

## Indice

ABSTRACT .....	4
SEZIONE A: Lo stabile Parco Lunghi (Rivera, CH) .....	6
1. Inquadramento normativo .....	6
1.1 La SIA 380/1:2009: L'energia termica nell'edilizia .....	6
1.2 La SIA 2028:2008: Dati climatici per la fisica della costruzione, per l'energia e per l'impiantistica degli edifici .....	8
1.3 La SIA 70:1983: Fabbisogno di potenza per il raffrescamento degli edifici .....	9
1.4 La SIA 384-201:2003: Procedura di calcolo del carico di riscaldamento degli edifici.....	10
2. L'analisi dell'edificio Parco Lunghi .....	11
2.1 Lo standard MINERGIE.....	11
2.2 La geometria dell'edificio.....	13
2.3 L'involucro edilizio .....	18
2.4 La protezione solare: ombre proprie dell'edificio e schermature .....	19
2.5 Gli scenari di occupazione .....	20
3. Valutazione semplificata dei fabbisogni e dei carichi termici di progetto .....	21
3.1 Riscaldamento.....	21
3.1.1 Fabbisogno termico per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria .....	21
3.1.2 Carico termico invernale di progetto .....	27
3.2 Raffrescamento .....	29
3.2.1 Carico estivo di progetto secondo il metodo Carrier-Pizzetti .....	30
3.2.2 Carico estivo di progetto secondo la SIA 70 .....	36
3.2.3 Metodo Carrier vs SIA 70 .....	41
4. Gli impianti.....	48
4.1 Terminali degli impianti climatizzazione .....	48
4.1.1 Riscaldamento e raffrescamento radiante degli uffici .....	49
4.1.2 Riscaldamento radiante degli appartamenti.....	52
4.1.3 Vantaggi e svantaggi dei sistemi a pannelli radianti .....	53
4.2 Terminali dell'impianto di ventilazione.....	54
4.2.1 Impianto di ventilazione degli uffici.....	54
4.2.2 Impianto di ventilazione degli appartamenti .....	58
4.3 Gli impianti di generazione .....	58
4.3.1 Componenti dell'impianto .....	59
4.3.2 Funzionamento dell'impianto.....	61
4.4 Dettagli delle differenti tipologie di partizione orizzontale e report fotografici .....	66
4.4.1 Partizione orizzontale tra il piano terra e il primo piano (SOL-1) .....	66
4.4.2 Partizione orizzontale tra il secondo e il terzo piano (SOL-3) .....	69
4.4.3 Report fotografico dell'esecuzione dei lavori e dell'installazione dei macchinari.....	72
Simboli utilizzati nella Sezione A.....	77
SEZIONE B: MISURE .....	81
5. Analisi dei dati a disposizione .....	81
5.1 Sistema di monitoraggio.....	81
5.2 Individuazione dei periodi di calcolo.....	85
6. Condizioni climatiche reali.....	88
6.1 Analisi della temperatura dell'aria esterna .....	90
6.2 Analisi dell'umidità relativa dell'aria esterna.....	117
6.3 Analisi dell'irradianza solare totale sul piano orizzontale.....	127
7. Il monitoraggio dell'impianto.....	135
7.1 Analisi dell'impianto durante il funzionamento estivo.....	135
7.1.1 Emungimento dell'acqua di falda e scambiatori a piastre .....	135
7.1.2 La pompa di calore e l'accumulo.....	142
7.1.4 Acqua calda sanitaria .....	149
7.1.5 Terminali impiantistici .....	150
7.2 Analisi dell'impianto durante il funzionamento invernale .....	150
7.2.1 Emungimento dell'acqua di falda e scambiatori a piastre .....	150
7.2.2 La pompa di calore e l'accumulo.....	154

7.2.3 I collettori .....	158
7.2.4 Acqua calda sanitaria .....	163
7.2.5 Terminali impiantistici .....	163
8. Analisi delle temperature interne .....	165
9. Confronto tra il funzionamento estivo dell'impianto nel 2009 e nel 2010 .....	178
9.1 Condizioni climatiche esterne .....	182
9.1.1 Temperatura dell'aria esterna .....	182
9.1.2 Umidità dell'aria esterna .....	183
9.2 Condizioni climatiche interne .....	184
9.2.1 Temperatura dell'aria degli ambienti e delle solette .....	184
9.2.2 Umidità relativa negli ambienti .....	188
9.3 Condizioni di funzionamento dell'impianto di raffrescamento .....	189
9.3.1 Gruppo TABS .....	189
9.5 Bollitore per l'acqua calda sanitaria e collettore caldo .....	201
9.6 Pompa di calore .....	204
9.7 Pozzo e sonde geotermiche .....	205
10. Conclusioni .....	211
10.1 Edificio .....	211
10.2 Sollecitazioni climatiche .....	211
10.3 Impianto e condizioni climatiche esterne .....	213
10.3 Impianto e condizioni climatiche esterne .....	224
10.4 Considerazioni finali .....	228
Bibliografia .....	229
Indice delle figure .....	231
Indice delle tabelle .....	232
Indice dei grafici .....	235
Indice delle tavole .....	238
Allegati .....	239
Allegato 1 (cap. 1.1): Procedura di calcolo SIA 380/1:2009 .....	239
Allegato 2 (Cap. 2.3): Calcolo delle caratteristiche termiche degli elementi dell'involucro edilizio .....	242
Allegato 3 (Cap. 3.1.1): Applicazione della SIA 380/1 .....	249
Allegato 4 (Cap. 3.1.2): Procedura di calcolo della SIA 384-201:2003 .....	251



## **POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di Ingegneria Edile – Architettura  
Corso di laurea specialistica in Ingegneria Edile

### **Misure e calcolo delle prestazioni energetiche di un edificio MINERGIE**

Monitoraggio di dettaglio per la valutazione dei consumi energetici e  
del funzionamento di due soluzioni impiantistiche  
durante il periodo estivo

Relatore: Prof. Ing. Luca Pietro GATTONI  
Co-relatore: Ing. Riccardo ARLUNNO

Tesi di Laurea di:  
Silvia DEMATTE' matr. 721430

Anno Accademico 2009/2010

## **ABSTRACT**

Nella Svizzera italiana sta prendendo sempre più piede la cultura di costruire in modo da favorire il benessere degli utenti e la riduzione del consumo energetico dell'edificio. Questo approccio trova attuazione nel rispetto dello standard MINERGIE, che considera il bene edilizio come un sistema integrato di involucro e impianti tecnici (riscaldamento, aerazione controllata produzione di acqua calda sanitaria ecc.) che deve rispettare un valore limite del fabbisogno energetico. In particolare le pareti esterne, i pavimenti ed il tetto devono essere ben isolati e i serramenti devono garantire una considerevole ermeticità e resistenza termica.

In questo elaborato si è analizzato lo stabile ticinese di Parco Lunghi, che è stato progettato secondo tale standard ed ha una duplice destinazione d'uso: residenziale e amministrativa. L'impianto che lo serve è caratterizzato dallo scambio termico con un serbatoio di calore naturale (capace di fungere sia da sorgente sia da pozzo), dall'utilizzo di una pompa di calore acqua-acqua non reversibile che provvede al riscaldamento dell'edificio e alla produzione di acqua calda sanitaria e da due diverse tipologie di impianti radianti e di ventilazione meccanica che variano a seconda della destinazione d'uso.

Vengono monitorate le condizioni climatiche interne ed esterne e del funzionamento dell'impianto. Il lavoro è caratterizzato da una prima parte redatta a quattro mani, da me e da Caterina Gadda, nella quale si sono stimati i carichi termici di riscaldamento (SIA 384) e raffrescamento (SIA 70 e metodo Carrier-Pizzetti) e il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento dell'intero edificio (SIA 380/1) per poi confrontarli con i risultati ottenuti dal monitoraggio effettuato dal mese di luglio 2008 al mese di febbraio 2010. Dai valori di partenza sono state ricavate le medie orarie di ogni grandezza in giuoco e si sono delineati i periodi più significativi per effettuare delle valutazioni. Si sono utilizzati grafici di serie temporale per rappresentare la sequenza cronologica di un valore misurato, grafici a dispersione che mostrano la dipendenza di due variabili e grafici a box plot per illustrare i valori medi, massimi e minimi di una grandezza per ogni giornata. Si sono così valutati i consumi energetici dell'edificio e le strategie di gestione dell'impianto. Caterina si è occupata della valutazione della firma energetica dell'edificio a partire da questi dati. Io ho invece potuto analizzare come la variazione della sorgente (o pozzo) di calore naturale può cambiare il funzionamento dell'impianto in regime estivo. Questo è stato possibile dal momento che nell'estate del 2010, a causa di un problema di ostruzione dei filtri dei pozzi, si è passati dallo scambio termico con acqua di falda a quello con sonde geotermiche. È stato allora possibile confrontare i valori rilevati nell'estate (15 agosto – 10 settembre) del 2009 e del 2010.

In questo raffronto numerose sono state le variabili in gioco. In particolare sono stati modificati i parametri di funzionamento dell'impianto e le sollecitazioni climatiche esterne non possono ovviamente essere state identiche in due estati successive. Si è ricercata la relazione esistente tra spesa energetica per il raffrescamento dell'edificio e la differenza di temperatura che è stata mantenuta tra dell'aria esterna ed interna.





## **SEZIONE A: Lo stabile Parco Lunghi (Rivera, CH)**

In questa sezione viene preso in considerazione lo stabile Parco Lunghi, edificio esistente situato a Rivera, nella Svizzera italiana: viene dapprima delineato il contesto normativo svizzero in cui è collocato l'edificio, per avere un inquadramento generale. Si è analizzato poi nel dettaglio lo stabile stesso, descrivendone le caratteristiche geometriche, l'involucro, le differenti tipologie di schermatura e gli scenari di occupazione. In seguito sono stati valutati il fabbisogno termico di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria e i carichi termici invernali ed estivi di progetto, per poi descrivere il funzionamento degli impianti di ventilazione e climatizzazione.

La legenda dei simboli utilizzati è posta in fondo all'elaborato.

### **1. Inquadramento normativo**

Vengono di seguito elencate e descritte le norme svizzere alle quali verrà fatto riferimento in seguito. Alcune di esse sono caratterizzate da procedure di calcolo che verranno applicate nei capitoli successivi.

#### **1.1 La SIA 380/1:2009: L'energia termica nell'edilizia**

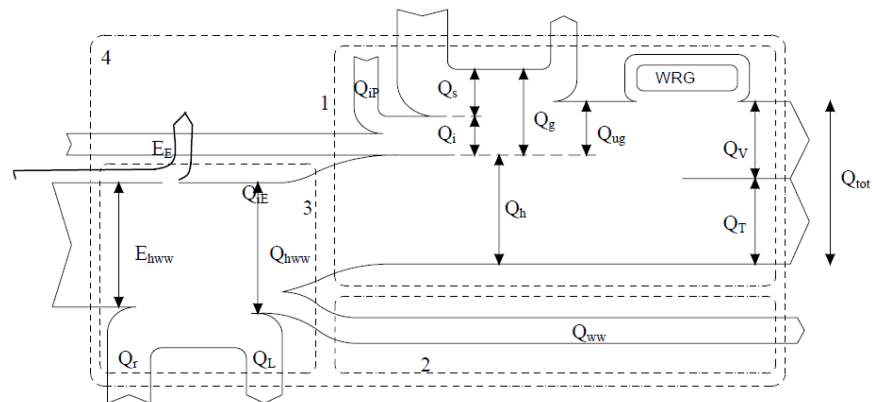
Questa norma ha come scopo il calcolo semplificato del fabbisogno termico ed energetico invernale degli edifici per favorire un impiego moderato ed economico dell'energia per il loro riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

I requisiti, in termini di valori limite e mirati, sono definiti alternativamente per il fabbisogno termico di riscaldamento (esigenze globali) o per il coefficiente di trasmissione termica degli elementi costruttivi singoli (esigenze puntuali). Nel caso in cui siano rispettate le esigenze globali, occorre comunque controllare separatamente se ciascun elemento dell'involucro rispetta i requisiti della norma SIA 180:1999 "Isolamento termico e protezione contro l'umidità degli edifici".

I grandi edifici a forma compatta hanno, a parità di standard di isolamento termico, un fabbisogno termico per il riscaldamento inferiore rispetto agli edifici piccoli e poco compatti. Al fine di promuovere la costruzione di edifici compatti, i valori limite aumentano con il rapporto di forma, ma non proporzionalmente con le perdite termiche dovute alla minore compattezza.

Gli edifici, sia di nuova costruzione sia esistenti, sono suddivisi in 12 categorie a seconda della destinazione d'uso: abitazioni multifamiliari, abitazioni monofamiliari, amministrazione, scuole, vendita, ristoranti, locali per riunioni, ospedali, industria, magazzino, impianti sportivi, piscine.

In Figura 1 è raffigurato il bilancio energetico per un edificio non climatizzato.



**Figura 1: Raffigurazione dettagliata del bilancio energetico di un edificio non climatizzato**

**(Fonte: Norma SIA 380/1: 2009)**

Dove:

- 1 Confini del sistema per il fabbisogno termico per il riscaldamento;
- 2 Confini del sistema per il fabbisogno termico per la produzione di acqua calda;
- 3 Confini del sistema per l'impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda;
- 4 Confini del sistema per l'edificio.

Il fabbisogno termico per il riscaldamento  $Q_h$  è la quantità annua di calore necessaria per mantenere un edificio alla temperatura ambiente desiderata considerando le perdite termiche di trasmissione e ventilazione e gli apporti termici gratuiti utilizzati. Gli apporti termici provengono dall'irraggiamento solare (apporti termici solari passivi), dal calore delle persone e dagli impianti elettrici (apporti termici interni).

Per il calcolo del fabbisogno termico annuale per il riscaldamento vengono valutati e poi sommati i suoi componenti, cioè le perdite e gli apporti termici, per ogni singolo mese.

Il grado di sfruttamento degli apporti termici dipende dal rapporto tra apporti e perdite e dall'inerzia termica dell'edificio. Il recupero di calore degli impianti di ventilazione viene trattato come riduzione del fabbisogno termico per la ventilazione (perdite termiche per ventilazione).

Il fabbisogno termico per il riscaldamento e i suoi componenti (perdite, guadagni) sono rapportati alla superficie di riferimento energetica  $A_E$  (definita dalla norma come somma di tutte le superfici inferiori e superiori al livello del terreno che si trovano all'interno dell'involucro dell'edificio che per il loro utilizzo devono essere riscaldate o climatizzate) ed espressi in  $\text{MJ}/\text{m}^2$ . Per il calcolo è necessario conoscere le destinazioni d'uso dell'edificio, le dimensioni lorde, la superficie di riferimento energetica, i dati relativi agli elementi costruttivi dell'involucro e ai ponti termici, i dati supplementari relativi ai serramenti (fattore solare, quota parte vetrata della superficie delle finestre, fattore di riduzione dovuto all'ombreggiamento) e i dati relativi alla capacità di accumulo termico.

Dal 2007 al 2009 la norma SIA 380/1 è stata modificata al fine di rendere più severe le esigenze in materia di isolamento termico invernale. Per quanto riguarda le esigenze puntuali, infatti, il valore limite per gli elementi verso l'esterno è stato ridotto del 20% per le parti opache e del 13% per le finestre. In caso di rinnovamenti o cambiamenti di destinazione, inoltre, per gli elementi opachi toccati dal risanamento sono richiesti i valori riferiti ai nuovi edifici. I valori limite per le esigenze globali di tutte le categorie di edifici, poi, sono stati ridotti in media del 25%. La procedura di calcolo verrà illustrata in seguito, descrivendo nel dettaglio il caso applicativo considerato.

## 1.2 La SIA 2028:2008: Dati climatici per la fisica della costruzione, per l'energia e per l'impiantistica degli edifici

Le norme SIA suddividono il territorio svizzero in aree caratterizzate da condizioni climatiche simili. In ciascuna di queste zone si trova una stazione climatica di riferimento in cui vengono rilevati dati utili per l'analisi climatica della nazione.

Per la determinazione delle condizioni climatiche di progetto, si fa riferimento al quaderno tecnico della SIA 2028:2008 il cui scopo è l'uniformazione dei dati climatici utilizzati nei diversi calcoli nei settori della fisica della costruzione, dell'energia e dell'impiantistica degli edifici. Prima di esso, infatti, i dati climatici erano definiti all'interno delle singole norme e differivano per quanto riguarda la scelta delle stazioni di misura di riferimento; risultava quindi necessario identificare un riferimento unico per i dati climatici.

In Figura 2 sono riportate le 40 stazioni automatiche di misura, dai cui rilievi MeteoSvizzera ha calcolato le medie mensili ed annuali, i dati di dimensionamento e il Design Reference Year (DRY), un set di dati con valori orari per un anno tipo. Quest'ultimo, utilizzato per le simulazioni del comportamento dinamico degli edifici, è stato creato sia con valori medi sia con situazioni estreme.

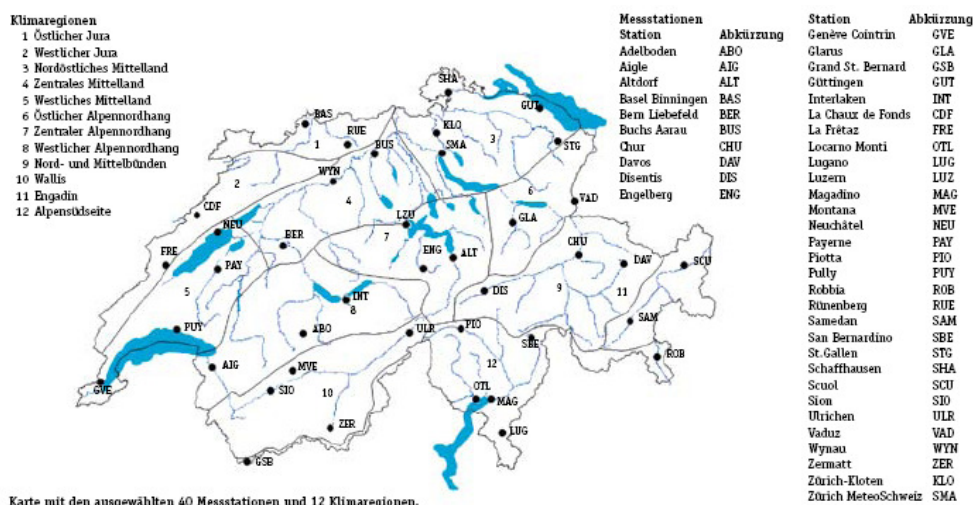


Figura 2: Regioni climatiche e stazioni di misura di riferimento per la SIA 2028:2008

Nella Tabella 1 sono elencati i dati forniti dalla norma SIA 2028:2008 per ogni stazione climatica di riferimento.

<b>Dato orario</b>	<b>Unità di misura</b>
Temperatura a 2 m dal suolo	°C
Pressione atmosferica alla stazione di misurazione	hPa
Umidità relativa	%
Precipitazioni	mm
Velocità media del vento	m/s
Velocità di punta del vento	m/s
Direzione del vento	Grad
Temperatura del suolo ad 1 m di profondità	°C
Nuvolosità globale	ottavi
Irradianza globale orizzontale	W/m <sup>2</sup>
Irradianza diffusa orizzontale	W/m <sup>2</sup>
Irradianza diretta ortogonale	W/m <sup>2</sup>
Irradianza diretta verticale Nord, Sud, Ovest, Est	W/m <sup>2</sup>
Albedo %	%
Irradianza infrarossa orizzontale	W/m <sup>2</sup>
Irradianza infrarossa verticale Sud	W/m <sup>2</sup>
Emissività del suolo	%
Punto di rugiada (temperatura)	°C
Entalpia	kJ/kg
Rapporto di miscelazione	g/kg
Temperatura a bulbo umido	°C

**Tabella 1: Dati forniti dalla norma SIA 2028:2008**

### **1.3 La SIA 70:1983: Fabbisogno di potenza per il raffrescamento degli edifici**

Lo scopo di tale norma è l'individuazione dei carichi estivi massimi, non istantanei, di un edificio in un giorno definito per ogni mese.

Per ciascun sito di riferimento è fornita la temperatura massima [°C] e l'escursione termica giornaliera [°C] dei mesi estivi di raffrescamento (SIA 70, Tabelle 1a e 1b), mentre l'irradianza areica [W/m<sup>2</sup>] (SIA 70, Tabella 1.2), l'altezza solare e l'azimut sono considerati uniformi a livello nazionale e fanno riferimento ad un sito a 47° Lat. N (Svizzera Centrale) e 400 m s.l.m.

I valori orari di irradianza solare, dalle 06:00 alle 18:00, sono forniti per le sole giornate di riferimento di ogni mese e sono relativi agli otto orientamenti verticali principali (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) e all'esposizione orizzontale.

La procedura di calcolo è strutturata in quattro parti, relative rispettivamente alle chiusure opache (distinte in pareti e copertura), che sono suddivise in categorie in base alla massa areica ed alla trasmittanza termica; ai serramenti, di cui si valutano la trasmissione termica e gli apporti solari entranti; alla ventilazione ed ai carichi interni.

#### **1.4 La SIA 384-201:2003: Procedura di calcolo del carico di riscaldamento degli edifici**

La SIA 384-201:2003 è un adattamento della norma europea EN 12831:2003. La procedura di calcolo illustra punto per punto tutte le formule del metodo semplificato per l'ottenimento della potenza di riscaldamento di un edificio.

Essa è applicata a tutte le categorie di edifici purché abbiano un'altezza netta dei locali inferiore a 5 m e siano riscaldati secondo le condizioni nominali.

Le informazioni necessarie per il calcolo riguardano le condizioni esterne e interne di temperatura e le superfici e i coefficienti di trasmissione termica degli elementi opachi e trasparenti verso l'esterno, il terreno e le zone non riscaldate.

Vengono infatti calcolate le perdite termiche per trasmissione (attraverso le pareti opache, i serramenti ed i ponti termici), le perdite termiche per ventilazione ed il carico di ripresa legato alla capacità di pre-riscaldamento.

## 2. L'analisi dell'edificio Parco Lunghi

### 2.1 Lo standard MINERGIE

MINERGIE è un marchio registrato per nuove costruzioni e ristrutturazioni sostenuto dalla Confederazione Elvetica e dai Cantoni; è uno standard di costruzione facoltativo che permette un impiego razionale dell'energia e l'ampia utilizzazione di energie rinnovabili migliorando allo stesso tempo la qualità di vita, la competitività e riducendo l'inquinamento ambientale [19].

Sotto questo marchio viene offerta una serie di prodotti:

- lo standard MINERGIE richiede che il consumo generale di energia non superi il 75% di quello di un edificio medio e che l'impiego di fonti fossili non superi il 50%; questo standard gode di un forte consenso grazie al quale nel 2008 è stata raggiunta la cifra di 10'908 edifici certificati MINERGIE per un totale di 11.4 milioni di m<sup>2</sup> di superficie abitata;
- lo standard MINERGIE-P contraddistingue gli edifici con un consumo di energia molto basso; è molto esigente in riferimento al consumo di energia per il riscaldamento. Corrisponde allo standard di Passivhaus, riconosciuto a livello internazionale;
- lo standard MINERGIE-ECO integra i requisiti MINERGIE con aspetti ambientali, come per esempio il grado di riutilizzo del materiale impiegato, la qualità dell'aria interna, la protezione contro il rumore, ecc.

L'edificio preso in considerazione è stato certificato in fase progettuale secondo uno standard MINERGIE, il cui tema centrale è il benessere degli occupanti che vivono o lavorano nell'edificio.

I requisiti generali e fondamentali per ottenere questo alto livello di benessere sono:

- un involucro ben isolato termicamente ed ermetico all'aria (requisito primario);
- rinnovo dell'aria mediante un'aerazione controllata;
- per garantire la fattibilità e l'accessibilità a tutti, i costi aggiuntivi di costruzione MINERGIE non devono superare il 10% rispetto agli edifici convenzionali confrontabili;
- deve essere fornita una verifica quantitativa dettagliata sull'efficienza energetica (per il riscaldamento, l'acqua calda sanitaria, l'aerazione e la climatizzazione): gli incarti di tutti i progetti che inoltrano la domanda vengono controllati e vengono inoltre eseguiti controlli a campione sul posto;
- valore limite MINERGIE (parametro energetico pesato) da rispettare.

Il principale indice per quantificare la qualità energetica dell'edificio è il consumo energetico specifico; per il calcolo di questo valore è importante che tutto l'edificio venga considerato come un sistema integrato: l'involucro dell'edificio unitamente alla tecnica degli impianti domestici.

Il parametro pesato, espresso in [kWh/m<sup>2</sup>], è dato dalla somma di tre contributi:

- fabbisogno energetico effettivo per il riscaldamento;

- fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda;
- elettricità per l'impianto di aerazione (in alcune categorie di edifici non è presupposto ma solo consigliato).

Il percorso seguito per il calcolo è il seguente:

1. Esigenze primarie relative all'involucro: il fabbisogno termico per il riscaldamento viene calcolato secondo la norma SIA 380/1:2009 (con sistema standard di ricambio dell'aria); il risultato può ammontare al massimo al 60% del valore limite della norma SIA 380/1.
2. Impianto di ricambio dell'aria: data l'importante ermeticità dell'involucro, risulta indispensabile rinnovare sistematicamente l'aria per eliminare umidità e sostanze inquinanti. Tale rinnovo dell'aria viene eseguito recuperando il calore proveniente dall'aria esausta. Nel caso di impianto di ventilazione piccolo con portata <math>< 1000\text{m}^3/\text{h}</math> è possibile ipotizzare il sistema di ricambio dell'aria e il tipo di recuperatore di calore, altrimenti è necessario fornire dettagli sul sistema di ricambio dell'aria. Si determinano quindi il sistema di ricambio dell'aria e il fabbisogno di energia elettrica per l'aerazione automatica.
3. Fabbisogno energetico effettivo per il riscaldamento e grado di rendimento: il calcolo standard del fabbisogno termico per il riscaldamento secondo la norma SIA 380/1 non prende in considerazione il recupero di calore con l'aerazione; va perciò calcolato separatamente per poter stabilire il fabbisogno energetico effettivo per il riscaldamento (energia utile). Quest'ultimo viene diviso per il grado di rendimento degli apparecchi per calcolare il fabbisogno di energia finale.
4. Fattore di ponderazione: il fabbisogno di energia finale viene moltiplicato per un fattore di ponderazione per quantificare il fabbisogno energetico per il riscaldamento ponderato. Il fattore di ponderazione per vettori energetici fossili equivale a 1, quello per l'elettricità è pari a 2.
5. Fabbisogno energetico effettivo per la produzione di acqua calda: si applica la stessa procedura, partendo da un fabbisogno di produzione di acqua calda sanitaria (per esempio, per abitazioni monofamiliare è pari a  $14\text{ kWh/m}^2$ , plurifamiliari  $21\text{ kWh/m}^2$ ) che viene diviso per il grado di rendimento degli apparecchi di produzione e moltiplicato per il fattore di ponderazione per trovare quindi l'energia finale ponderata.

La somma delle tre componenti di energia finale ponderata (riscaldamento, elettricità per impianto di aerazione, produzione acqua calda) va confrontata con il valore limite proprio di ogni categoria.

Si osserva che il fabbisogno termico ed i valori limite sono riportati in  $[\text{kWh/m}^2]$  come valori specifici; i  $[\text{m}^2]$  si riferiscono alla superficie lorda riscaldata per ogni piano dell'edificio, chiamata superficie di riferimento energetico (SRE). Inoltre, i fattori di ponderazione rappresentano un



percorso semplificato per considerare le perdite nella trasformazione energetica tra energia primaria ed energia finale utilizzata.

## 2.2 La geometria dell'edificio

L'edificio Parco Lunghi sorge a Rivera, un comune svizzero del canton Ticino posto tra Lugano e Bellinzona. L'area è a prevalente utilizzo residenziale ed in parte adibita a destinazione agricola e industriale. È caratterizzata da notevoli potenzialità sul piano dell'accessibilità derivanti dalla presenza della strada cantonale, dell'autostrada e delle infrastrutture ferroviarie.

