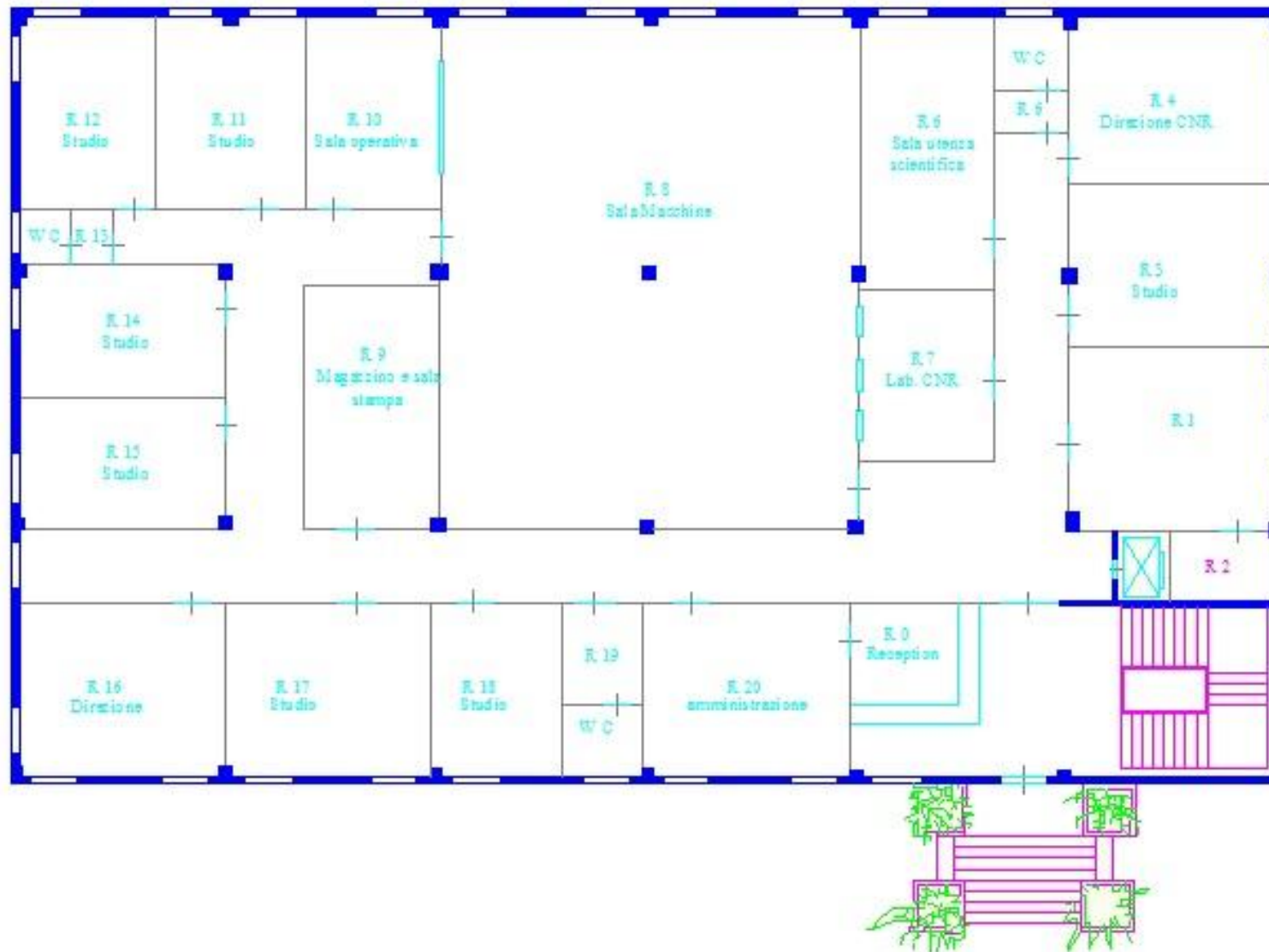


Figura 3: Planimetria piano terra edificio SIA, Università degli Studi di Palermo

## Piano primo

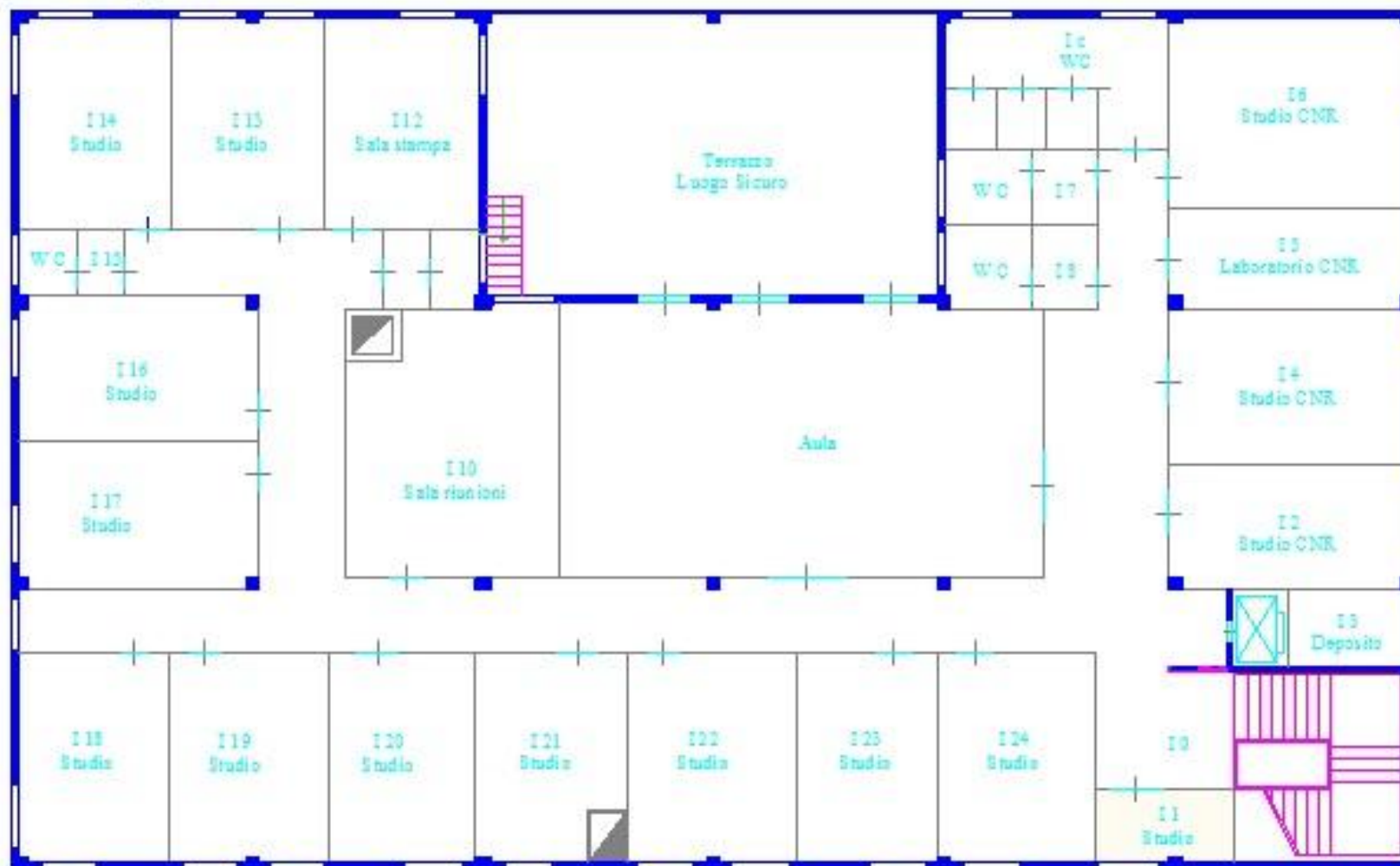
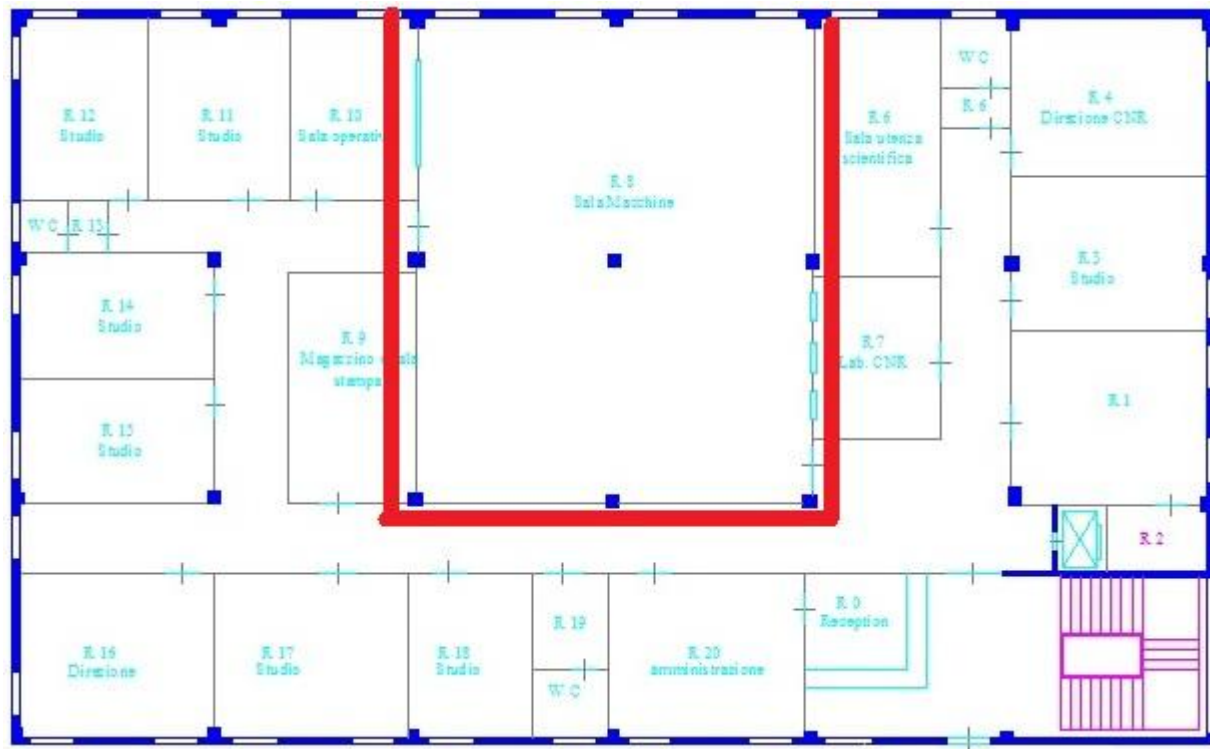


Figura 4: Planimetria piano primo edificio SIA, Università degli Studi di Palermo

Come già precedentemente indicato, la *Sala Macchine* si trova al piano terra dell'edificio ed ha una superficie in pianta di 180 m<sup>2</sup>; tre degli elementi di involucro verticali confinano con zone interne, mentre quella orientata a Nord-Ovest confina con l'esterno.

Come si evince dalla figura seguente la sala ha due ingressi, e presenta quattro superfici vetrate lungo il prospetto Nord-Ovest.



**Figura 5: Ubicazione sala macchine al piano terra edificio SIA, Università degli Studi di Palermo**

La struttura portante dell'edificio è costituita da pilastri, sui quali sono stati assemblati dei pannelli prefabbricati in calcestruzzo con uno strato di amianto in mezzera. Lo spessore delle pareti perimetrali è di circa 20 cm, mentre le pareti interne sono composte da cartongesso con uno spessore di circa 15 cm.

Le trasmittanze termiche degli elementi di involucro opaco sono state determinate come segue:

*Parete verticale esterna:*

<b>Materiale</b>	<b>Densità [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Conducibilità [W/m K]</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Resistenza termica [m<sup>2</sup>K/W]</b>
Resistenza liminare interna				0,125
Intonaco	1600	0,8	0,02	0,025
Calcestruzzo	2200	1,4	0,06	0,043
Amianto	2450	0,05	0,04	0,8
Calcestruzzo	2200	1,4	0,06	0,043
Intonaco	1600	0,8	0,02	0,025
Resistenza liminare esterna				0,04
<b>R<sub>tot</sub></b>				<b>1,101</b>

**Tabella 4: Stratigrafia pareti verticali esterne**

Ovvero un valore di trasmittanza pari a circa 0,91 W/m<sup>2</sup>K

*Parete verticale interna:*

<b>Materiale</b>	<b>Densità [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Conducibilità [W/m K]</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Resistenza termica [m<sup>2</sup>K/W]</b>
Resistenza liminare interna				0,125
Intonaco	1600	0,8	0,02	0,025
Cartongesso	900	0,21	0,11	0,52
Intonaco	1600	0,8	0,02	0,025
Resistenza liminare interna				0,125
<b>R<sub>tot</sub></b>				<b>0,82</b>

**Tabella 5: Stratigrafia pareti verticali interne**

Ovvero un valore di trasmittanza pari a circa 1,22 W/m<sup>2</sup>K

*Solaio di copertura:*

<b>Materiale</b>	<b>Densità [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Conducibilità [W/m K]</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Resistenza termica [m<sup>2</sup>K/W]</b>
Resistenza liminare interna				0,125
Intonaco	1600	0,8	0,02	0,025
Solaio	1400	0,51	0,25	0,49
Massetto	2100	1,4	0,06	0,043
Guaina bituminosa	1200	1,16	0,02	0,017
Resistenza liminare esterna				0,04
<b>R<sub>tot</sub></b>				<b>0,74</b>

**Tabella 6: Stratigrafia solaio di copertura**

Ovvero un valore di trasmittanza pari a circa 1,35 W/m<sup>2</sup>K

*Solaio di interpiano:*

Materiale	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conducibilità [W/m K]	Spessore [m]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
Resistenza liminare interna				0,125
Intonaco	1600	0,8	0.02	0.025
Solaio	1400	0,51	0,25	0,49
Massetto	2100	1,4	0,06	0,043
Piastrelle in ceramica	1120	0,38	0,02	0,053
Resistenza liminare interna				0,125
<b>R<sub>tot</sub></b>				<b>0,84</b>

**Tabella 7: Stratigrafia solaio interpiano**

Ovvero un valore di trasmittanza pari a circa 1,19 W/m<sup>2</sup>K.

*Solaio di terra:*

Materiale	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conducibilità [W/m K]	Spessore [m]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
Resistenza liminare interna				0,125
Piastrelle in ceramica	1600	1	0.0,012	0,012
Sottofondo di cemento		0,73	0,04	0,0548
Cls di perlite e vermiculite	2100	0,15	0,20	1,333
Conducibilità del terreno		2		
<b>R<sub>tot</sub></b> della struttura				<b>1,4</b>

**Tabella 8: Stratigrafia solaio di terra**

Applicando la procedura di calcolo dettata dalla UNI 13370, la trasmittanza termica per pavimenti non isolati risulta pari a 0,313 W/m<sup>2</sup>K.

Tutti gli infissi esterni sono realizzati in alluminio e dotati di vetri singoli, mentre gli avvolgibili sono in plastica.

In base alla normativa vigente ( UNI 10077-1) per gli infissi con queste caratteristiche termofisiche ed ipotizzando un rapporto telaio/vetro del 20% il valore di trasmittanza per un infisso standard è

pari a  $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tutto l'immobile è caratterizzato da finestre a doppia ante alte 1.5 m e larghe 1.2 m per una superficie totale di  $1,8 \text{ m}^2$ .

La tabella seguente indica i  $\text{m}^2$  di superficie vetrata per esposizione.

*Superfici vetrate delle zone termiche con orientamento [ $\text{m}^2$ ]*

	$\text{m}^2$ tot
NO	37.8
NE	32.4
SE	34.2
SO	25.2

**Tabella 9: Area delle Superfici vetrate**

Inoltre lungo l'esposizione NO, al piano primo, è presente una grande vetrata di dimensione pari a  $11.5 * 2.5 = 28.75 \text{ m}^2$ , mentre all'angolo dell'edificio NE-SE il prospetto NE è caratterizzato da una grande vetrata che interessa il piano terra ed il piano primo per una superficie totale di  $4,8 * 3 = 14,4 \text{ m}^2$ .



**Figura 6: Prospetto Nord-Ovest**

### *c) Analisi degli impianti e delle utenze installate presso la sala CED*

#### ***Impianto elettrico:***

Dopo un sopralluogo circa lo stato di fatto dell'impianto elettrico dell'edificio in oggetto e della sala CED "Sala Macchine" è stato rilevato quanto segue:

- non esiste uno schema unifilare, un progetto e/o una relazione circa lo stato di fatto dell'impianto elettrico dell'intero edificio;
- non esiste un inventario delle apparecchiature presenti nell'intero edificio ne tanto meno quelle relative alla sala CED;
- dai diversi quadri elettrici non è possibile risalire alla tipologia di macchine che sono collegate; questo impedisce di determinare i punti di misura per il carico elettrico legato ad i consumi della sala CED.

In particolare i due quadri elettrici mostrati nella figura sottostante, posizionati nella sala Macchine, sono i quadri che alimentano l'intero edificio.



**Figura 7: Quadri elettrici sala macchine**

Sul primo quadro (Biticino) afferiscono solo delle apparecchiature della sala CED che sono state installate in un secondo tempo; è stato impossibile tuttavia identificare quante o quali apparecchiature siano collegate, a causa della mancanza di un inventario.

Al secondo quadro afferiscono altre apparecchiature della sala macchine, computers, UTA, corpi illuminanti, prese ed interruttori senza alcuna distinzione.

Tale stato di fatto ha quindi impedito una misurazione diretta dei carichi assorbiti solo nella sala CED in quanto non è stato possibile:

- valutare il carico elettrico delle macchine utilizzatrici;
- valutare il carico elettrico delle UTA;
- valutare il carico elettrico della sola sala CED.

***Impianti per il condizionamento indoor:***

Dal sopralluogo effettuato nei locali della sala CED, sono presenti le seguenti macchine:

***1) WESTINGHOUSE, MODELLO UK180W1Q***



**Figura 8: Foto impianto Westinghouse**

Questo impianto è stato installato per primo e dalla targa riportata si evince che originariamente funzionava con liquido R22. La macchina cede il calore assorbito ad un serbatoio d'acqua, presente nel piano seminterrato dell'edificio, e la sua potenza frigorifera è di 21,9 kW.

***2) STULZ, MODELLO CCM 302 A***



**Figura 9: Foto Impianto Stulz**

Il secondo impianto inserito nella sala macchine, la cui installazione risale all'anno 1992 è una macchina della STULZ. Da quanto indicato nella targa, esso eroga una potenza frigorifera di 30 kW, circola liquido refrigerante R22, possiede due circuiti refrigeranti e il compressore ha una portata volumetrica di 2900 m<sup>3</sup>/h, con una pressione finale di 27 bar.