Lo stabile presenta una forma rettangolare regolare in pianta. I lati con dimensione maggiore sono esposti a NordOvest e SudEst e vi è una simmetria speculare rispetto all'asse NordOvest-SudEst.

L'edificio è caratterizzato da 5 livelli, 4 fuori terra e uno interrato. Poiché è simmetrico, si riporta di seguito la suddivisione di una sola delle due metà:

- piano interrato (PI) diviso a sua volta in due parti: una a profondità -1,25 m dal piano campagna adibita a cantina e locale caldaia, l'altra a profondità -2,20 m ospitante l'autoparco;
- piano terreno (P0) e primo piano (P1) con destinazione d'uso uffici, coprono una superficie netta di circa 400 m<sup>2</sup> suddivisa tra i due piani. Ciascun blocco degli uffici è dotato di un ingresso con segreteria, una copisteria, 3 sale riunioni, una cucina, 4 open space per l'utenza lavorativa e 4 uffici privati;
- piano secondo (P2) e terzo (P3) residenziali. Ogni metà piano è divisa in 2 appartamenti aventi rispettivamente superfici nette di 105 m<sup>2</sup> (un atrio, 3 camere, 2 bagni, soggiorno e cucina) e 95 m<sup>2</sup> (un atrio, 2 camere, 2 bagni, cucina e soggiorno).

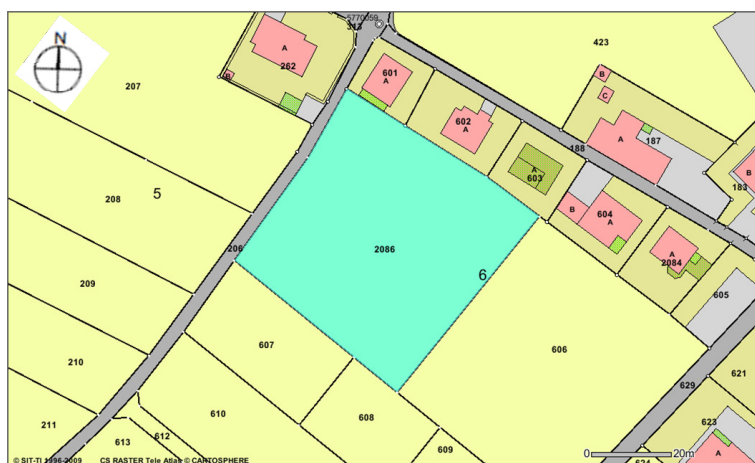
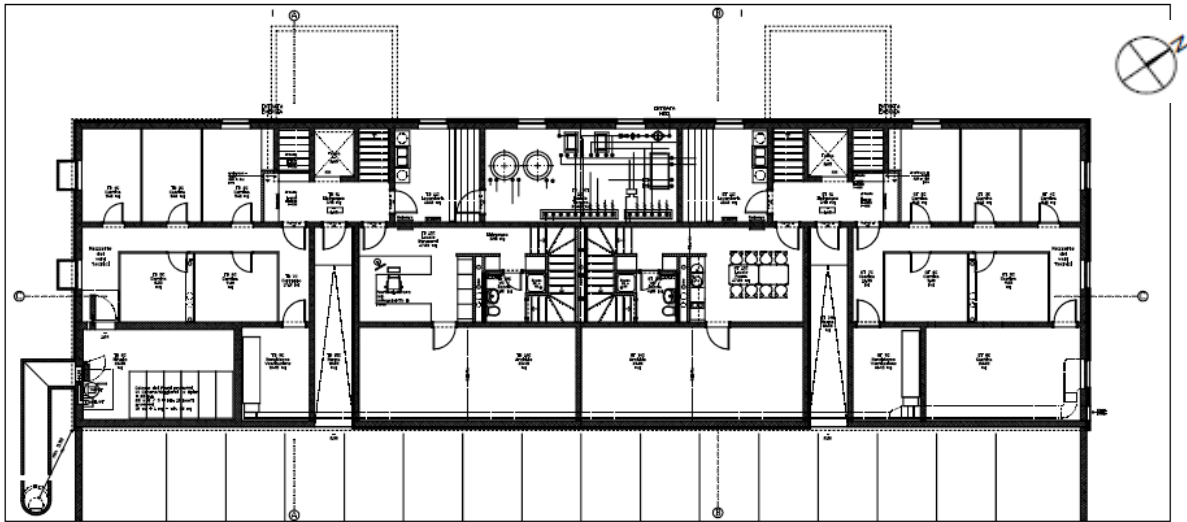


Figura 3 – Fonte [28]

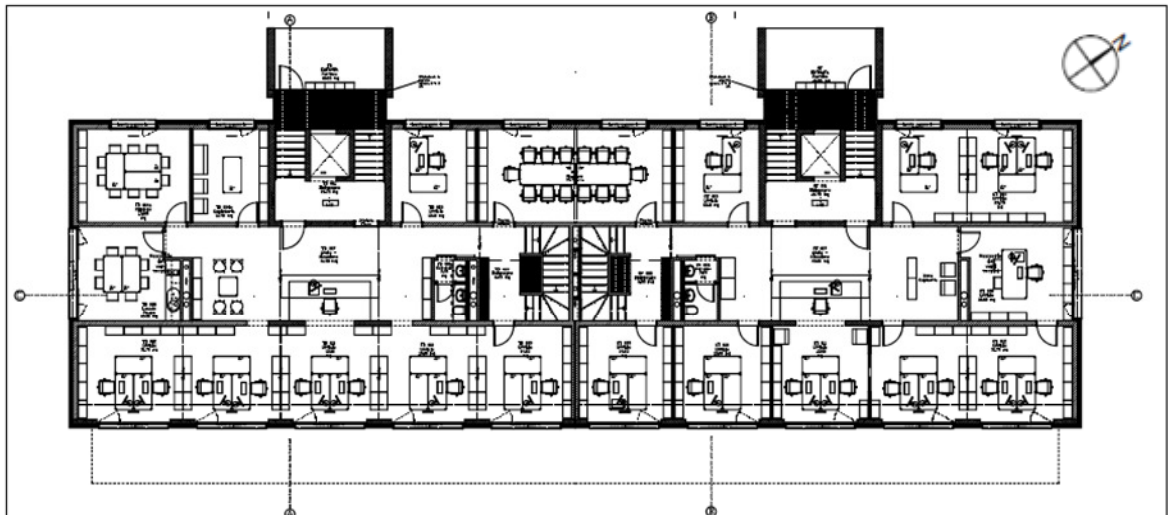
Per ottimizzare l'utilizzo degli spazi, non era possibile orientare l'edificio secondo l'asse Ovest-Est; si è quindi optato per l'orientamento NordEst-SudOvest che permette di massimizzare l'ingresso di luce naturale mattutina e gli apporti gratuiti in inverno.

Per accedere ai vari piani sono stati previsti, sul lato rivolto a NordOvest, due vani scala dotati di ascensore che servono tutti i livelli.

Dal momento che la progettazione mirava al raggiungimento del minor fabbisogno energetico invernale possibile per rientrare nei limiti imposti dallo standard MINERGIE, la maggior parte delle superfici trasparenti è stata posta sul lato SudEst e le finestre sono state dotate di elementi di schermatura diversi a seconda dell'esposizione.



**Figura 4 – Piano interrato PI**



**Figura 5 – Piano terra P0**

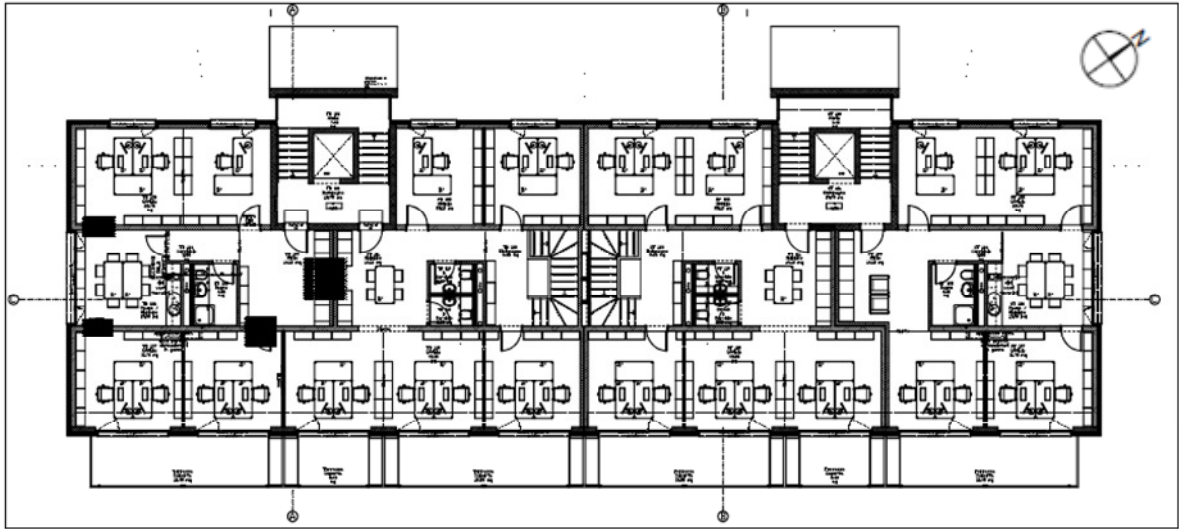


Figura 6 – Piano primo P1

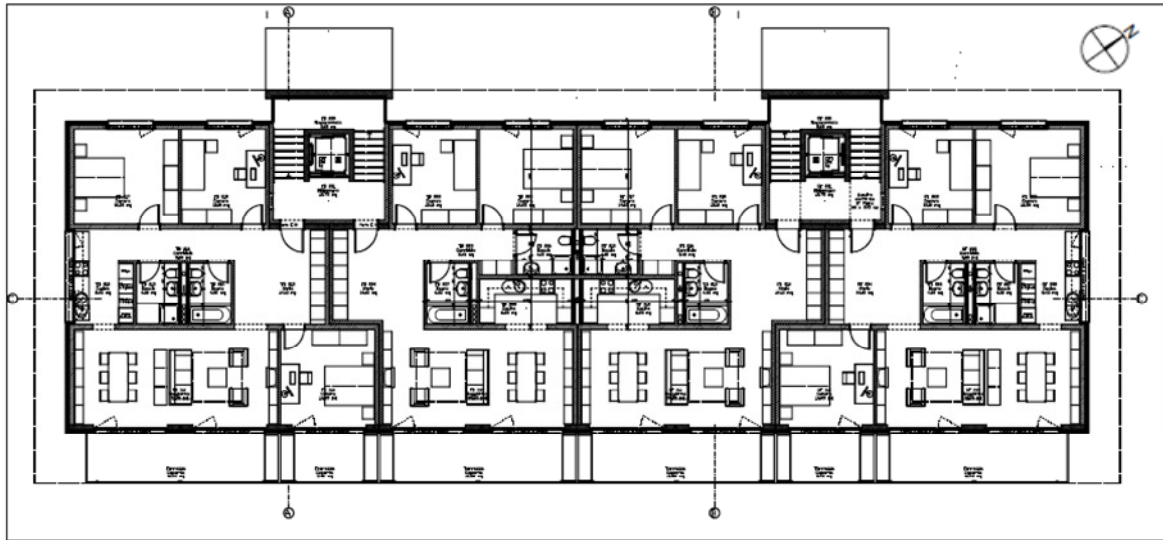


Figura 7 – Piani secondo P2 e terzo P3



Figura 8 - Facciata NordOvest



Figura 9 - Facciata SudEst

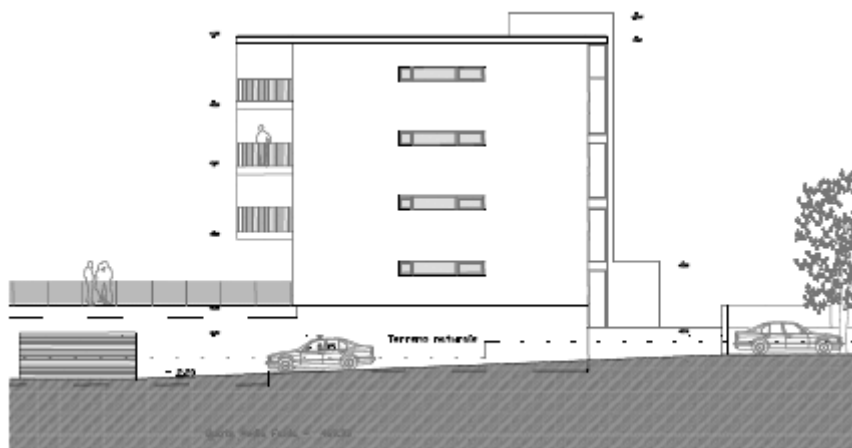


Figura 10 - Facciata NordEst

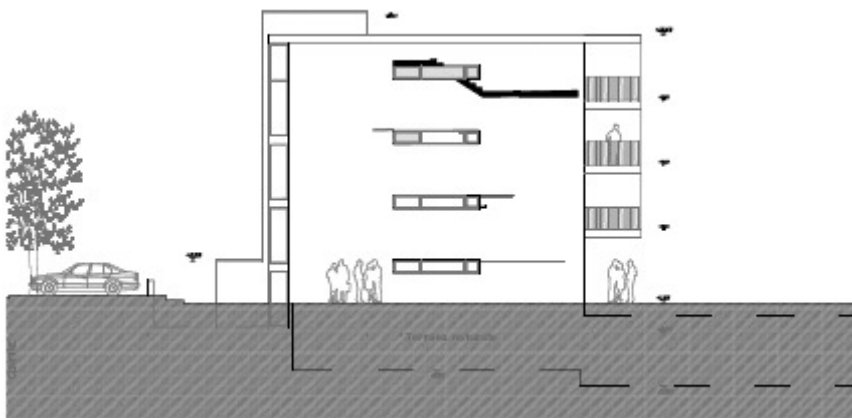


Figura 11 - Facciata NordOvest

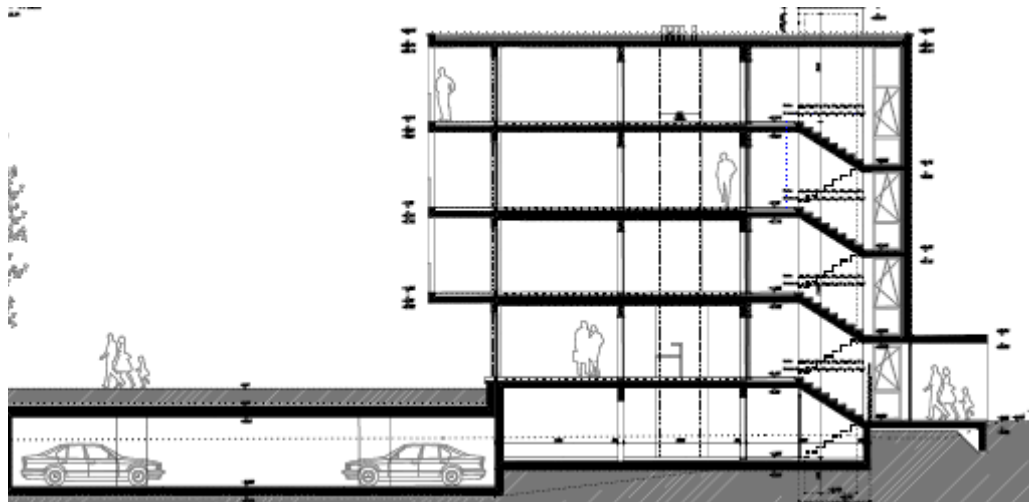


Figura 12 - Sezione trasversale



Figura 13 - Sezione longitudinale

## 2.3 L'involucro edilizio

La stratigrafia e l'isolamento dell'involucro, oltre alla cura dei dettagli costruttivi, ricoprono un ruolo molto importante per l'ottenimento di un basso fabbisogno energetico dell'edificio.

Nell'Allegato 2 (Cap. 2.3) sono descritti gli elementi costruttivi principali, riportando per ogni elemento il calcolo delle proprietà termiche.

Di seguito sono illustrate le tabelle che riassumono le principali caratteristiche di ogni elemento costruttivo e dei ponti termici:

Nome	Descrizione	Collocazione	Sp. [cm]	U [W/m <sup>2</sup> K]
PA1	Chiusura orizzontale inferiore	PI	47.5	0.60
PA2_carpet	Partizione orizzontale	P0, P1, P2, P3	43.0	0.58
PA2_piastrelle	Partizione orizzontale	P0, P1, P2, P3	43.0	0.63
TE	Chiusura orizzontale superiore	P3	55.1	0.17
MU1	Chiusura verticale, parete controterra	PI	38.0	0.48
MU2	Chiusura verticale, SudEst	P0, P1, P2, P3	33.6	0.27
MU3	Chiusura verticale, NordEst, NordOvest, SudOvest	P0, P1, P2, P3	33.5	0.24
MU4	Chiusura verticale, corpo scale	P0, P1, P2, P3	34.0	0.32
MU5	Partizione verticale (verso locali non riscaldati)	P0, P1, P2, P3	34.0	0.46
MU6	Partizione verticale (verso zone termiche differenti)	P0, P1, P2, P3	32.0	0.60

**Tabella 2 - Caratteristiche degli elementi opachi**

Nome	Descrizione	Collocazione	Sup. vano [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]
F1	Infisso esterno verticale, SudEst	P1, P2, P3	6.86	1.30
F2	Infisso esterno verticale, SudEst	P0	5.74	1.37
F3	Infisso esterno verticale, NordOvest	P0, P1, P2, P3	1.92	1.50
F4	Infisso esterno verticale, SudOvest	P0, P1, P2, P3	2.22	1.58

**Tabella 3 - Caratteristiche dei serramenti**

Nome	Descrizione	Trasmittanza lineica $\psi$ [W/mK]
PT1	Raccordo balconi	0.50
PT2	Raccordo pareti locali riscaldati - platea	0.10
PT3	Raccordo parete - serramenti	0.10
PT4	Raccordo pareti locali riscaldati – locali non risc.	0.20
PT5	Raccordo pensilina sopra balconi	0.28
PT6	Raccordo tetto vano scale	0.38

**Tabella 4 - Caratteristiche ponti termici**

## 2.4 La protezione solare: ombre proprie dell'edificio e schermature

La protezione solare è di fondamentale importanza per regolare gli apporti solari di luce e calore. Gli elementi ombreggianti, infatti, svolgono una funzione molto delicata: devono essere in grado di trasmettere l'irraggiamento solare durante il periodo invernale e rifletterlo durante il periodo estivo per evitare il surriscaldamento interno degli ambienti; inoltre, per tutto l'anno, devono permettere un'adeguata illuminazione naturale.

L'orientamento verso Sud delle superfici trasparenti è il migliore per due motivi: la radiazione solare è massima in inverno, quando rappresenta un apporto utile; e in estate, quando invece si vogliono evitare i surriscaldamenti, l'altezza solare a Sud è massima e quindi le finestre ricevono una minor radiazione solare diretta.

Sulla base di quanto premesso, in fase progettuale sono stati presi in considerazione l'esposizione delle superfici trasparenti e la tipologia di schermature da utilizzare scelta tra fisse o mobili e interne o esterne.

Per massimizzare l'ingresso di luce naturale mattutina e gli apporti gratuiti in inverno, la maggior parte delle superfici trasparenti è stata esposta sul lato SudEst.

Per i serramenti, poi, sono stati previsti degli elementi di schermatura diversi a seconda dell'esposizione:

- esposizione NordOvest: schermature mobili interne (tende chiare a controllo manuale);
- esposizione SudEst: schermature fisse esterne (aggetti orizzontali costituiti da balconi) e schermature mobili esterne (tende scure e lamelle a controllo manuale);
- esposizione SudOvest e NordEst: schermature mobili esterne (lamelle a controllo manuale).

Si è tenuto conto della geometria degli elementi sporgenti dell'edificio il cui effetto varia durante le ore del giorno e durante l'anno a seconda della posizione del sole (altezza e azimuth). Gli aggetti orizzontali e verticali dell'edificio, infatti, durante l'arco della giornata generano sullo stesso delle ombre proprie e si comportano dunque come schermature esterne.

Per la norma SIA 380-1, facendo riferimento al paragrafo 3.5.4.12, il fattore di ombreggiamento  $F_s$  è dato dal prodotto di tre fattori:  $F_{s1}$  fattore d'ombreggiamento "orizzonte",  $F_{s2}$  fattore d'ombreggiamento "sporgenza superiore" e  $F_{s3}$  fattore d'ombreggiamento "sporgenza laterale". Essi assumono valori differenti in base all'angolazione della sporgenza ed all'orientamento della facciata.

## 2.5 Gli scenari di occupazione

Secondo la norma SIA 380-1:2009, Tabella 25: parametri di utilizzo standard, sono previste le seguenti superfici per persona:

Destinazione d'uso	m <sup>2</sup> /pers
Abitazioni monofamiliari	40
Uffici - amministrazione	20

**Tabella 5 - Parametri di utilizzo standard secondo la norma SIA 380-1:2009**

Dal momento che tra lo scenario di occupazione ipotizzato in fase progettuale secondo la norma sopra riportata e quello di utilizzo reale vi sono delle differenze, si ritiene opportuno riportare di seguito il confronto tra i due. Vista la simmetria dell'edificio, si fa riferimento solo a metà di esso:

	Superficie [m <sup>2</sup> ]	n° persone [-]	
		da progetto (SIA 380-1)	reale
Uffici P0	200	10	18
Uffici P1	200	10	12
Appartamenti P2 (105+95 m <sup>2</sup> )	200	5	8
Appartamenti P3 (105+95 m <sup>2</sup> )	200	5	8

**Tabella 6 - Tasso di occupazione**



### **3. Valutazione semplificata dei fabbisogni e dei carichi termici di progetto**

In questo capitolo vengono prese in considerazione le richieste di riscaldamento e di raffrescamento da parte dell'edificio in esame, applicando alcune delle normative illustrate nell'inquadramento del Capitolo 1.

Per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria si è deciso di calcolare il fabbisogno energetico, con la procedura della SIA 380/1:2009, e il carico termico invernale, applicando la SIA 384-201:2003; questa scelta è dovuta al fatto che le restrizioni dello standard MINERGIE riguardano il fabbisogno di energia per il riscaldamento e si è ritenuto significativo stimarne il valore. Per ogni valutazione sono riportate le ipotesi di partenza e i risultati ottenuti, mentre le procedure di calcolo sono state messe in allegato.

Per il raffrescamento, invece, è stato calcolato il carico termico estivo attraverso due metodologie: la procedura di calcolo della SIA 70:1983 e il metodo Carrier-Pizzetti, risalente agli anni Sessanta. Di questi sono riportate le intere procedure di calcolo per effettuare un confronto tra i due metodi.

Occorre puntualizzare che per "carico termico di progetto" si intende la potenza che l'impianto, al variare delle condizioni esterne, deve esprimere per mantenere le condizioni di temperatura e di umidità dell'aria interna ai valori di set-point. La sua valutazione può essere fatta anche in maniera semplificata, cioè senza fare necessariamente ricorso ad una simulazione in regime dinamico. Questa modalità d'approccio, che non tiene conto dell'effettivo comportamento dinamico dell'edificio in esame, fornisce risultati utili per il pre-dimensionamento degli impianti.

#### **3.1 Riscaldamento**

Come già anticipato, per la stagione invernale sono stati valutati sia il fabbisogno termico per il riscaldamento, legato principalmente all'involucro dell'edificio e alla ventilazione, sia il carico invernale di progetto, necessario per il dimensionamento degli impianti.

Entrambe le analisi sono state effettuate considerando un regime stazionario opportunamente corretto per mezzo di fattori atti a tenere conto del comportamento dinamico dell'edificio.

##### **3.1.1 Fabbisogno termico per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria**

Il calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento è stato eseguito seguendo la norma SIA 380/1:2009, il cui metodo, descritto nell'Allegato 1 (cap. 1.1), si applica a edifici nuovi ed esistenti. Il parametro d'interesse per questa valutazione è il fabbisogno termico per il riscaldamento dell'edificio ( $Q_h$ ), che deve risultare inferiore ai limiti imposti dalla normativa in vigore. Si precisa che l'edificio è stato progettato quando era in vigore la SIA 380/1:2001, i cui limiti di riferimento sono maggiori di quelli attuali.

L'edificio è stato opportunamente semplificato per ottenere una stima del fabbisogno; sono riportate di seguito una sezione ed una pianta, con le quote nette e lorde utilizzate, in cui sono state evidenziate le zone riscaldate suddivise in base alla destinazione d'uso (in verde gli uffici e in azzurro gli appartamenti). Nella pianta sono inoltre riportate le tipologie di chiusura verticale opaca e trasparente utilizzate per ogni esposizione.

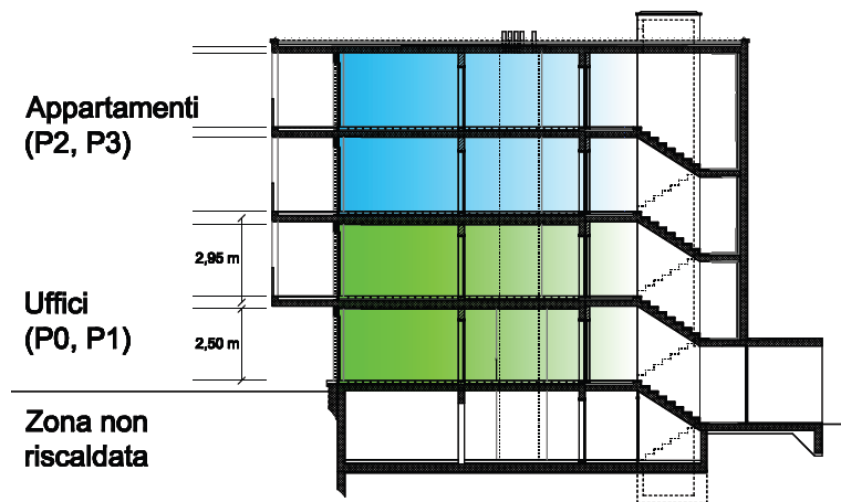


Figura 14 – Sezione trasversale indicante le destinazioni d'uso

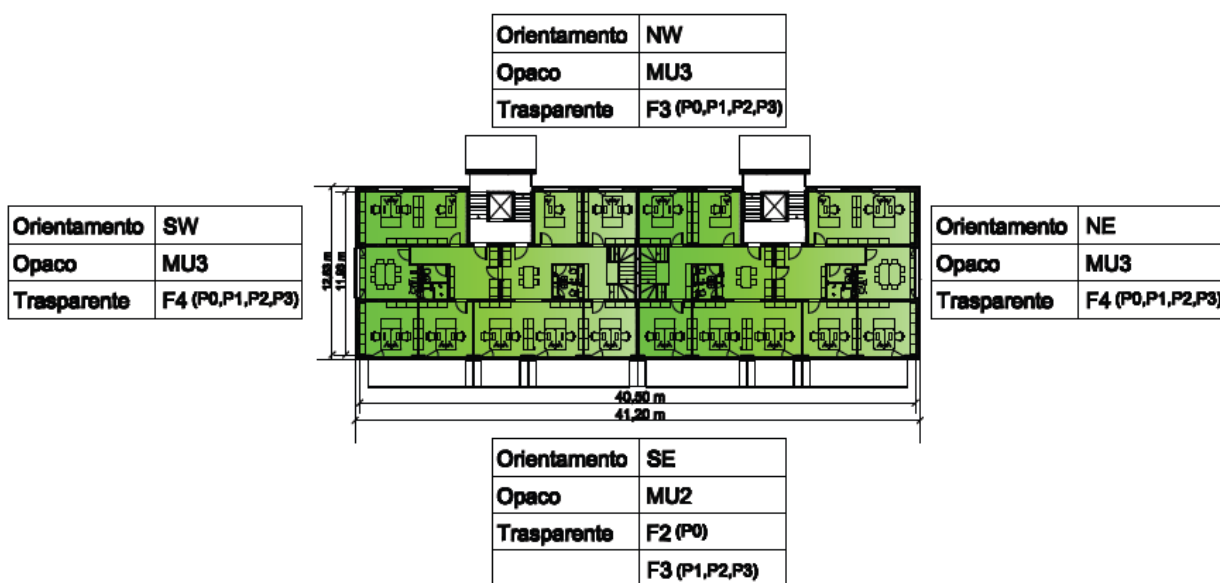


Figura 15 – Pianta del piano tipo indicante le tipologie di chiusura opaca e trasparente a seconda delle esposizioni

La zona termica 1 riguarda gli appartamenti (categoria edifici I – abitazione plurifamiliare), mentre la zona termica 2 è relativa agli uffici (appartenenti alla categoria III – amministrazione). L'edificio è situato a Rivera, posto ad un'altitudine di 525 m s.l.m ed i dati climatici sono presi dalla stazione di riferimento di Locarno-monti, ad un'altitudine di 366 m s.l.m.

Nelle tabelle dell'Allegato 3 (Cap. 3.1.1) vengono riportate le caratteristiche dell'edificio in esame: le superfici di riferimento energetico e i volumi riscaldati, le tipologie e le proprietà degli elementi opachi, degli elementi trasparenti e dei ponti termici.

Le perdite termiche globali sono state calcolate come somma delle dispersioni per trasmissione e per ventilazione normalizzate rispetto alla superficie di riferimento energetico  $A_E$ .

Le perdite termiche sono in parte bilanciate dagli apporti termici, che si suddividono in interni, derivanti dalla presenza di apparecchi elettrici e persone, e solari entranti dalle superfici traslucide. Poiché questi apporti sono utilizzati solo parzialmente, è stato introdotto un fattore correttivo che esprime il grado di sfruttamento di questi guadagni, che dipende dall'inerzia termica dell'edificio e dal rapporto tra gli apporti termici totali e le perdite termiche totali.

Il fabbisogno termico per il riscaldamento  $Q_h$  è dato quindi dalla differenza tra le dispersioni  $Q_{tot}$  e gli apporti termici effettivamente sfruttati  $\eta_g Q_g$ .

$$Q_h = Q_{TOT} - \eta_g \cdot Q_g$$

I risultati parziali e globali sono stati ottenuti applicando la procedura della norma SIA 380/1:2009 a ciascun mese della stagione di riscaldamento (ottobre – aprile), poiché variano i parametri esterni (temperatura e irraggiamento), come riportato nella seguente tabella (Tabella 7). Si sono poi sommati i valori mensili per ottenere il fabbisogno termico complessivo dell'intero periodo.

<b>Valori costanti per l'intera stagione di riscaldamento</b>	Simbolo	Unità di misura	App	Uff	Riferimento normativo SIA 380/1:2009
Temperatura ambiente	$\theta_0$	°C	20	20	3.5.1.2
Supplemento di regolazione per la temperatura ambiente $\Delta\theta_0$	K	-	2	2	3.5.1.3
Superficie per persona	$A_p$	m <sup>2</sup> /p	40	20	3.5.1.4
Calore dissipato per persona	$Q_p$	W/p	70	80	3.5.1.5
Tempo di utilizzo giornaliero	$t_p$	h/d	12	6	3.5.1.6
Consumo di elettricità annuale	$Q_{el}$	MJ/m <sup>2</sup>	100	80	3.5.1.7
Fattore di riduzione dell'elettricità	$f_{el}$	-	0.7	0.9	3.5.1.8
Portata d'aria esterna riferita alla superficie di riferimento energetico	$V'/A_E$	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	0.7	0.7	3.5.1.9.1

<b>Valori mensili (SIA 2028)</b>	Simbolo	Unità di misura
Temperatura esterna	$\theta_e$	°C
Irraggiamento solare globale orizzontale	$G_{s,H}$	MJ/(m <sup>2</sup> mese)
Irraggiamento solare globale verticale SE, NE, SW, NW	$G_s$	MJ/m <sup>2</sup>

**Tabella 7 - Valori costanti e mensili della stagione di riscaldamento**

Si riportano di seguito i risultati ottenuti:

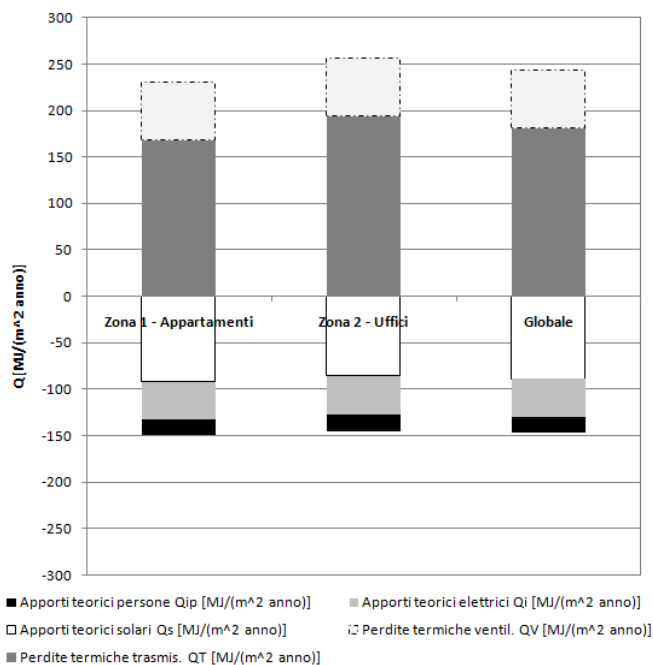
Zona termica	Pavimenti	Pareti		Tetto	Finestre	Tra zone	Ponti termici	Totale
	interno	interno	esterno	esterno	esterno			
	$Q_{fu}+Q_{Fn}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{fu}+Q_{Fn}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{We}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{Re}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{we}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]		$Q_l$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{te}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]
Zona 1	0	5	23	23	83	0	34	168
Zona 2	59	5	28	0	79	0	24	195
Globale	29	5	25	11	81	0	29	182

**Tabella 8 - Prospetto dispersioni termiche**

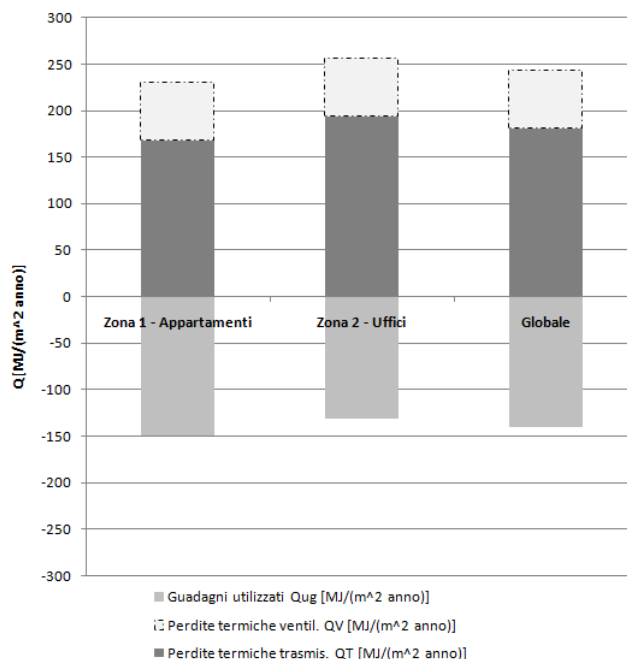
Zona termica	Perdite termiche		Apporti teorici			Grado sfrutt.	Guadagni utilizzati	Valore edificio	Valore limite (SIA 380/1)		
	trasmis.	ventil.	solari	elettrici	persone	$h_g$	$Q_{ug}$	$Q_h$	2001	2007	2009
	$Q_T$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_V$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_s$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_i$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{ip}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	[-]	[MJ/m <sup>2</sup> /a]	[MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{h,li}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{h,li}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]	$Q_{h,li}$ [MJ/m <sup>2</sup> /a]
Zona 1	168	62	92	41	16	1.00	148	82	146	140	89
Zona 2	195	62	85	42	18	0.90	131	126	158	133	106
Globale	182	62	89	41	17	0.95	140	104	152	136	98

**Tabella 9 - Prospetto fabbisogno termico invernale**

Nei grafici seguenti sono meglio evidenziati i vari contributi.



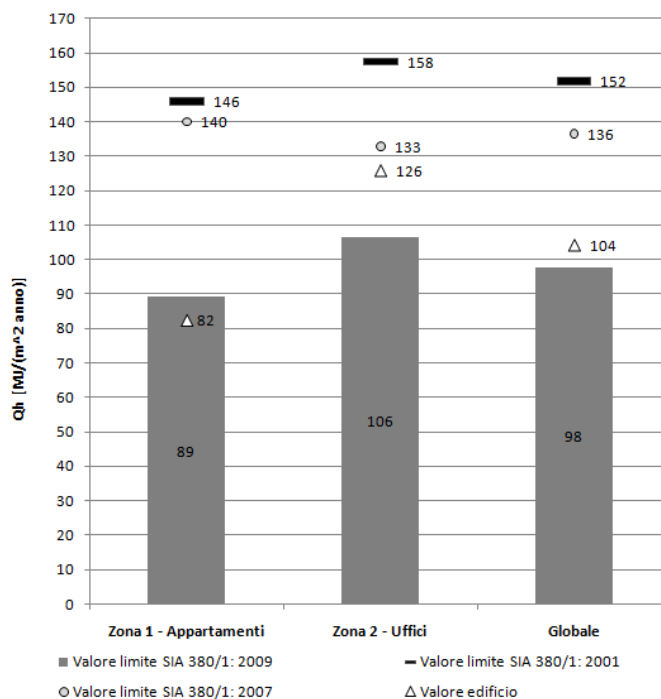
**Grafico 1 - Apporti e perdite termiche [MJ/(m<sup>2</sup>anno)]**



**Grafico 2 - Apporti gratuiti effettivamente sfruttati e perdite termiche [MJ/(m²anno)]**

Dalla differenza tra le perdite termiche e gli apporti gratuiti effettivamente sfruttati si ottiene infine un fabbisogno termico per il riscaldamento dell'intero edificio pari a 104 MJ/(m²anno), che corrisponde a 29 kWh/(m²anno).

Nel grafico seguente si è voluto confrontare il fabbisogno ricavato con i valori limite, sempre più restrittivi, imposti dalla norma SIA 380/1 negli anni 2001, 2007 e 2009.



**Grafico 3 - Confronto tra il fabbisogno termico per il riscaldamento invernale ricavato e i limiti imposti dalla SIA 380/1**

La SIA 380/1 fornisce anche indicazioni per quanto riguarda il calcolo del fabbisogno termico per l'acqua calda, che è calcolato in base alla quantità richiesta e dipende dalla differenza di temperatura tra l'acqua fredda e l'acqua calda fornita all'utenza.

		$Q_{ww}$	$A_E$
Categoria d'edificio		MJ/(m <sup>2</sup> anno)	m <sup>2</sup>
Abitazioni plurifamiliari	I	75	904
Amministrazione	III	25	912
<b>Globale</b>		<b>50</b>	

**Tabella 10 - Fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria**

Il fabbisogno energetico per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria è riassunto in Tabella 11:

	[MJ/(m <sup>2</sup> anno)]	[kWh/(m <sup>2</sup> anno)]
Riscaldamento edificio	104	29
Produzione acqua calda sanitaria	50	14
<b>TOTALE</b>	<b>154</b>	<b>43</b>

**Tabella 11 - Fabbisogno energetico per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria**

### 3.1.2 Carico termico invernale di progetto

Per il dimensionamento invernale degli impianti di condizionamento si analizza la condizione più sfavorevole, cioè si considerano nulli gli apporti interni gratuiti dovuti alle persone, alle cose e alla radiazione solare (flusso solare interno).

I calcoli sono stati eseguiti, con errori trascurabili, sotto l'ipotesi che lo scambio termico tra interno ed esterno avvenga in regime stazionario.

Il carico termico di progetto per il riscaldamento viene valutato utilizzando la temperatura esterna di progetto che, per il comune di Rivera, è posta pari a  $-1^{\circ}\text{C}$  (valore preso dalla norma SIA 2028, Tab. 6).

Di seguito sono illustrati i risultati del calcolo della potenza di progetto relativa all'edificio in esame, utilizzando il metodo descritto dalla norma SIA 384-201:2003, mentre la procedura per il calcolo del fabbisogno di potenza termica per il riscaldamento degli edifici è riportata nell'Allegato 4 (Cap. 3.1.2).

Nel calcolo della potenza di progetto per il riscaldamento dell'intero stabile  $\Phi_{HL}$ , sono state considerate le perdite termiche per trasmissione (attraverso superfici opache  $\Phi_{T,op}$ , ponti termici  $\Phi_{T,tb}$  e superfici vetrate  $\Phi_{T,w}$ ), le perdite per ventilazione  $\Phi_v$  e il carico termico di ripresa del riscaldamento  $\Phi_r$ .

$$\Phi_{HL} = (\Phi_{T,op} + \Phi_{T,tb} + \Phi_{T,w}) + \Phi_v + \Phi_r$$

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i prospetti globali dei carichi termici calcolati:

			Appartamenti	Uffici
<b>Carico termico per trasmissione</b>				
Pareti opache	$\Phi_{T,op}$	[W]	3'474	6'689
Ponti termici	$\Phi_{T,tb}$	[W]	3'208	1'460
Serramenti	$\Phi_{T,w}$	[W]	5'976	5'754
	$\Phi_T$	[W]	<b>12'658</b>	<b>13'902</b>
<b>Carico termico per ventilazione</b>			<b>3'795</b>	<b>3'464</b>
<b>Carico termico di ripresa</b>				
Fattore di ripresa del riscaldamento	$f_{rh}$	[W/m <sup>2</sup> ]	11	18
Superficie netta	A	[m <sup>2</sup> ]	904	912
	$\Phi_r$	[W]	<b>9'944</b>	<b>16'416</b>

**Tabella 12 – Componenti del carico termico invernale di progetto [W]**

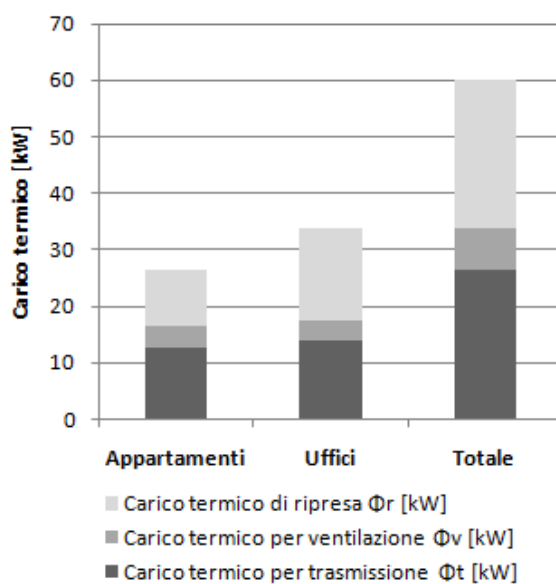
			Appartamenti	Uffici	Totale
Carico termico per trasmissione	$\Phi_T$	[kW]	13	14	27
Carico termico per ventilazione	$\Phi_v$	[kW]	4	3	7
Carico termico di ripresa	$\Phi_r$	[kW]	10	16	26
<b>Carico termico totale</b>	<b><math>\Phi_{HL}</math></b>	<b>[kW]</b>	<b>26</b>	<b>34</b>	<b>60</b>

**Tabella 13 - Carico termico totale invernale di progetto [kW]**

Considerando che la superficie netta calpestabile degli appartamenti è pari a 904 m<sup>2</sup> e quella degli uffici risulta 912 m<sup>2</sup>, è possibile stimare una potenza al metro quadrato di superficie calpestabile:

Destinazione d'uso	Area netta [m <sup>2</sup> ]	Carico termico invernale [kW]	Carico termico invernale normalizzato [W/m <sup>2</sup> ]
Appartamenti	904	26	29
Uffici	912	34	37
<b>Edificio</b>	<b>1816</b>	<b>60</b>	<b>33</b>

**Tabella 14 - Riassunto del carico termico invernale di progetto e normalizzato per le diverse destinazioni d'uso**



**Grafico 4 - Carico termico di riscaldamento**

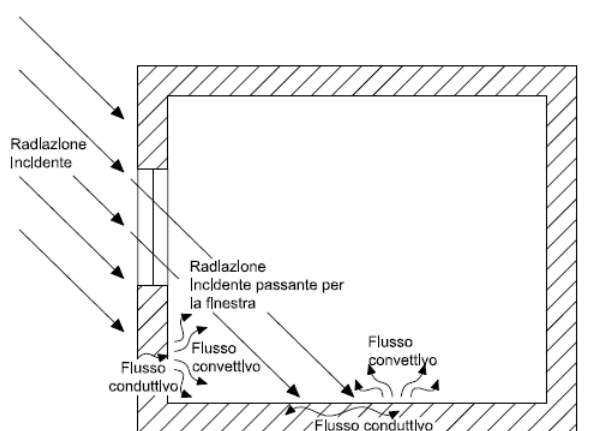
Il carico termico per il riscaldamento dell'intero edificio, dato dalla somma delle varie componenti, risulta essere pari a 60 kW e il valore normalizzato rispetto alla superficie netta calpestabile vale 33 W/m<sup>2</sup>.



## 3.2 Raffrescamento

Per il dimensionamento estivo degli impianti di condizionamento si analizza la condizione più sfavorevole, cioè si considera la combinazione istantanea peggiore della temperatura esterna e di tutti gli apporti interni gratuiti dovuti alle persone, alle cose e alla radiazione solare (flusso solare interno).

Poiché l'irraggiamento solare, che solitamente è il carico più influente durante l'estate, varia notevolmente nel corso della giornata e, per gli edifici massivi, gli effetti dell'inerzia termica delle masse sono notevoli, il calcolo del carico termico in regime estivo non può essere effettuato assumendo l'ipotesi di regime stazionario, al contrario del caso invernale.



**Figura 16 - Comportamento della radiazione solare incidente [16]**

La radiazione solare, che attraversa le parti trasparenti dell'involucro edilizio, colpisce le superfici interne dei muri e dei solai e ne innalza le temperature superficiali. Come rappresentato in Figura 16, si instaurano, quindi, due flussi: conduttivo verso l'interno del materiale, convettivo verso l'ambiente. Il calore trasmesso per conduzione viene accumulato nelle strutture e quello trasmesso per convezione diventa un carico istantaneo per l'impianto di condizionamento. I tempi e le modalità con cui le diverse strutture accumulano e rilasciano calore dipendono dalla diffusività termica degli elementi stessi.

Dal momento che non valgono le condizioni di stazionarietà e che le diverse componenti del carico termico variano in maniera non omogenea, sarebbe necessario un approccio in regime dinamico al problema. Sono però stati sviluppati dei metodi semplificati che permettono di valutare la potenza sensibile istantanea oraria di riferimento che l'impianto di raffrescamento estivo deve fornire al fine di garantire l'ottenimento delle condizioni di comfort.

Per tenere conto dei fenomeni inerziali, dovuti alla capacità di accumulo termico delle strutture, vengono introdotti dei fattori correttivi che permettono di calcolare con discreta approssimazione gli effettivi flussi termici scambiati.

Di seguito verranno effettuate due valutazioni per il calcolo del carico termico estivo di progetto: la prima utilizza la procedura di calcolo Carrier-Pizzetti degli anni Sessanta, la seconda applica il metodo della SIA 70:1983. In entrambi i casi non verrà considerato l'intero edificio ma la quota parte di esso che è interessata da un sistema di raffrescamento, vale a dire il piano terra e il primo piano con destinazione d'uso uffici. Si ritiene opportuno illustrare passo per passo la procedura di calcolo per individuare le affinità e le differenze tra i due metodi.

### **3.2.1 Carico estivo di progetto secondo il metodo Carrier-Pizzetti**

Il metodo Carrier-Pizzetti, comunemente chiamato "metodo Carrier", è stato creato per calcolare i carichi estivi massimi dell'edificio in un giorno definito per ogni mese senza tenere conto dei carichi latenti.

I dati climatici convenzionali richiesti sono:

- i valori orari della radiazione solare;
- i valori orari della temperatura dell'aria esterna;
- il valore medio mensile della temperatura dell'aria esterna.

Per ciascun componente edilizio è inoltre necessario conoscere i parametri di trasmissione termica e solare.

Base fondamentale di questo approccio è la scomposizione, per gli elementi opachi, degli effetti conduttivi e radiativi.

Per tenere conto degli effetti conduttivi, le differenze di temperatura presenti nei componenti del calcolo in regime stazionario dovuti alle dispersioni attraverso le pareti opache vanno sostituite con la differenza di temperatura equivalente ( $\Delta T_{eq}$ ), cioè la "differenza di temperatura fittizia tra aria esterna e aria interna che, in assenza di scambio per irraggiamento, provocherebbe attraverso le strutture dell'edificio lo stesso flusso di calore determinato, in realtà, dall'insieme della radiazione solare, degli scambi per irraggiamento con il cielo e con l'ambiente esterno, e degli scambi per convezione con l'aria esterna." [16]

La temperatura equivalente tiene dunque conto:

- dell'inerzia delle masse;
- del giorno, mese e ora di calcolo;
- dell'esposizione di ogni elemento;
- della latitudine;
- del fattore di assorbimento (in funzione del colore delle superfici).

Il valore di  $\Delta T_{eq}$  da utilizzare, in funzione dell'esposizione e della massa frontale, per ciascuna ora del giorno è fornito in apposite tabelle disponibili in letteratura.

Per tener conto dell'accumulo del calore radiante nelle strutture, si utilizza il fattore di accumulo termico, che è un coefficiente di riduzione che considera il comportamento delle masse e deve

essere applicato ai carichi termici interni istantanei. I valori da utilizzare sono nuovamente forniti in apposite tabelle. È bene precisare che si trascurano i processi di accumulo termico nella massa del vetro dei serramenti.

Secondo il metodo Carrier, il carico termico estivo sul sistema di condizionamento risulta dalla somma della trasmissione attraverso le superfici opache e trasparenti, dalla componente radiativa del carico solare, dalla ventilazione e dalle sorgenti interne.

Bisogna precisare che il metodo Carrier utilizza valori di riferimento di  $\Delta T_{eq}$  [°C] per muri e tetti di diversa massa areica che sono basati sulle seguenti ipotesi:

- irradianza solare del mese di luglio a 40° Lat. N [W/m<sup>2</sup>];
- escursione termica giornaliera di 11 °C;
- temperatura interna ambiente di 26 °C;
- differenza tra la temperatura esterna di progetto e la temperatura interna di progetto pari a 8 °C;
- coefficiente di assorbimento per muri e tetti di colore scuro pari a 0.9 [-].

I valori di riferimento di  $\Delta T_{eq}$ , per essere contestualizzati, vanno opportunamente corretti considerando i valori effettivi di:

- escursione termica giornaliera [°C];
- differenza tra la temperatura esterna di progetto e la temperatura interna di progetto [°C];
- coefficiente di assorbimento delle superfici [°C];
- radiazione solare massima attraverso il vetro per l'esposizione considerata per il mese e la latitudine considerati [W/m<sup>2</sup>].

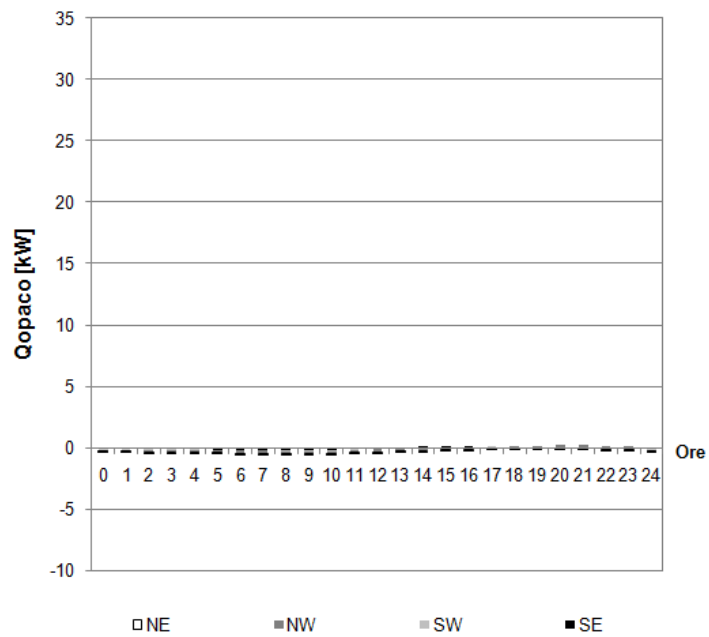
Il calcolo del carico termico estivo prende in considerazione:

- gli elementi opachi verticali e orizzontali fatta eccezione per la copertura, che non è stata considerata poiché non è un elemento che interessa direttamente la potenza richiesta dagli uffici;
- gli elementi vetrati;
- la ventilazione;
- i carichi interni.

Vengono di seguito riportate le analisi effettuate e i prospetti ottenuti per ogni voce presa in considerazione.

Sono stati analizzati gli elementi opachi, attraverso la formula:

$$Q_{AW} = A \cdot U \cdot \Delta T_{eq} \text{ [W]}$$

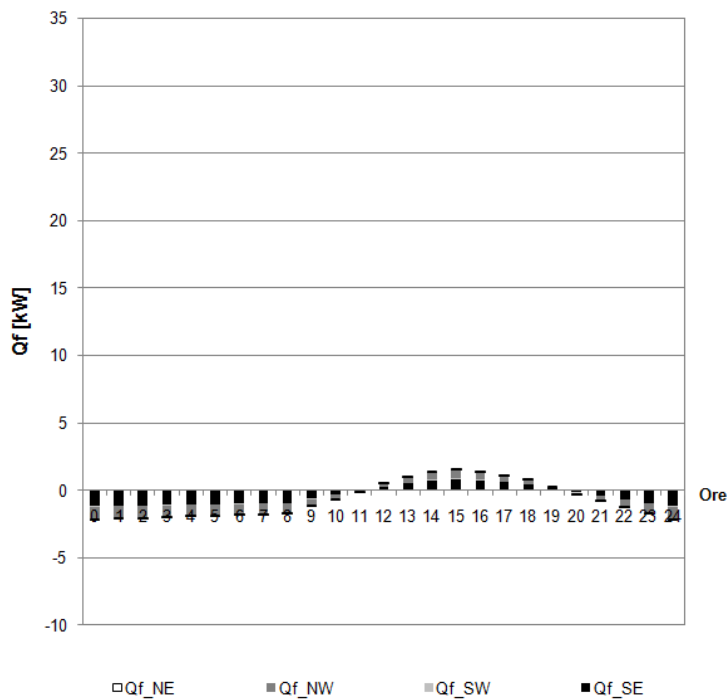


**Grafico 5 – Q<sub>aw</sub> [kW] Prospetto globale parti opache, metodo Carrier**

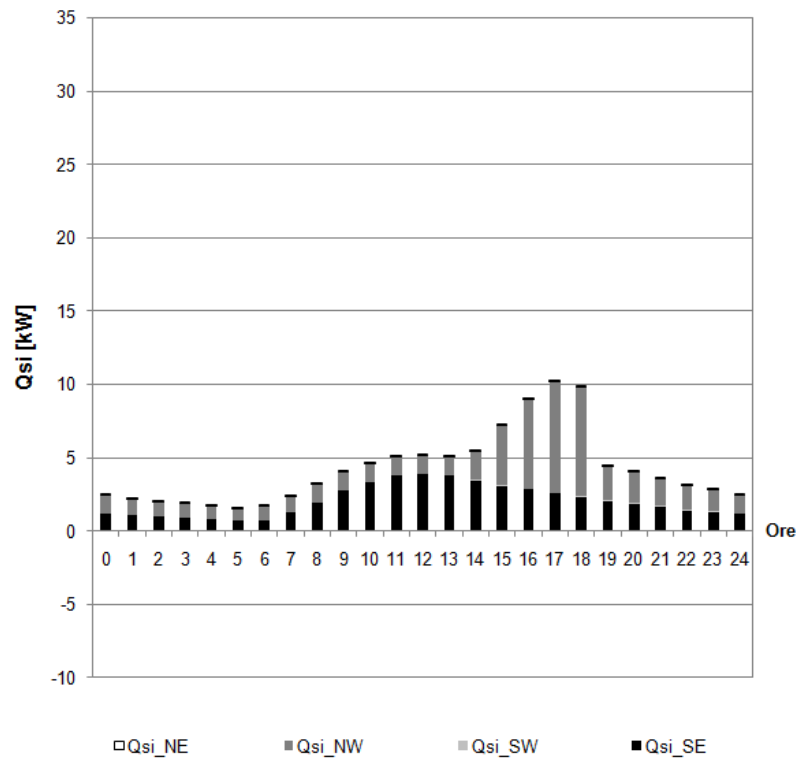
Il calcolo prosegue considerando gli elementi traslucidi:

$$Q_f = A_f \cdot k \cdot (T_{ext} - T_{in}) \text{ [W]}$$

$$Q_{si} = g \cdot G_{max} \cdot A_{glass} \cdot SC \cdot FA \text{ [W]}$$



**Grafico 6 - Q<sub>f</sub> [kW] Potenza di trasmissione attraverso i serramenti, metodo Carrier**



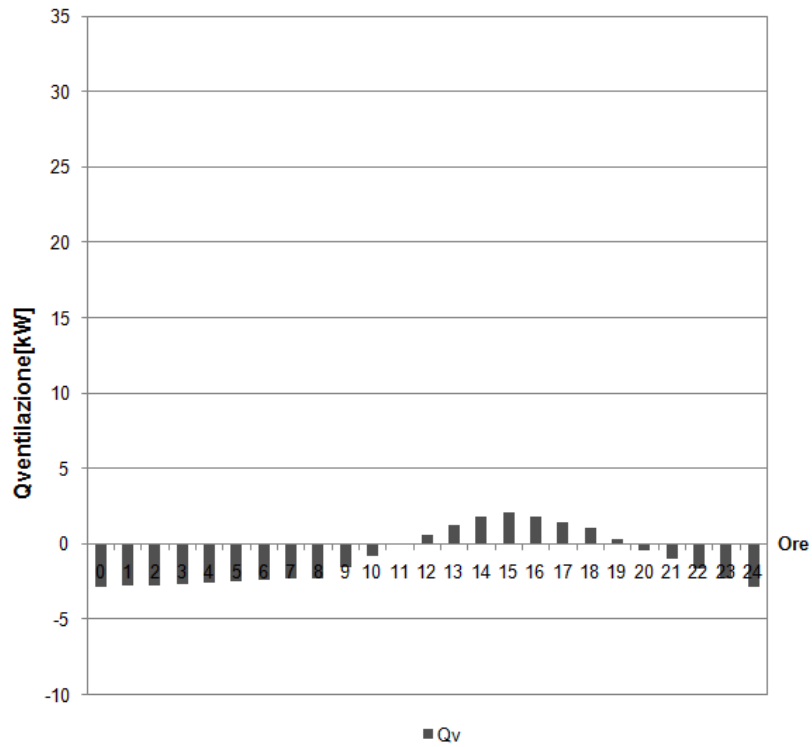
**Grafico 7- Q<sub>si</sub> [kW] Carico solare interno, metodo Carrier**

Il carico termico per trasmissione attraverso le finestre, Q<sub>f</sub>, è direttamente correlato all'andamento delle temperatura dell'aria esterna. Quello dovuto al carico solare interno, invece, risulta traslato rispetto al momento in cui l'irraggiamento solare è massimo, cioè attorno al mezzogiorno a causa della capacità di accumulo termico delle strutture.