### 3) AMICO, MODELLO SDA0601A(C)



**Figura 10: Foto impianto Amico**

Del terzo impianto installato nella sala macchine è stato possibile reperire la scheda tecnica; in particolare la macchina risponde al modello SDA601 le cui caratteristiche sono di seguito indicate:

<b>MODELLO</b>									
Mandata verso l'alto	SUA0151SUA0251		SUA0331	SUA0351	SUA0501		SUA0601		
Mandata verso il basso	SDA0151SDA0251		SDA0331	SDA0351	SDA0501		SDA0601		
<b>TENS. DI ALIMENTAZIONE</b>		230/1/50		400/3/50+N					
<b>PORTATA D'ARIA (1)</b> regolabile	Max	440	440	540	840	1310	1370	1310	1370
		1580	1580	1950	3020	4700	4940	4700	4940
	Min	290	290	390	540	820	840	820	840
		1040	1040	1400	1940	2950	3020	2950	3020
<b>POTENZA FRIGORIFERA</b>									
AMBIENTE A 24°C - 50%UR									
Totale/Sensibile	Max	5.5/5.2	7.7/6.1	9.3/7.4	12.0/10.4	15.4/14.9	15.4/15.4	18.0/15.9	18.1/16.3
Portata d'acqua		-	-	-	-	-	-	-	-
Totale/Sensibile	Min	5.2/4.2	7.2/5.0	8.8/6.4	11.2/8.4	14.5/11.7	14.6/11.9	16.8/12.7	16.9/12.8
AMBIENTE A 26°C - 50% UR									
Totale/Sensibile	Max	5.8/5.3	8.1/6.2	9.8/7.6	12.7/10.6	16.3/15.2	16.3/15.7	19.0/16.2	19.1/16.7
Portata d'acqua		-	-	-	-	-	-	-	-
Totale/Sensibile	Min	5.5/4.3	7.6/5.1	9.3/6.5	11.9/8.6	15.4/12.0	15.4/12.1	17.8/12.9	17.9/13.1
<b>LIV. DI PRES. SONORA (2)</b>									
Mandata verso l'alto (3)	Min	41.1	41.1	44.9	49.9	48.9	-	48.9	-
	Max	47.9	47.9	48.9	51.6	52.3	-	52.3	-
Mandata verso il basso (4)	Min	40.8	40.8	44.4	48.1	-	47.9	-	47.9
	Max	46.5	46.5	47.7	49.8	-	51.1	-	51.1
<b>POT. NOM. DEL COMPRESSORE (ARI STANDARD)</b>									
		1.8	2.5	2.9	3.7	4.5	4.5	5.2	5.2
<b>RISCALDAMENTO ELETTRICO</b>									
		2	2	2	3	6	6	6	6
<b>UMIDIFICATORE</b>									
		1.5	1.5	1.5	1.5	2.2	2.2	2.2	2.2
		2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0
<b>CONDENSATORE AD ARIA (5)</b> (modelli consigliati)									
		CAL0251	CAL0251	CAL0331	CAL0361	CAL0511	CAL0511	CAL0661	CAL0661
		CAL0331	CAL0331	CAL0361	CAL0511	CAL0661	CAL0661	CAL0801	CAL0801
<b>DIMENSIONE E PESI</b>									
Dimensione A		1740	1740	1740	1740	1740	1740	1740	1740
Dimensione B		550	550	700	850	1200	1200	1200	1200
Dimensione C		450	450	450	450	450	450	450	450
Peso		130	130	150	185	260	260	260	260
<b>CONNESSIONI</b>									
Mandata del gas		16	16	16	16	16	16	16	16
Ritorno del liquido		12	12	12	16	16	16	16	16
Conessioni acqua		-	-	-	-	-	-	-	-
Scarico della condensa		21	21	21	21	21	21	21	21
Alimentazione umidificatore		6	6	6	6	6	6	6	6
Batteria ad acqua calda		1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"

Figura 11: Scheda Tecnica Impianto Amico

4) *HAIER, MODELLO AB18CS1ERA* (presenti 4 unità)



**Figura 12: Foto impianto Haier**

Infine recentemente (giugno 2012) sono state installate quattro pompe di calore a tetto le cui caratteristiche tecniche sono di seguito indicate:

**Classe A/B**

**Modello** AB18CS1ERA  
**Codice Commerciale** 25014551L

**Dati Prestazionali**

**Potenza Resa (RAFF)** 4980 W  
**Potenza Resa (RISC)** 5200 W  
**Alimentazione** 230-1-50 V-Ph-Hz  
**Volume Aria Trattato** 680/620/500 m<sup>3</sup>/h  
**Deumidificazione** NO

**Dati Idraulici**

**Diam. Tubazione Liquido** 6,35 mm  
**Diam. Tubazione Gas** 12,7 mm

**Unità Interna**

**Dimensioni UI (L x P x H)** 570x570x260 mm<sup>3</sup>  
**Peso Netto UI** 18,5 Kg  
**Rumorosità UI** 40/36/32 dB  
42-37-35 dB(A)

**Potenza resa (W)** 5000 (1800~5800)  
**Potenza assorbita (W)** 1530 (550~2000)  
**EER** 3,26 (A)  
**COP** 3,41 (B)

In totale è stata stimata una potenza di targa di refrigerazione pari a :

- n. 1 macchina WESTINGHOUSE da 21,9 kW;

- n. 1 macchina STULSZ da 30 kW;
- n. 1 macchina AMICO da 18,1 kW
- n. 4 Pompe di calore HAIER da 5 kW ciascuno;

per un totale di 90 kW di refrigerazione di targa, valore che nella realtà dovrebbe essere epurato dalle perdite reali del processo di produzione del freddo e alla vetustà delle macchine. Inoltre dall'1 gennaio del 2010 il liquido refrigerante R22 non può essere più venduto (regolamento (CE) n. 2037/2000 che bandisce gli idroclorofluorocarburi vergini). Non è stato possibile alcuna informazione sul fluido refrigerante utilizzato e quindi non è dato conoscere se allo stato dei fatti l'R22 è ancora utilizzato o è stato sostituito da fluido differente.

Per ipotizzare il carico termico della sala CED si è ricorso ad una valutazione di massima in cui si sono rilevate le potenze elettriche di una porzione limitata della sala CED su una superficie calpestabile di circa 19 m<sup>2</sup> nella quale insistono le seguenti apparecchiature:

#### CLUSTER

16 NODI

1 STORAGE

Per un totale di potenza assorbita di 9000 W

#### CUDA

4 unità da 800 W

4 unità da 500 W

Per un totale di potenza assorbita di 5200 W

2 unità DELL da 500 W

1 unità E4 TWIN da 500 W

Si è valutata quindi una potenza assorbita pari a 15,70 kW e quindi una densità di potenza per m<sup>2</sup> di superficie pari a:

$$\text{Densità di potenza elettrica} = \frac{15,70}{19,08} = 0,823 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

Estendendo questa densità all'intera Sala Macchine, caratterizzata da una superficie calpestabile di circa 180 m<sup>2</sup>, si è calcolato un carico totale di targa di circa 148 kW.

*d) Censimento delle potenze elettriche impegnate per apparecchiature ed impianto di illuminazione*

Per ogni piano è stato effettuato il rilevamento dettagliato dei corpi illuminanti e delle potenze elettriche impegnate.

Nel seguito un elenco per piano dei carichi termici censiti:

Piano Seminterrato:

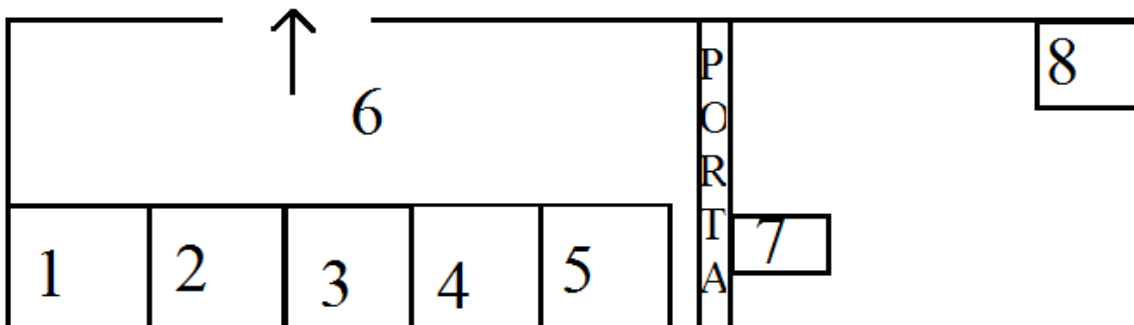
L'intero piano essendo destinato ad un magazzino è privo di qualsivoglia impianto di climatizzazione e apparecchiature elettriche. Essendo in genere non abitato la potenza legata ad i corpi illuminanti è stata considerata pari a zero.

Piano terra:

Il piano terra è caratterizzato dalla presenza di locali adibiti ad uso ufficio, dalla Sala macchine e dai servizi igienici.

Al fine di facilitare l'individuazione dei carichi termici interessati il piano è stato diviso in tre sezioni:

**Sezione 1**



Locale 1: Ufficio

1. 6 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna ( $6 * 4 * 18 = 432 \text{ W}$ )
2. Computer Dell ( $4,5 \text{ A} * 230 \text{ V} = 1035 \text{ W}$ )
3. Computer Apple ( $300 \text{ W}$ )
4. 2 Monitor Dell schermo LCD ( $2 * 300 = 600$ )

Totale locale 1: 1935 W

Locale 2: Ufficio

1. 6 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna ( $6 * 4 * 18 = 432 \text{ W}$ )
2. Computer Dell ( $2,1 \text{ A} * 12 \text{ V} = 25,2 \text{ W}$ )

3. Monitor Compaq 1720 (300)
4. Monitor Flatron 795 FT (300)
5. Computer (12 A \* 230 V = 2760 W)
6. 2 monitor Dell schermo LCD (2 \* 300 = 600 W)
7. Monitor Dell (240 V \* 1,5 A = 360 W)
8. Monitor (230 V \* 1,1 A = 253 W)
9. Computer (700 W)

Totale locale 2: 5300 W

Locale 3: Ufficio non utilizzato, assenza di carichi

Locale 4: Bagno

1. Lampade (50 W)
2. Scalda Acqua (1200 W)

Totale locale 4= 1700 W

Locale 5: Amministrazione

1. 4 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna (4 \* 4 \* 18 = 288 W)
2. Monitor (240 V \* 0,7 A = 168 W)
3. Computer HP compaq (700)
4. Fotocopiatrice Xerox Workcenter 5755 (400)
5. Computer Dell Optiplex GX520 (700)
6. Monitor (240 V \* 1 A = 240 W)
7. Scanner (24 V \* 1,1 A = 26,4 W)

Totale locale 5: 2234,4 W

Locale 6: Corridoio

1. 5 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna (5 \* 4 \* 18 = 360 W)

Totale locale 6: 360 W

Locale 7: Reception

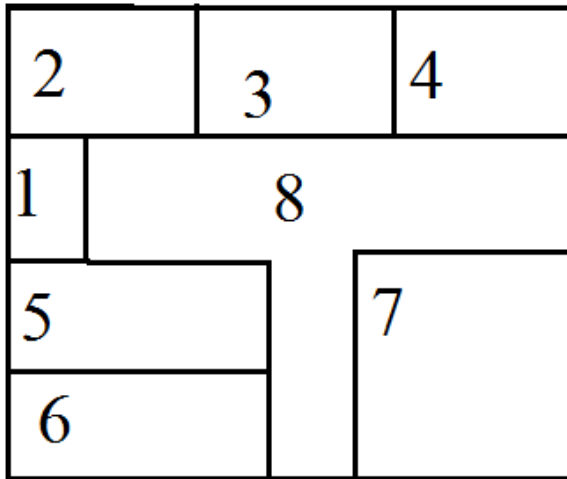
1. Lampade (50 W)
2. Stampante (230 V \* 2,1 A = 483 W)
3. Computer IBM xSERIES 206 (700 W)
4. Computer HP Compaq d530 CMT (700 W)
5. Monitor (230 V \* 1,5 A = 345 W)
6. Monitor (230 V \* 2 A = 460 W)
7. 2 Monitor (2 \* 230 V \* 0,8 A = 368 W)

Totale locale 7: 3056 W

**TOTALE ZONA TERMICA SEZIONE 1: 14,2254 kW**

**ILLUMINAZIONE: 1612 W**

**Sezione 2**



Locale 1: Bagno

1. Lampade 50
2. Scalda Acqua (1200 W)

Totale locale 1 = 1200 +50 W

Locale 2: Ufficio

1. 4 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna ( $4 * 4 * 18 = 288$  W)
2. Monitor ( $12$  V \*  $3,5$  A = 42 W)
3. Stampante ( $230$  V \*  $4,5$  A = 1035 W)
4. 2 Computer HQ Compaq 8200 elite small form factor (1400)
5. 2 Monitor ( $2 * 12$  V \*  $3,5$  A = 84 W)
6. Computer HP Compaq dx 2000 MT (700)

Totale locale 2: 3000 W

Locale 3: Ufficio

1. 2 lampade neon (100 W)
2. 2 Monitor ( $2 * 12$  V \*  $3,5$  A = 84 W)
3. Computer HP Compaq d330 ut (700)
4. Monitor Dell (300)
5. 2 Monitor Benq ( $2 * 230$  V \*  $1$  A = 460 W)

Totale locale 3 = 1500 W

Locale 4: Sala controllo

1. 2 lampade neon 100 W

Totale locale 4: 100 W

Locale 5: Ufficio con un computer

2. 1 pc (700 W)
3. 4 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna (288 W)

Totale locale 5: 700 W

Locale 6: Ufficio

1. 4 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna ( $4 * 4 * 18 = 288$  W)
2. Monitor ( $230$  V \*  $1,1$  A =  $253$  W)
3. Computer Intel Core i5 V PRO (700)
4. Monitor ( $12$  V \*  $3,5$  A =  $42$  W)
5. Computer IBM (700)
6. Monitor (300)

Totale locale 6: 2000 W

Locale 7: Ripostiglio

1. 2 lampade con 2 neon (100)
2. Fotocopiatrice ( $220$  V \*  $5$  A =  $1100$  W)
3. Fotocopiatrice Ricoh Aficio AP610N (400)

Totale locale 7: 1500 W

Locale 8: Corridoio

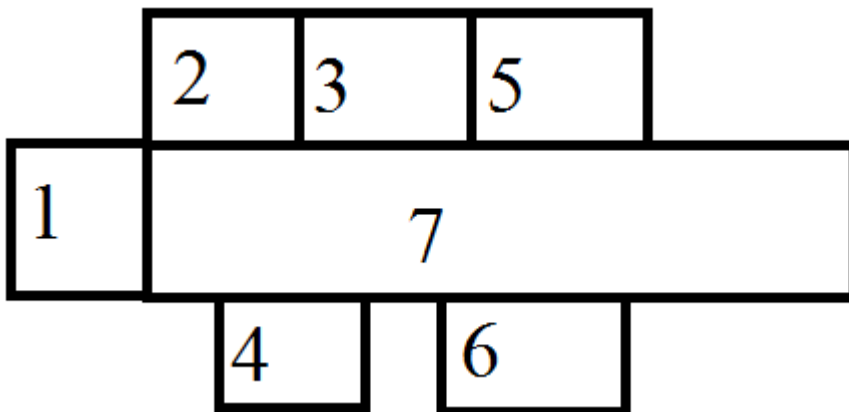
1. 4 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna ( $4 * 4 * 18 = 288$  W)

Totale locale 8: 288 W

**TOTALE ZONA TERMICA 10,4 kW**

**ILLUMINAZIONE: 1452 W**

### Sezione 3



Locale 1: Bagno Disabili

Totale locale 1: **1500 W non continui**

Local 2: locale Chiuso

Totale locale 2: **1000 W**

Locale 3: Ufficio

1. 4 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna ( $4 * 4 * 18 = 288 \text{ W}$ )
2. Computer Mac (**300**)
3. Mac Book Air (**200**)
4. Monitor ( $230 \text{ V} * 1,6 \text{ A} = 368 \text{ A}$ )
5. Stampante HP OFFICEJET PRO 8500° PLUS (**300**)
6. Computer Optiplex GX 520 (**700**)

Totale locale 3: **1870 W**

Locale 4: locale Chiuso

Totale locale 4: **1000 W + 288 W**

Locale 5: Ufficio grande

1. 9 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna ( $9 * 4 * 18 = 648 \text{ W}$ )
2. Monitor ( $230 \text{ V} * 0,9 \text{ A} = 207 \text{ W}$ )
3. Computer BT JBQ IBM (**700**)
4. Monitor ( $230 \text{ V} * 1,5 \text{ A} = 345 \text{ W}$ )
5. Monitor ( $230 \text{ V} * 0,7 \text{ A} = 161 \text{ W}$ )
6. Computer Dell Precision T5500 (**700**)

- 7. 3 Monitor Dell (3 \* 300= 900)
- 8. Computer Olidata (700)
- 9. Monitor (230 V \* 1,5 A = 345 A)
- 10. 2 Computer HP Compaq 8200 Elite Small Form Factor (2 \* 700 = 1400)
- 11. TV SAMSUNG 42 pollici (200)
- 12. Computer (300 W)
- 13. Processore nello stanzino (?)

Totale locale 5: 5500 W

Locale 6: locale Chiuso

Totale locale 6: 1000 W+288 W

locale 7: Corridoio

corpi illuminati 200 W

Totale locale 7: 200W

**TOTALE ZONA TERMICA: 10,37 kW**

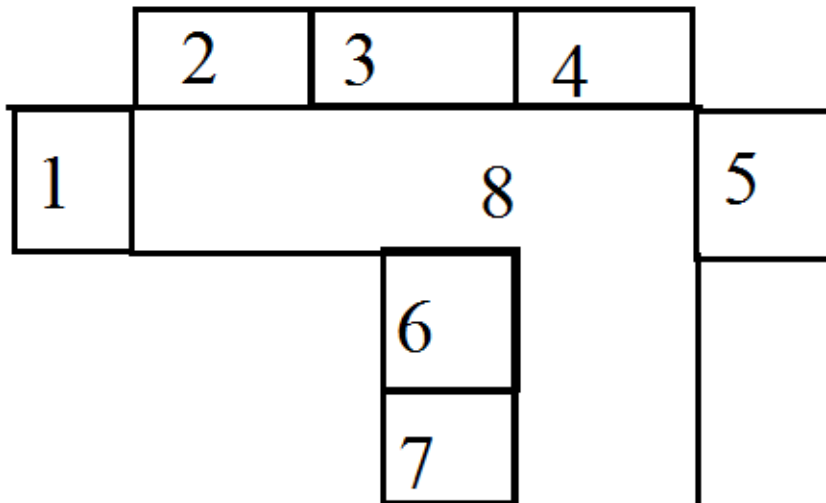
**ILLUMINAZIONE: 1,7 kW**

Piano primo:

Il piano primo è caratterizzato dalla presenza di locali adibiti ad uso ufficio e dai servizi igienici.