Per quanto riguarda la ventilazione, è stata utilizzata la seguente formula:

$$Q_v = 0.34 \cdot V_{\text{netto}} \cdot n \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \text{ [W]}$$

Dove il volume netto è pari a 2'416 m<sup>3</sup>; n è il numero di ricambi, pari a 0.5 1/h; T<sub>int</sub> [°C] è la temperatura interna pari a 26°C.



**Grafico 8 - Q<sub>v</sub> [kW] Carico di ventilazione, metodo Carrier**

Infine, i carichi interni sono stati valutati attraverso la formula:

$$Q_i \text{ (ore 8:00-18:00)} = Q_{\text{max,luci}} * FA_j + (n^{\circ} \text{pers} * [W/\text{pers}] + n^{\circ} \text{pc} * [W/\text{pc}]) \text{ [W]}$$

$$Q_i \text{ (ore 0:00-8:00)} = Q_{\text{max,luci}} * FA_j \text{ [W]}$$

Dove:

n° persone	W/persona	n° pc	W/pc	Area netta [ m <sup>2</sup> ]	Luci [ W/m <sup>2</sup> ]
70	133	70	80	966	5
9310 W		5600 W		4831	

**Tabella 15 - Dati carichi interni**

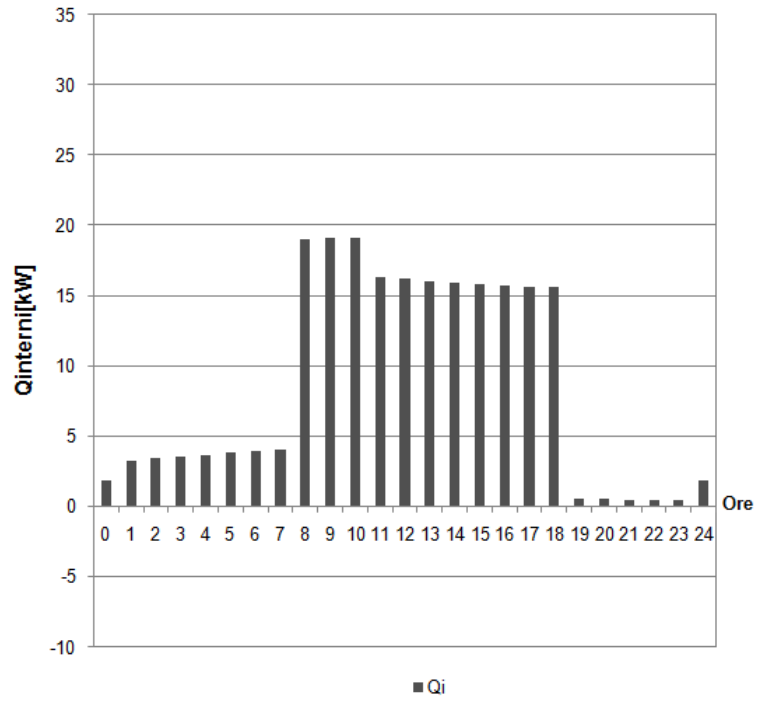


Grafico 9 - Q<sub>i</sub> [kW] Carichi interni, metodo Carrier

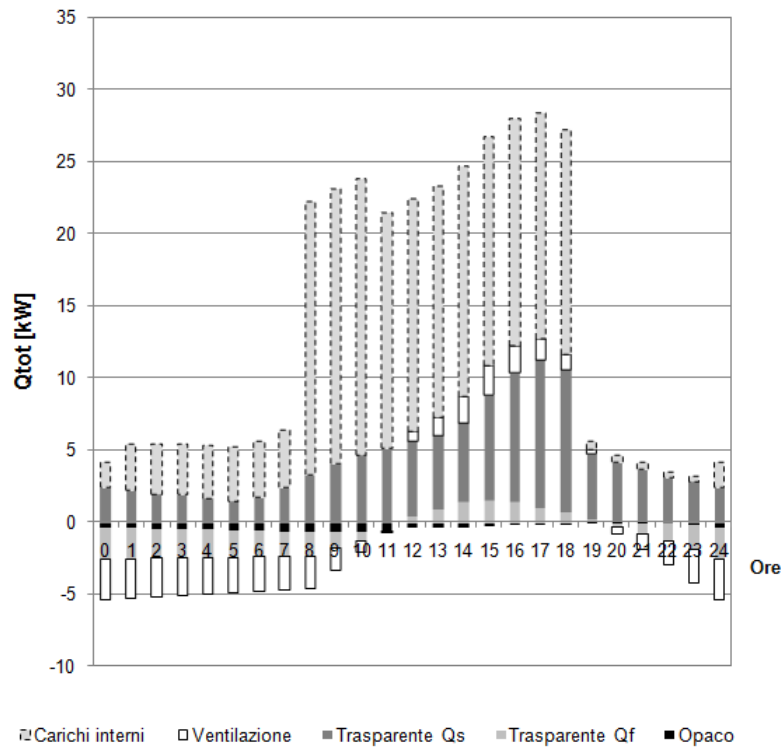


Grafico 10 - Q<sub>cool</sub> [kW] Carico termico estivo, metodo Carrier

Si osserva che il picco massimo di potenza, e quindi il carico termico estivo calcolato attraverso il metodo Carrier, è 28 kW raggiunto alle ore 17. Si nota inoltre che il contributo più rilevante è da attribuire ai carichi interni.

### 3.2.2 Carico estivo di progetto secondo la SIA 70

Il metodo di calcolo presentato nella norma SIA 70 del 1983 è molto simile al metodo precedente. La differenza principale consiste nel fatto che il metodo di Carrier è calibrato sull'Italia e questo sulla Svizzera.

Anche in questo caso non si considerano i carichi latenti e lo scopo è l'individuazione dei carichi estivi massimi dell'edificio in un giorno definito per ogni mese.

Per ciascun sito di riferimento è fornita la temperatura massima [°C] e l'escursione termica giornaliera [°C] dei mesi estivi di raffrescamento (SIA 70, Tabelle 1a e 1b), mentre l'irradianza areica [W/m<sup>2</sup>] (SIA 70, Tabella 1.2), l'altezza solare e l'azimut sono considerati uniformi a livello nazionale e fanno riferimento ad un sito a 47° Lat. N (Svizzera Centrale) e 400 m s.l.m.

I valori orari di irradianza solare, dalle 06:00 alle 18:00, sono forniti per le sole giornate di riferimento di ogni mese e sono relativi agli otto orientamenti verticali principali (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) ed all'esposizione orizzontale.

L'irradianza globalmente incidente su una superficie è calcolata come somma dei contributi solari diretti, diffusi dal cielo e riflessi dall'ambiente circostante.

$$G = (I + H) + R = T + R$$

La norma fornisce l'irradianza totale (somma di quella diretta e di quella diffusa dalla volta celeste), mentre resterebbe da calcolare il contributo riflesso, che dipende dall'albedo e dall'inclinazione della superficie interessata rispetto all'orizzontale. Nei calcoli per il dimensionamento dell'impianto di raffrescamento viene però trascurata la componente riflessa e si ipotizza che le aree soleggiate siano soggette alla sola irradianza totale e quelle in ombra alla sola irradianza diffusa dalla volta celeste.

Al fine di tenere conto sia del flusso termico, dovuto alla differenza di temperatura tra esterno ed interno, sia del contributo dell'irraggiamento solare, la trasmissione attraverso le chiusure esterne non trasparenti è calcolata utilizzando una temperatura fittizia  $\Delta T_{ki}$  (SIA 70, Tabelle 5.3 e 5.5), concettualmente equivalente alla  $\Delta T_{eq}$  del metodo Carrier.

Tale valore è fornito, ora per ora e per le stesse esposizioni di cui sopra, a livello nazionale e per i mesi di luglio e settembre in funzione della classe delle pareti e del tetto dell'edificio. Le classi vengono identificate in relazione alla trasmittanza termica [W/(m<sup>2</sup>K)] ed alla massa areica [kg/m<sup>2</sup>] delle singole strutture. In questo caso vi è un parametro in più rispetto al metodo Carrier, che si limita a differenziare i valori in base alla sola massa superficiale delle strutture.



Il valore di riferimento deve essere incrementato di 1°C per il mese di luglio e sommato alla differenza tra la temperatura media mensile esterna locale e quella di set-point interna:

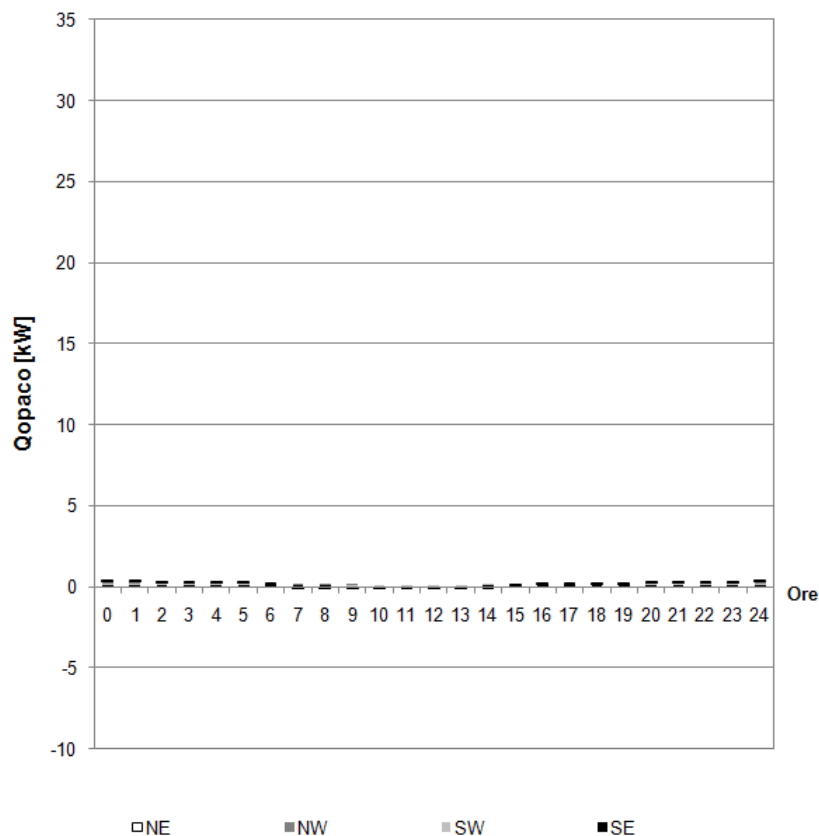
$$\Delta T_{kl\_eff} = \Delta T_{kl} + 1 + T_{am} - T_{int} [^{\circ}C]$$

Per il calcolo della trasmissione attraverso le superfici opache non è quindi necessario conoscere l'effettivo andamento orario della temperatura esterna.

Analogamente al metodo Carrier, anche quello descritto dalla SIA 70 prevede l'analisi degli elementi opachi (anche in questo caso non si considera la copertura), degli elementi trasparenti, della ventilazione e dei carichi interni.

Facendo dunque riferimento allo stesso modello dell'edificio utilizzato per il calcolo attraverso il metodo Carrier, si riportano di seguito le analisi effettuate per la stima del carico termico estivo, a partire dall'analisi degli elementi opachi che vengono valutati secondo la seguente espressione:

$$Q_{AW} = A \cdot U \cdot \Delta T_{kl\_eff} \cdot f_{col} [W]$$



**Grafico 11 - Q<sub>AW</sub> [kW] Prospetto globale parti opache, metodo SIA 70**

Anche questo metodo, per quanto riguarda gli scambi termici attraverso le finestre, trascura i processi di accumulo termico nella massa del vetro e fornisce fattori di attenuazione (SIA 70, Tabella 5.13) per ridurre il contributo dovuto all'irraggiamento in funzione delle diverse tipologie di schermatura interna o esterna e delle differenti vetrazioni.

I fattori di accumulo (SIA 70, Tabelle 5.14 e 5.15) sono dati in funzione della presenza o meno di schermature interne o tendaggi e della massa di accumulo disponibile rispetto alla superficie netta del locale. Come nel metodo Carrier, si considera attivo in questo processo l'intero spessore delle chiusure verso l'esterno e il terreno e metà di quello delle partizioni interne tra locali climatizzati. Nel caso in cui vi sia uno strato di isolante, il calcolo dello spessore attivo termina con esso.

Gli elementi finestrati sono valutati quindi attraverso le seguenti equazioni:

$$Q_F = A_F * U_F * (T_{ext}(t) - T_{int})$$

$$Q_{FS} = G * A_{glass} * f_i * s_F [W]$$

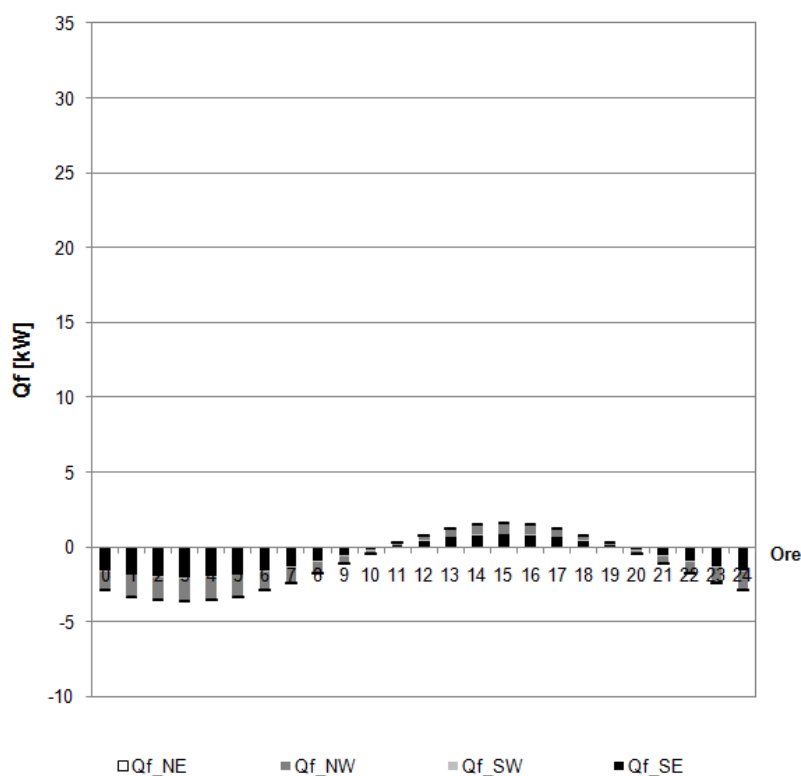
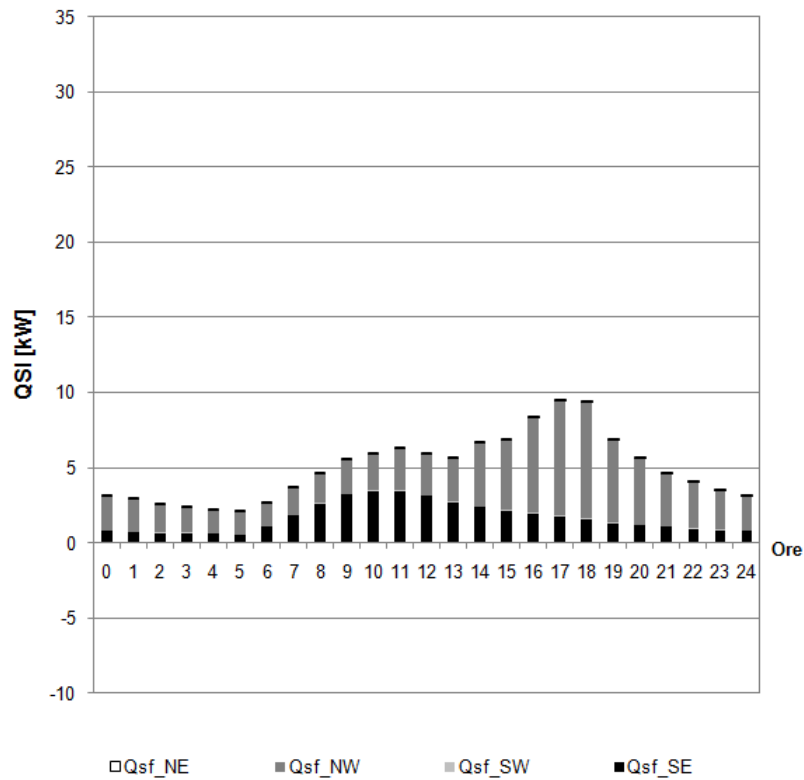


Grafico 12 -  $Q_f$  [kW] Potenza di trasmissione attraverso i serramenti, metodo SIA 70

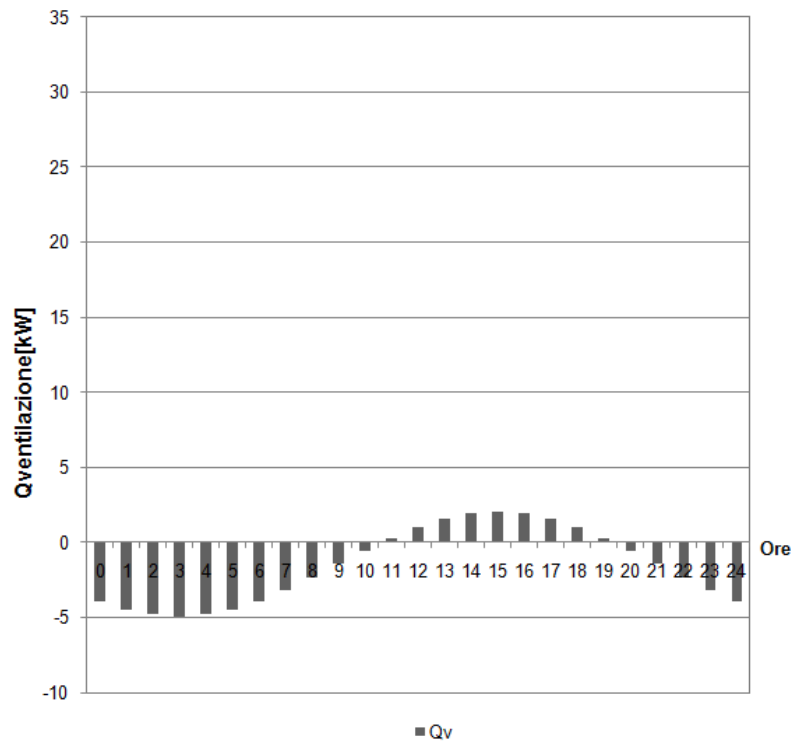


**Grafico 13 - Q<sub>fs</sub> [kW] Carico solare interno, metodo SIA 70**

Nel calcolo eseguito si è tenuto conto anche del contributo della ventilazione, che è stato calcolato come:

$$Q_v = c_p \cdot V_{\text{netto}} \cdot n \cdot (T_{\text{ext}}(t) - T_{\text{int}}) \text{ [W]}$$

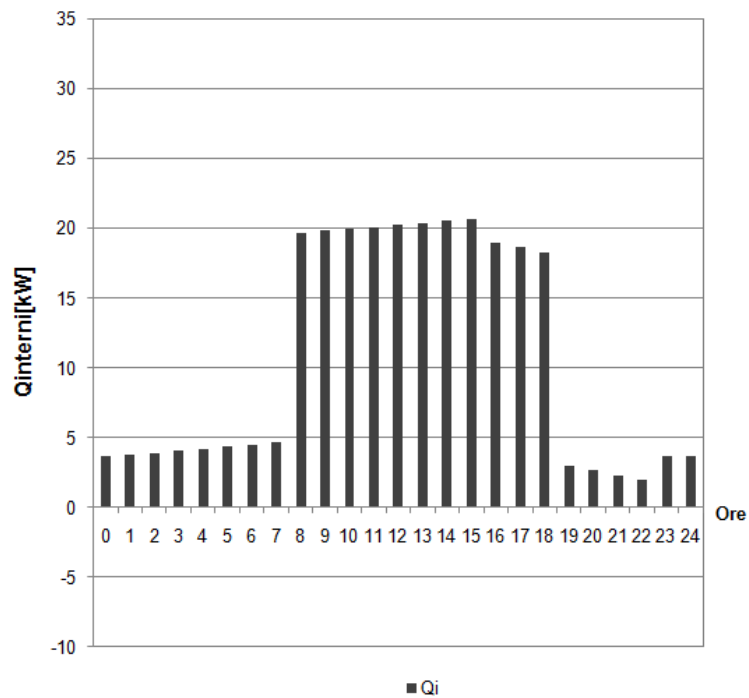
Dove le condizioni di calcolo sono analoghe a quelle utilizzate nel calcolo attraverso il metodo Carrier: il volume netto è pari a 2'416 m<sup>3</sup>; n è il numero di ricambi, pari a 0.5 1/h; T<sub>int</sub> [°C] è la temperatura interna pari a 26°C.



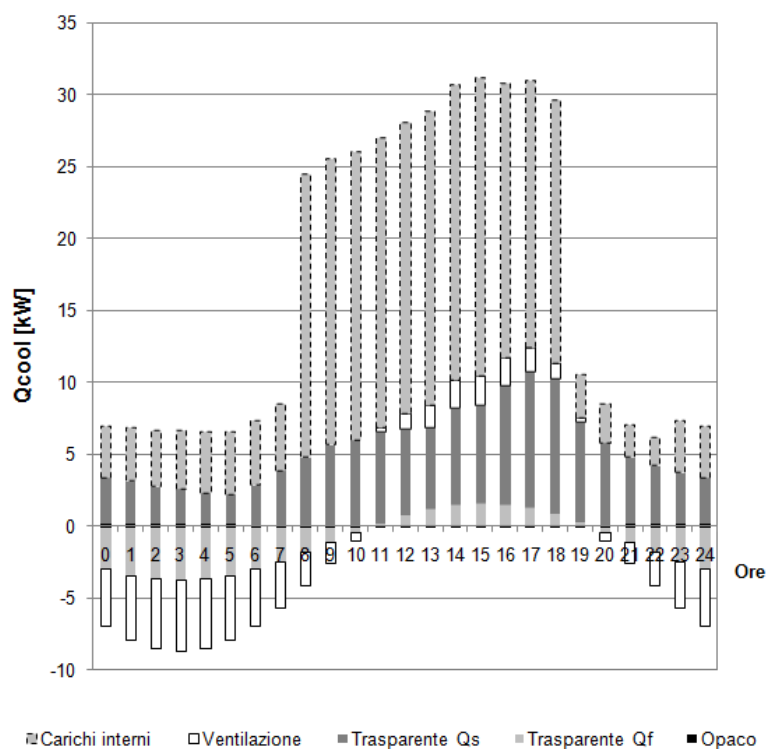
**Grafico 14 - Qv [kW] Carico di ventilazione, metodo SIA 70**

Rispettando le stesse ipotesi utilizzate nel metodo Carrier (vedi Tabella 15), i carichi interni sono stati valutati secondo la seguente espressione:

$$Q_i = Q_{max} * SB [W]$$



**Grafico 15 - Qi [kW] Prospetto globale carichi interni, metodo SIA 70**



**Grafico 16 - Q<sub>cool</sub> [kW] Carico termico estivo, metodo SIA 70**

Si nota che il massimo valore raggiunto, e quindi il carico termico estivo calcolato attraverso il metodo della SIA 70, è 31 kW raggiunto alle ore 15.

### 3.2.3 Metodo Carrier vs SIA 70

Il calcolo del carico termico estivo, relativo all'edificio in esame, è stato effettuato con entrambi i metodi considerando solamente gli uffici (e quindi il piano terra e il primo piano) in quanto unica destinazione d'uso in cui è stato previsto un sistema di raffrescamento estivo. In Tabella 16 è illustrato per punti il percorso utilizzato dai due metodi: in entrambi i casi sono stati analizzati gli elementi opachi verticali, gli elementi traslucidi, la ventilazione e i carichi interni; le formule utilizzate sono state descritte in precedenza ma si sono volute evidenziare in rosso le grandezze caratteristiche di ogni metodo e in azzurro i dati di input esterni necessari per i calcoli: i valori orari della temperatura esterna ( $T_{ext}$  [°C]) e l'irradianza solare media oraria globale per le varie esposizioni ( $G$  [W/m<sup>2</sup>]).