Anche in questo caso al fine di facilitare l'individuazione dei carichi termici interessati il piano è stato diviso in tre sezioni:

## Sezione 1



### Locale 1: Bagno

1. Scalda Acqua 1200 W
2. Lampade 50 W

Totale locale 1: 1200 W +50W

### Locale 2: Ufficio

1. 2 Lampade al Neon (100)
2. Monitor (230 V \* 1,5 A = 345 W)
3. Monitor (230 V \* 3,5 A = 895 W)
4. Scanner (50)
5. 2 Laptop (200)

Totale locale 2: 1490 W +100 W

### Locale 3: Ufficio

1. 2 lampade al neon (100)
2. 2 computer Dell Precision T 3400 (700)
3. Monitor (230 V \* 1,5 A = 345 W)
4. Monitor (230 V \* 1 A = 230 W)
5. Laptop (100)
6. Stampante (230 V \* 2,9 A = 667 W)
7. Monitor Dell (300)

Totale locale 3: 2345 W +100 W

Locale 4: Ufficio

1. Monitor ( $12\text{ V} * 1\text{ A} = 12\text{ W}$ )
2. Laptop (100)
3. Monitor Dell (300)
4. Mac Book Pro (100)
5. 2 lampade al neon (100)

Totale locale 4: 550 W+100 W

Locale 5: Bagno

1. Lampade 50
2. Scalda Acqua (1200 W)

Totale locale 5 = 1200 +50 W

Locale 6: Ufficio

1. Stampante ( $230\text{ V} * 4,5\text{ A} = 1035\text{ W}$ )
2. Computer Compaq (400)
3. Monitor ( $12\text{ V} * 3,5\text{ A} = 42\text{ W}$ )
4. 2 Monitor ( $2 * 230\text{ V} * 1,5\text{ A} = 690\text{ W}$ )
5. Computer HP Compaq 8200 Elite Small Form Factor (400)
6. Monitor ( $12\text{ V} * 3,5\text{ A} = 42\text{ W}$ )
7. 2 Computer Dell (800)
8. 2 lampade con 6 neon da x W ( $2 * 6 * 50$ )

Totale locale 6: 3400 W+600 W

Locale 7: Ufficio

1. 4 lampade con 4 neon da 18 W ( $4 * 4 * 18 = 288\text{ W}$ )
2. 2 Monitor ( $2 * 230\text{ V} * 1,5\text{ A} = 690\text{ W}$ )
3. Computer Optiplex GX 520 (400)
4. Computer LG (400)
5. Monitor ( $230\text{ V} * 0,9\text{ A} = 207\text{ W}$ )
6. Computer HP Compaq d330 ut (350 W)

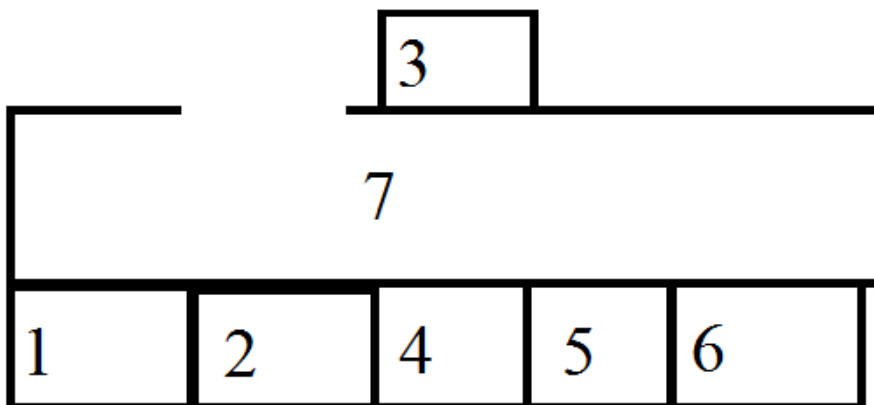
Totale locale 7: 2050 W

Locale 8: Corridoio

1. 4 lampade con 4 neon da 18 W (288W)

Totale locale 8: 288 W

## Sezione 2



### Locale 1: Ufficio

1. Monitor (230 V \* 1,1 A = 253 W)
2. Computer HP Compaq d330 ut (400)
3. Stampante HP Laserjet M1522 NF (200)
4. 4 lampade da 4 neon da 18 W (4\*4\*18 = 288 W)

Totale locale 1: 850 W

### Locale 2: Ufficio

1. Monitor (230 V \* 1,2 A = 276 W)
2. 3 computer HP Compaq 8200 Elite Small Form Factor (1200)
3. Scanner HP Scanjet 5590 (200)
4. Monitor (230 V \* 0,6 A = 138 W)
5. Monitor (230 V \* 1,5 A = 345 W)
6. Monitor (12 V \* 3,5 A = 42 W)
7. Computer HP (400)
8. 2 lampade neon (100)
9. Stampante HP Laserjet 4200 dtn (200)

Totale locale 2: 2800 W

3: Stanzino chiuso con circa 20 computer, di cui molti non utilizzati si ipotizza un consumo di circa

Totale locale 3: 2000 W

### Locale 4: Ufficio

1. 2 lampade al neon (100)
2. 2 computer Dell (800)
3. 2 Monitor (2 \* 12 V \* 3,5 A = 84 W)

Totale locale 4: 850 W

Locale 5: Ufficio

1. 4 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna (288 W)
2. Monitor (12 V \* 3,5 A = 42 W)
3. Computer IBM (400)

Totale locale 5: 450 W

Locale 6: Ufficio

1. 2 neon (100)
2. 3 monitor (3 \* 12 V \* 3,5 A = 126 W)
3. Monitor (230 V \* 1,5 A = 345 W)
4. Computer HP Compaq (400)
5. Stampante Xerox Phaser 6360 (200)

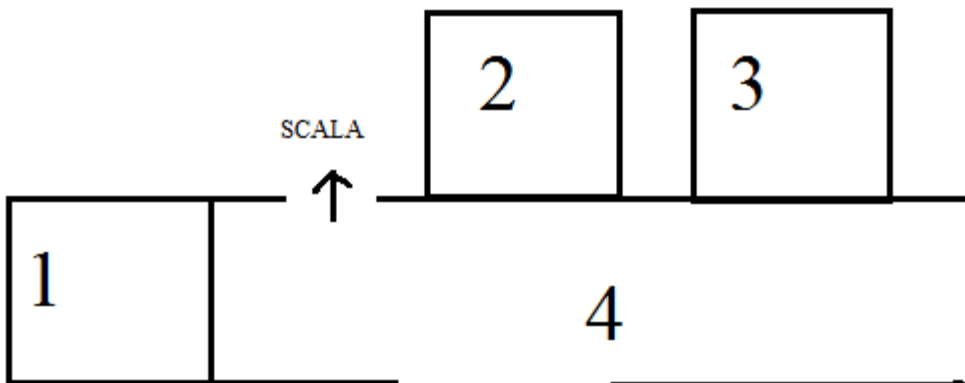
Totale locale 6: 1070 W

Locale 7: Corridoio

1. 4 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna (288 W)

Totale locale 7: 288 W

**Sezione 3**



Locale 1: Ascensore

Non considerato

Locale 2: Ufficio chiuso

sono presenti 5 Pc sempre accesi

Totale locale 2: 1500W

Locale 3: Ufficio chiuso

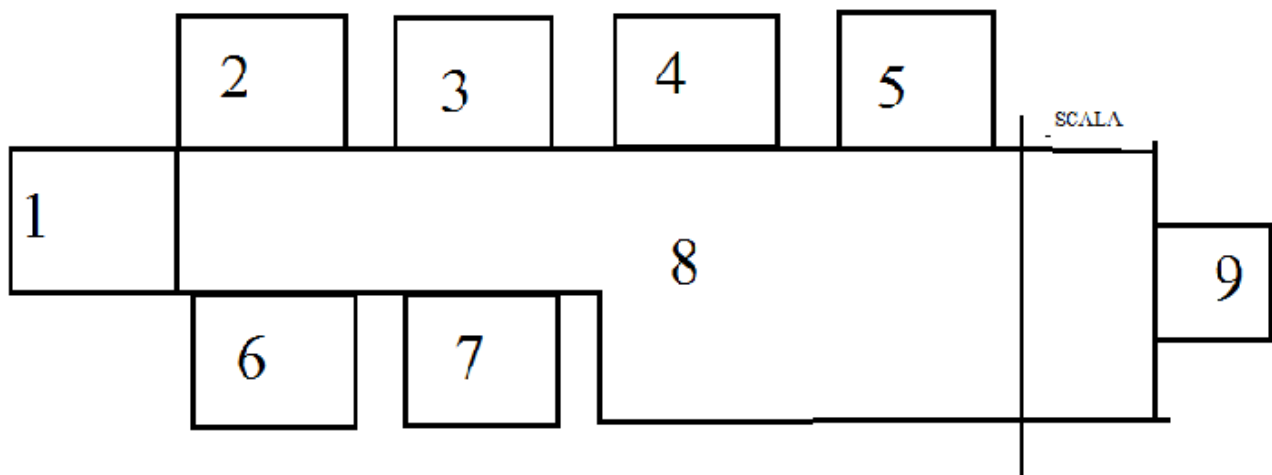
sono presenti 5 Pc sempre accesi

Totale locale 3: 1500W

Locale 4: Corridoio

Viene valutato dopo nel locale 8 della sezione 4

### Sezione 4



Locale 1: Bagno

1. Lampade 50
2. Scalda Acqua (1200 W)

Totale locale 1 = 1200 +50 W

Locale 2: Ufficio

1. 2 neon (100)
2. Computer Mac (300)
3. Mac Book Pro (200)
4. Monitor (12 V \* 1 A = 12 W)
5. Computer Dell Precision T5500 (400)
6. Monitor (230 V \* 1,6 A = 368 W)
7. Monitor (20 V \* 4,5 A = 90 W)
8. Computer Dell Precision 380 (400)
9. 2 Computer Dell Precision T3500 (800)
10. Monitor (230 V \* 1,5 A = 345 W)
11. Computer Mac (300)

Totale locale 2: 3215 W

Da locale a locale 7 : Uffici

È previsto il funzionamento continuo di apparecchiature per un consumo totale di circa 10000W

Totale locale 7: 10000W

Locale 8: Corridoio

1. 5 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna ( $5 * 4 * 18 = 360$  W)
2. Fotocopiatrice Canon GP 160 (300)
3. Stampante HP Laserjet 4200 dtn (200)
4. Stampante Ecosys FS-3920 DN (200)
5. Stampante (200)

Totale locale 8:900 W

Locale 9: Ufficio

1. 2 neon (100)
2. Monitor ( $230 \text{ V} * 0,8 \text{ A} = 184 \text{ W}$ )
3. Monitor ( $230 \text{ V} * 1,6 \text{ A} = 368 \text{ W}$ )
4. Computer (300 W circa)

Totale locale 9:850 W

Locale 10: Sala conferenze

1. 18 lampade con 4 neon da 18 W ciascuna (1296 W) (uso saltuario)
2. Monitor ( $230 \text{ V} * 1 \text{ A} = 230 \text{ W}$ )
3. Monitor Philips (200)
4. Computer (400)

Totale locale 10: 830 W

**TOTALE ASSORBIMENTO ZONA: 36,65 kW**

**TOTALE ILLUMINAZIONE: 3,2 kW**

### Monitoraggio indoor degli ambienti

Per poter valutare correttamente i carichi termici che entrano in gioco nel locale *Sala Macchine* e quindi poter ottimizzare il consumi legati ai sistemi di refrigerazione dell'ambiente è stata avviata una campagna di monitoraggio delle condizioni termiche indoor.

In totale sono stati collocati sei sensori del modello Hobo Pro a due canali capaci di rilevare contemporaneamente la temperatura e l'umidità relativa interna.



**Figura 13: Sensore Hobo**

I sei sensori sono stati collocati in diversi punti dell'edificio e a diversa altezza in una porzione rappresentativa della "parete" che si desidera caratterizzare. Al fine di evitare effetti di bordo che possono, introdurre errori notevoli nella misura, sono state evitate le zone vicine agli spigoli ed ogni altra zona della parete in cui si presentino delle anomalie di carattere fisico o geometrico.

Prima della scelta dei punti di misura è stato effettuato un sopralluogo coadiuvato dalla pianta del locale che ha permesso di individuare le eventuali anomalie nascoste nella struttura.

Per una facile individuazione e una semplice visualizzazione del problema si è preferito nominarli nel seguente modo:

HOBO 1: corridoio piano terra

HOBO 2: corridoio seminterrato

HOBO 3: corridoio piano primo

HOBO 4: sala macchine

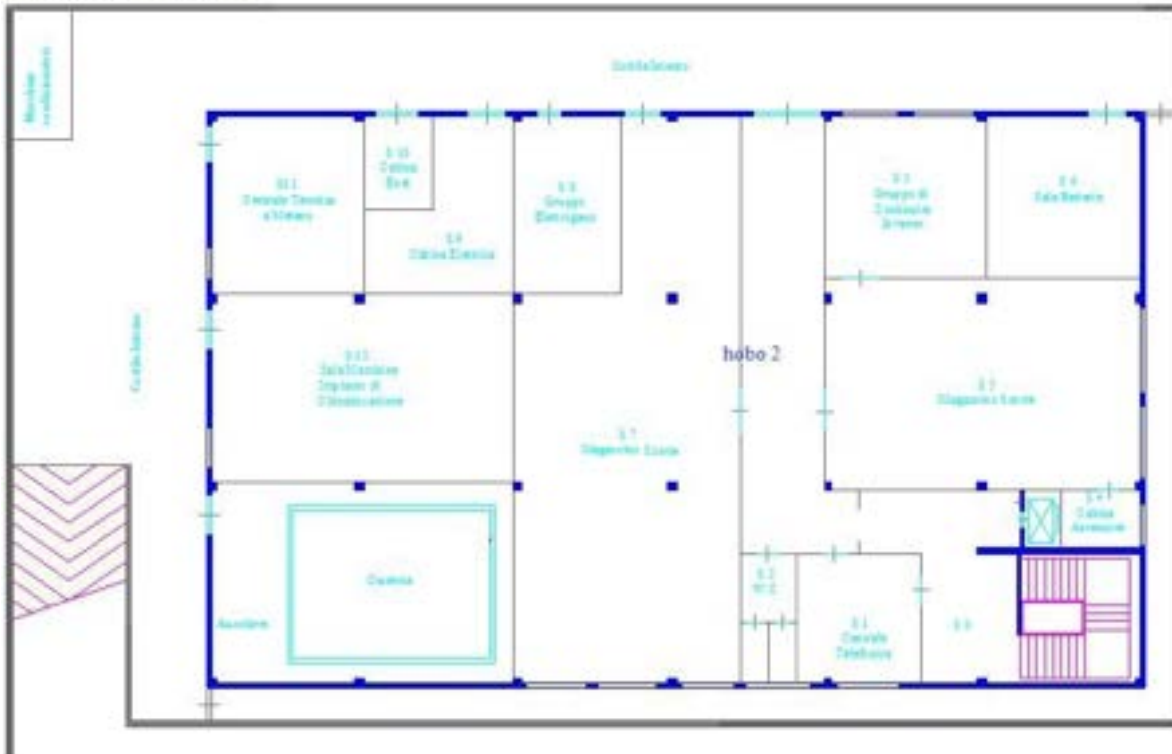
HOBO 5: sala macchine

HOBO 6: corridoio piano primo

nelle immagini seguenti vengono indicate le loro posizioni.

Il monitoraggio ha interessato il periodo che va maggio a luglio 2012 ed è stato anticipato dalla corretta taratura dei sensori.

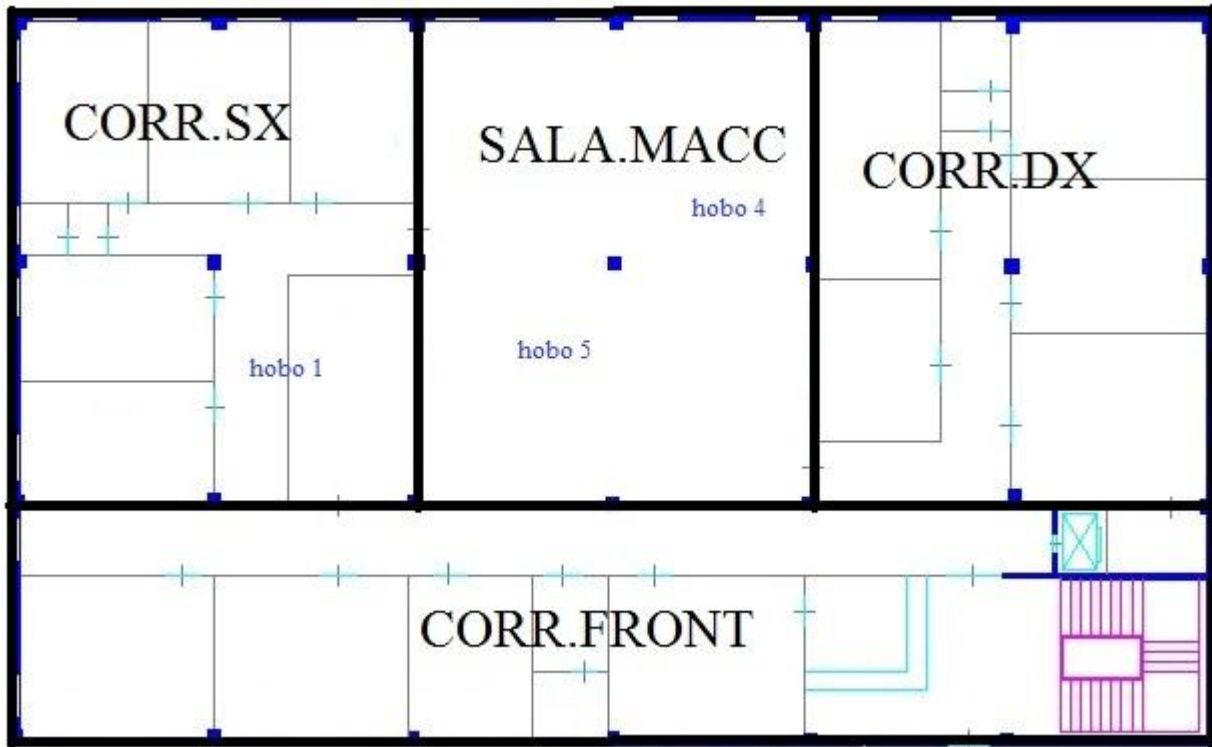
Piano seminterrato



Piano primo



Figura 14: Posizionamento sensori HOB0 ai piani seminterrato e primo



**Figura 15: Posizionamento sensori HOB0 nella zona macchine**

Dalla campagna di monitoraggio sono stati ricavati i seguenti dati:

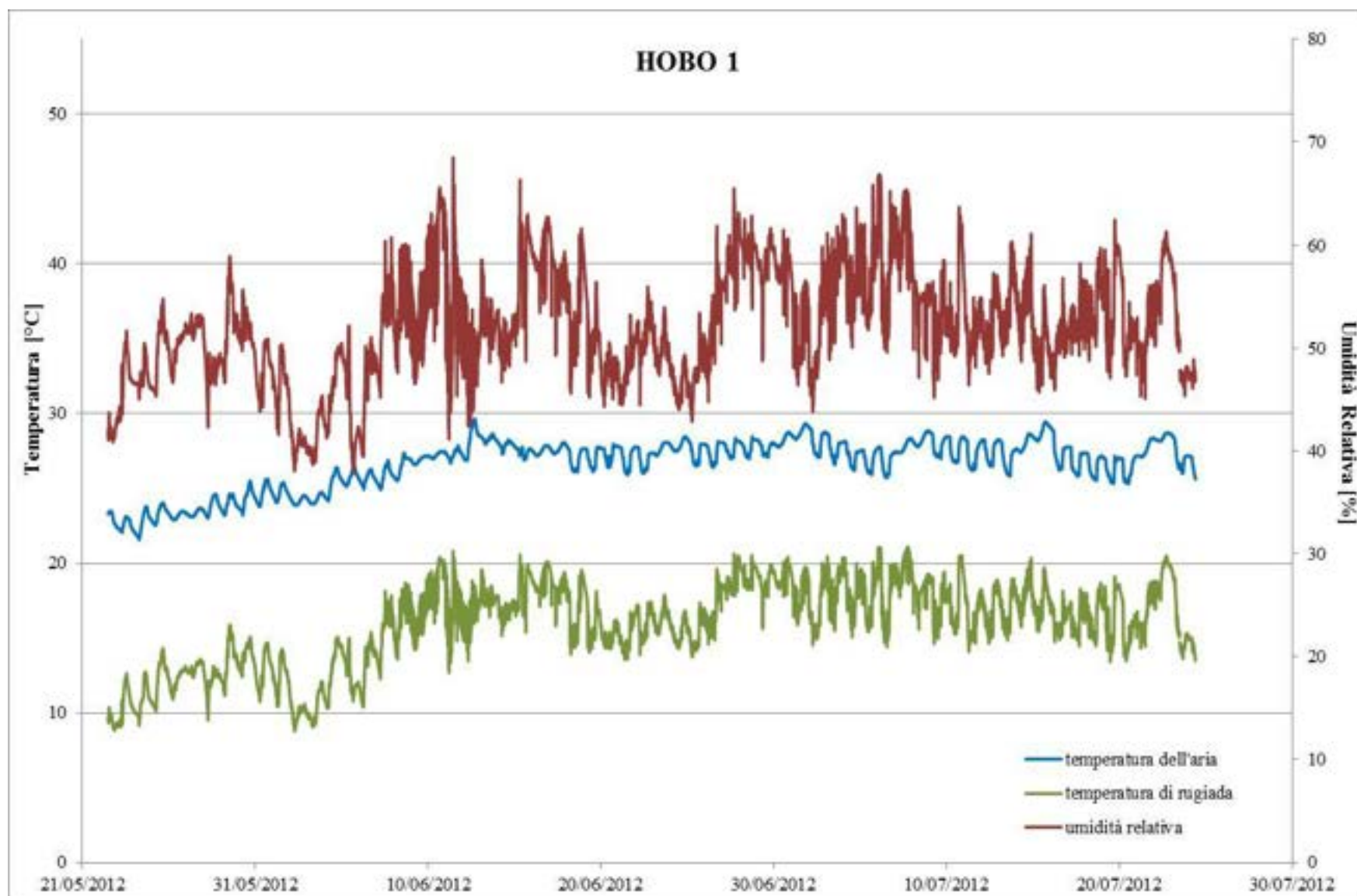


Figura 16: Misure effettuate dall'unità HOBO 1

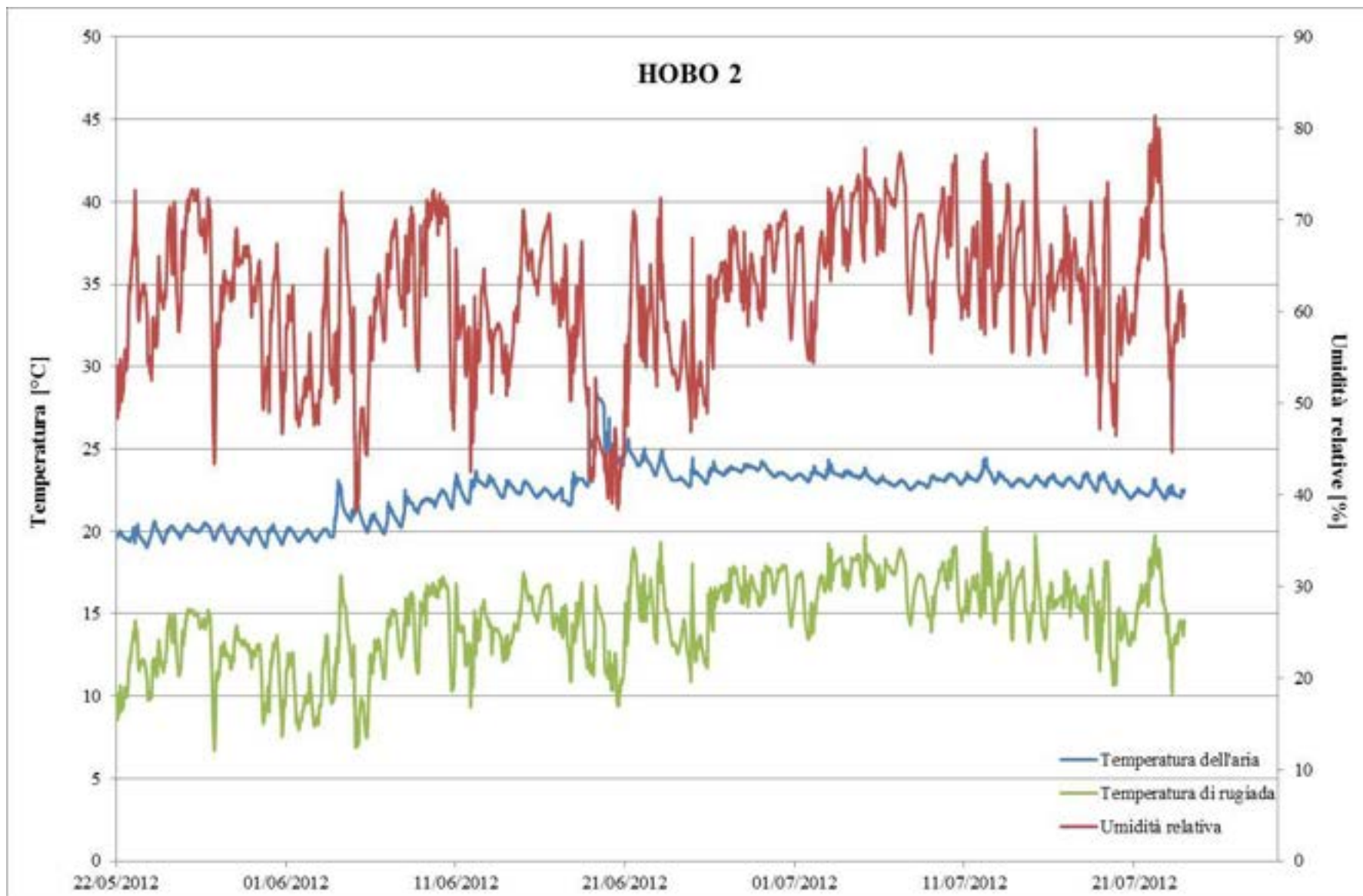


Figura 17: Misure effettuate dall'unità HOBO 2

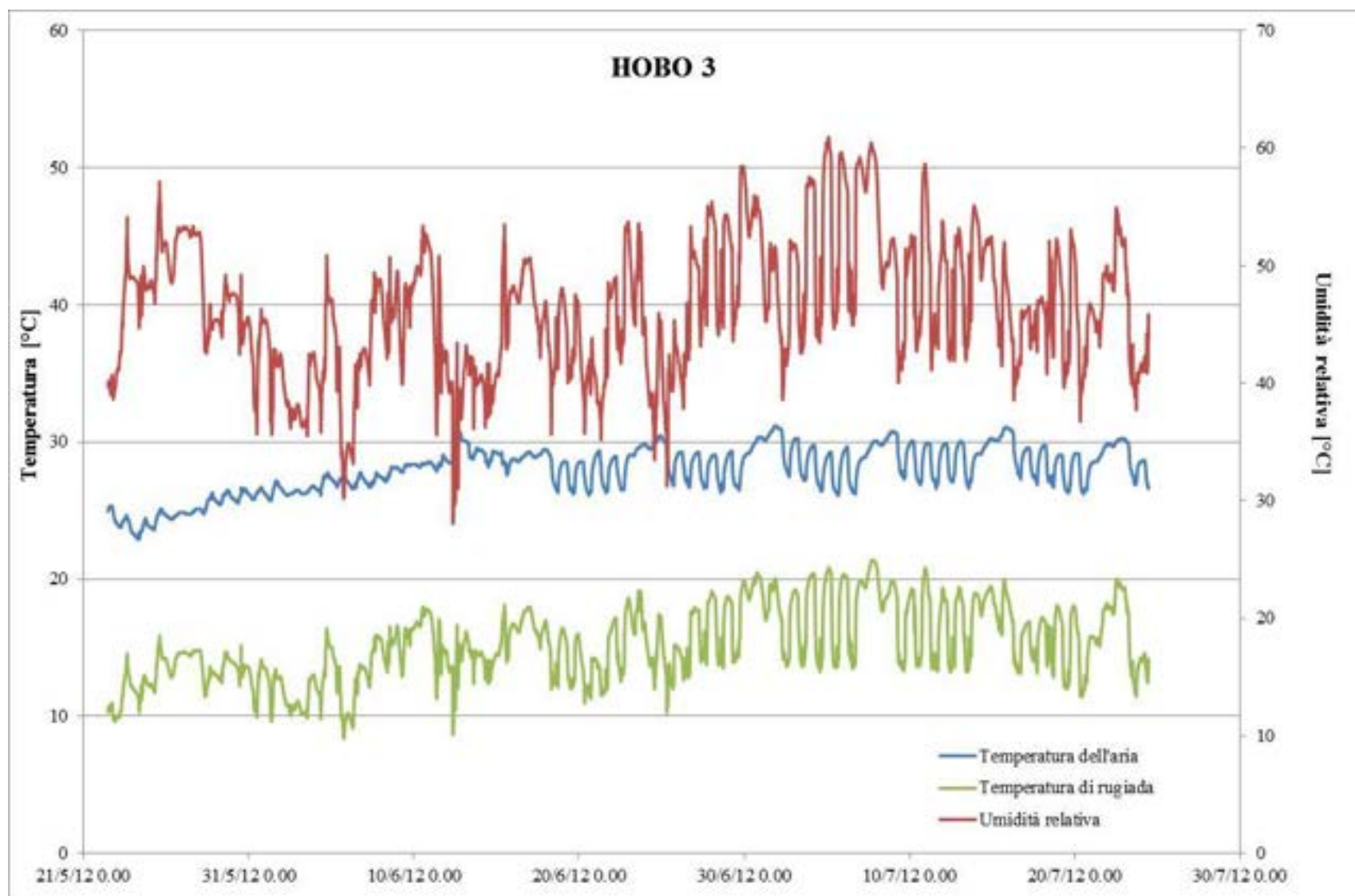


Figura 18: Misure effettuate dall'unità HOBO 3

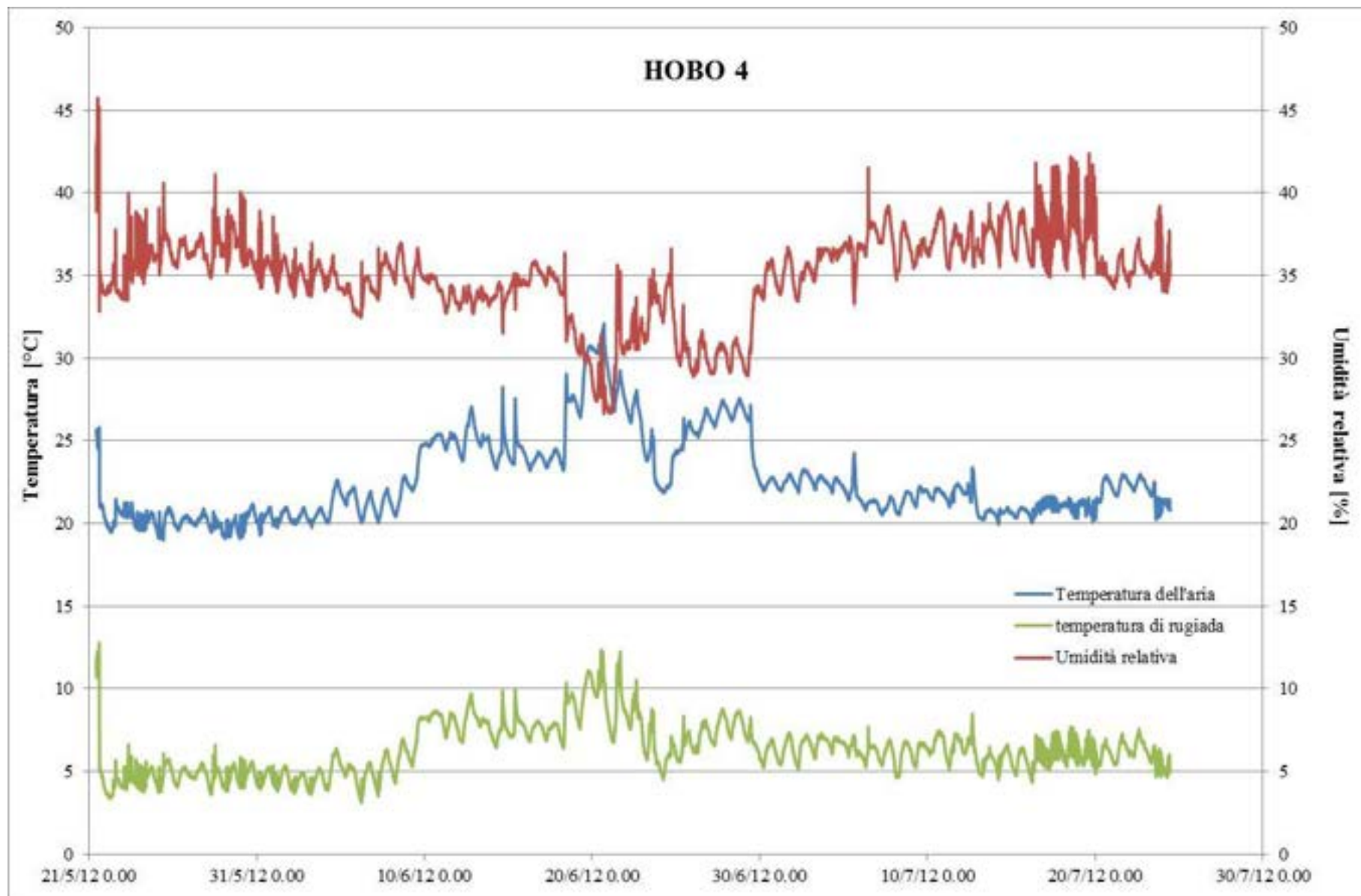


Figura 19: Misure effettuate dall'unità HOBO 4

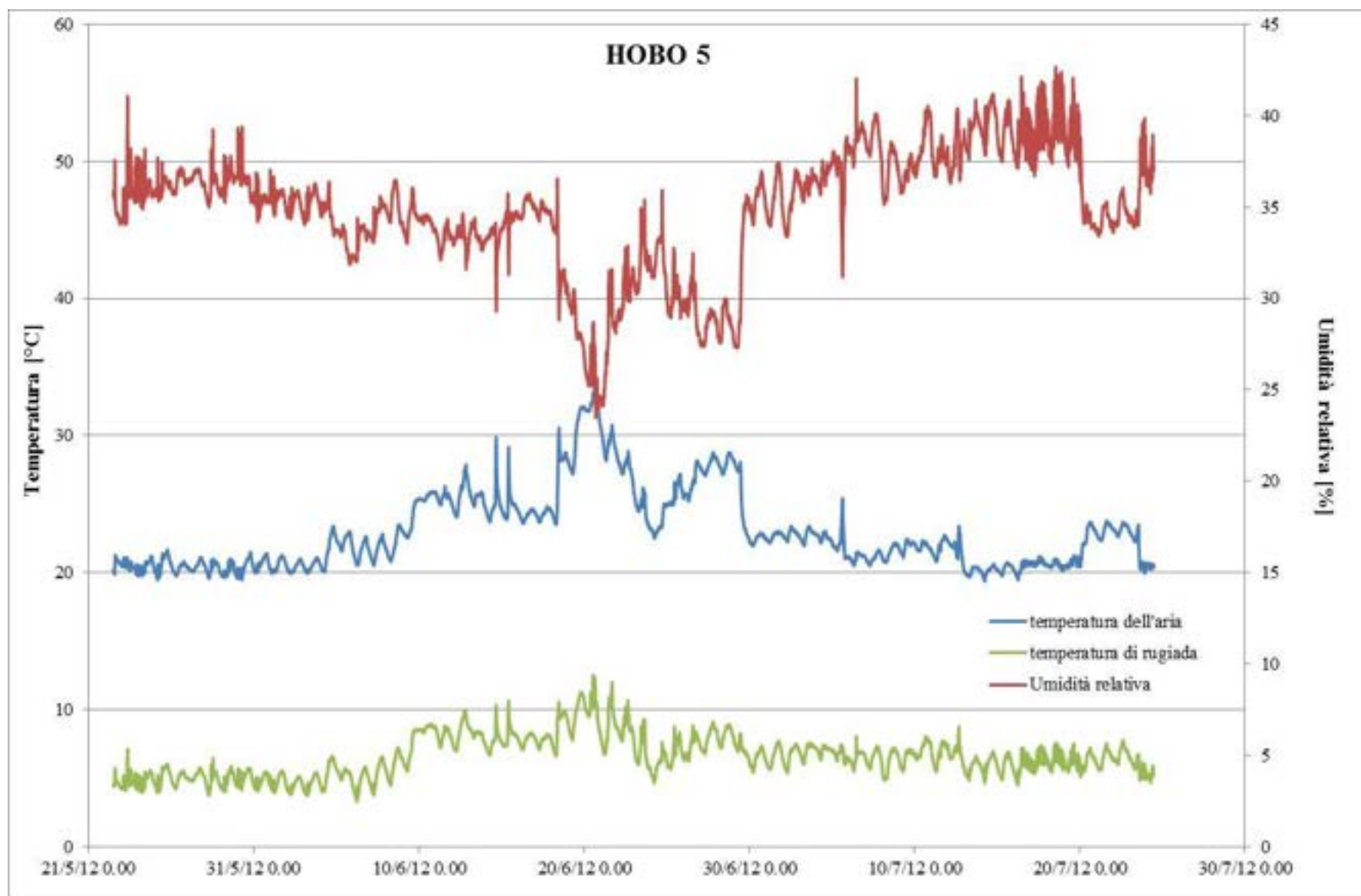


Figura 20: Misure effettuate dall'unità HOBO 5

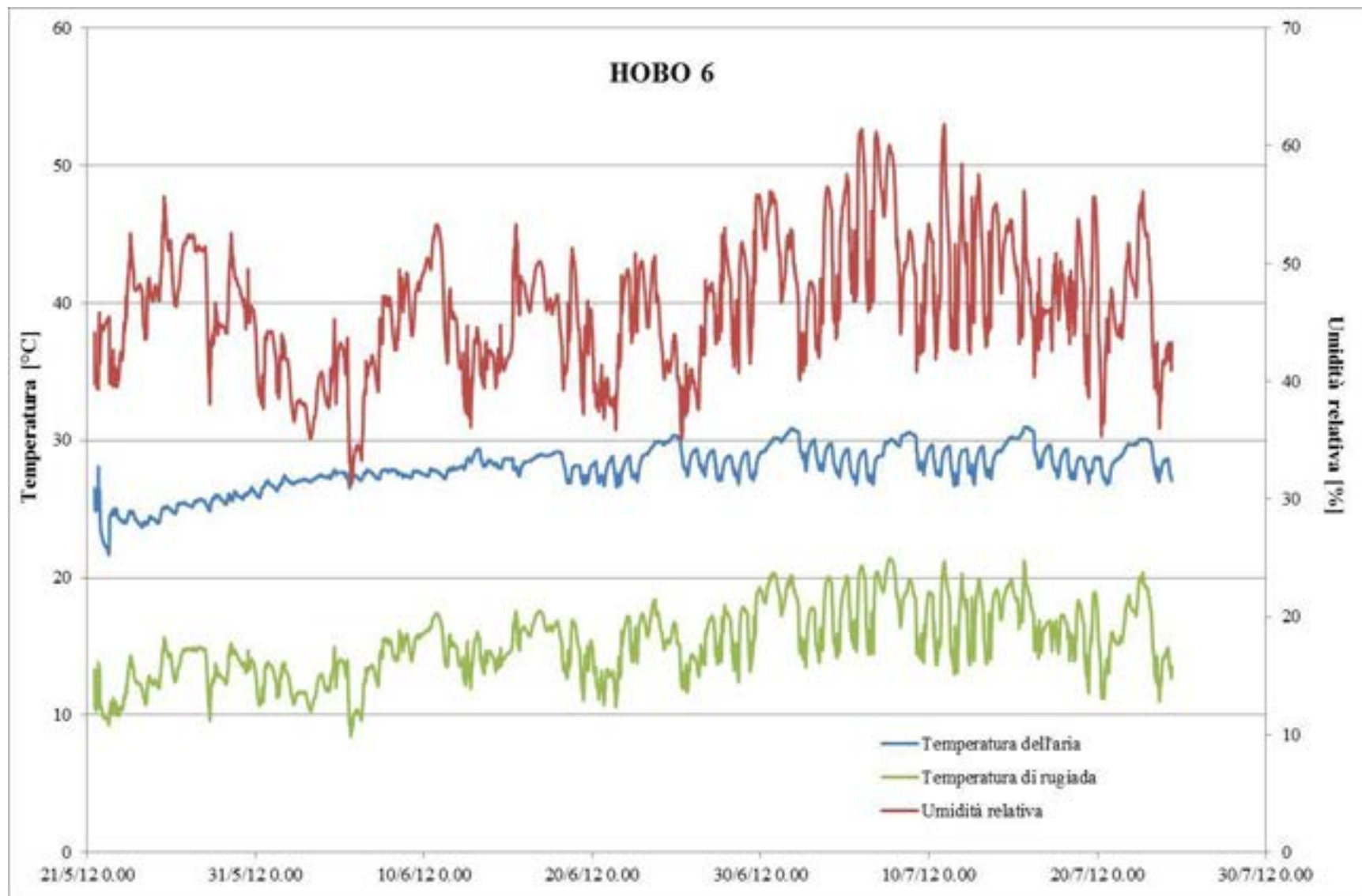


Figura 21: Misure effettuate dall'unità HOBO 6

## Monitoraggio della potenza di calcolo istantanea impegnata dalla macchine del CED

Il SIA dell'Università degli Studi di Palermo è dotato di un sistema di monitoraggio Spacewalk, ovvero un sistema open source di Linux che consente di:

- Inventariare i sistemi hardware e informazioni software;
- Installare e aggiornare il software sui sistemi in remoto;
- Gestire e distribuire i file di configurazione per gruppi di sistemi;
- Monitorare lo stato dei sistemi.