CARRIER		SIA 70
$Q_{AW} = A \cdot U \cdot \Delta T_{eq} \text{ [W]}$ <p><math>\Delta T_{eq}</math>: valore orario tabellare (Tab. 3.8), dipende da:  - orientamento;  - massa areica elemento considerato [kg/m<sup>2</sup>].</p>	Opaco verticale	$Q_{AW} = A \cdot U \cdot \Delta T_{kl\_eff} \cdot f_{col} \text{ [W]}$ $\Delta T_{kl\_eff} = \Delta T_{kl} + 1 + T_{am} - T_{int}$ <p><math>\Delta T_{kl}</math>: valore orario tabellare (Tab. 5.3), dipende da:  - mese in analisi (luglio o settembre);  - categoria parete (in base a trasmittanza termica U [W/m<sup>2</sup>] e massa areica [kg/m<sup>2</sup>]);  - orientamento.  1: fattore di correzione per il mese di luglio.  <math>T_{am} = T_{ext\_max} - (\Delta t_{day}/2)</math></p>
$Q_f = A_f \cdot k \cdot (T_{ext} - T_{int}) \text{ [W]}$		$Q_f = A_f \cdot k \cdot (T_{ext} - T_{int}) \text{ [W]}$
$Q_{si} \text{ [W]} = g \cdot G_{max} \cdot A_{glass} \cdot SC \cdot FA \text{ [W]}$ <p>SC: shading coefficient della finestra (= 1 se non schermata, &lt; 1 se schermata);  FA: fattore di accumulo; valore orario tabellare (Tab. 3.17), dipende da:  - numero ore di funzionamento dell' impianto (24 h, 16 h, 12 h);  - schermature (esterne e non schermato o interne);  - orientamento;  - massa areica di accumulo per m<sup>2</sup> di pavimento.</p>	Finestre	$Q_{fs} = G_{max} \cdot A_{glass} \cdot f_f \cdot S_F \text{ [W]}$ <p><math>f_f</math>: fattore di schermatura; valore tabellare (Tab. 5.13), dipende da:  - presenza della schermatura;  - tipologia di vetrazione.  <math>S_F</math>: fattore di accumulo; valore orario tabellare (Tab. 5.15) in funzione dell'esposizione.</p>
$Q_v = 0.34 \cdot V_{netto} \cdot ric \cdot (T_{ext} - T_{int}) \text{ [W]}$	Ventilazione	$Q_v = 0.34 \cdot V_{netto} \cdot ric \cdot (T_{ext} - T_{int}) \text{ [W]}$
$Q_i = Q_{max} \cdot FA_i \text{ [W]}$ <p><math>FA_i</math>: valore orario tabellare (Tab. 3.22) del fattore di accumulo per illuminazione artificiale, dipende da:  - ore di accensione dell'impianto di illuminazione;  - tipologia di lampada;  - ore di funzionamento dell'impianto di condizionamento (24, 16, 12);  - massa areica della struttura su m<sup>2</sup> di pavimento.</p>	Carichi interni	$Q_i = Q_{max} \cdot SB \text{ [W]}$ <p>SB: valore orario tabellare (estrapolato dalle Tab. 4.11a, b, c) del fattore di accumulo, dipende da:  - tipologia dell'illuminazione;  - spessore della solaio e sua massa areica;  - ore di accensione dell'impianto di illuminazione.</p>

**Tabella 16 - Confronto metodo Carrier e metodo SIA 70**

Per uniformare i calcoli e rendere possibile un confronto tra i due metodi, si è deciso di utilizzare le stesse forzanti esterne, vale a dire la temperatura dell'aria esterna e l'irradianza solare.

La tabella 1-1b della SIA 70 fornisce la temperatura esterna massima estiva per la stazione di riferimento Locarno-monti ( $T_{ext\_max}$ ) pari a 31 °C, e l'escursione termica media giornaliera ( $\Delta t_{day}$ ) pari a 17 °C, dalle quali si ricava poi la temperatura esterna media  $T_{am} = T_{ext\_max} + (\Delta t_{day}/2)$ .

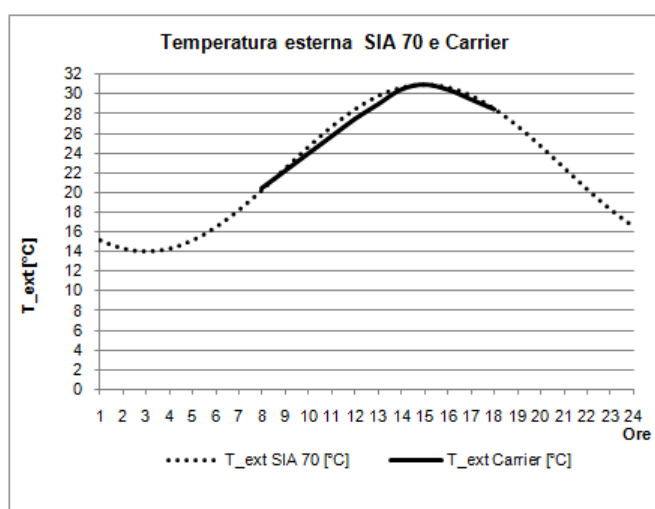
Poiché nel calcolo dei contributi di ventilazione e di trasmissione attraverso le superfici vetrate è utilizzata la temperatura esterna oraria giornaliera, da questi dati di partenza è stato possibile

costruire l'andamento della temperatura esterna, approssimando la fluttuazione giornaliera della temperatura con una funzione sinusoidale:

- di periodo 24 ore;
- con picco massimo  $T_{ext\_max}$  raggiunto dopo il mezzogiorno (ipotesi: h. 15.00);
- con ampiezza pari all'escursione termica giornaliera  $\Delta t_{day}$  fornita dalla normativa;
- traslata verso l'alto di un valore pari alla temperatura esterna media  $T_{am}$ .

Il metodo Carrier, invece, fornisce dei fattori orari di correzione della temperatura (tab. 3.2) a partire dalla temperatura esterna massima (fornita sempre dalla SIA 70 e quindi pari a 31 °C) che si raggiunge alle ore 15.

I due andamenti sono stati confrontati nel grafico seguente:



**Grafico 17 - Confronto temperature esterne calcolate tramite metodo Carrier e metodo SIA 70**

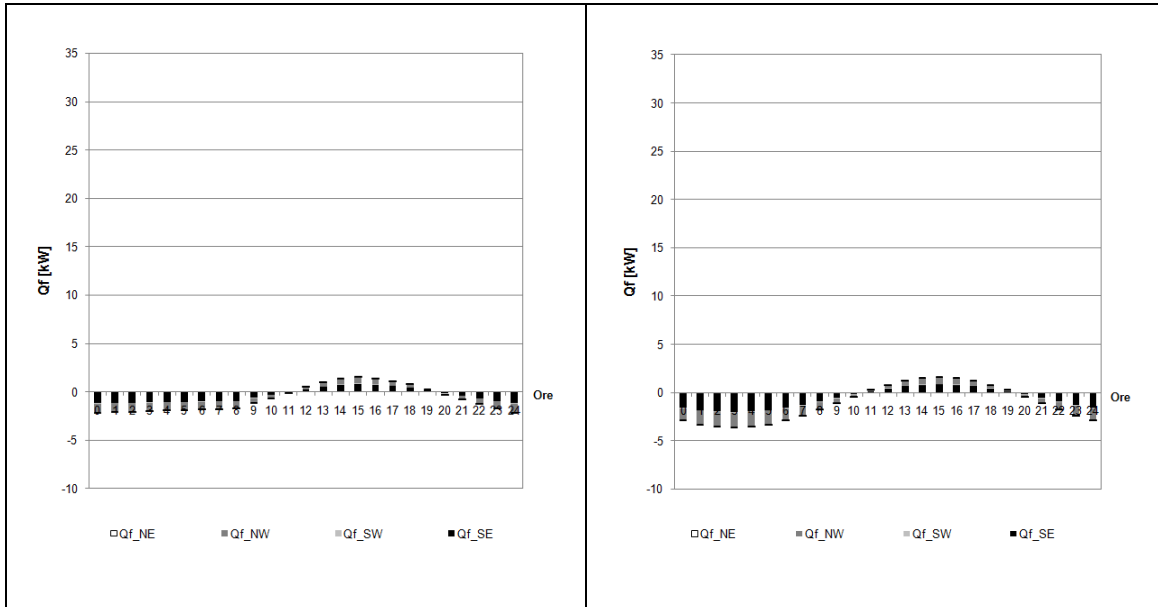
È possibile notare che tra le 08:00 e le 18:00, cioè l'intervallo orario significativo per l'analisi di potenza estiva in cui è notevole l'incidenza dell'irradianza solare, i due andamenti sono pressoché coincidenti. È stato quindi possibile utilizzare per ognuno dei due metodi di calcolo il proprio andamento di temperatura esterna.

Per quanto riguarda l'irradianza solare globale  $[W/m^2]$  per le varie esposizioni, sono stati utilizzati per entrambi i metodi i valori orari riportati nella tabella 1.2 della SIA 70 per il mese di luglio.

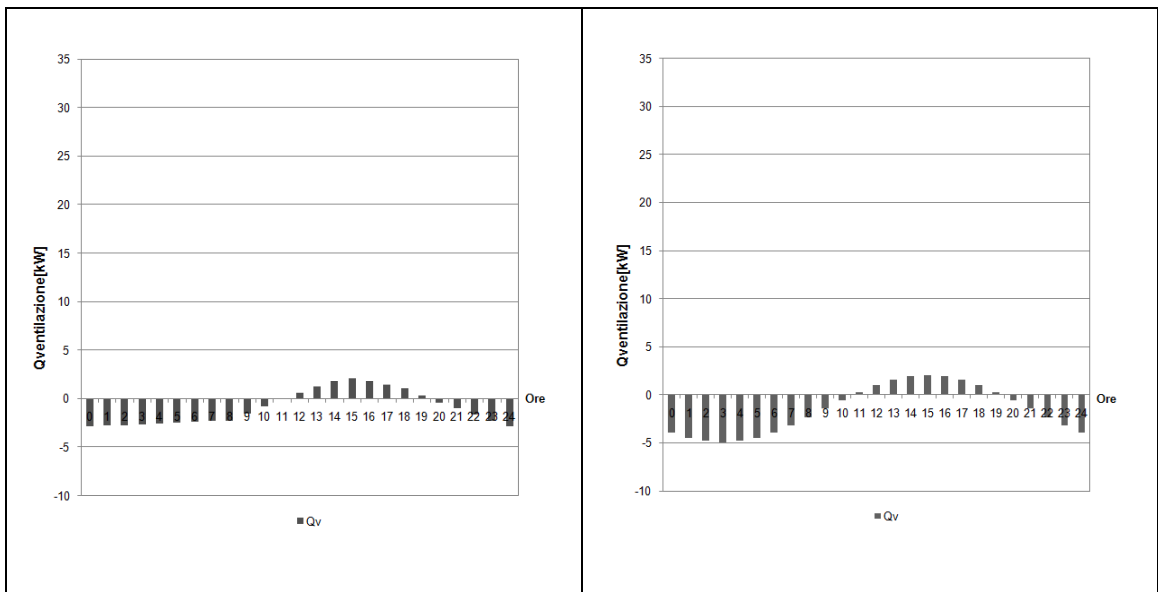
Sulla base di queste premesse, è possibile confrontare i due procedimenti mettendo in evidenza, nella Tabella 17, le grandezze caratteristiche di ogni metodo e prendendone in considerazione ogni singola voce.

Metodo Carrier	Metodo SIA 70
$\Delta T_{eq}, SC, FA, FA_j$	$\Delta T_{kl\_eff}, f_i, s_{F_i}, SB$

**Tabella 17- Grandezze caratteristiche del metodo Carrier e della SIA 70**



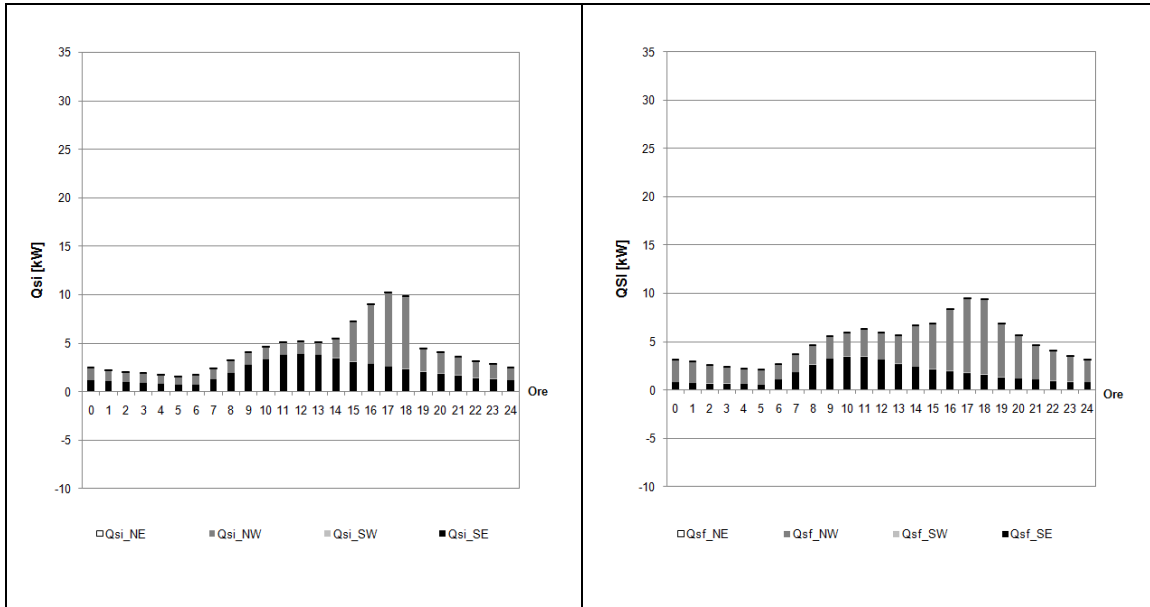
**Tabella 18 - Confronto tra  $Q_f$  [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70**



**Tabella 19 - Confronto tra  $Q_v$  [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70**

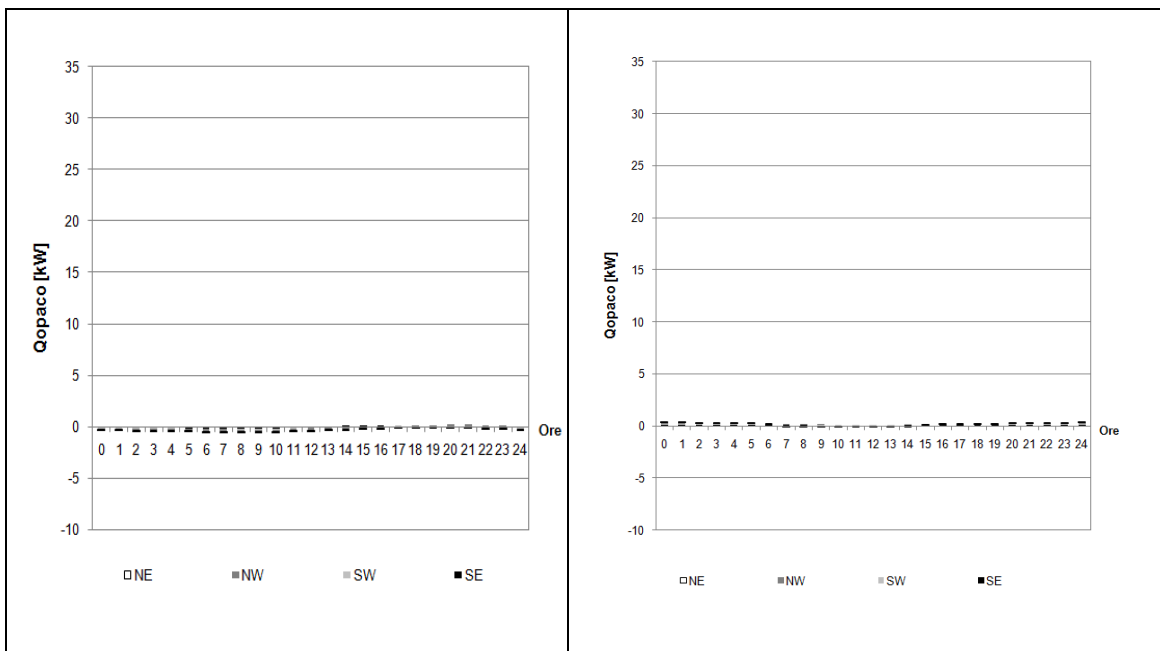
Si nota che le grandezze che dipendono solamente dalla temperatura esterna ( $Q_f$  per le finestre e  $Q_v$  per la ventilazione) hanno un andamento analogo per entrambi i metodi se si considera l'intervallo orario tra le 08:00 e le 18:00.





**Tabella 20 - Confronto tra  $Q_s$  [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70**

Nonostante nel calcolo del  $Q_s$  delle finestre, che dipende dall'irradianza solare massima del mese di luglio, entrino in gioco i fattori correttivi per la schermatura e per l'accumulo, caratteristici dei singoli metodi, si osserva che anche in questo caso l'andamento ottenuto per i due metodi risulta molto simile.

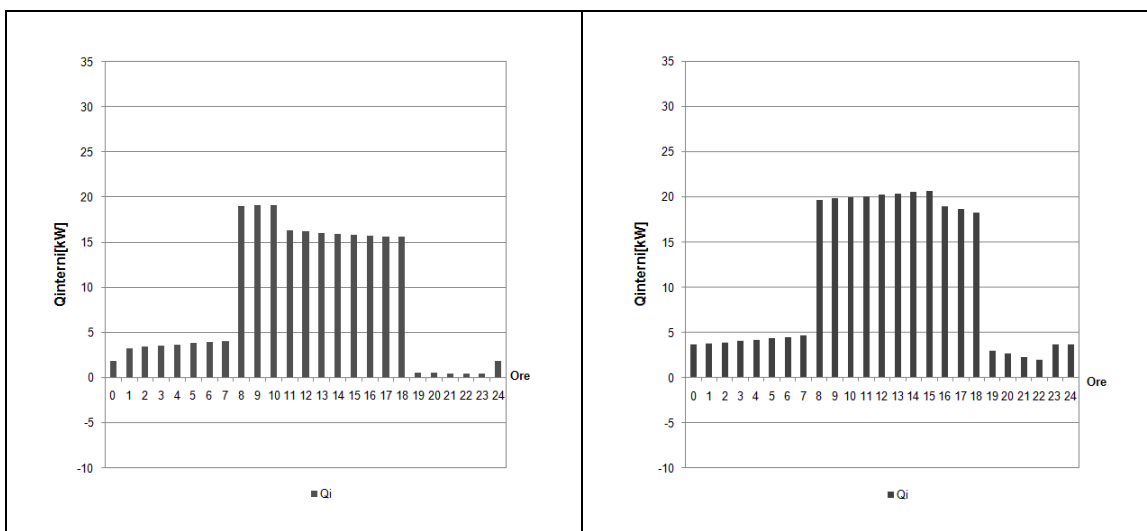


**Tabella 21 - Confronto tra  $Q_{Aw}$  [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70**

Risultano invece differenti tra loro i contributi degli elementi opachi. Questo è dovuto al fatto che le differenze di temperatura equivalente, da cui i  $Q_{aw}$  dipendono strettamente, sono diverse per i due metodi: per il metodo Carrier, i valori di  $\Delta T_{eq}$  risultano negativi nelle ore in cui la temperatura esterna è minore di quella interna (imposta pari a 26°C); per il metodo della SIA 70

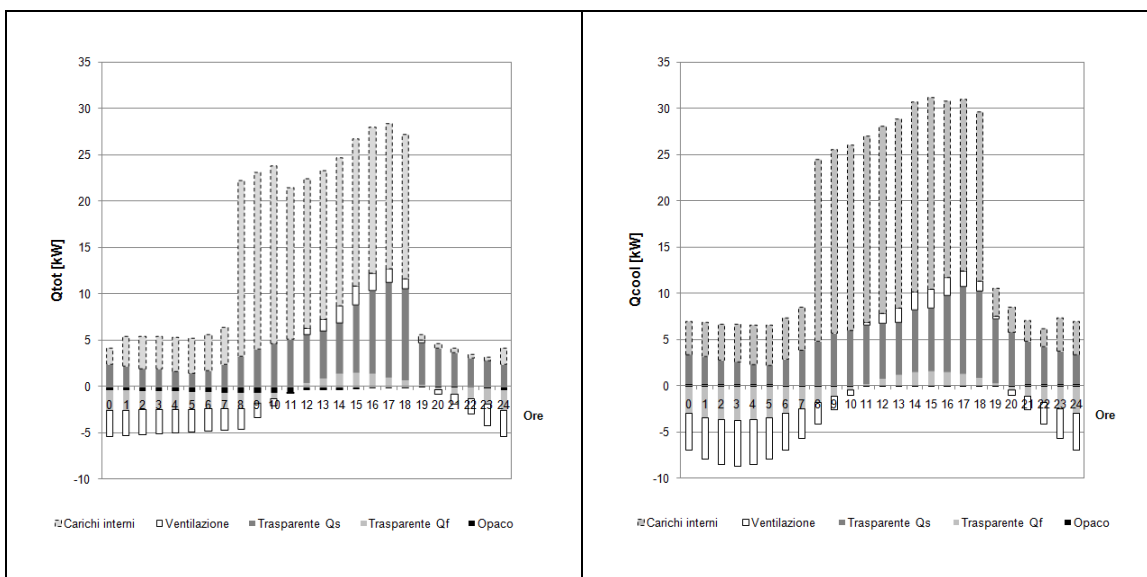
invece, i valori di  $\Delta T_{kl\_eff}$  sono sempre positivi. Bisogna inoltre sottolineare il fatto che la  $\Delta T_{eq}$  del metodo Carrier dipende solamente dalla massa areica dell'elemento, mentre la  $\Delta T_{kl}$  del metodo SIA 70 è in funzione della categoria della parete in base alla massa areica e alla trasmittanza della stessa.

Poiché l'incidenza del flusso termico attraverso gli elementi opachi sul carico termico complessivo è molto bassa, questo scostamento tra i due metodi non incide in maniera rilevante sul risultato finale.



**Tabella 22 - Confronto tra  $Q_i$  [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70**

Anche l'andamento dei carichi interni dei due metodi risulta simile ma non identico. Dal momento che il carico interno massimo è lo stesso per i due metodi, lo scostamento dipende dal fatto che questo è moltiplicato per dei fattori correttivi che tra loro sono disuguali.



**Tabella 23 - Confronto tra  $Q_{cool}$  [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70**

Nonostante i contributi degli elementi opachi e dei carichi interni siano differenti, i valori di carico termico estivo risultano confrontabili poiché sono stati ottenuti 28 kW secondo il metodo Carrier e 31 kW secondo il metodo descritto dalla SIA 70 che, normalizzati rispetto alla superficie netta calpestabile degli uffici di 912 m<sup>2</sup>, risultano rispettivamente pari a 31 W/m<sup>2</sup> e 34 W/m<sup>2</sup>.

## 4. Gli impianti

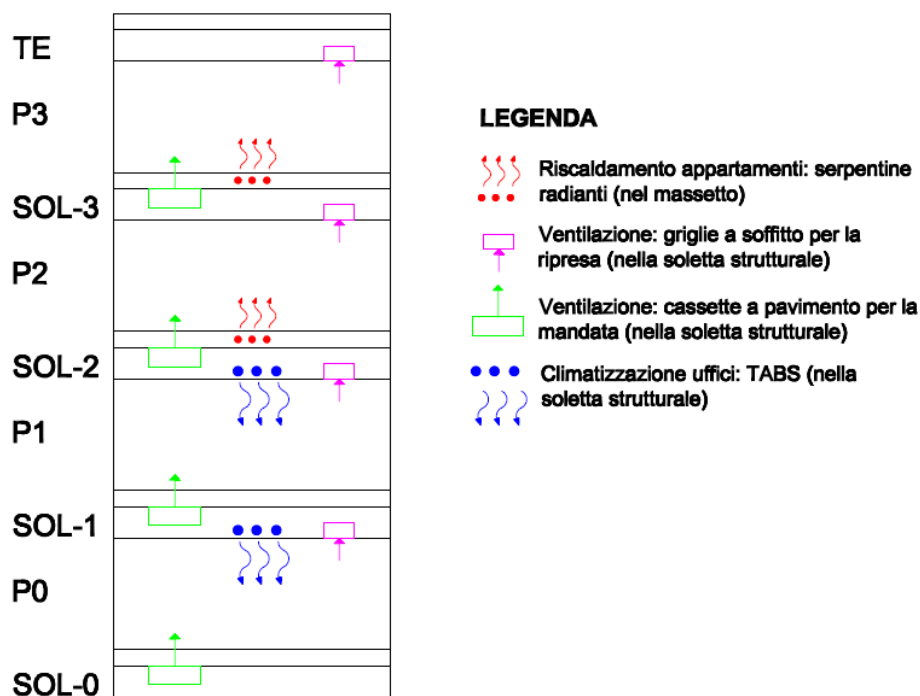
Dopo aver illustrato l'inquadramento normativo, descritto l'edificio in esame e calcolato i fabbisogni di energia e potenza, si effettua in questo capitolo l'analisi particolareggiata dei sistemi impiantistici che completano la descrizione dell'intero stabile: vengono dapprima presi in considerazione i terminali degli impianti di climatizzazione relativi agli uffici ed agli appartamenti; sono poi illustrati i terminali dell'impianto di ventilazione separatamente per le due destinazioni d'uso e infine viene analizzato il funzionamento dell'impianto di generazione riportando anche due report fotografici riguardanti l'esecuzione dei lavori e l'installazione dei macchinari.

### 4.1 Terminali degli impianti climatizzazione

Nell'edificio in esame gli impianti radianti, che mirano a bilanciare il solo carico sensibile, sono accoppiati a sistemi di ventilazione naturale o ibrida, che operano con portate di aria limitate a quelle strettamente necessarie a garantire la qualità dell'aria interna e a ridurre il carico latente. Poiché l'edificio non è caratterizzato da un'unica destinazione d'uso, ma in parte è adibito ad uffici e in parte a residenze, è stato deciso in fase progettuale di differenziare e separare gli impianti di climatizzazione.

I terminali degli impianti di ventilazione, riscaldamento e raffrescamento (solo per gli uffici) sono posti nelle solette strutturali, previa predisposizione progettuale, e nei massetti di alleggerimento dei solai stessi.

Considerando solamente i livelli fuori terra e partendo dal piano zero, si descrive ogni solaio e la propria predisposizione impiantistica.



### **Figura 17 – Sezione schematica dell'edificio in cui sono indicati i diversi terminali impiantistici presenti in ogni solaio**

- SOL-0: solaio che separa il piano interrato (P1) e il piano terra (P0)  
Vi hanno sede la distribuzione orizzontale dell'aria di mandata e le cassette a pavimento della ventilazione al piano P0.
- SOL-1: solaio che separa il piano terra (P0) e il primo piano (P1)  
Vi hanno sede il sistema a TABS per la climatizzazione del piano P0, le griglie a soffitto per l'aspirazione dell'aria esausta del piano P0, con i relativi connettori orizzontali, e le cassette a pavimento per la mandata dell'aria di ventilazione al piano P1, con la corrispettiva rete orizzontale di distribuzione.
- SOL-2: solaio che separa il primo piano (P1) e il secondo piano (P2)  
Vi hanno sede il sistema a TABS per la climatizzazione del piano P1, le griglie a soffitto per l'aspirazione dell'aria esausta del piano P1, con i relativi connettori orizzontali, e le cassette a pavimento per la mandata dell'aria di ventilazione al piano P2, con la corrispettiva rete orizzontale di distribuzione.  
Nel massetto non strutturale, infine, sono collocate le serpentine a pavimento per il riscaldamento del piano P2.
- SOL-3: solaio che separa il secondo piano (P2) e il terzo piano (P3)  
Vi hanno sede le griglie a soffitto per l'aspirazione dell'aria esausta del piano P2, con i relativi connettori orizzontali, e le cassette a pavimento per la mandata dell'aria di ventilazione al piano P3, con la corrispettiva rete orizzontale di distribuzione.  
Nel massetto non strutturale sono collocate le serpentine a pavimento per il riscaldamento del piano P3.
- TE: solaio di copertura che separa il terzo piano (P3) dall'esterno  
Vi hanno sede solamente le griglie a soffitto per l'aspirazione dell'aria esausta del piano P3 con i corrispettivi connettori orizzontali.

I terminali degli impianti di climatizzazione sia per gli uffici sia per la destinazione d'uso residenziale sono sistemi radianti. Un pannello radiante è “una superficie di materia solida incorporante dei circuiti atti al trasporto di materia fluida” e collegata ad “un dispositivo atto a generare energia termica o frigorifera.” [7]

I sistemi radianti funzionano tramite lo scorrimento al loro interno di un fluido termovettore (solitamente acqua) che, per poter far funzionare il sistema radiante nei range di temperatura ottimali, deve poter essere riscaldato o raffreddato.