Come si evince dall'immagine sottostante il sistema Spacewalk al momento monitora solo 75 delle macchine presenti nella sala CED, pari circa ad un terzo del totale.

System	Actions	Status	Errors	Packages	Configs	Group of items	Editions
alphi12	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	0	RHEL 5 Base - x86_64	Management
alphant	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	2	CentOS 5 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
snop-cental	<input checked="" type="checkbox"/>		0	2	2	RHEL 5 Base - x790i	Management, Monitoring, Provisioning
backup	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	2	CentOS 5 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
bauda	<input checked="" type="checkbox"/>		0	1	2	CentOS 5 Base - i386	Management, Monitoring, Provisioning
inf-serpa-8	<input checked="" type="checkbox"/>		0	254	3	CentOS 5 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
inf-serpa-9	<input checked="" type="checkbox"/>		0	254	3	CentOS 5 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
inf1	<input checked="" type="checkbox"/>		0	84	2	CentOS 5 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
ita	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	0	RHEL 4 Base - x790i	Management, Monitoring
diverzi-test	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	0	CentOS 4 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
genius-4-flags	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	0	RHEL 5 Base - x790i	Management, Monitoring, Provisioning
h888	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	4	CentOS 5 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
harrisfer	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	1	CentOS 5 Base - i386	Management, Monitoring, Provisioning
hurd-ib	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	3	CentOS 5 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
hcs70	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	0	RHEL 4 Base - x790i	Management, Monitoring
incontab	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	0	RHEL 4 Base - x790i	Management, Monitoring
informat01	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	0	(nessuno)	Management, Monitoring
intraweb	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	3	(nessuno)	Management, Monitoring, Provisioning
intraweb-01	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	1	(nessuno)	Management, Monitoring, Provisioning
intraweb-02	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	2	(nessuno)	Management, Monitoring, Provisioning
intraweb-04	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	2	(nessuno)	Management, Monitoring, Provisioning
intraweb-out	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	1	CentOS 5 Base - x86_64	Management, Monitoring, Provisioning
intraweb-test	<input checked="" type="checkbox"/>		0	0	1	(nessuno)	Management, Monitoring, Provisioning

Figura 22: Schermata del sistema Spacewalk

Per ogni macchina è possibile avere generiche indicazioni circa lo stato del sistema e la sua posizione.

**Specewalk** - Configurazione - Monitoring - Status

Stato del sistema: **Il sistema è aggiornato**

**Informazioni del sistema**

Hostname:	alpha1.ccc.unipa.it
Indirizzo IP:	147.163.1.49
IPv6 Address:	scrittore
Virtualizzazione:	virtware
UUID:	4(105594a0b2)ea758128b297de1eac
Kernel:	2.6.18-208.el2.el6
ID del sistema Specewalk:	100010001
Stato del blocco:	Il sistema è sbloccato <a href="#">[Blocca sistema]</a>

**Eventi del sistema**

Checked in:	27/07/12 14.15.49 CEST
Registrato:	06/10/11 22.47.20 CEST
Avviato per ultime:	25/07/12 19.11.18 CEST <a href="#">(Programma riavvio del sistema)</a>
Stato OS:	ultimo da 26/07/12 23.08.18 CEST <a href="#">(Loggi plug del sistema)</a>

**Proprietà del sistema** [\[Modifica queste proprietà\]](#)

Entitlement:	[Monitoring] [Management] [Provisioning]
Notifier:	Summary giornaliero Errata Email
Errata Update Automatica:	No
Nome del sistema:	alpha1
Descrizione:	File server di Ateneo OS: centos-release Release: 5 CPU Arch: x86_64-redhat-linux
Posizione:	Stanza: sala server Baul: serveri genit su HPCluster Edificio: 11 Sistema Informativo di Ateneo Viale delle Scienze Palermo Palermo IT

Canali sottoscritti: [\[Modifica Sottoscrizioni del Canale\]](#)

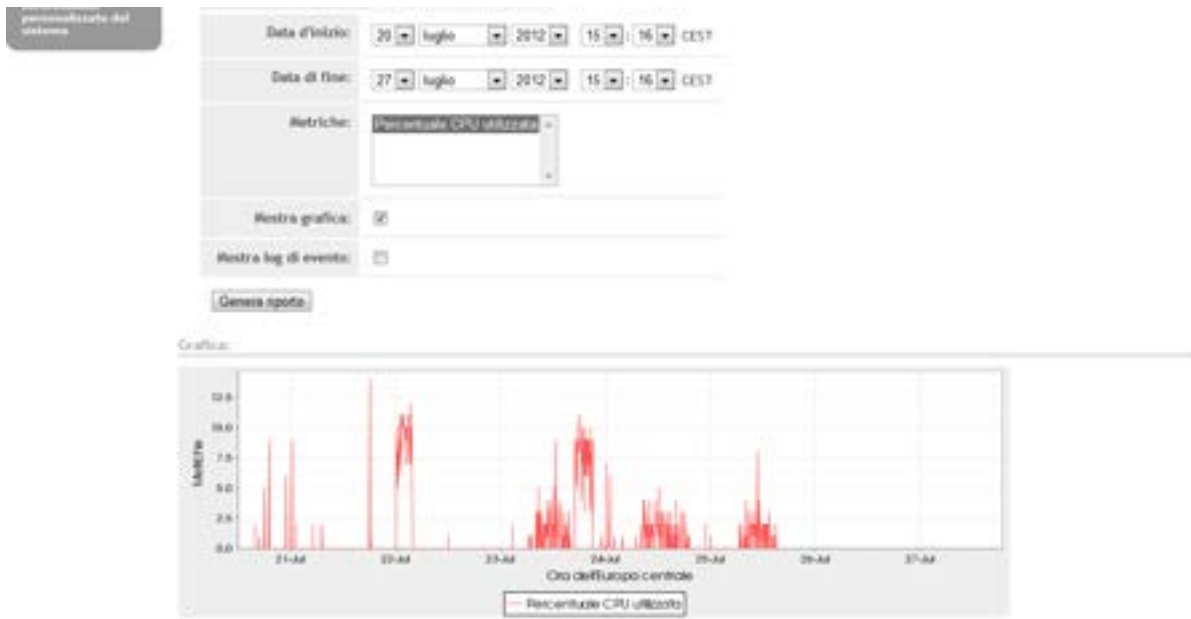
© CentOS 5 base - v86\_64

**Figura 23: Schermata del sistema Specewalk**

In base alla tipologia di macchina è possibile avere da cinque a più informazioni. Le cinque informazioni base sono:

- Carico della CPU;
- conteggio dei processi totali;
- utilizzo della CPU;
- utilizzo di swap;
- utilizzo memoria.





**Figura 26: Schermata del sistema Specewalk**

Il punto debole di tale sistema risiede nella impossibilità di poter cumulare informazioni per gruppi di macchine per avere un unico valore per l'intera sala CED.

## **Modellizzazione in ambiente TRNSYS dei carichi termo-frigoriferi del sala calcolo del SIA di Palermo**

Dopo aver raccolto le caratteristiche termiche, fisiche e di utilizzo del caso studio si è potuto procedere con la simulazione dinamica di un modello che rappresentasse lo stato di fatto del sistema edificio-impianto.

La prima fase ha previsto la costruzione del modello termo-fisico tenendo conto della posizione, della forma, della pianta, degli occupanti, degli impianti ed del clima.

Sono state definite 4 “Zone Termiche” caratterizzate da omogeneità di temperatura e destinazione d’uso denominate come segue:

Zona 1: piano seminterrato

Zona 2: piano primo

Zona 3: Sala Macchine

Zona 4: piano terra

I dati di input hanno previsto le seguenti assunzioni:

- costruzione del modello termofisico dell’edificio in base alle zone termiche individuate;
- definizione delle temperature operative per singola zona termica: in particolare è stata ipotizzata una temperatura operativa fissa per la Sala Macchine di 20°C;
- temperatura di set point per il condizionamento estivo di 27°C;
- temperatura di set point per il riscaldamento invernale di 18°C

Il modello è stato calibrato tenendo conto delle rilevazioni effettuate tramite i sensori HOBO.

I risultati ottenuti dalla simulazione dinamica in ambiente TRNSYS evidenziano il sottodimensionamento degli impianti di climatizzazione sia della sala CED che per l’intero edificio.

Nel seguito viene mostrato l’andamento delle temperature delle varie Zone Termiche ed il Cooling load della sala Macchine.

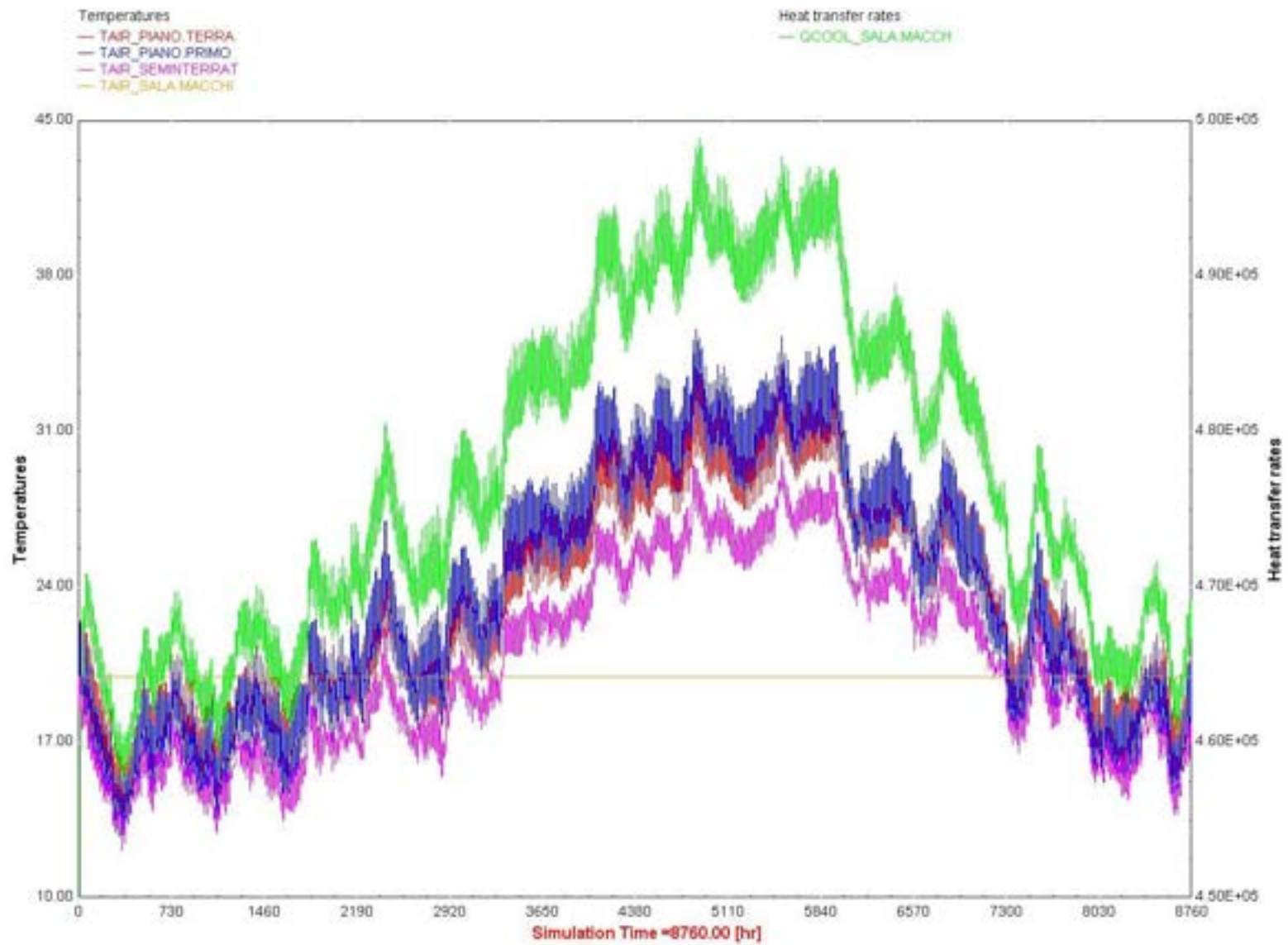


Figura 27: Temperature e cooling load delle zone termiche calcolate con TRNSYS

## Modellizzazione in ambiente TRNSYS dei carichi termofrigoriferi e sviluppo di un modello di impianto convenzionale di riferimento per la climatizzazione di sale CED: la sala CRESCO del centro di calcolo ENEA di Portici (NA)

La prima fase di analisi è stata incentrata sulla definizione di un modello di calcolo per la simulazione dei carichi termici di una sala CED. In un primo momento come caso studio è stato scelto il centro di calcolo dell'Università di Palermo. A causa però di difficoltà incontrate nel reperimento di dati e informazioni necessari per la definizione del modello matematico, allo scopo di dare allo studio una maggiore consistenza e, non ultimo, dei possibili risvolti operativi, si è convenuto di optare per l'analisi di un'altra struttura, in particolare la sala CRESCO del centro di calcolo ENEA a Portici. Per questo caso studio è infatti disponibile un data base contenente i dati di assorbimento dei cluster di macchine installate e dei gruppi di refrigerazione relativo al periodo di monitoraggio dal 30.05.2011 al 26.07.2011.

Il modello utilizzato è stato creato e tarato sulla base delle informazioni relative alle macchine installate, alle caratteristiche dell'edificio e ai dati di monitoraggio dei consumi elettrici della sala.

Di seguito si riportano la struttura a blocchi del sistema CRESCO e le caratteristiche delle macchine installate.

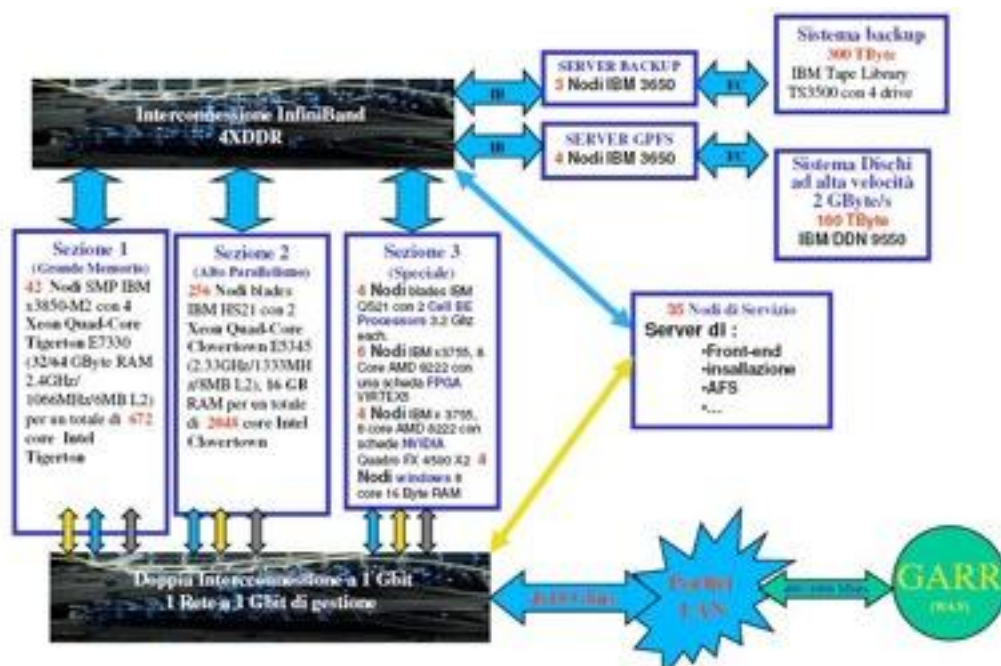


Figura 28: Struttura a blocchi del Sistema HPC CRESCO

Caratteristiche principali del cluster **Sezione 1:**

- N. nodi: 42 Nodi SMP IBM x3850-M2
- Processors: 4 Xeon Quad-Core Tigerton E7330
- RAM: 32/64 GByte RAM
- Clock: 2.4GHz/1066MHz/6MB L2
- Interconnessione tra i nodi: vedi figura sotto
- Totale: 672 core Intel Tigerton

Caratteristiche principali del cluster **Sezione 2:**

- N. nodi: 256 Nodi blades IBM HS21
- Processors: 2 Xeon Quad-Core Clovertown E5345
- RAM: 16 GByte RAM
- Clock: 2.33GHz/1333MHz/8MB L2
- Interconnessione Infiniband tra i nodi: vedi figura sotto
- Totale: 2048 core Intel Clovertown
- N. nodi: 56 Nodi blades IBM HS21
- Processors: 2 Xeon Quad-Core Nehalem E5530
- RAM: 16 GByte RAM
- Clock: 2.40GHz/8MB L3
- Interconnessione Infiniband tra i nodi: vedi figura sotto
- Totale: 448 core Intel Nehalem
- N. nodi: 28 Nodi blades IBM HS21
- Processors: 2 Xeon Quad-Core Westmere E5620
- RAM: 16 GByte RAM
- Clock: 2.40GHz/8MB L3
- Interconnessione Infiniband tra i nodi: vedi figura sotto
- Totale: 224 core Intel Westmere

Per ciò che concerne l'impianto di refrigerazione della sala, il sistema vede la presenza di cinque gruppi di raffreddamento ad espansione diretta del tipo EMERSON Liebert Hiross HPM M50 con condensazione ad aria. Il condensatore a cui è accoppiata ogni unità di raffreddamento è del tipo HBE 49 con una portata di 13048 m<sup>3</sup>/h un ventilatore da 0.85 kW. I principali dati tecnici delle

macchine sono riassunti in Tabella 10. Si noti che il COP elettrico nominale della macchina è pari a 3.59.

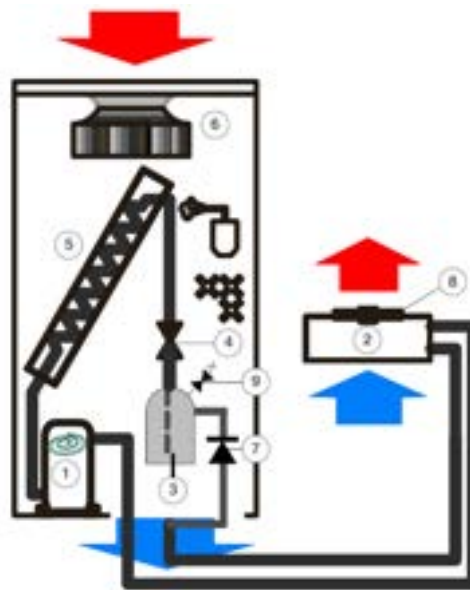


Figura 29: Schema delle 5 unità attualmente installate EMERSON Liebert Hiross HPM M50 con raffreddamento ad aria

Model		M34	M35	M41	M42	M47	M50	M58	M66	L83 <sup>®</sup>	L99 <sup>®</sup>
Total cooling capacity <sup>1)</sup>	kW	36,2	37,0	45,8	42,8	53,7	54,9	60,1	70,3	86,3	104,6
Sensible cooling capacity <sup>1)</sup>	kW	34,1	35,1	43,4	41,5	49,0	49,3	52,7	58,5	79,5	89,3
SHR <sup>2)</sup>		0,94	0,95	0,95	0,97	0,91	0,90	0,88	0,83	0,92	0,85
EER <sup>3)</sup>		3,62	3,58	3,52	3,63	3,45	3,59	3,40	3,49	3,31	3,40
Number of compressors	n°	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2
Number of fans	n°	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Air delivery	m <sup>3</sup> /h	9490	9540	11230	11370	12250	12240	12910	13470	20020	21100
Max. ESP <sup>4)</sup> downward/upward delivery	Pa	350/350	340/340	380/380	380/390	300/300	300/300	240/250	170/180	170	90
Sound pressure level <sup>5)</sup>	dB(A)	60,5	60,4	58,4	58,1	60,4	59,3	61,1	63,4	66,2	66,9
Width	mm	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	2550	2550
Depth	mm	850	850	850	850	850	850	850	850	890	890
Net weight	kg	590	580	600	600	620	635	650	670	950	1000

Tabella 10: Dati tecnici dei gruppi di refrigerazione installati nella sala CRESCO

La sala CRESCO del centro ENEA a Portici è localizzata a circa 4 m sotto il livello del suolo, ciò fa sì che i carichi di raffreddamento siano essenzialmente legati alla produzione di calore delle macchine per l'elaborazione dei dati.