I fattori fondamentali che influiscono sulla capacità di raffrescamento e riscaldamento di un impianto radiante sono:

- coefficiente di scambio termico totale (considerando sia convezione sia irraggiamento) tra la superficie radiante e l'ambiente circostante;
- minima e massima temperatura superficiale, dipendenti dalle condizioni di comfort;
- punto di rugiada dell'ambiente;
- scambio termico tra serpentina e superficie radiante,
- emissività della superficie radiante;
- fattori di vista tra la superficie e le altre superfici e gli occupanti.

#### **4.1.1 Riscaldamento e raffrescamento radiante degli uffici**

Negli uffici sono stati installati pannelli radianti a soffitto con attivazione termica della massa che vengono impiegati sia per riscaldare sia per raffrescare, comunemente chiamati TABS (Thermally-Activated Building Systems).

Diversamente dai pannelli radianti tradizionali, questa tipologia di sistemi radianti, ad alta inerzia termica, mira a massimizzare le proprietà capacitive della parte strutturale dell'edificio.

Si tratta di tubazioni in materiale plastico annegate nel nucleo delle solette strutturali dell'edificio e installate in cantiere durante la costruzione dell'edificio.

Questi impianti sono caratterizzati da una risposta più dilatata nel tempo e non sono in grado di gestire rapidi cambiamenti nelle condizioni igrotermiche. La struttura massiva del sistema consente però di mantenere costante il comportamento termico dell'elemento per lunghi periodi. Il funzionamento è ad intermittenza e l'energia accumulata nelle ore di accensione viene gradualmente ceduta quando è spento.

A differenza dei comuni sistemi radianti, i TABS sono caratterizzati dalla non contemporaneità tra i profili di funzionamento dell'impianto di condizionamento e le richieste termiche dell'ambiente. Gli strati capacitivi, infatti, accumulano e rilasciano energia con dinamiche diverse rispetto alle richieste di carico da parte dell'ambiente. Proprio per questo è difficile determinare l'algoritmo di controllo del sistema il cui obiettivo dovrebbe essere quello di traslare i carichi verso le ore notturne, quando le tariffe elettriche sono più convenienti.

I principali vantaggi di questa tipologia impiantistica sono [10]:

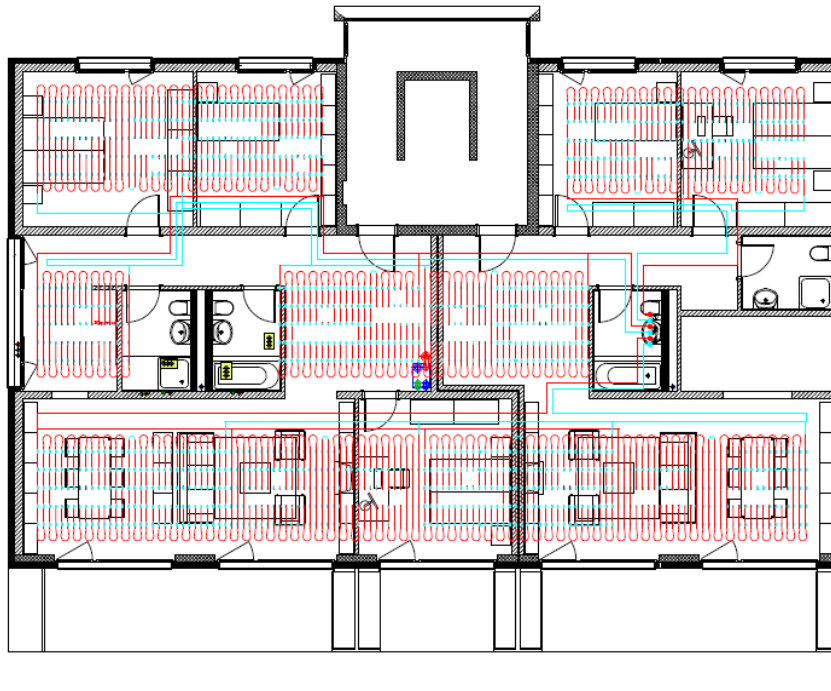
- richieste di raffrescamento distribuite su picchi più lunghi, con conseguente riduzione dei picchi di potenza e possibilità di impiegare impianti con taglie più piccole;
- piccole differenze tra la temperatura della superficie scaldata o raffrescata e l'ambiente, quindi è possibile utilizzare temperature di esercizio molto prossime a quelle dell'ambiente da condizionare. Questo si traduce in un significativo livello di autoregolazione e aumenta l'efficienza di pompe di calore, collettori solari, scambiatori;
- minori costi di installazione, esercizio e manutenzione rispetto agli impianti tradizionali.

D'altra parte l'impiego dei TABS è vincolato ad una serie di condizioni:

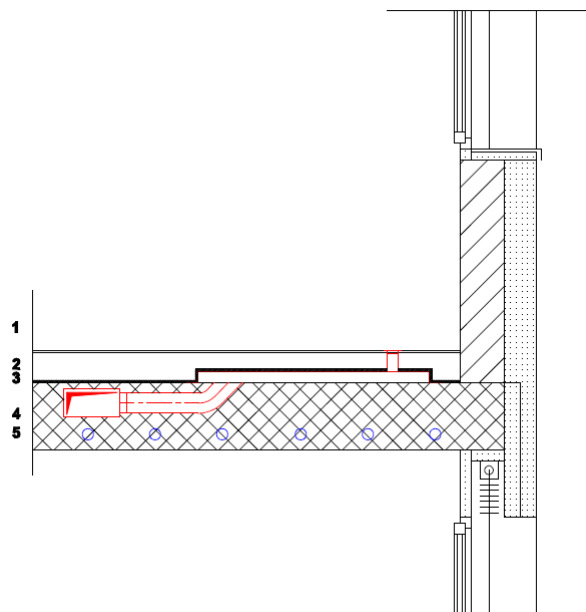
- installazione in soli edifici multipiano;
- impossibilità di utilizzare controsoffitti, quindi è necessario risolvere in altro modo i problemi acustici;
- potenzialità di raffrescamento relativamente bassa poiché è necessario evitare condensazione interstiziale o superficiale, quindi è fondamentale che l'edificio sia già di per sé energeticamente prestante, cioè che abbia buone caratteristiche di isolamento termico e che siano previsti schermi solari ed elementi di ombreggiatura.

Il sistema può essere controllato agendo sulla portata (pompa), sulla temperatura dell'acqua (miscelazione), o sul tasso di ventilazione.

A causa della grande inerzia termica del sistema, però, la temperatura interna non può essere mantenuta ad un livello costante, ma oscilla all'interno di un certo range, e può uscire dall'intervallo di comfort termico. Non risulta conveniente quindi controllare il sistema per mezzo dei singoli ambienti.



**Figura 18 – Pianta del primo piano indicante la disposizione dei TABS**



- 1) Rivestimento
- 2) Massetto
- 3) Isolamento acustico
- 4) Struttura principale dell'edificio con integrazione impiantistica per la ventilazione
- 5) Tubi in plastica.

**Figura 19 – Particolare del solaio SOL-1 tra piano terra e primo piano indicante i terminali del sistema di climatizzazione e ventilazione**

Nel solaio, di circa 25 cm di spessore, sono annegate tubazioni in materiale plastico di 20 mm di diametro. La distanza tra le tubazioni è di circa 150 mm.

#### 4.1.2 Riscaldamento radiante degli appartamenti

Nelle abitazioni vi sono pannelli radianti a pavimento a bassa inerzia termica, che permettono una rapida e semplice regolazione dell'impianto, essendo caratterizzati da un tempo di risposta breve. Possono essere controllati autonomamente dagli utenti monitorando la temperatura dei singoli ambienti o delle singole zone.

Questa tipologia di sistemi radianti mira a minimizzare l'interferenza termica tra gli elementi emettenti il flusso e la parte strutturale dell'edificio. A questo scopo uno strato di isolante termico è posizionato tra la struttura principale dell'edificio e la serpentina.

Sono utilizzati unicamente per il riscaldamento.

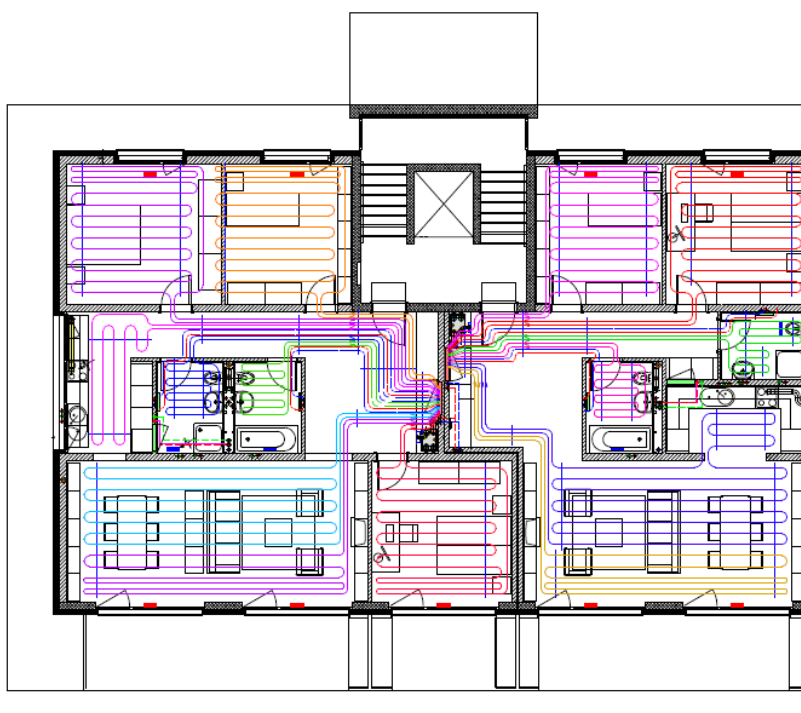


Figura 20 - Pianta del terzo piano indicante la disposizione dei TABS

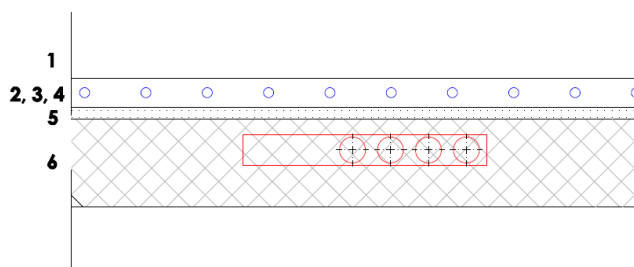


Figura 21 - Particolare del solaio SOL-3 tra il secondo e il terzo piano indicante i terminali del sistema di climatizzazione e ventilazione



- 1) Rivestimento
- 2) Massetto
- 3) Tubi in plastica
- 4) Piastra conduttiva
- 5) Isolamento termico ed acustico
- 6) Struttura principale dell'edificio con integrazione impiantistica per la ventilazione.

Le tubazioni sono poggiate su una piastra conduttiva a contatto con lo strato di isolante. La piastra serve ad uniformare il processo di scambio termico con il massetto sovrastante. È un sistema a bassa inerzia termica.

#### **4.1.3 Vantaggi e svantaggi dei sistemi a pannelli radianti**

I sistemi a pannelli radianti permettono, a parità di temperatura dell'aria, di ottenere una maggior sensazione di benessere ed una riduzione dei depositi di polvere in virtù dei modesti moti convettivi dell'aria e delle basse temperature superficiali rispetto ai sistemi tradizionali a radiatori.

Questi impianti, da soli o combinati con altri, possono essere utilizzati sia per il riscaldamento invernale, con fluido vettore a bassa temperatura (serpentine 45-35°C e TABS 30-26°C), sia per il raffrescamento estivo, con fluido vettore ad alta temperatura (16-20°C). Con il sistema radiante, si raggiunge la massima efficienza di caldaie, pompe di calore, chiller e pannelli solari termici.

Grazie alla loro elevata inerzia termica, i TABS possono lavorare durante la notte, quando le tariffe energetiche sono più convenienti.

Usare sistemi a bassa temperatura in riscaldamento e ad alta temperatura in raffrescamento è positivo per le perdite di distribuzione e per l'efficienza del sistema di generazione. L'utilizzo di serpentine radianti per l'abbattimento di gran parte del carico sensibile permette, inoltre, di realizzare impianti per il condizionamento dell'aria molto semplici e con portate d'aria contenute entro limiti ragionevoli.

Il sistema presenta inoltre una notevole inerzia (maggiore per i TABS e minore per le altre tipologie), che permette di ottenere un'erogazione continua ed uniforme del calore con vantaggi simili a quelli di un impianto a funzionamento continuo anche quando il funzionamento è ad intermittenza notturna.

Un limite notevole di questo sistema è che è in grado di agire sulla sola componente sensibile del carico termico tramite componente radiativa e convettiva. Il sistema di riscaldamento e raffrescamento radiante è stato quindi abbinato a sistemi di ventilazione al fine di garantire un adeguato numero di ricambi d'aria.

Un'altra criticità è l'elevata variabilità delle sue caratteristiche che rende impossibile determinarne la resa "a monte." Questo dato, infatti, può essere ricavato solo quando si conoscono tutti i parametri costruttivi degli elementi in cui verranno incorporati i pannelli e la posizione degli arredi, che gioca un ruolo fondamentale, e non è prevedibile a priori. L'elevata capacità di accumulo termico delle strutture, poi, rende difficile il controllo dinamico del

funzionamento dell'impianto. A questo si aggiunge la difficoltà di intraprendere modifiche all'impianto quando l'edificio è ultimato.

Un'altra complicazione è data dall'impossibilità di mantenere una temperatura costante all'interno dei vari terminali. Nella migliore delle ipotesi, infatti, un pannello a pavimento potrebbe avere una resa compatibile con quella di una superficie a temperatura uniforme. Per ottenere questa condizione, però, si dovrebbero avere salti termici del fluido tendenti a zero, e quindi portate tendenti all'infinito, oppure superfici di scambio pressoché totali, a cui ci si può avvicinare solo con sistemi a piastra.

Infine, il controllo del rischio di condensa superficiale in estate è l'elemento base che lega tutte le tipologie di impianti radianti presenti in commercio. Per evitare problemi di condensa, le temperature superficiali minime devono essere sempre superiori alla temperatura di rugiada. Questo fattore limita in maniera rilevante la resa dei pannelli a meno che non vi sia un impianto di deumidificazione. La possibilità per il pannello di lavorare in continuità scaricando l'edificio nei periodi di minor carico, cioè di notte, compensa in parte questo fattore negativo.

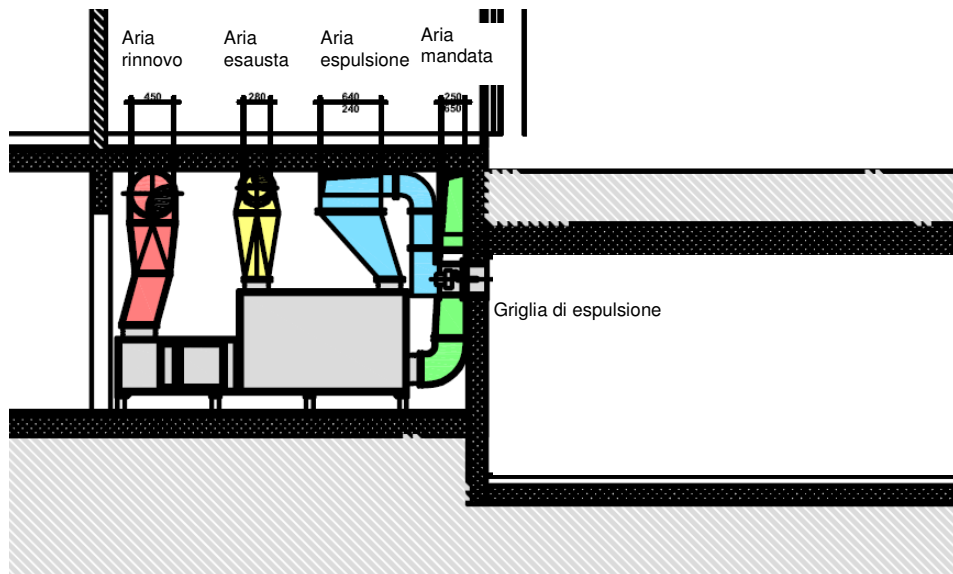
I pannelli radianti a pavimento, risultano in posizione favorevole per la cessione di calore, ma non per la sua sottrazione; inoltre la presenza di un pavimento molto freddo causerebbe un forte discomfort. Nell'edificio in esame, infatti, i terminali così posizionati vengono utilizzati solamente per il riscaldamento. I pannelli a soffitto, invece, risultano in posizione favorevole per la sottrazione del calore in ambiente.

## **4.2 Terminali dell'impianto di ventilazione**

Data l'importante ermeticità dell'involucro, risulta indispensabile rinnovare sistematicamente l'aria per eliminare umidità e sostanze inquinanti attraverso una ventilazione meccanica controllata. All'interno dello stabile Parco Lunghi, tale rinnovo dell'aria viene eseguito in modo differente a seconda della destinazione d'uso considerata (uffici e appartamenti).

### **4.2.1 Impianto di ventilazione degli uffici**

Per gli uffici, data la presenza di numerosi apparecchi ed utenti, è stato predisposto un sistema di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso, con mandata negli uffici e ripresa dai bagni. L'aria di mandata viene trattata tramite due unità poste al piano interrato, ognuna delle quali è provvista di un recuperatore rotativo.



**Figura 22 – Sezione del locale tecnico nel piano interrato in cui è posta l'unità di trattamento dell'aria**

Facendo riferimento alla Tavola 4: l'aria di rinnovo viene prelevata dall'esterno mediante una serranda posta in copertura (A), viene filtrata (B) e mandata al recuperatore rotativo (C) in cui, in stagione invernale, viene pre-riscaldata grazie ad uno scambio sensibile con il flusso d'aria in uscita; viene poi spinta da un ventilatore (D) e viene trattata in modo differente a seconda della stagione.

Nel periodo invernale, l'aria in uscita dal recuperatore risulta pre-riscaldata e non viene poi umidificata poiché non è presente una sezione atta a questo scopo; passa dunque direttamente per la batteria calda (G) raggiungendo così temperatura e umidità richieste. A questo punto il flusso d'aria attraversa un silenziatore (H) per poi lasciare il piano interrato ed essere trasportata, per mezzo di canali montanti, posti in appositi cavedi, fino ai piani desiderati (P0 e P1) e poi nei canali di distribuzione orizzontale integrati nel getto della soletta. La mandata negli uffici avviene poi attraverso diffusori lineari a pavimento (I) e la ripresa dai bagni attraverso bocchette poste nel controsoffitto (J). L'aria di ripresa viene poi fatta passare attraverso una serranda (K) e un'altra zona filtrante (L). Nel recuperatore rotativo (M), vi è lo scambio termico con il flusso d'aria proveniente dall'esterno; questo processo ha un rendimento nominale del 76%. Infine, tramite un ventilatore (N), l'aria viene espulsa nel garage attraverso una serranda (O).

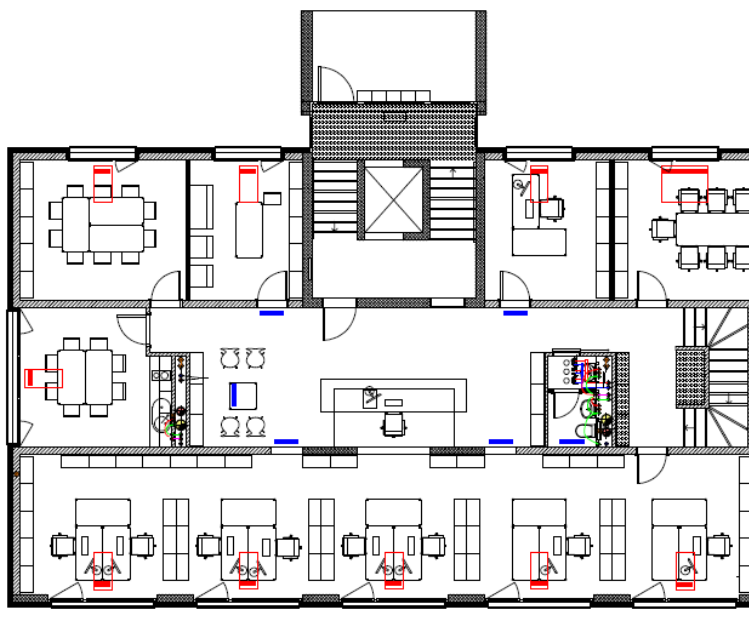
In estate l'aria esterna di rinnovo compie un percorso simile a quello del periodo invernale, con la differenza che, in uscita dal recuperatore, viene raffreddata passando per la batteria fredda (E), provvista di un separatore di gocce per smaltire la formazione di condensa (F), ed eventualmente post-riscaldata, se necessario, tramite la batteria calda (G).

I recuperatori, sia quelli a flussi incrociati per gli appartamenti sia quelli rotativi per gli uffici, hanno un funzionamento ottimizzato: in inverno sono attivi con la funzione di pre-riscaldamento

dell'aria, mentre nella stagione estiva sono funzionanti quando la temperatura dell'aria esterna risulta essere di due gradi centigradi maggiore di quella dell'aria interna e quindi è possibile che di notte non siano attivi.

Di seguito vengono riportate le piante con la distribuzione dell'impianto di ventilazione negli uffici (P0 e P1):

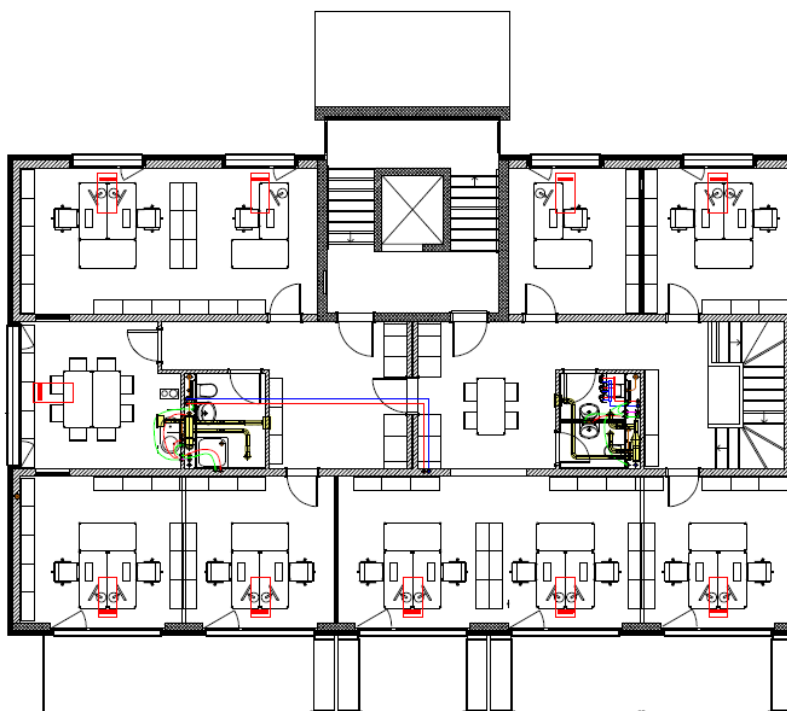
PIANO TERRA (P0):



**Figura 23 – Pianta del piano terra (P0) indicante le bocchette di mandata e di ripresa**

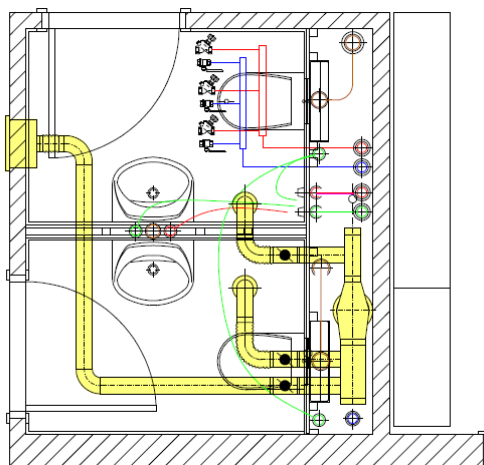
In rosso sono riportate le cassette a pavimento per la mandata e in blu le griglie a soffitto per la ripresa, poste nell'atrio di ingresso e nel bagno.

PIANO PRIMO (P1):



**Figura 24 – Pianta del piano primo (P1) indicante le bocchette di mandata e di ripresa**

Per quanto riguarda il primo piano, in rosso sono riportate le cassette a pavimento per la mandata, mentre la ripresa viene effettuata dai bagni, attraverso griglie a soffitto e a parete colorate in giallo, come si può notare dal dettaglio seguente:



**Figura 25 – Dettaglio delle tubazioni di ripresa dell'aria poste nel bagno**

Le cassette a pavimento e le griglie a soffitto sono state previste e dimensionate, in fase progettuale, posizionate e integrate nella soletta strutturale. Poiché i vari solai sono diversi tra loro, anche le predisposizioni impiantistiche sono differenti.

#### 4.2.2 Impianto di ventilazione degli appartamenti

Per gli appartamenti è stato progettato e installato un impianto di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso, con mandata in soggiorno e nelle camere e ripresa dai bagni, provvisto di un recuperatore di calore a flussi incrociati per ogni appartamento.

L'aria di rinnovo viene prelevata dall'esterno mediante bocchette poste in copertura, passa attraverso il recuperatore a flussi incrociati con rendimento nominale dell'84% dove, in stagione invernale, viene pre-riscaldata e mandata in ambiente tramite diffusori lineari a pavimento; l'aria esausta viene prelevata dai bagni e riportata al recuperatore per poter effettuare lo scambio termico sensibile con l'aria entrante di rinnovo.

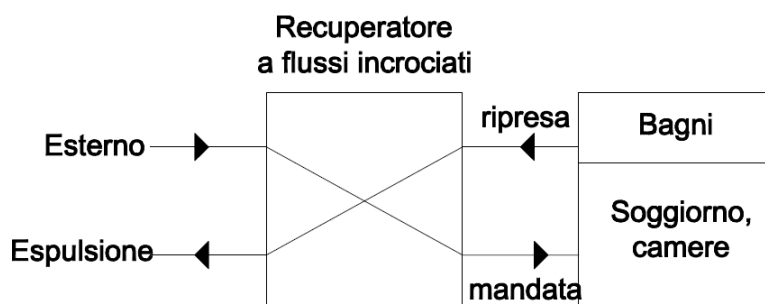


Figura 26 – Schema di funzionamento della ventilazione negli appartamenti

#### 4.3 Gli impianti di generazione

Risulta di fondamentale importanza considerare l'edificio non come un'entità a sé stante, ma come un "corpo" che interagisce con l'esterno e con gli impianti tecnologici che lo integrano; si sono voluti descrivere, quindi, finora le condizioni al contorno dell'edificio, l'edificio stesso in tutte le sue parti e i terminali degli impianti di climatizzazione e ventilazione. A monte dei terminali è stato progettato e installato un sistema di generazione, in grado di soddisfare il fabbisogno dell'edificio, che può essere schematizzato come segue:

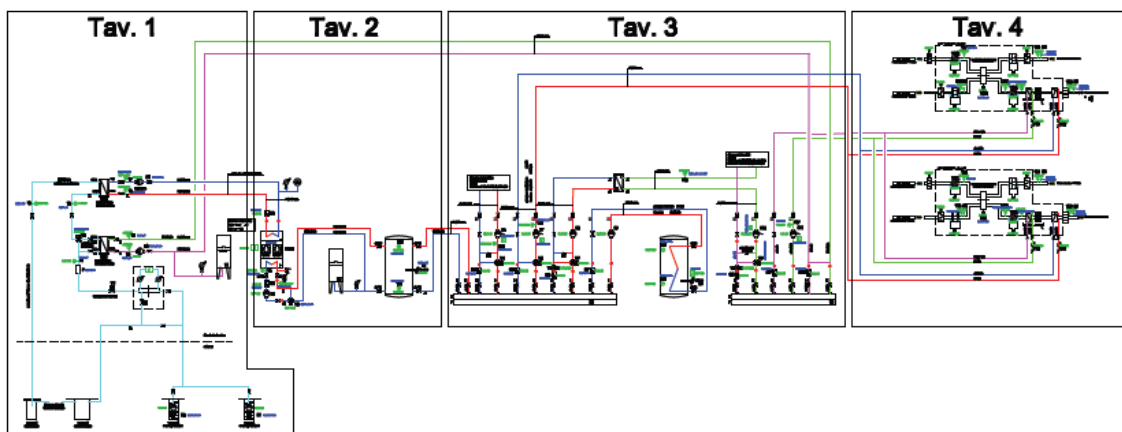


Figura 27 – Schema generale dell'impianto

Il sistema di generazione provvede:

- all'innalzamento della temperatura del fluido vettore del "circuito caldo", impiegato:
  - per il riscaldamento degli appartamenti per mezzo di serpentine;
  - per il riscaldamento degli uffici per mezzo dei TABS;
  - per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria (ACS), come sistema di riscaldamento integrato nel bollitore dell'ACS;
  - per la fornitura di acqua calda alle batterie calde delle due unità di trattamento aria per la ventilazione degli uffici.
- allo scambio termico, attraverso scambiatori a piastre, tra l'acqua di falda ed il fluido vettore da raffreddare del "circuito falda", che viene utilizzato:
  - per il raffrescamento degli uffici attraverso i TABS;
  - per la fornitura di acqua raffreddata alle batterie fredde delle due unità di trattamento aria per la ventilazione degli uffici.