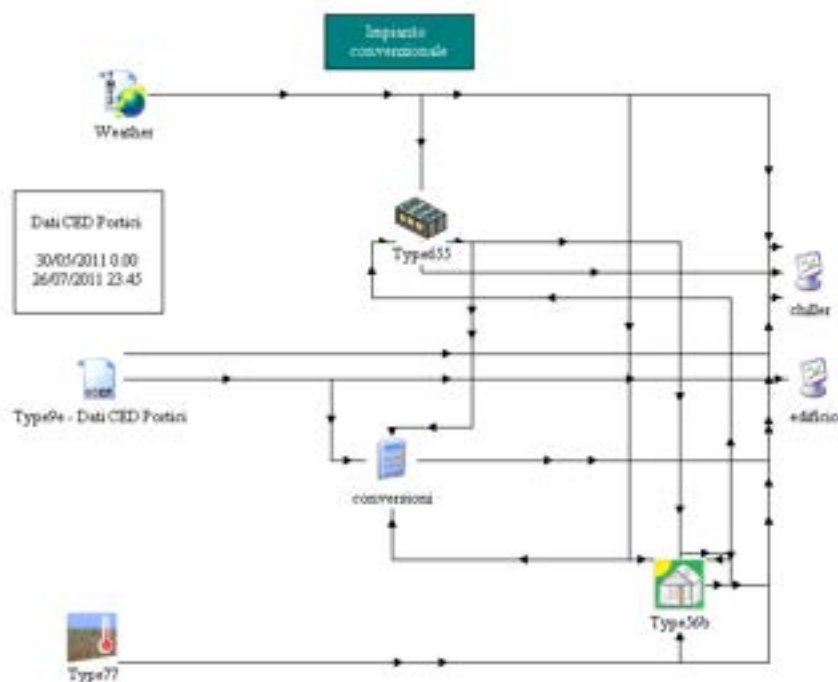
La sala è stata simulata come un'unica zona termica di forma rettangolare con due pareti adiacenti a zone a temperatura controllata ed una superficie di circa 146 m<sup>2</sup>. Il volume totale del locale è di circa 410 m<sup>3</sup>. Le altre due pareti esterne sono interrato ma separate dal terrapieno tramite un'intercapedine larga circa 50 cm.

Le zone termiche adiacenti sono climatizzate ma collegate ad un altro sistema di condizionamento.

L'altezza media della sala, considerando le varie controsoffittature per il passaggio degli impianti, è di 2,8 m. Non sono presenti finestre verso l'esterno ma soltanto porte verso una zona adiacente a temperatura controllata.

I divisori del lato della porta sono di cartongesso, il lato muro perimetrale è in cemento armato (spesso circa 50 cm) mentre gli altri divisori hanno uno spessore di circa 10 cm.

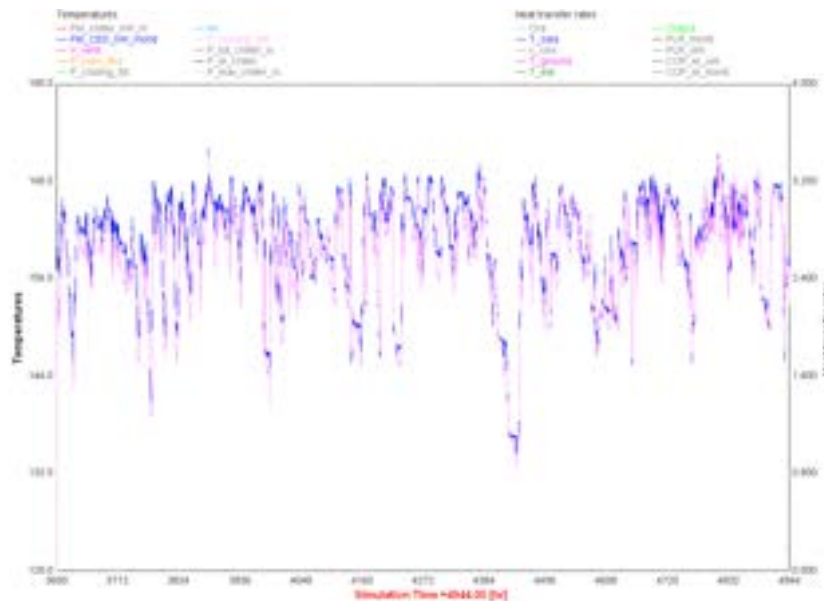
La distribuzione di temperatura è la seguente: le zone fredde, che sono il fronte rack sono a temperature di circa 18°C mentre la zona calda, in uscita dai rack e che rappresenta il corridoio tra le macchine, è ad una temperatura che va dai 28-35°C, in funzione del carico e della vicinanza ai rack. L'umidità delle zone fredde (18°C) è circa del 50% mentre quelle delle zone calde è di circa il 30%. Le macchine frigorifere per il condizionamento del locale servono solo la sala CRESCO. Il ricambio dell'aria interna alla sala CRESCO è pari a 2 volumi totali / ora.



**Figura 30: Schema progetto TRNSYS per la simulazione dei carichi frigoriferi della sala CRESCO**

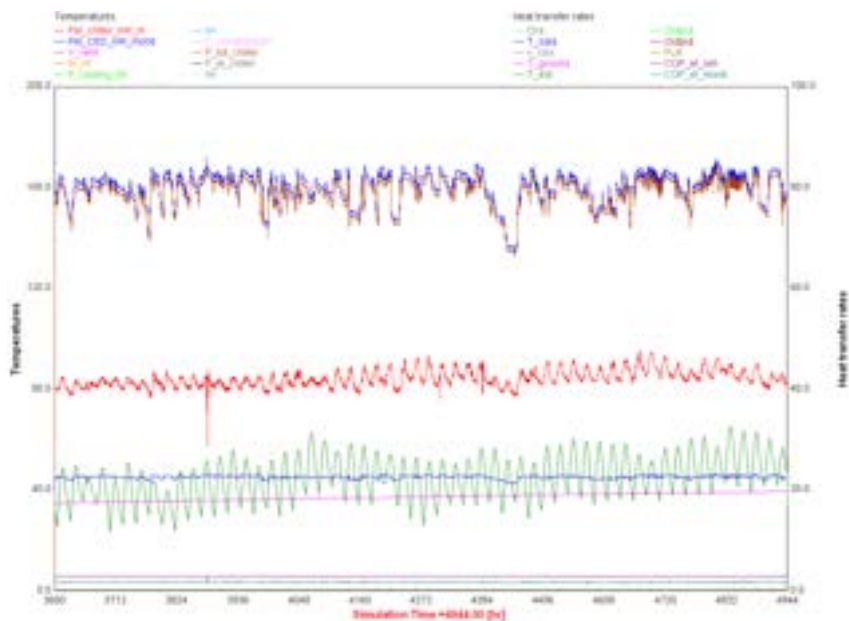
La simulazione dell'edificio è stata effettuata utilizzando il TYPE 56 nel quale sono state introdotte tutte le caratteristiche sopra elencate. L'impianto di raffreddamento è stato introdotto collegando l'edificio con un gruppo di refrigerazione di potenza pari a cinque volte la potenza dell'unità di raffreddamento HPM M50 per un totale di 275 kW. La portata d'aria totale che interessa la sala è di 61200 m<sup>3</sup>/h equivalente a circa 150 l/h. Inoltre è stata prevista una ulteriore portata d'aria esterna introdotta come infiltrazione pari a 2 ricambi all'ora. La soluzione impiantistica attuale verrà indicata di seguito con la sigla ST.

Il carico interno all'edificio è stato introdotto come input ovvero esso è pari al consumo istantaneo di elettricità legato alle macchine per l'elaborazione dei dati e fornito tramite un file di lettura contenente i dati di monitoraggio registrati presso il centro di portici. In particolare sono stati utilizzati i dati di assorbimento delle macchine installate e dei gruppi di refrigerazione a fini di potere operare un confronto con i risultati di simulazione. Il periodo considerato in questa fase va dal 30.05.2011 al 26.07.2011. Allo scopo di tarare il modello di calcolo, sono state svolte diverse simulazioni al variare di alcuni parametri di settaggio dei vari Type utilizzati.



**Figura 31: Andamento dei guadagni interni dovuti alle macchine installate nella sala CED e carico totale all'edificio**

Come mostrato in Figura 31, il carico totale di raffreddamento dell'edificio è praticamente coincidente con la produzione di calore legata alle macchine per l'elaborazione dei dati.



**Figura 32: Andamento del consumo di elettricità dovuto alla produzione di freddo (rosso) nel periodo di monitoraggio – Sala CED ENEA Portici, dati dal 30.05.11 al 26.07.11**

Dalla Figura 32 si può notare come il carico di raffreddamento e il consumo di elettricità monitorati siano abbastanza costanti nel tempo e comunque indipendenti dalle variazioni della temperatura esterna (verde acqua). La potenza di raffreddamento richiesta è di circa 160 kW.

T media CED	°C	22.62
Carico Server (monit)	kWh	1405363
Energia frigo fornita (sim)	kWh	1383549
En. El Frigo chiller (monit)	kWh	739806
En. El Frigo chiller (sim)	kWh	724219
En. El tot consumata	kWh	724219
En. Frigo chiller (sim)	kWh	1369499
En. Freecooling	kWh	0
P chiller max	kW	370
COP el totale	[ ]	1.89
Spesa energetica climatizzazione	€	108633

**Tabella 11: Dati riassuntivi dei consumi energetici annuali della sala CED di Portici**

## Sviluppo di un modello per la simulazione oraria di componenti e sistemi che sfruttano il raffrescamento evaporativo indiretto e il free cooling per diverse configurazioni utenza – clima

Il raffreddamento dei centri di calcolo è un tema molto attuale e notevole di interesse. Infatti i costi degli impianti di raffreddamento sono una quota importante dei costi di gestione che la imprese operanti nell’ambito delle telecomunicazioni devono sostenere. Inoltre tali sistemi operano continuamente durante tutto l’anno. Infine, un altro aspetto importante è legato alle condizioni dell’aria che vengono mantenute all’interno dei centri di calcolo.

Equipment Environment Specifications										
Class	Product Operation <sup>a,b</sup>						Product Power Off <sup>b,c</sup>			
	Dry-Bulb Temperature (°C)		Humidity Range, Non-Condensing		Max. Dew Point (°C)	Max. Elevation (m)	Max Rate of Change (°C/h)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Max. Dew Point (°C)
	Allowable	Recommended	Allowable	Recommended						
1	15 to 32 <sup>d</sup>	18 to 27	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	17	3050	5/20 <sup>f</sup>	5 to 45	8 to 80	27
2	10 to 35 <sup>d</sup>	18 to 27	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	21	3050	5/20 <sup>f</sup>	5 to 45	8 to 80	27
3	5 to 35 <sup>d,e</sup>	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
4	5 to 40 <sup>d,e</sup>	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

a. Product equipment is powered on.

b. Tape products require a stable and more restricted environment (similar to Class 1). Typical requirements: minimum temperature is 15°C, maximum temperature is 32°C, minimum relative humidity is 20%, maximum relative humidity is 80%, maximum dew point is 22°C, rate of change of temperature is less than 5°C/h, rate of change of humidity is less than 5% RH per hour, and no condensation.

c. Product equipment is removed from the original shipping container and installed but not in use, e.g., during repair, maintenance, or upgrade.

d. Derate maximum dry-bulb temperature 1°C/300 m above 900 m.

e. With a diskette in the drive, the minimum temperature is 10°C.

Figura 33: Condizioni climatiche dell’aria nei Data Center secondo le “Thermal Guidelines for data processing Environments”

Nella tabella seguente si riportano i valori suggeriti dalle Linee Guida dell’ASHRAE “Thermal Guidelines for data processing Environments”. Le condizioni dell’aria variano a seconda della classe di macchine utilizzate prevedendo ad esempio per la classe 1 temperature dell’aria interna

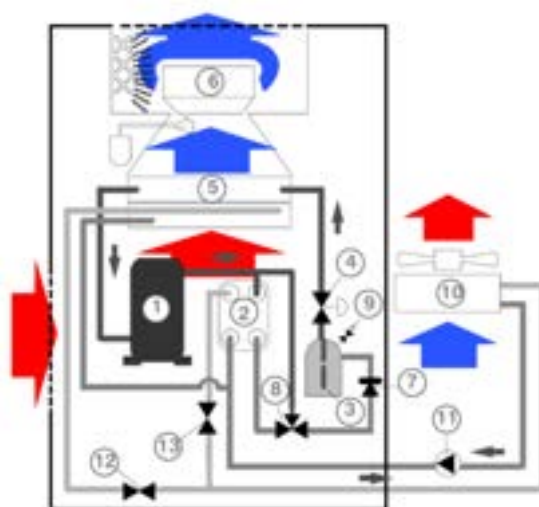
dell'ordine di 27°C come valore massimo valore raccomandato e di 32°C come valore massimo ammissibile.

Le condizioni citate sono tali da spingere gli operatori del settore verso tecnologie di produzione del freddo alternative a quelle convenzionali.

Nell'ambito di questo progetto di ricerca sono state valutate due diverse soluzioni alternative che fanno uso del freecooling:

- La prima tipologia è caratterizzata dall'utilizzo di un sistema di freecooling integrato all'interno dei gruppi di raffreddamento. In particolare, sono state introdotte nel modello le caratteristiche di un sistema di refrigerazione prodotto dalla stessa casa costruttrice delle macchine attualmente installate nel centro avente anche l'opzione freecooling. Questa soluzione sarà identificata con la sigla **ST - FC**
- La seconda tipologia impiantistica analizzata successivamente fa uso del processo di raffreddamento evaporativo indiretto, attuando un trattamento diretto dell'aria presente nel centro di calcolo. Questa soluzione sarà identificata con la sigla **IEC**

Le due soluzioni proposte sono state simulate per tre diversi climi ed in particolare per i siti di Milano, Portici e Palermo.

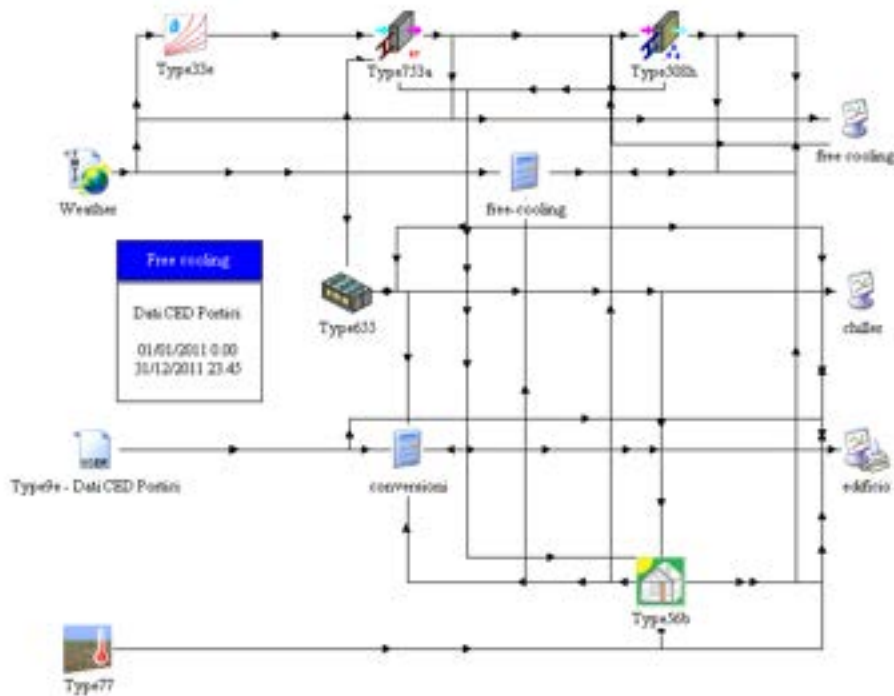


**Figura 34: Schema dell'unità EMERSON Liebert Hiross HPM M50 con l'opzione free cooling**

La prima soluzione è stata simulata facendo riferimento alle caratteristiche delle unità di raffreddamento Liebert Hiross HPM M50 aventi l'opzione del free cooling integrato (serie F).

In particolare la singola unità è costituita da un refrigeratore ad acqua in cui è possibile collegare idraulicamente evaporatore e condensatore al fine di ridurre i consumi di elettricità nei momenti in cui la temperatura dell'aria esterna è sufficientemente bassa. Il numero di unità previste in questa soluzione è uguale a cinque così come nel caso reale del centro di Portici.

Anche in questo caso è stato creato un progetto TRNSYS per la simulazione dell'impianto. L'intervallo di tempo considerato in questo caso è l'intero anno.



**Figura 35: Schema TRNSYS del sistema di raffreddamento con l'opzione free cooling - ST + FC**

Le caratteristiche dell'edificio sono quelle della sala CRESCO così come il carico interno dovuto all'utilizzo delle macchine per l'elaborazione dei dati.

La seconda soluzione impiantistica considerata è quella caratterizzata dall'utilizzo del raffreddamento evaporativo indiretto di seguito denominata con la sigla IEC (Indirect Evaporative Cooling). In questa soluzione il raffreddamento della sala è attuato ricircolando una portata d'aria su un particolare scambiatore evaporativo comunemente chiamato economizzatore così come mostrato in Figura 36. Nel primario dello scambiatore fluisce l'aria di processo che viene utilizzata per raffreddare la sala, mentre sul secondario fluisce l'aria esterna nella quale viene spruzzata acqua al fine di abbassarne la temperatura. La potenza di raffreddamento è dipendente dalla temperatura a bulbo umido dell'aria esterna.



**Figura 36: Schema economizzatore con raffreddamento evaporativo indiretto**

Per tenere conto del consumo dei ventilatori utilizzati per la movimentazione dell'aria nel circuito primario e secondario è stata ipotizzata la situazione descritta in tabella.

processo			secondario		
canali ripresa	80	Pa	presa esterna	20	Pa
presa	20	Pa	scambiatore HX evap	50	Pa
scambiatore HX evap	100	Pa	batteria calda	120	Pa
batteria fredda	80	Pa			
canali immissione	80	Pa			
totale	360	Pa	totale	190	Pa
ventilatore di ritorno	13090	W	ventilatore di mandata	6909	W

**Tabella 12: Dati relativi al modello per i ventilatori del circuito primario e secondario dell'unità di raffreddamento evaporativo**

L'impianto simulato prevede l'utilizzo del raffreddamento evaporativo indiretto come sistema di principale. Un sistema convenzionale ausiliario interviene invece nei momenti di carico massimo. La portata massima d'aria di processo è pari a quella della somma delle cinque unità di raffreddamento ovvero 61200 m<sup>3</sup>/h.

Nel modello è presente anche il sistema di controllo della temperatura interna alla sala nella quale è impostata una temperatura di set point di 27 °C. Il sistema funziona regolando le portate d'aria sul lato primario e secondario in modo da mantenere in ambiente la temperatura desiderata. Quando il raffreddamento evaporativo indiretto non è sufficiente il sistema di controllo attiva il gruppo di refrigerazione convenzionale.