Di seguito si descrivono i macchinari, che sono posti nel piano interrato, in appositi locali tecnici. Per gli schemi impiantistici si fa riferimento alle tavole allegate in fondo all'elaborato.

#### **4.3.1 Componenti dell'impianto**

Per meglio analizzare in dettaglio tutte le sue parti, si è suddiviso l'impianto in:

- 1) circuito acqua di falda;
- 2) termopompa e accumulatore;
- 3) distribuzione caldo e freddo;
- 4) monoblocchi di ventilazione degli uffici.

##### *4.3.1.1 Circuito acqua di falda*

Nella descrizione del circuito acqua di falda si fa riferimento alla Tavola 1.

Il circuito è costituito da:

- due pozzi di emungimento di acqua, posti a una profondità di 10 m in cui sono collocate altrettante pompe di circolazione ad immersione a portata fissa;
- uno scambiatore a piastre per raffrescamento (SC1), in cui avviene lo scambio termico tra l'acqua di falda ed un circuito adibito al raffrescamento (al quale è collegato un vaso ad espansione);
- uno scambiatore a piastre per riscaldamento (SC2), in cui avviene lo scambio termico tra l'acqua di falda ed un circuito di acqua glicolata al 30% che collega lo scambiatore alla pompa di calore;
- un pozzo di restituzione, o pozzo di drenaggio, in cui l'acqua di falda utilizzata per gli scambi termici viene riportata nel terreno;
- una valvola a tre vie motorizzata (V2), che, quando viene richiesto il raffrescamento, viene attivata ed apre il circuito che permette lo scambio termico;

- un filtro per ogni pozzo, per la pulizia dell'acqua di falda da utilizzare per gli scambi termici;
- manometri, saracinesche a farfalla con attuatore motorizzato, pompe di circolazione a portata fissa per la circolazione dei fluidi.

#### 4.3.1.2 Termopompa e accumulatore

Nella descrizione della pompa di calore e del serbatoio di accumulo fa riferimento alla Tavola 2.

Questa parte di impianto è costituita da:

- una pompa di calore elettrica acqua-acqua (PDC) non reversibile con due compressori avente COP nominale pari a 3,76 e potenza  $PT(45^{\circ}C) = 83.5/41.75$  kW; sul lato evaporatore è collegata col circuito che, nello scambiatore SC2, effettua lo scambio termico con l'acqua di falda; sul lato condensatore è collegata al circuito adibito al riscaldamento dell'accumulo;
- un serbatoio di accumulo di 1500 litri, collegato a un vaso ad espansione, provvisto di una resistenza elettrica supplementare;
- manometri, saracinesche a farfalla con attuatore motorizzato, pompe di circolazione a portata fissa per la circolazione dei fluidi, valvola a tre vie motorizzata che permette la regolazione della temperatura di mandata.

#### 4.3.1.3 Distribuzione caldo e freddo

Nella descrizione dei collettori di distribuzione caldo e freddo si fa riferimento alla Tavola 3.

Il sistema di distribuzione è costituito da:

- un collettore caldo, alimentato dal circuito in uscita dall'accumulatore, per il riscaldamento del gruppo serpentine (appartamenti), del gruppo ventilazione (batterie calde dell'unità di trattamento dell'aria), del circuito che collega il collettore allo scambiatore SC3 per il riscaldamento degli uffici attraverso i TABS, dell'accumulo di acqua calda sanitaria;
- un serbatoio di accumulo dell'acqua calda sanitaria (ACS), provvisto di resistenza elettrica supplementare;
- un collettore freddo, alimentato dal circuito adibito al raffrescamento in uscita da SC1, che fornisce acqua raffreddata al gruppo ventilazione (batterie fredde dell'unità di trattamento dell'aria) ed al circuito che collega il collettore a SC3 per il raffrescamento degli uffici attraverso i TABS;
- uno scambiatore a piastre (SC3), che permette lo scambio termico tra un circuito in cui circola acqua riscaldata proveniente dal collettore caldo ed un circuito collegato al gruppo TABS;
- una valvola a tre vie motorizzata (V9), che, quando viene richiesto il raffrescamento, viene attivata e apre il circuito che permette il passaggio dell'acqua refrigerata, proveniente dal collettore freddo, verso il gruppo TABS; quando, invece, non è richiesto



il raffrescamento, essa è chiusa e permette lo scambio termico in SC3 con l'acqua riscaldata proveniente dal collettore caldo;

- manometri, saracinesche a farfalla con attuatore motorizzato, pompe di circolazione a portata fissa per la circolazione dei fluidi, valvola a tre vie motorizzata che permette la regolazione della temperatura di mandata.

#### *4.3.1.4 Monoblocchi di ventilazione degli uffici*

Nella descrizione delle unità di trattamento dell'aria si fa riferimento alla Tavola 4.

Ogni monoblocco di ventilazione è costituito da:

- tre serrande ad alette controrotanti, ognuna delle quali è posizionata in prossimità della presa d'aria esterna, della ripresa dell'aria esausta, della bocchetta di espulsione;
- due filtri a grande superficie, caratterizzati da una classe di efficienza 7, posti a monte del recuperatore rotativo (RC);
- un recuperatore rotativo (RC) con rendimento nominale del 76%;
- due ventilatori centrifughi a portata variabile (VN) posizionati in uscita dal recuperatore rotativo;
- una batteria di raffreddamento/deumidificazione a circolazione d'acqua;
- un separatore di gocce, provvisto di uno scarico convogliato dell'acqua di condensa;
- una batteria di riscaldamento a circolazione d'acqua;
- un silenziatore a canale;
- manometri, saracinesche a farfalla con attuatore motorizzato, pompe di circolazione a portata fissa per la circolazione dei fluidi, valvola a tre vie motorizzata che permette la regolazione della temperatura di mandata.

#### **4.3.2 Funzionamento dell'impianto**

Il meccanismo di funzionamento dell'intero gruppo di generazione trova il suo perno nell'utilizzo di una pompa di calore elettrica acqua-acqua che sfrutta lo scambio di calore tra il circuito aperto dell'acqua di falda ed una serie di circuiti chiusi. Il terreno, infatti, contiene una inesauribile sorgente di calore e la sua temperatura, già a pochi metri di profondità, si mantiene grossomodo costante durante l'arco dell'anno; questa è una proprietà comune a qualsiasi località del pianeta, fortemente correlata all'azione della radiazione solare sulla crosta terrestre, che viene trattenuta e immagazzinata sotto forma di energia pulita e rinnovabile. La costanza della temperatura del suolo comporta un duplice benefico effetto: durante l'inverno il terreno si trova a temperature relativamente più calde dell'aria esterna, mentre durante l'estate la temperatura è più bassa di quella dell'aria.

Dopo aver fatto un'approfondita analisi geotecnica e geologica in fase progettuale, si è notato che il terreno su cui è poi stato costruito lo Stabile A era attraversato dall'acqua di falda; si è così deciso di sfruttare termicamente la presenza della falda mediante scambiatori a piastre e pompa di calore.

Viene di seguito descritto il funzionamento dell'impianto, distinguendo due modalità:

- per “circuito caldo”, si intende il processo che porta alla produzione di acqua calda;
- per “circuito falda”, si intende il processo che porta al raffreddamento dell’acqua da far circolare negli impianti.

#### 4.3.2.1 Circuito caldo

Il circuito caldo è attivato sia in stagione invernale sia in stagione estiva.

Per la descrizione dettagliata del funzionamento dell’impianto di generazione nella modalità “circuito caldo” si fa riferimento alla Tavola 7 ed allo schema semplificato della Figura 28.

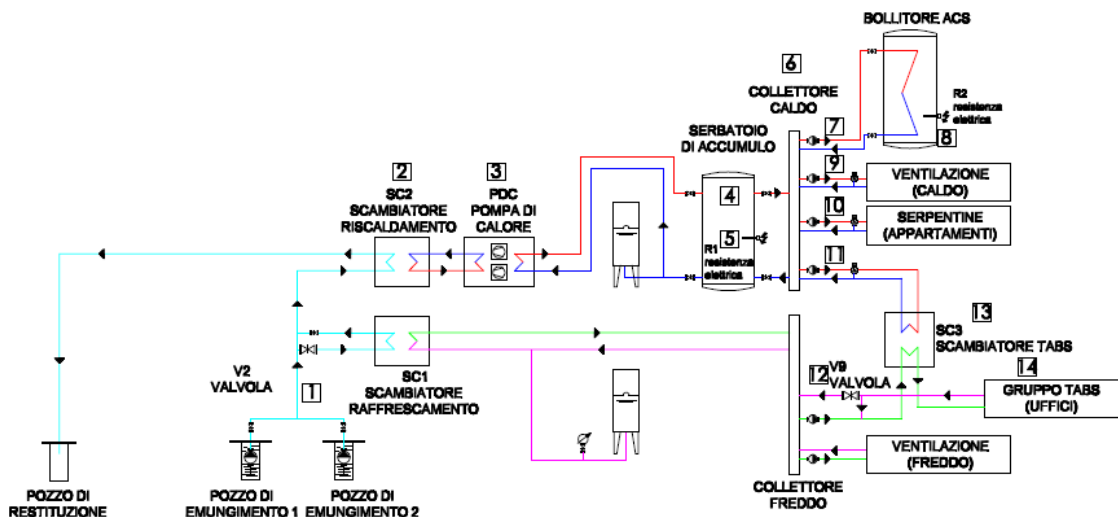


Figura 28 – Schema di funzionamento del circuito caldo

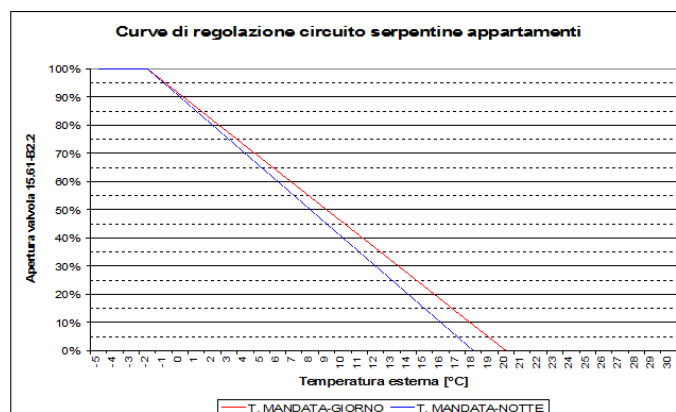
L’acqua di falda viene pompata attraverso due pompe ad immersione poste rispettivamente nei due pozzi di emungimento (1); la valvola V2 è chiusa e non permette lo scambio termico nello scambiatore SC1 (verrà utilizzato nella modalità “circuito falda”).

L’acqua prelevata attraversa poi lo scambiatore SC2 (2) e viene portata al pozzo di restituzione. Nello scambiatore SC2, l’acqua di falda, che passa da una temperatura di circa 12°C a 8,5°C, cede calore al circuito secondario, che passa così da 7°C a 11°C, in cui circola acqua glicolata al 30% e che è collegato alla pompa di calore (3) la quale, mediante le trasformazioni che avvengono all’interno dell’evaporatore e del condensatore e grazie al funzionamento elettrico dei due compressori, riscalda l’acqua del serbatoio di accumulo ad essa connesso (il serbatoio è dotato di appropriato vaso di espansione): quando la temperatura dell’accumulatore (4) è inferiore a 45°C (circa metà accumulatore pieno), c’è la richiesta di calore da parte dell’accumulo. Se le pompe nei due pozzi sono accese, allora si verifica che il flusso sia sufficiente e lo si regola, altrimenti le pompe vengono accese al 100%. La temperatura nominale in uscita dal condensatore della pompa di calore è di 45°C, quella in ingresso è di 38°C. Quando invece la temperatura dell’accumulo (4) raggiunge 45°C, non vi è più richiesta di calore da parte dell’accumulatore; viene così spento automaticamente il compressore della pompa di calore, vengono spente le pompe di circolazione del circuito primario e secondario della pompa di calore, evitando perdite di calore da parte dell’accumulatore, e infine vengono

spente le pompe dei pozzi di falda. Nel caso in cui gli scambi termici con l'acqua di falda non siano sufficienti a raggiungere la temperatura richiesta, entra in funzione la resistenza elettrica supplementare R1 (5).

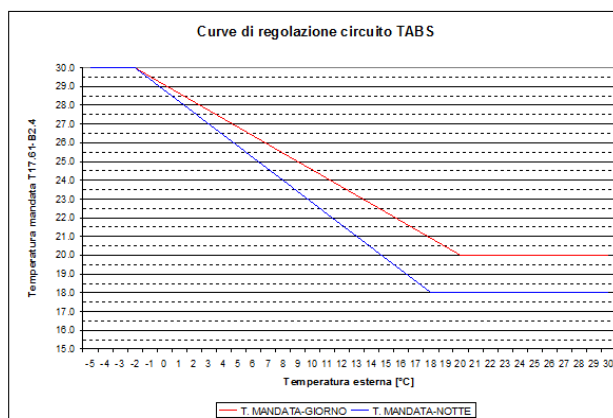
L'acqua calda accumulata, viene portata al collettore caldo (6) da cui viene distribuita ai vari terminali:

- viene mandata al bollitore di acqua calda sanitaria (7): se la temperatura della sonda bassa del bollitore è minore di 40°C viene accesa la pompa di circolazione posta tra il collettore e il bollitore; finché questa temperatura non raggiunge i 45°C, il circuito continua a caricare; alle 4 del mattino la temperatura del bollitore viene portata a 50°C con l'ausilio della resistenza elettrica supplementare R2 (8);
- viene mandata al gruppo ventilazione caldo (9): la ventilazione funziona unicamente durante il periodo diurno (dalle 6:00 alle 22:00); nel periodo invernale la ventilazione aiuta a riscaldare gli ambienti evitando di immettere aria fredda, mentre d'estate il circuito caldo serve a riscaldare leggermente la temperatura per permettere la deumidificazione; se la temperatura esterna è minore di 20°C, si aziona il circuito caldo del gruppo ventilazione: viene accesa la pompa di circolazione tra il collettore caldo di distribuzione e il gruppo della batteria calda della ventilazione e la regolazione viene effettuata aprendo o chiudendo la valvola di immissione di acqua riscaldata in base alla temperatura esterna. La temperatura che alimenta la batteria di riscaldamento a circolazione d'acqua è di 45°C, mentre quella di ritorno è di 35°C. Nei periodi di funzionamento della ventilazione, inoltre, se la temperatura in aspirazione dagli uffici è di 2°C superiore alla temperatura dell'aria presa dall'esterno, allora entra in azione il recuperatore rotativo;
- viene mandata al gruppo serpentine per il riscaldamento degli appartamenti (10): il circuito delle serpentine degli appartamenti è azionato se la temperatura esterna è inferiore a 12°C; in tal caso viene accesa la pompa di circolazione del gruppo caldo serpentine appartamenti. La regolazione viene effettuata aprendo o chiudendo la valvola di immissione di acqua riscaldata in base alla temperatura esterna seguendo due differenti curve di regolazione (diurna o notturna); le temperature di mandata e ritorno del circuito delle serpentine sono di 45°C e 35°C.



**Figura 29 – Curve di regolazione del circuito serpentine radianti degli appartamenti**

- Viene utilizzata per il riscaldamento degli uffici (11) attraverso i TABS: se la temperatura esterna è inferiore a 12°C, si chiude la valvola V9 (12), evitando così la connessione del circuito con il collettore freddo che verrà utilizzato in modalità “circuito falda”; le pompe di circolazione del gruppo caldo TABS uffici vengono accese e portano l’acqua calda allo scambiatore SC3 (13) che permette lo scambio termico tra l’acqua riscaldata in uscita dal collettore e il circuito chiuso dei TABS (14); la regolazione viene effettuata variando la temperatura di immissione dell’acqua riscaldata in base alla temperatura esterna seguendo due differenti curve di regolazione (diurna o notturna); le temperature di mandata e ritorno del circuito dei TABS, in periodo invernale, sono di 30°C e 26°C.



**Figura 30 – Curve di regolazione del circuito TABS**

#### 4.4.2.2 Circuito falda

Il circuito falda è attivato in stagione estiva e invernale.

Per la descrizione dettagliata del funzionamento dell’impianto di generazione nella modalità “circuito falda” si fa riferimento alla Tavola 8 e allo schema semplificato della Figura 31.

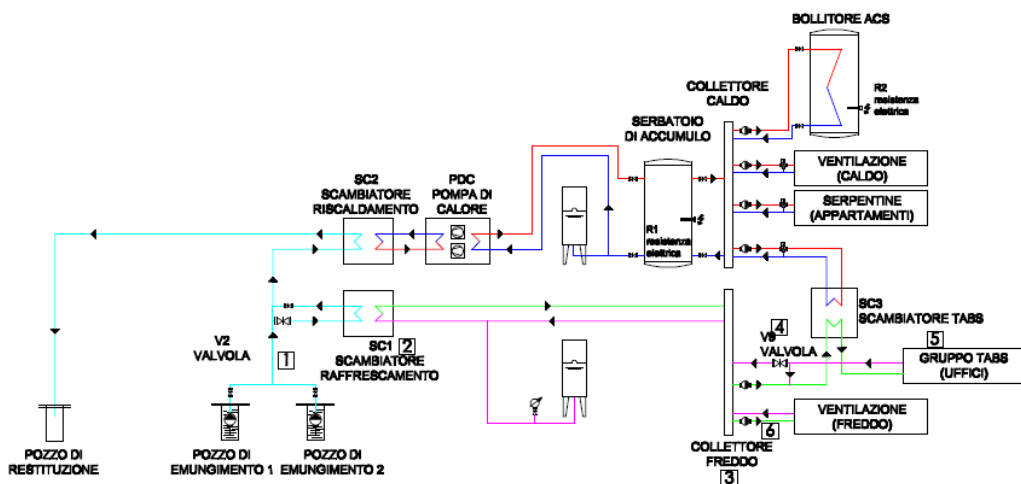


Figura 31 – Schema di funzionamento del circuito di falda

L'acqua di falda viene prelevata attraverso due pompe ad immersione poste rispettivamente nei due pozzi di emungimento (1); la valvola V2 viene aperta, permettendo così lo scambio termico nello scambiatore SC1 (2) tra il circuito aperto della falda, che poi continua il suo corso attraverso lo scambiatore SC2 e viene portata nel pozzo di restituzione, e il circuito chiuso di acqua da raffreddare (il circuito dispone di un appropriato vaso di espansione): l'acqua di falda passa da una temperatura di circa 12°C a 15,2°C, assorbe calore dal secondo circuito, che passa così da 18,4°C a 13°C.

L'acqua raffreddata viene portata al collettore freddo (3) da cui viene distribuita ai vari terminali:

- viene utilizzata per il raffreddamento degli uffici attraverso i TABS (5): la valvola V9 viene aperta (4) permettendo al circuito chiuso dei TABS di entrare in connessione con il collettore freddo e di asportare il calore in eccesso presente negli uffici; la temperatura di mandata dei TABS è di 16°C, quella di ritorno è di 20°C;
- viene mandata al gruppo ventilazione freddo (6): la ventilazione funziona unicamente durante il periodo diurno (dalle 6:00 alle 22:00); l'acqua raffreddata viene mandata dal collettore freddo alle batterie di raffreddamento e deumidificazione a circolazione d'acqua con una temperatura in ingresso nella batteria di 13°C e in uscita di 17°C.

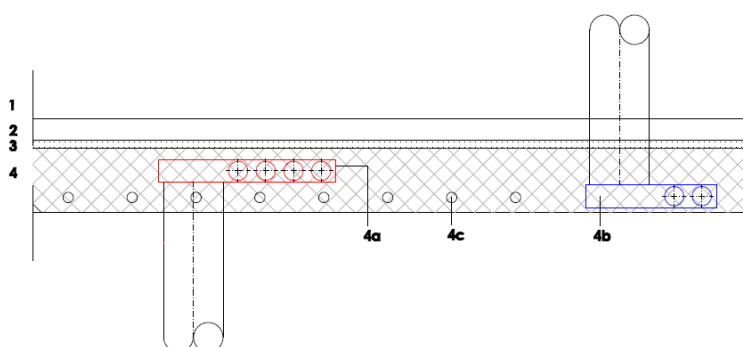
#### 4.4 Dettagli delle differenti tipologie di partizione orizzontale e report fotografici

Si analizzano in dettaglio due tipologie di solaio, SOL-1 e SOL-3, caratterizzate da una differente distribuzione impiantistica al loro interno.

##### 4.4.1 Partizione orizzontale tra il piano terra e il primo piano (SOL-1)

SOL-1 è il solaio che separa il piano terra (P0) e il primo piano (P1) e include:

- sistema a TABS per la climatizzazione del piano P0;
- griglie a soffitto per l'aspirazione dell'aria esausta del piano P0;
- cassetta a pavimento per la mandata dell'aria di ventilazione al piano P1.



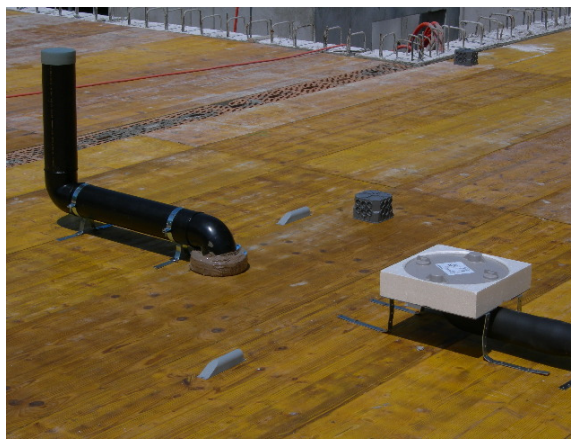
- 1) Rivestimento
- 2) Massetto
- 3) Isolamento termico ed acustico
- 4) Struttura principale dell'edificio con integrazione impiantistica per la ventilazione: 4a\_mandata, 4b\_ripresa; e 4c\_sistema di riscaldamento a TABS.

**Figura 32 – Dettaglio del solaio SOL-1 tra piano terra e piano primo**

Per meglio comprendere l'effettiva disposizione dell'impianto di ventilazione nella soletta strutturale, vengono di seguito riportate le foto della messa in opera cantieristica dell'impianto stesso:

FASI OPERATIVE (SOL-1):

Fase 1: posizionamento dei casseri e delle cassette di aspirazione a soffitto con i relativi canali



**Figura 33 – Solaiio 1, fase di costruzione 1**

Fase 2: disposizione dei canali di distribuzione orizzontale dell'aria di mandata (tubi bianchi) e dei ferri di armatura.



**Figura 34 – Solaiio 1, fase di costruzione 2**



Fase 3: disposizione dei ferri di armatura e dei TABS (tubi in azzurro).



**Figura 35 – Solaio 1, fase di costruzione 3**

Fase 4: nei punti in cui verrà posizionata la cassetta di mandata dell'aria, vengono risvoltati verso l'alto i tubi bianchi di distribuzione orizzontale al di sopra del piano dei TABS.



**Figura 36 – Solaio 1, fase di costruzione 4**

Fase 5: posizionamento degli altri ferri di armatura e conseguente getto di calcestruzzo.



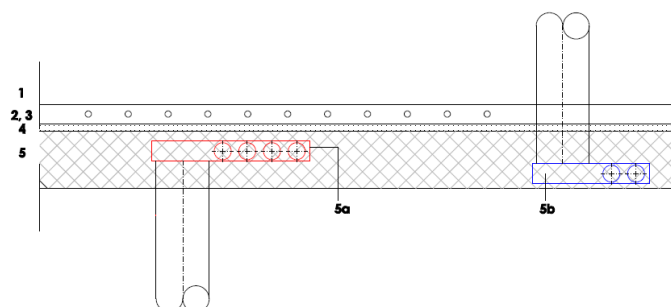
**Figura 37 – Solaio 1, fase di costruzione 5**



#### 4.4.2 Partizione orizzontale tra il secondo e il terzo piano (SOL-3)

SOL-3 è il solaio che separa il secondo piano (P2) e il terzo piano (P3); include:

- griglie a soffitto per l'aspirazione dell'aria esausta del piano P2;
- cassetta a pavimento per la mandata dell'aria di ventilazione al piano P3;
- serpentine a pavimento (massetto non strutturale) per il riscaldamento del piano P3.

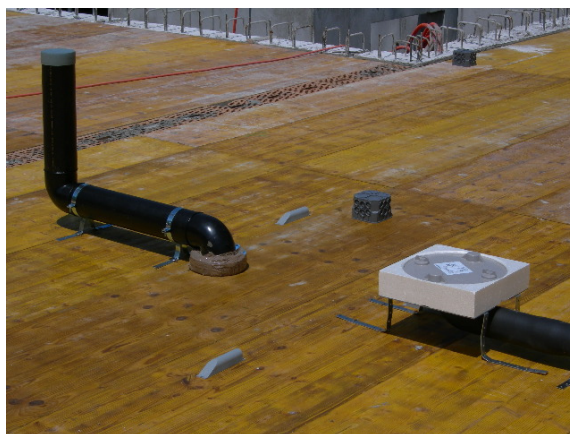


- 1) Rivestimento
- 2) Massetto
- 3) Tubi in plastica
- 4) Isolamento termico ed acustico
- 5) Struttura principale dell'edificio con integrazione impiantistica per la ventilazione: 5a\_mandata, 5b\_ripresa.

**Figura 38 - Dettaglio del solaio SOL-3 tra il secondo piano e il terzo piano**

FASI OPERATIVE (SOL-3): la fase 1 è analoga alla messa in opera del solaio SOL-1.

Fase 1: posizionamento dei casseri e delle cassette di aspirazione a soffitto con i relativi canali.



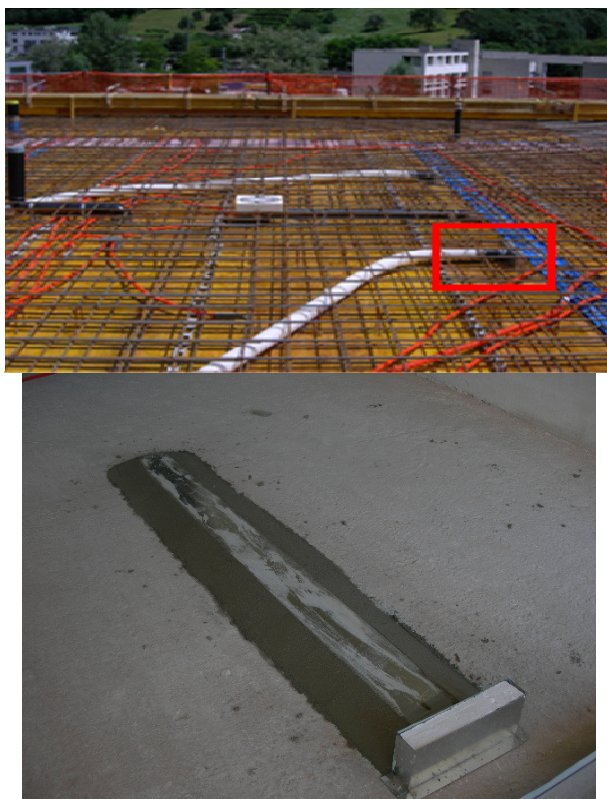
**Figura 39 - Solaio 3, fase di costruzione 1**

Fase 2: disposizione dei canali di distribuzione orizzontale dell'aria di mandata (tubi bianchi) e dei ferri di armatura.