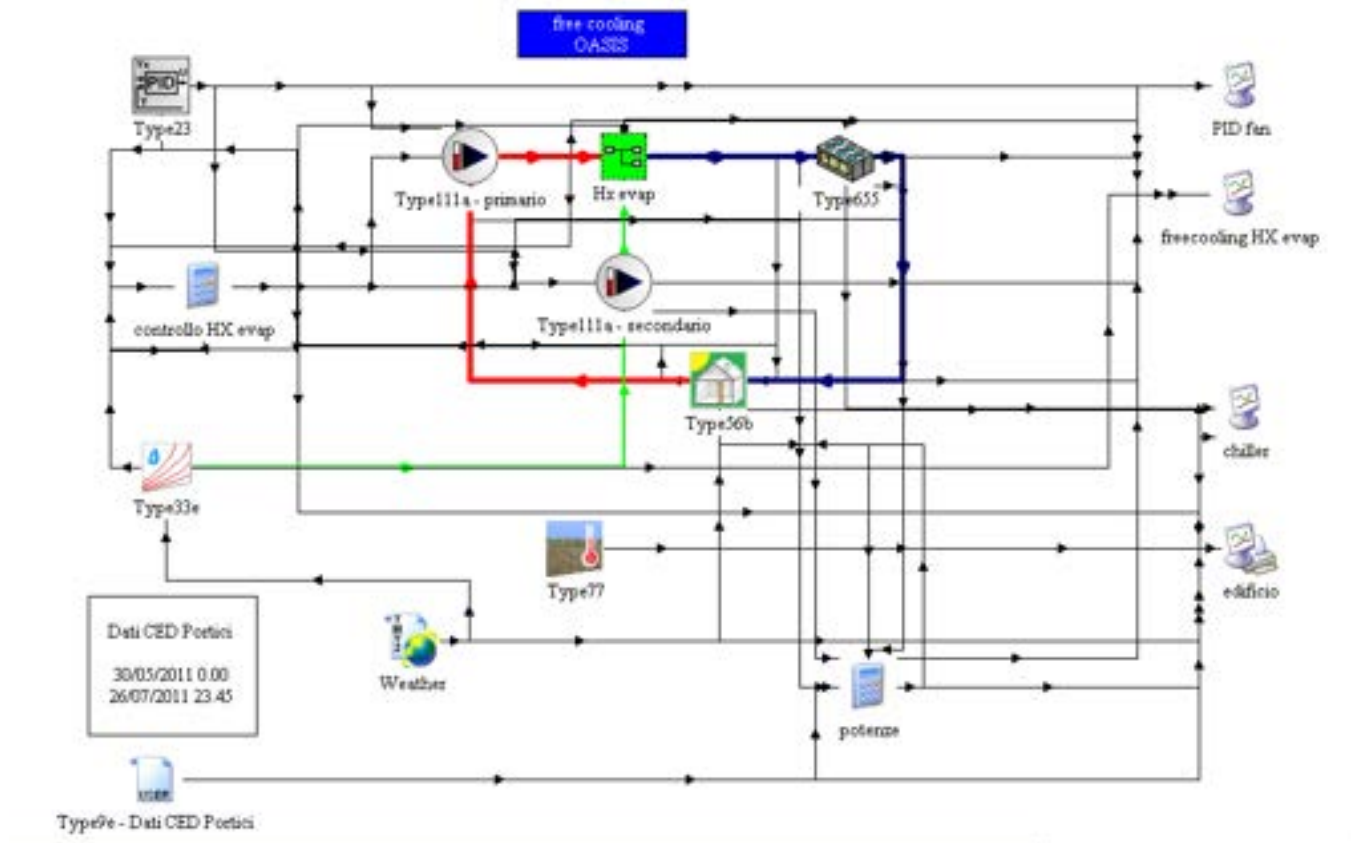


Figura 37: Schema TRNSYS del sistema con raffreddamento evaporativo indiretto - ST + IEC

La Figura 38 mostra per il sito di Palermo l'andamento della potenza frigorifera sviluppata dal sistema di raffreddamento evaporativo, della temperatura di immissione, di bulbo umido e quella interna alla sala. L'intervallo di tempo considerato è quello delle prime 1000 ore di funzionamento dell'anno. Come è possibile vedere il sistema è in grado di raffreddare il locale senza l'ausilio del gruppo di raffreddamento convenzionale. L'efficienza di scambio termico media nel periodo è pari a 69%.

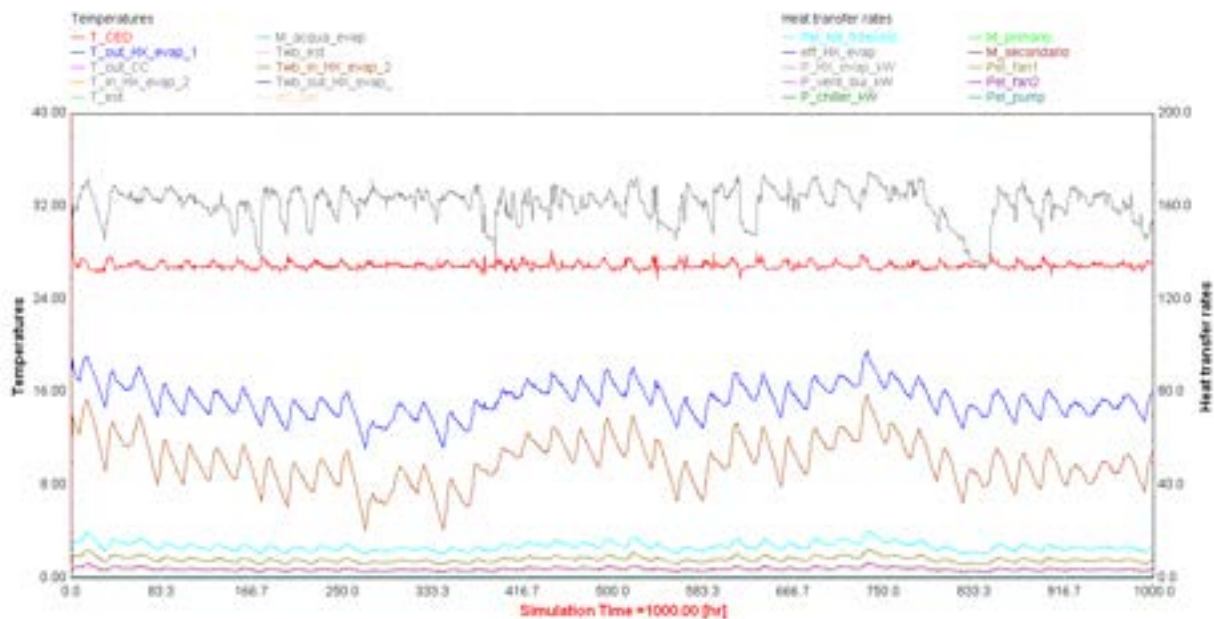


Figura 38: Andamento della potenza frigorifera dell'economizzatore (grigio), della temperatura della sala (rosso), della temperatura dell'aria esterna a bulbo umido (marrone) e della temperatura dell'aria in uscita dallo scambiatore evaporativo (blu) - sistema IEC per il sito di Palermo nell'intervallo 0 - 1000 h

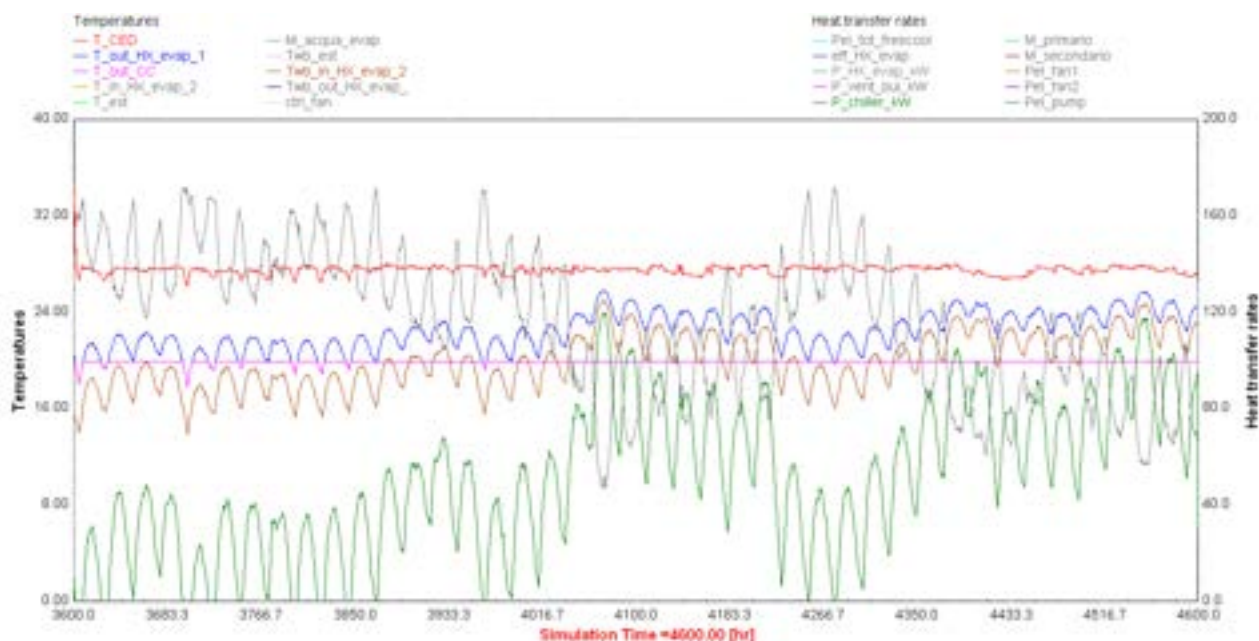


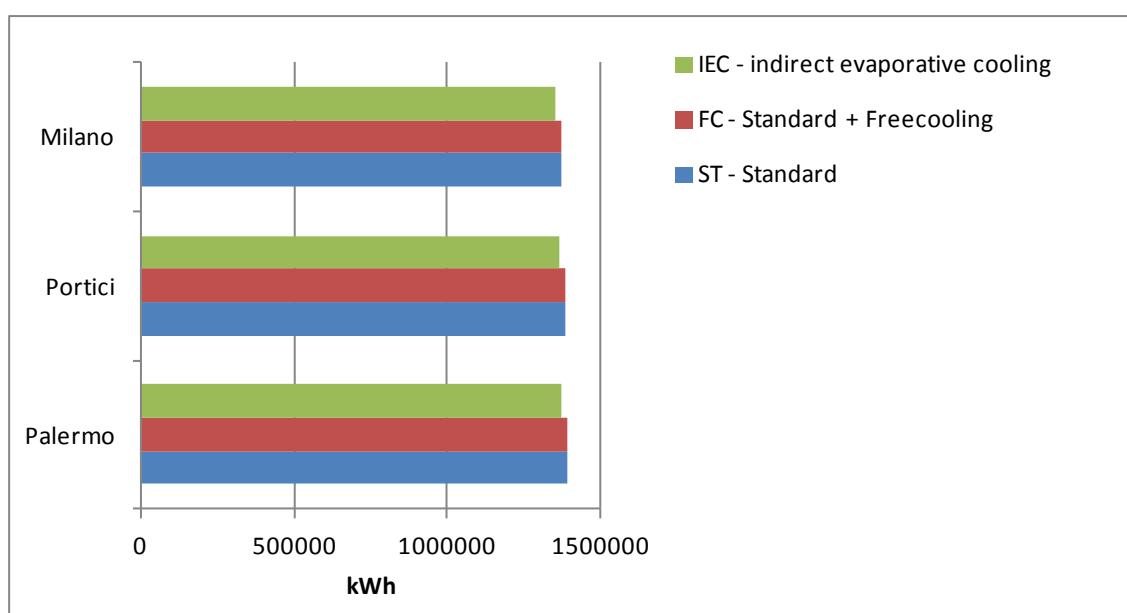
Figura 39: Andamento della potenza frigorifera dell'economizzatore (grigio), del gruppo di raffreddamento convenzionale (verde), della temperatura della sala (rosso), della temperatura dell'aria esterna a bulbo umido (marrone) e della temperatura dell'aria in immissione (viola) - sistema ST - IEC per il sito di Palermo nell'intervallo 3600 - 4600 h

Si noti come nella situazione peggiore, ovvero quando la temperatura a bulbo umido è elevata, la potenza del gruppo di raffreddamento convenzionale (ST) sia di circa 120 kW mentre circa 50 kW di potenza frigorifera sono comunque forniti dall'economizzatore.

## Analisi tecnico economica relativa alla applicabilità di tecnologie innovative per la climatizzazione delle sale CED

Le soluzioni proposte sono state analizzate per le tre località considerate (Milano, Portici, Palermo) sulla base dei bilanci energetici annuali e infine confrontate tra loro.

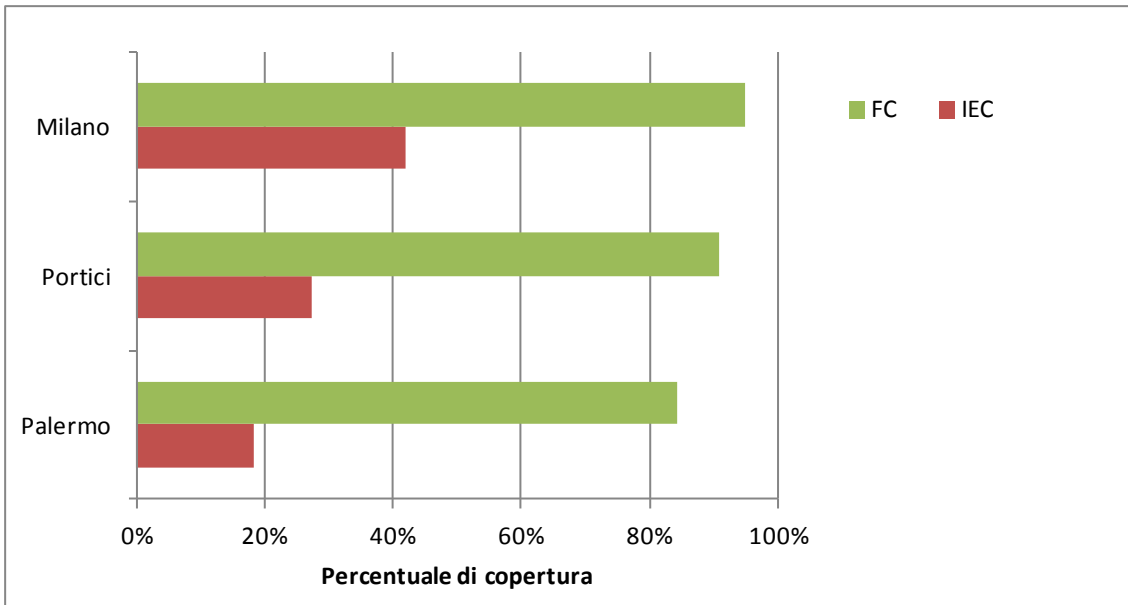
La Figura 40 riporta l'energia frigorifera totale fornita dai vari sistemi per i nove casi considerati e pari in tutti i casi a circa 1380 MWh.



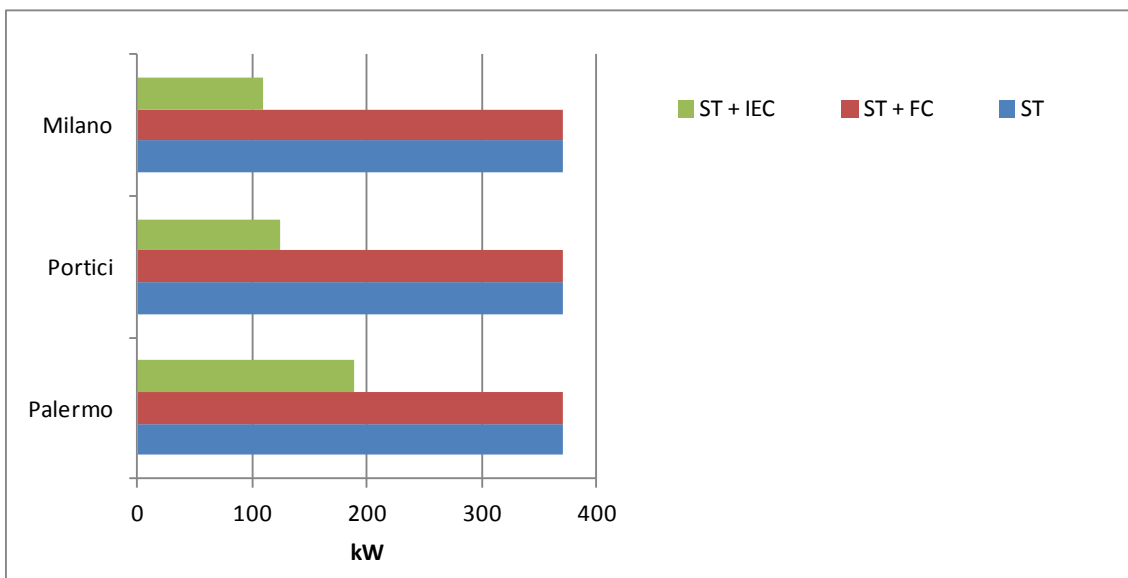
**Figura 40: Energia frigorifera totale fornita**

In Figura 41 sono invece riportate le energie frigorifere fornite dai sistemi impiantistici alternativi nell'arco dell'anno. Come si vede il sistema di raffreddamento evaporativo indiretto permette di coprire una quota maggiore del fabbisogno di energia frigorifera (80-90%) rispetto a quello di free cooling descritto precedentemente. In questo caso infatti la quota di copertura del sistema è variabile da un minimo del 20 % nel caso del sito di Palermo ad un massimo del 40% relativo al sito di Milano.

Un altro aspetto importante per il confronto tra le varie soluzioni è riportato in Figura 42 dove riportata la capacità frigorifera massima richiesta del sistema di refrigerazione convenzionale. Si può notare che questa può essere ridotta soltanto nel caso del sistema ST – IEC dove risulta pari a circa 30%, 34%, 50% di quella del relativo sistema convenzionale rispettivamente per il sito di Milano, Portici e Palermo. Nell'ottica di una nuova installazione, ciò permetterebbe una riduzione significativa dei costi iniziali.



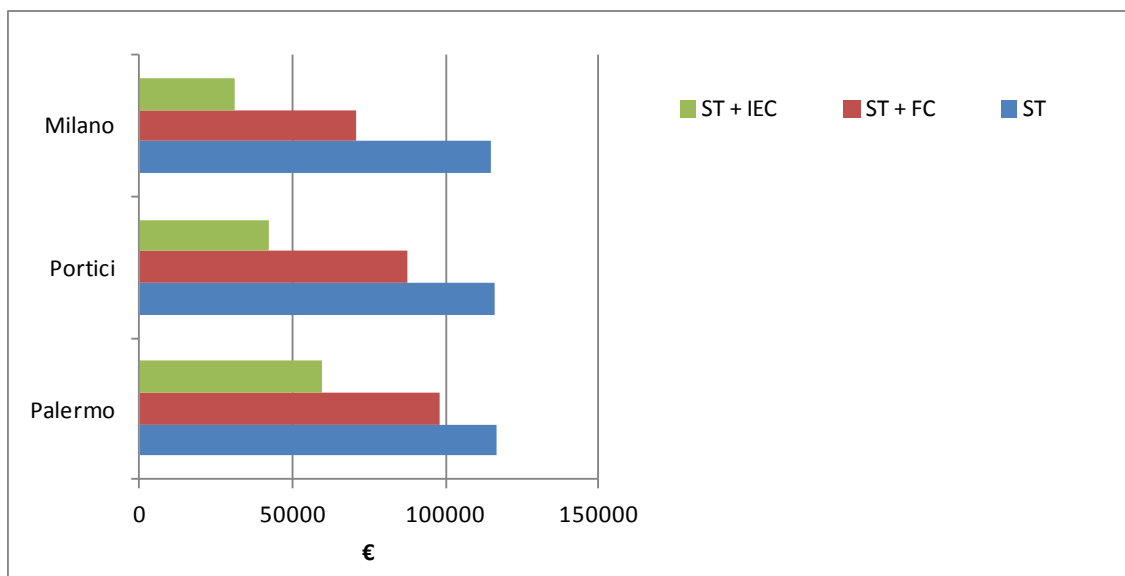
**Figura 41: Energia fornita dai sistemi impiantistici alternativi**



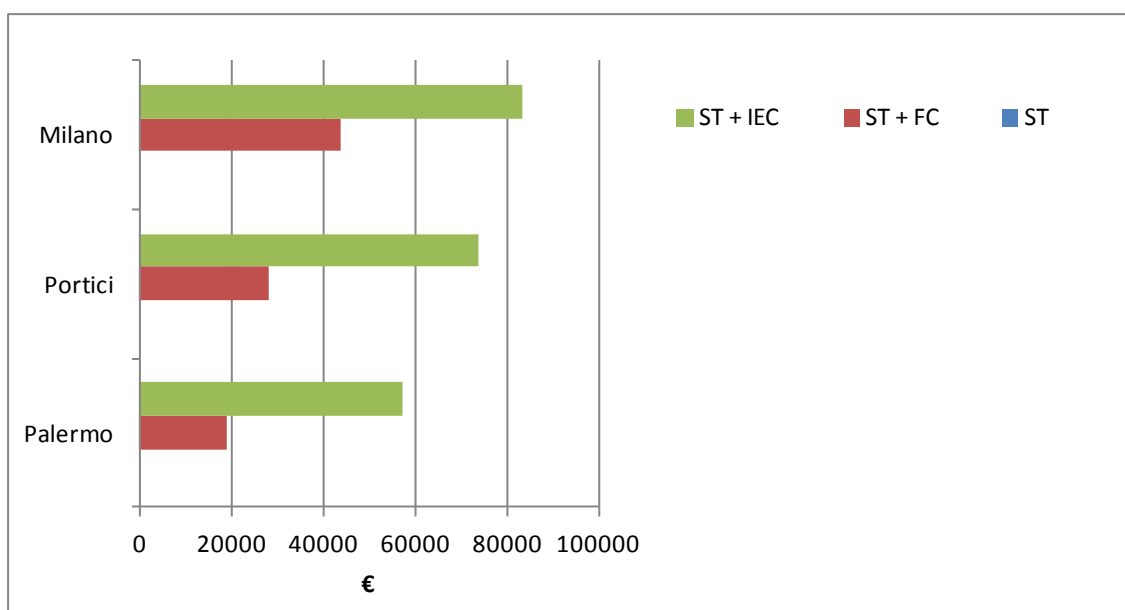
**Figura 42: Capacità massima richiesta per il sistema di raffreddamento**

I risultati delle simulazioni sono stati elaborati e possono essere riassunti nei seguenti grafici che riportano il COP elettrico globale medio annuale dell'intero sistema costituito dall'impianto convenzionale e da quello innovativo (Figura 43), la spesa energetica globale (Figura 44) e i risparmi dovuti alla soluzione innovativa (Figura 45).

**Figura 43: COP elettrico globale (chiller convenzionale + gruppo di raffreddamento innovativo)**



**Figura 44: Spesa energetica globale**



**Figura 45: Risparmi dovuti all'utilizzo delle soluzioni innovative**

Dall'esame dei risultati di simulazione si riscontra una superiorità della soluzione con raffreddamento evaporativo indiretto per la quale si hanno i massimi risparmi monetari. Nei calcoli è stato assunto un costo specifico dell'elettricità pari a 0,16 €/kWh. Il costo di investimento specifico per il gruppo di refrigerazione convenzionale è stato assunto pari a 400 €/kW.

		ST			ST + FC			ST + IEC		
		Palermo	Portici	Milano	Palermo	Portici	Milano	Palermo	Portici	Milano
T media CED	°C	22.66	22.62	22.57	22.66	22.62	22.55	27.31	27.23	27.03
Carico Server (monit)	kWh		1405363			1405363			1405363	
Energia frigo fornita (sim)	kWh	1389859	1383549	1373494	1389859	1383549	1373571	1370663	1364540	1355121
En. El Frigo chiller (monit)	kWh		739806			739806			739806	
En. El Frigo chiller (sim)	kWh	729392	724219	716593	611161	548812	443826	106465	58698	32923
En. El free cooling		0	0	0	0	0	0	264673	203705	161869
En. El tot consumata		729392	724219	716593	611161	548812	443826	371138	262403	194793
risparmio el. Freecooling	kWh	10415	15588	23214	128645	190994	295980	368669	477403	545014
En. Frigo chiller (sim)	kWh	1375740	1369499	1359565	1123637	995981	790194	228949	132100	72570
En. Freecooling	kWh	0	0	0	253177	374950	571656	1225392	1307672	1347380
En. Frigo chiller + freecooling	kWh	1375740	1369499	1359565	1376814	1370931	1361850	1454341	1439772	1419951
P chiller max	kW	370	370	370	370	370	370	188	125	110
COP el chiller	[]	1.89	1.89	1.90	1.84	1.81	1.78	2.15	2.25	2.20
COP el totale	[]	1.89	1.89	1.90	2.25	2.50	3.07	3.92	5.49	7.29
Spesa energetica	€	116703	115875	114655	97786	87810	71012	59382	41984	31167
Risparmio annuale	€				18917	28065	43643	57321	73890	83488

**Tabella 13: Risultati riassuntivi dell'analisi energetica ed economica**

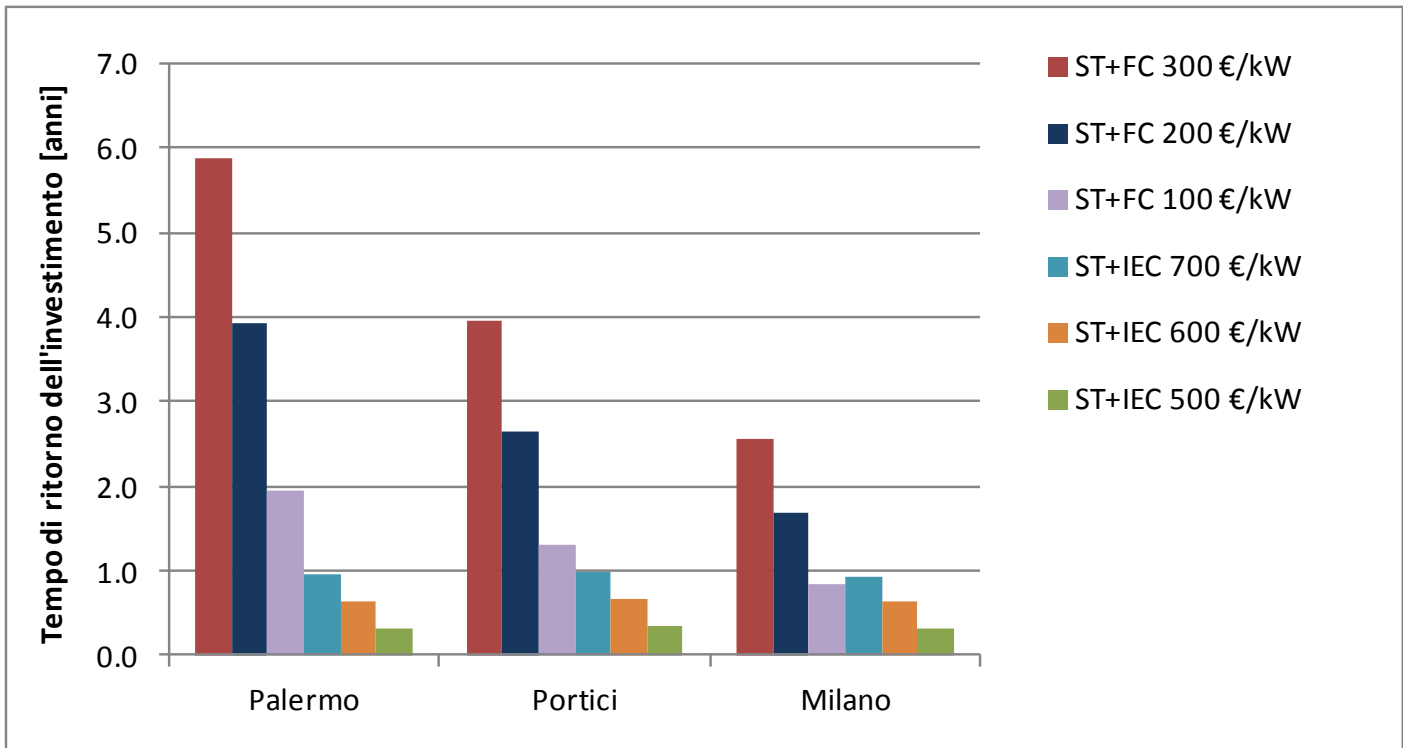
Tabella 14 Tabella 14 sono riportati i costi di acquisto delle unità di raffreddamento nell'impianto convenzionale e gli extracosti specifici per le due soluzioni alternative proposte. Si è scelto di ricorrere a dei costi specifici non avendo a disposizione dati di costo certi per le soluzioni proposte. A titolo di esempio, ST + FC 100 €/kW sta ad indicare che il costo totale di investimento sarà dato da quello relativo all'acquisto del refrigeratore convenzionale e dall'extracosto dovuto all'installazione dell'opzione freecooling pari in questo caso a 100 €/kW di capacità frigorifera installata. I costi globali di investimento sono riportati in Tabella 15 per i nove casi considerati. In Figura 46 si riporta infine il tempo di ritorno semplice dell'investimento in funzione dell'extracosto delle soluzioni innovative considerate. Il tempo di ritorno dell'investimento è calcolato sulla base degli extracosti di installazione degli impianti innovativi rispetto a quello convenzionale preso come riferimento. Si noti come il tempo di ritorno dell'investimento sia sempre inferiore ad un anno per la soluzione ST + IEC indipendentemente dal sito scelto. La soluzione ST + FC risulta invece un po' meno vantaggiosa per il sito di Palermo avendo tempi di ritorno dell'investimento che vanno da un minimo di 2 anni ad un massimo di 6 anni rispettivamente per un extracosto specifico di investimento di 100 €/kW e 300 €/kW. Il sito dove si raggiungono tempi di ritorno minori è quello di Milano.

	€	€	€	
ST	Investimento acquisto chiller	147988	147988	147988
	extra costi impianto innovativo	0	0	0
ST+FC	Investimento acquisto chiller	147988	147988	147988
	ST+FC 100 €/kW	36997	36997	36997
	ST+FC 200 €/kW	73994	73994	73994
	ST+FC 300 €/kW	110991	110991	110991
ST+IEC	Investimento acquisto chiller	75319	50000	43953
	ST+IEC 500 €/kW	90836	122486	130044
	ST+IEC 600 €/kW	109004	146983	156053
	ST+IEC 700 €/kW	127171	171480	182062

**Tabella 14: Extracosti di investimento specifici**

	€	€	€
ST	147988	147988	147988
	184986	184986	184986
	221983	221983	221983
ST+FC	258980	258980	258980
	166156	172486	173997
	184323	196983	200006
ST+IEC	202490	221480	226015

**Tabella 15: Costi di investimento totali**



**Figura 46: Tempo di ritorno semplice dell'investimento in funzione dell'extracosto delle soluzioni innovative considerate**

Si fa notare che gli extracosti per l'installazione delle soluzioni impiantistiche innovative in un caso reale possono essere anche inferiori a quelli considerati portando a risultati economici ancora più vantaggiosi.

## Conclusioni

Per poter valutare correttamente i carichi elettrici e termici che caratterizzano una sala CED, il gruppo di lavoro del Dipartimento dell'Energia si è impegnato in prima istanza nello studio e monitoraggio dell'attuale stato di fatto della "Sala Macchine" del Sistema Informativo d'Ateneo (SIA) dell'Università degli Studi di Palermo.

La prima fase del lavoro ha previsto la caratterizzazione meteo climatica dell'area urbana di Palermo, l'analisi della tipologia costruttiva dell'edificio che ospita la sala e l'analisi degli impianti e delle utenze installate presso la sala CED.

Nel dettaglio dopo un sopralluogo circa lo stato di fatto dell'impianto elettrico dell'intero edificio e della sala CED è stata rilevata la inesistenza di uno schema unifilare, di un progetto e/o di una relazione dell'impianto elettrico dell'intero edificio e la mancanza di un inventario delle apparecchiature informatiche presenti. Inoltre risulta impossibile poter risalire alle maggior parte delle tipologie di utenza collegate ai quadri elettrici, per mancanza di corretta indicazione tra interruttori ed utenze servite. La presenza di numerose multiprese e cavi sparsi rende impossibile la identificazione di adeguati punti di misura. Per tali motivi non è stato possibile effettuare una misurazione diretta dei carichi assorbiti pertinenti la sala CED nonché dei relativi impianti di climatizzazione.

È stato possibile isolare soltanto una linea di alimentazione afferente ad una UTA (macchina STULZ); il monitoraggio dei consumi elettrici relativi è in atto.

Esiste un sistema di monitoraggio dell'assorbimento elettrico totale dell'edificio facente parte del sistema di gestione dell'impianto di UPS generale. L'accesso a tale sistema tuttavia è riservato solo alla ditta di manutenzione dell'UPS; il sistema è stato attivato dietro nostra richiesta solo recentemente.

Per quanto riguarda la conoscenza della potenza di calcolo istantanea impegnata dalla macchine del CED, il SIA è dotato di un sistema di monitoraggio di non facile utilizzo denominato Spacewalk. Il sistema infatti monitora solo un terzo delle apparecchiature presenti nella Sala Macchine (solo macchine Linux), è stato avviato solo da fine maggio 2012 e fornisce i dati in forma disaggregata ovvero non permette di cumulare informazioni per gruppi omogenei di macchine. Inoltre tale sistema non fornisce un'effettiva misurazione della potenza di calcolo impegnata (FLOPS), ma una semplice indicazione sulla potenza impegnata della CPU in termini percentuali.

Per tali ragioni per poter ipotizzare il carico termico che interessa la sola Sala Macchine si è ricorso ad una valutazione di massima basata sulla determinazione della potenza elettrica totale delle apparecchiature che insistono su una porzione limitata della sala CED e successiva estensione all'intera Sala.

Infine è stato sviluppato un modello in ambiente TRNSYS che simula dinamicamente lo stato di fatto del sistema edificio-impianto. Il modello è stato calibrato grazie al monitoraggio indoor di temperatura ed umidità, ed al censimento delle potenze elettriche impegnate per le apparecchiature e l'illuminazione dell'intero edificio. Le temperature medie e le escursioni termiche simulate dal modello risultano essere verosimili alla temperature monitorate.

A causa delle difficoltà sopra descritte e si è concordato di estendere l'analisi dei consumi energetici della sala CRESCO del centro di calcolo ENEA a Portici per poter sviluppare tramite simulazioni in ambiente TRNSYS le successive elaborazioni in merito alle soluzioni impiantistiche innovative e le relative analisi tecnico economiche. Il modello è stato anche utilizzato in altri contesti climatici.

Il modello utilizzato è stato creato e tarato sulla base delle informazioni relative alle macchine installate, alle caratteristiche dell'edificio e ai dati di monitoraggio dei consumi elettrici della sala. In particolare è stato utilizzato un data base del centro di Portici contenente i dati di assorbimento dei cluster di macchine installate e dei gruppi di refrigerazione relativo al periodo di monitoraggio dal 30.05.2011 al 26.07.2011.

Successivamente, il modello è stato esteso all'intero anno, per tre diverse località, Portici, Milano e Palermo. I file climatici utilizzati sono quelli Meteonorm presenti nella libreria di TRNSYS, rispettivamente di Napoli, Milano Linate e Palermo Punta Raisi. In questa fase, l'analisi è stata svolta spostando virtualmente il centro di Portici nelle altre due località considerate, ovvero i consumi elettrici dovuti all'elaborazione dei dati sono quelli relativi al monitoraggio svolto presso Portici. Lo stesso vale per le macchine di refrigerazione e per l'edificio che ospita il centro di calcolo. Il passo successivo è stato la creazione di un modello per la simulazione di due tipologie di impianti volti al risparmio energetico. La prima tipologia è caratterizzata dall'utilizzo di un sistema di freecooling integrato all'interno dei gruppi di raffreddamento. In particolare, sono state introdotte nel modello le caratteristiche di un sistema di refrigerazione prodotto dalla stessa casa costruttrice delle macchine attualmente installate nel centro avente anche l'opzione freecooling.

La seconda tipologia impiantistica analizzata fa uso del processo di raffreddamento evaporativo indiretto, attuando un trattamento diretto dell'aria presente nel centro di calcolo.

In tutte le analisi, si è assunto un tasso di ricambio dell'aria pari a 2 volumi/ora. Non è stata considerata l'aliquota di carico latente, essendo comunque di bassissima entità.

Le tipologie impiantistiche alternative alla soluzione attuale sono state infine simulate per tutte e tre le località considerate.

Infine i nove casi studio analizzati sono stati messi a confronto e commentati alla luce dei risparmi conseguibili e dei relativi tempi di ritorno degli investimenti.

I risultati delle simulazioni sono stati elaborati e riassunti in diversi grafici che riportano il COP elettrico globale medio annuale dell'intero sistema costituito dall'impianto convenzionale e da quello innovativo, la spesa energetica globale e i risparmi dovuti alla soluzione innovativa.

Il sistema di raffreddamento evaporativo indiretto permette di coprire una quota maggiore del fabbisogno di energia frigorifera (80-90%) rispetto a quello di free cooling. In questo caso infatti la quota di copertura del sistema è variabile da un minimo del 20 % nel caso del sito di Palermo ad un massimo del 40% relativo al sito di Milano.

Un altro aspetto importante per il confronto tra le varie soluzioni è relativo alla riduzione della potenza installata del refrigeratore rispetto al sistema di refrigerazione convenzionale. Si può notare che questa può essere ridotta soltanto nel caso del sistema ST – IEC dove risulta pari a circa 30%, 34%, 50% di quella del relativo sistema convenzionale rispettivamente per il sito di Milano, Portici e Palermo. Nell'ottica di una nuova installazione, ciò permetterebbe una riduzione significativa dei costi iniziali.

Dall'esame dei risultati di simulazione si riscontra una superiorità della soluzione con raffreddamento evaporativo indiretto per la quale si hanno i massimi risparmi monetari.

Il tempo di ritorno dell'investimento è calcolato sulla base degli extracosti di installazione degli impianti innovativi rispetto a quello convenzionale preso come riferimento. Si è constatato che il tempo di ritorno dell'investimento sia sempre inferiore ad un anno per la soluzione ST + IEC indipendentemente dal sito scelto. La soluzione ST + FC risulta invece un po' meno vantaggiosa per il sito di Palermo avendo tempi di ritorno dell'investimento che vanno da un minimo di 2 anni ad un massimo di 6 anni rispettivamente per un extracosto specifico di investimento di 100 €/kW e 300 €/kW. Il sito dove si raggiungono tempi di ritorno minori è quello di Milano.

## Appendice

### Esperienza del gruppo di ricerca

Il gruppo di ricerca è coordinato dal prof. Marco Beccali, presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Palermo, che svolge attività di ricerca presso il Dipartimento di Energia. I principali campi di attività sono: la pianificazione energetica a scala urbana, le tecnologie per l'impiego delle fonti energetiche rinnovabili, il ciclo di vita dei materiali e dei sistemi tecnologici dell'edificio e degli impianti. E' membro dal 2000 dei gruppi di esperti IEA (International Energy Agency) dei Task 25, 38 e 48 sul tema "Solar Air-Conditioning of buildings" (SHC Programme). E' stato ed è membro dei Comitati Scientifici di diverse conferenze internazionali nonché Conference Chairman della 3° Intern. Conf. of Solar Air Conditioning (Palermo, Ottobre 2009). E' delegato per la Sicilia Occidentale dell'Associazione Italiana Condizionamento Climatizzazione e Riscaldamento (AICARR). E' referee per numerose riviste scientifiche internazionali e membro dell'editorial board della rivista ISNR Renewable Energy.

Il gruppo è, inoltre, composto dal prof. Valerio Lo Brano, che insegna, presso il Dipartimento dell'Energia, Fonti Rinnovabili dell'Energia e Impianti Solari Termici e Fotovoltaici nei corsi triennali e magistrali del corso di Ingegneria Energetica; le aree di ricerca attuali sono quelle fonti energetiche rinnovabili ed il loro uso in ambiente urbano, i materiali a cambiamento di fase, l'efficienza energetica degli impianti e degli edifici, lo sviluppo di modelli di calcolo con tecniche numeriche. L'ing. Pietro Finocchiaro, assegnista di ricerca, che si occupa di ricerca e sviluppo di sistemi di climatizzazione alimentati ad energia solare in collaborazione con istituzioni scientifiche internazionali e l'International Energy Agency e dell'ing. Giuseppina Ciulla che è membro attivo di diversi gruppi di ricerca nazionali ed internazionali sugli Edifici ad Energia Netta Zero (Task 40-IEA) e su Accumulatori Termici Compatti (Task42-IEA).