**Figura 40 - Solaio 3, fase di costruzione 2**

Fase 3: posizionamento delle cassette di mandata dell'aria e getto.



**Figura 41- Solaio 3, fase di costruzione 3**

Fase 4: disposizione dei canali per lo scambio nel recuperatore.







**Figura 42 - Solaio 3, fase di costruzione 4**

Fase 5: posizionamento dello strato di isolante termico, delle serpentine radianti e delle proprie guide e getto del massetto di alleggerimento.



**Figura 43 - Solaio 3, fase di costruzione 5**

#### **4.4.3 Report fotografico dell'esecuzione dei lavori e dell'installazione dei macchinari**

##### *4.4.3.1 Esecuzione dei lavori*

Viene di seguito illustrato un report fotografico in cui è possibile osservare la successione delle fasi operative di realizzazione dei due pozzi per la captazione dell'acqua e del collettore che è connesso al locale tecnico posto nell'interrato.



**Figura 44 - Esecuzione dello scavo**



**Figura 45 – Posizionamento del pozzo**



**Figura 46 - Posizionamento tubazioni orizzontali 1**



**Figura 47 - Posizionamento tubazioni orizzontali 2**



**Figura 48 - Posizionamento tubazioni orizzontali 3**



**Figura 49 - Posizionamento tubazioni orizzontali 4**



**Figura 50 - Posizionamento tubazioni orizzontali 5**



**Figura 51 - Posizionamento tubazioni orizzontali 6**





**Figura 52 - Collegamento tra il pozzo e la centrale termica 1**



**Figura 53 - Collegamento tra il pozzo e la centrale termica 2**



**Figura 54 - Connessione tra i pozzi di emungimento 1**



**Figura 55 - Connessione tra i pozzi di emungimento 2**



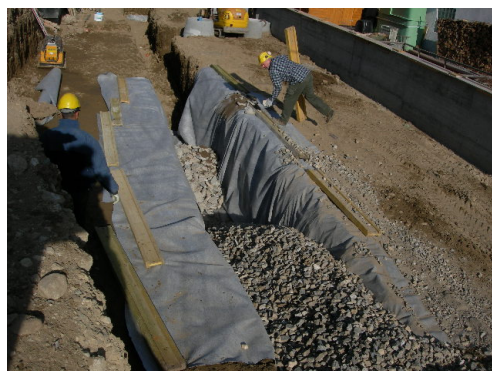
**Figura 56 - Connessione tra i pozzi di emungimento 3**



**Figura 57 - Connessione tra i pozzi di emungimento 4**



**Figura 58 - Connessione tra i pozzi di emungimento 7**



**Figura 59 - Connessione tra i pozzi di emungimento 8**

#### *4.4.3.2 Installazione dei macchinari*

Viene di seguito illustrato un report fotografico in cui è possibile osservare la disposizione dei macchinari descritti in precedenza posti nel locale tecnico.



**Figura 60 - Scambiatori a piastre 1**



**Figura 61 - Scambiatori a piastre 2**



**Figura 62 - Pompa di calore**



**Figura 63 - Serbatoi di accumulo**





**Figura 64 - Vaso d'espansione**



**Figura 65 - Valvola tra SC1 e SC2**



**Figura 66 - Collettore freddo di distribuzione**



**Figura 67 - Collettore caldo di distribuzione**



## Simboli utilizzati nella Sezione A

SIA 380/1:2009

Simbolo	Terminologia	Unità di misura
$Q_h$	Fabbisogno termico per il riscaldamento	[MJ/m <sup>2</sup> ]
$Q_T$	Perdite termiche per trasmissione	[MJ/m <sup>2</sup> ]
$Q_V$	Perdite termiche per ventilazione	[MJ/m <sup>2</sup> ]
$\eta_g$	Grado di sfruttamento dei guadagni termici	[ - ]
$Q_i$	Apporti termici interni	[MJ/m <sup>2</sup> ]
$Q_s$	Apporti termici solari passivi	[MJ/m <sup>2</sup> ]
$A_i$	Superficie verso aria esterna	[m <sup>2</sup> ]
$U_i$	Termotrasmittanza	[W/m <sup>2</sup> K]
$T_{amb}$	Temperatura ambiente	[°C]
$T_{ext}$	Temperatura esterna	[°C]
$t_c$	Durata del periodo di calcolo	[giorni]
$l$	Lunghezza ponte termico	[m]
$\psi$	Coefficiente liminare ponte termico	[W/mK]
$\left( \frac{\dot{V}}{A_E} \right)$	Portata d'aria esterna riferita alla $A_E$	[m <sup>3</sup> /(hm <sup>2</sup> )]
$A_E$	Superficie di riferimento energetico	[m <sup>2</sup> ]
$\rho_a c_a$	Capacità termica dell'aria	[J/m <sup>3</sup> K]
$Q_{EL}$	Consumo di elettricità annuale	[MJ/m <sup>2</sup> ]
$f_{EL}$	Fattore di riduzione dell'elettricità	[ - ]
$Q_P$	Calore dissipato per persona	[W/pers]
$t_P$	Tempo di utilizzo giornaliero	[h/giorno]
$I_{GLOB,i}$	Irraggiamento solare globale dell'esposizione i	[MJ/m <sup>2</sup> ]
$g_{\perp}$	Coefficiente di trasmissione energetica globale	[ - ]
$F_F$	Quota parte vetrata (traslucida) della finestra	[ - ]
$F_{S,i}$	Fattore d'ombreggiamento dell'esposizione i	[ - ]
$Q_{ww}$	Fabbisogno termico per il riscaldamento dell'acqua riferito alla superficie di riferimento energetico $A_E$	[MJ/m <sup>2</sup> ]
$\rho_w c_w$	Capacità termica volumetrica dell'acqua pari a 4,18	[MJ/m <sup>3</sup> K]
$V_{ww}$	Quantità d'acqua calda richiesta durante il periodo di calcolo	[m <sup>3</sup> ]
$\theta_{ww}$	Temperatura dell'acqua calda all'uscita	[°C]

$\theta_{ww0}$	Temperatura dell'acqua fredda all'entrata dell'edificio	[°C]
$C/A_E$	Capacità termica rapportata alla superficie di riferimento energetico, pari a 0.5 se è una struttura avente almeno due elementi termicamente attivi senza rivestimento su tre	[MJ/(m <sup>2</sup> K)]
$\tau$	Costante di tempo dell'edificio	[h]
$H$	Coefficiente delle perdite termiche dell'edificio	[W/K]
$T_0$	Costante di tempo dell'edificio per la definizione del grado di sfruttamento degli apporti termici che varia in base numero di ore di utilizzo della struttura	[h]
$a_0$	Costante per la definizione del grado di sfruttamento degli apporti termici che varia in base numero di ore di utilizzo della struttura	[ - ]
$\gamma$	Rapporto tra gli apporti e le perdite termiche	[ - ]
$\eta_g$	Grado di sfruttamento degli apporti termici	[ - ]

#### SIA 384-201:2003

Simbolo	Terminologia	Unità di misura
$A$	Superficie disperdente dell'elemento considerato	[m <sup>2</sup> ]
$U$	Trasmittanza termica dell'elemento considerato	[W/(m <sup>2</sup> K)]
$T_{int}$	Temperatura interna, fissata a 20 °C (per entrambe le destinazioni d'uso)	[°C]
$T_{ext}$	Temperatura esterna di progetto, pari a -1 °C (secondo norma SIA 2028); nel caso di scambio verso locali riscaldati viene utilizzata la temperatura del locale adiacente	[°C]
$e_k$	Fattore di correzione adimensionale della temperatura, pari a 1 se lo scambio è verso l'esterno; pari a 0.4 se lo scambio è verso il vano scala; pari a 0.8 se lo scambio è verso il piano cantinato	[ - ]
$L$	Lunghezza del ponte termico considerato	[m]
$\psi$	Trasmittanza lineica che caratterizza il ponte termico	[W/(mK)]
$\rho_a c_a$	Capacità termica volumica dell'aria (pari a 0.34)	[Wh/(m <sup>3</sup> K)]
$V$	Volume netto ( = $A_{netta} \cdot h_{netta}$ )	[m <sup>3</sup> ]
$q$	Portata d'aria di ventilazione (da norma SIA 384-201)	[m <sup>3</sup> /(hm <sup>2</sup> )]
$n$	Numero di ricambi all'ora ( = $q \cdot A_{netta}$ )	[1/h]
$RC$	Rendimento nominale del recuperatore, pari a 0.84	

per il recuperatore a flussi incrociati presente in ogni appartamento e 0.76 per il recuperatore rotativo

degli uffici		[ - ]
$A_{netta}$	Area del pavimento dell'ambiente considerato	$[m^2]$
$f_{rh}$	Fattore di ripresa; pari a 11 per gli appartamenti e 18 per gli uffici	$[W/m^2]$
$\Phi_{HL}$	Potenza di progetto	[W]
$\Phi_{T,op}$	Perdite termiche per trasmissione attraverso le superfici opache	[W]
$\Phi_{T,tb}$	Perdite termiche per trasmissione attraverso i ponti termici	[W]
$\Phi_{T,w}$	Perdite termiche per trasmissione attraverso le finestre	[W]
$\Phi_v$	Perdite termiche per ventilazione	[W]
$\Phi_r$	Potenza di ripresa	[W]

#### Metodo Carrier

Simbolo	Terminologia	Unità di misura
$Q_{AW}$	Potenza di trasmissione attraverso le pareti opache	[W]
A	Superficie disperdente dell'elemento opaco considerate	$[m^2]$
U	Trasmittanza dell'elemento considerate	$[W/(m^2K)]$
$\Delta T_{eq}$	Variazione equivalente di temperatura	[°C]
$Q_f$	Potenza di trasmissione attraverso i serramenti	[W]
$A_f$	Superficie del serramento considerato	$[m^2]$
k	Trasmittanza del serramento considerato	$[W/(m^2K)]$
$T_{ext}$	Temperatura dell'aria esterna	[°C]
$T_{int}$	Temperatura interna	[°C]
$Q_{si}$	Carico solare interno	[W]
g	Fattore solare	[ - ]
$G_{max}$	Irradianza solare	$[W/m^2]$
$A_{glass}$	Area del vetro del serramento considerato	$[m^2]$
SC	Shading Coefficient (fattore di schermatura)	[ - ]
FA	Fattore di accumulo	[ - ]
$Q_v$	Carico termico per ventilazione	[W]
$\rho_a c_a$	Capacità termica volumica dell'aria (pari a 0.34)	$[Wh/(m^3K)]$
$V_{netto}$	Volume netto dell'ambiente considerato	$[m^3]$
n	Numero di ricambi di ventilazione	[1/h]
$Q_i$	Carico termico interno	[W]

$Q_{\max, \text{luci}}$	Carico termico massimo di illuminazione	[W]
$FA_j$	Fattore di accumulo relativo all'illuminazione	[ - ]
$n^\circ \text{ pers/pc}$ considerato	Numero delle persone/pc presenti nell'ambiente	[ - ]
$Q_{\text{cool}}$	Carico estivo di progetto	[W]

SIA 70:1983

Simbolo	Terminologia	Unità di misura
G	Irradianza solare areica globale	[W/m <sup>2</sup> ]
I	Irradianza solare areica diretta	[W/m <sup>2</sup> ]
H	Irradianza solare areica diffusa dalla volta celeste	[W/m <sup>2</sup> ]
R	Irradianza solare areica riflessa dall'ambiente	[W/m <sup>2</sup> ]
circostante		[W/m <sup>2</sup> ]
$\Delta T_{\text{kl\_eff}}$	Temperatura fittizia corretta	[°C]
$\Delta T_{\text{kl}}$	Temperatura fittizia di riferimento	[°C]
1	Fattore correttivo per il mese di luglio	[°C]
$T_{\text{am}}$	Temperatura media mensile esterna	[°C]
$T_{\text{int}}$	Temperatura di set-point interna	[°C]
$Q_{\text{AW}}$	Trasmissione di calore attraverso le superfici opache	[W]
A	Area della superficie opaca	[m <sup>2</sup> ]
U	Trasmittanza termica della superficie opaca	[W/(m <sup>2</sup> K)]
$f_{\text{col}}$	Fattore correttivo che tiene conto della colorazione della superficie; è unitario nel caso di tinta media	[ - ]
$A_{\text{F}}$	Area del serramento	[m <sup>2</sup> ]
$U_{\text{F}}$	Trasmittanza termica del serramento	[W/(m <sup>2</sup> K)]
$T_{\text{ext}}(t)$	Temperatura istantanea dell'aria esterna	[°C]
$Q_{\text{FS}}$	Carico solare interno	[W]
$A_{\text{glass}}$	Area netta del vetro	[m <sup>2</sup> ]
$f_{\text{f}}$	Fattore di schermatura	[ - ]
$S_{\text{F}}$	Fattore di accumulo	[ - ]
$c_{\text{p}}$	Capacità termica specifica volumica dell'aria nelle condizioni medie della climatizzazione	[J/(m <sup>3</sup> °C)]
$V_{\text{netto}}$	Volume netto climatizzato	[m <sup>3</sup> ]
n	Numero di ricambi orari	[1/h]
$Q_{\text{i}}$	Carico termico interno	[W]
$Q_{\text{max}}$	Carico interno massimo	[W]
SB	Fattore di accumulo relativo ai carichi interni	[ - ]

## SEZIONE B: MISURE

In questa sezione viene descritto il sistema di monitoraggio dello stabile Parco Lunghi, mettendo in luce le diverse grandezze misurate ed i periodi di rilevamento. Si è deciso di analizzare tre settori in particolare di tutte le tipologie di dati rilevati: le condizioni climatiche esterne, il monitoraggio dell'impianto durante il funzionamento estivo ed invernale e le condizioni di temperatura interna. Da queste valutazioni è stato poi possibile trarre delle conclusioni.

### 5. Analisi dei dati a disposizione

#### 5.1 Sistema di monitoraggio

Lo stabile A Parco Lunghi è monitorato da un sistema di controllo e automazione chiamato Desigo che è in grado di visionare e gestire il riscaldamento, la ventilazione, l'energia elettrica ed i servizi di automazione dell'edificio. Il sistema visualizza in tempo reale lo stato dell'impianto, i set-point di funzionamento, la gestione degli allarmi e l'elenco dei guasti. La supervisione ed il controllo avvengono via web: ogni situazione anomala dell'impianto è segnalata tramite invio di sms al manutentore e può essere corretta con un collegamento web client. Il manutentore dell'edificio può ottenere, in qualsiasi momento, tramite un'interfaccia grafica e tabellare, un riepilogo dello stato degli impianti, per poter modificare i parametri di regolazione e gli orari di funzionamento secondo le esigenze degli utenti, oltre a decidere gli interventi di manutenzione. Gli utenti, a loro volta, possono agire localmente e modificare i propri valori impostati per ottenere lo stato di comfort desiderato.

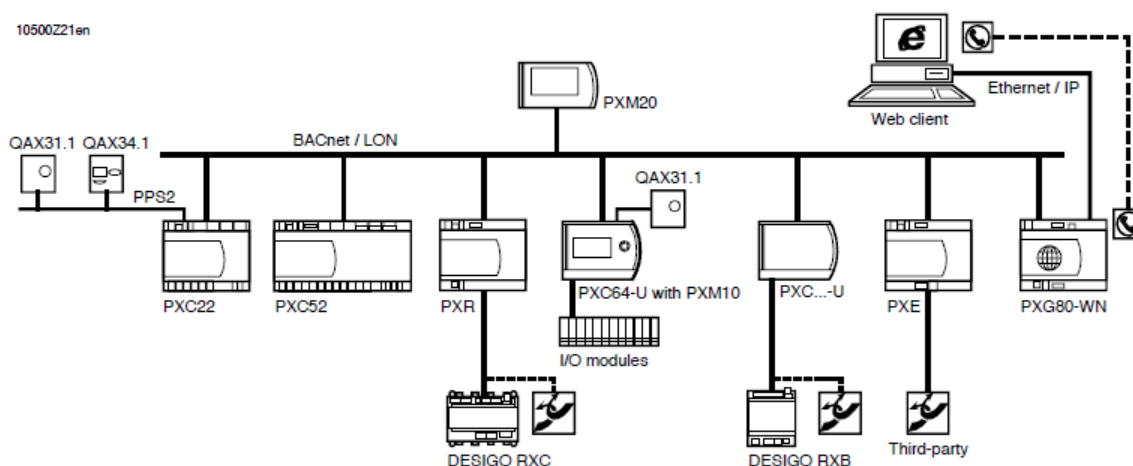


Figura 68 - Il sistema di automazione e controllo Desigo con l'unità operatore

Per controllare il responso dinamico dell'impianto, l'operatore deve selezionare quale variabile campionare e impostare la relativa frequenza di campionamento; è così possibile permettere all'utente di definire i parametri da controllare e registrare nel tempo, archiviando tutti i dati campionati.

Il programma di ottimizzazione, che tende al risparmio energetico ed all'estensione della vita degli impianti, è svolto secondo un orario settimanale, in cui l'operatore stende un profilo orario per sette giorni; nel caso di eccezioni, quali ad esempio le festività, è possibile sovrascrivere l'impostazione di funzionamento del programma settimanale.

Le funzioni principali del sistema sono quindi: accesso a tutti i set-point, valori, stato dell'impianto e componenti, visualizzazione allarmi e avviso via sms o e-mail, operatività tramite web browser, visualizzazione e modifica dei programmi orari settimanali (programma/calendario), modifica dei set-point e dei valori misurati (per le attività di manutenzione), modifica dei parametri (per es. curva di compensazione), visualizzazione grafica degli impianti, registrazione dei dati campionati con la possibilità di esportarli in formato csv (excel).

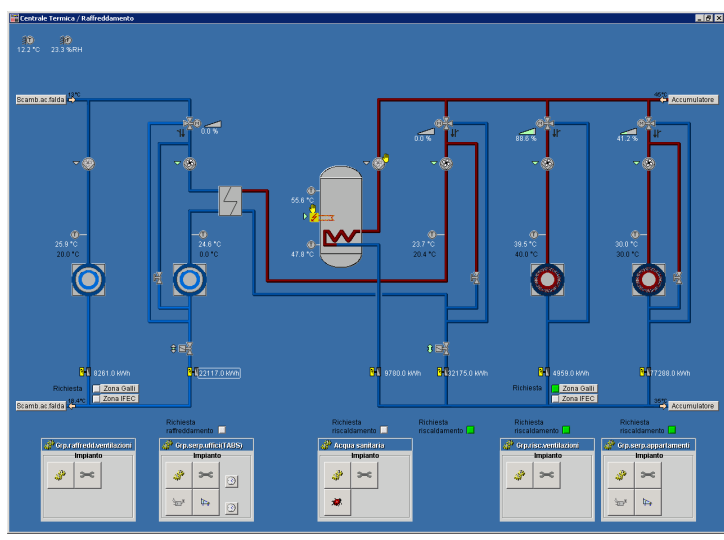


Figura 69 - Interfaccia grafica 1 del sistema di automazione e controllo

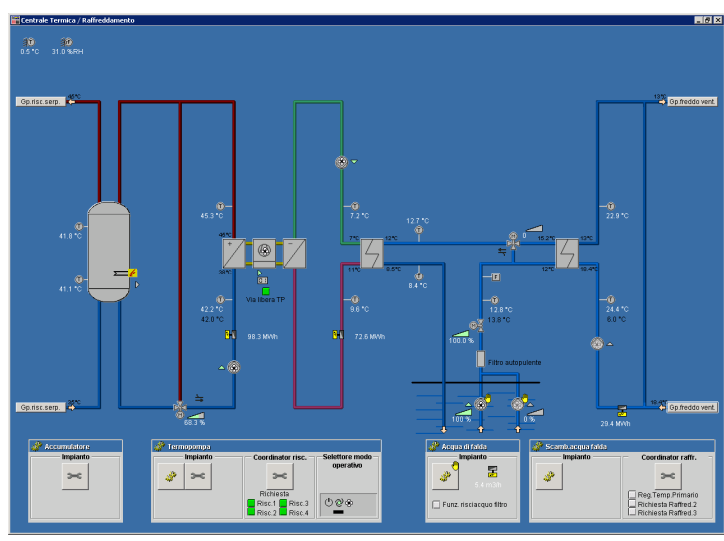


Figura 70 - Interfaccia grafica 2 del sistema di automazione e controllo

I dispositivi di controllo che rilevano i dati per il monitoraggio del sistema sono 105, suddivisi tra sensori relativi all'impianto, all'edificio e alle condizioni climatiche esterne. Nella seguente tabella sono elencati tutti i sensori presenti, per ognuno dei quali è riportato: il gruppo di appartenenza, la tavola grafica di riferimento, il codice numerico di identificazione, la descrizione e l'unità di misura.

Gruppo	Tav	Cod	Descrizione	Unità di misura
Contatori energia	2	1	Contatori energia parte freddo-Evaporatore termopompa	MWh
	3	2	Contatori energia parte freddo-Gr. serpentine TABS	kWh
	3	3	Contatori energia parte freddo-Gr. raffr. ventilazioni	kWh
	3	4	Contatori energia parte freddo-Gr. collettore freddo	MWh
	2	4.1	Contatori energia parte caldo-Gr. Pdc secondario	kWh
	3	5	Contatori energia parte caldo-Gr. serpentine appartamenti	kWh
	3	6	Contatori energia parte caldo-Gr. risc. ventilazioni	kWh
	3	7	Contatori energia parte caldo-Gr. serpentine TABS	kWh
Condizioni climatiche		8	Contatori energia parte caldo-Gr. Bollitore	kWh
		9	Stazione Meteorologica-Umidità Aria Esterna	%RH
		10	Stazione Meteorologica-Irraggiamento Solare	W/m2
		11	Stazione Meteorologica-Temperatura Aria Esterna	°C
		12	Stazione Meteorologica-Direzione Vento	degAngl
Heating/cooling display		13	Rilevamento Poggia	mm
		14	Stazione Meteorologica-Velocità Vento	m/s
	3	15	Gr. serpentine uffici (TABS)-Pompa	Comando
	3	16	Gr. serpentine uffici (TABS)-Circuito di Miscela	°C
Raffreddamento- Scamb. acqua falda	3	17	Gr. serpentine uffici (TABS)-Circuito di Miscela	%
	3	18	Gr. serpentine uffici (TABS)-Circuito di Miscela caldo	°C
Raffreddamento- Ventilazioni	1	19	Circuito di Miscela-Pompa-Comando	Comando
	1	20	Circuito di Miscela-Valvola scambiatore	Comando
	1	21	Temperatura mandata sec	°C
Acqua di falda	1	22	Temperatura ritorno sec	°C
	3	23	Circuito di Miscela-Pompa-Comando	Comando
Riscaldamento	3	24	Temperatura mandata	°C
	1	25	Flusso acqua di falda	m3/h
	1	26	Circuito di Miscela-Pompa sud	Comando
	1	27	Circuito di Miscela-Pompa nord	%
	1	28	Temperatura Mandata	°C
Sonde temp. finestre	1	29	Valvola intercettazione filtro	%
	1	30	Temp. ingr. scamb. acqua falda	°C
	1	31	Temp.uscita scamb. acqua falda	°C
	2	32	Termopompa'Ins. resist. bivalente con Test	°C
	1	33	Termopompa'Evaporatore'Temperatura Ingresso	°C
	1	34	Termopompa'Evaporatore'Temperatura Uscita	°C
	2	35	Riscaldamento'Termopompa'Compressore'Comando	Comando
	3	36	Acqua Sanitaria-Comando registro elettrico	Comando
	3	37	Acqua Sanitaria-Temp. bollitore in basso	°C
	3	38	Acqua Sanitaria-Temp. bollitore in alto	°C
	2	39	Accumulatore-Temp. in basso	°C
	2	40	Accumulatore-Temp. in alto	°C
	2	41	Termopompa-Condensatore-Temperatura ingresso	°C
	2	42	Termopompa-Condensatore-Temperatura uscita	°C
	2	43	Termopompa-Condensatore-Valvola Miscela	%
Sonde temperatura beton	3	44	Gruppo serpentine appartamenti-Circuito di Miscela-Temperatura mandata	°C
	3	45	Gruppo ventilazione-Circuito di Miscela-Temperatura mandata	°C
	5	46	Finestra sala riunioni 1	°C
	5	47	Finestra open space 1a	°C
Sonde temperatura beton	5	48	Finestra open space 1b	°C
	5	49	Finestra ufficio 2	°C
	5	50	Sala riunioni 1	°C
	5	51	Sonde Temp. beton open space 1a	°C
Sonde temperatura beton	5	52	Open space 4	°C
	5	53	Ufficio 2	°C

Sonde T ufficio	5	54	sala riunioni 1	°C
	5	55	sala riunioni 1	°C
	5	56	Open space 1a	°C
	5	57	Open space 1a	°C
	5	58	Open space 1b	°C
	5	59	Open space 1b	°C
	5	60	Open space 4	°C
	5	61	Open space 4	°C
	5	62	Ufficio 2	°C
5	63	Ufficio 2	°C	
Sonde T e U	5	64	sala riunioni 1	%RH
	5	65	Open space 1a	%RH
	5	66	Open space 1b	%RH
	5	67	Open space 4	%RH
	5	68	Ufficio 2	%RH
	6	69	APP1/Sogg.	%RH
	6	70	APP2/Sogg.	%RH
	6	71	APP3/Sogg.	%RH
	6	72	APP4/Sogg.	%RH
	5	73	Sala riunioni 1	°C
	5	74	Open space 1a	°C
	5	75	Open space 1b	°C
	5	76	Open space 4	°C
	5	77	Ufficio 2	°C
	6	78	APP1/Sogg.	°C
	6	79	APP2/Sogg.	°C
6	80	APP3/Sogg.	°C	
6	81	APP4/Sogg.	°C	
Ventilazione'Uffici PT + P1 Monoblocco "B"	4	82	Batteria freddo'Valvola	%
	4	83	Recuperatore'Energy recovery monitoring'Temp dopo recuperatore	°C
	4	84	Recuperatore'Motore'Modulazione	%
	4	85	Umidità aria aspirazione	%RH
	4	86	Umidità aria esterna	%RH
	4	87	Umidità aria immissione	%RH
	4	88	Batteria riscaldamento'Valvola	%
	4	89	Temp. aria espulsione	°C
	4	90	Temp. aria aspirazione	°C
	4	91	Temp. aria esterna	°C
	92	Temp+umid convers entalpia	kJ/kg	
4	93	Temp. aria immissione	°C	
Ventilazione'Uffici PT + P1 Monoblocco "A"	4	94	Recuperatore'Energy recovery monitoring'Temp dopo recuperatore.	°C
	4	95	Recuperatore'Motore'Modulazione	%
	4	96	Umidità aria aspirazione	%RH
	4	97	Umidità aria esterna	%RH
	4	98	Umidità aria immissione	%RH
	4	99	Batteria riscaldamento Valvola	%
	4	100	Batteria freddo Valvola	%
	4	101	Temp. aria espulsione	°C
	4	102	Temp. aria aspirazione	°C
	4	103	Temp. aria esterna	°C
	104	Temp+umid convers entalpia	kJ/kg	
4	105	Temp. aria immissione	°C	

**Tabella 24 - Elenco dei sensori di rilevamento dati**



## 5.2 Individuazione dei periodi di calcolo

In questa sede sono stati analizzati i dati rilevati da luglio 2008 a febbraio 2010. Le frequenze di campionamento di ogni sensore sono state impostate da remoto dal manutentore e variano a seconda del sensore considerato. Ogni dispositivo di controllo, infatti, effettua un rilievo ogni due minuti circa oppure quando varia la grandezza rilevata. Si è deciso di suddividere l'analisi dei valori in 7 periodi di rilevamento:

Periodo A	29/07/08-31/12/08
Periodo B	01/01/09-31/05/09
Periodo C	01/06/09-31/07/09
Periodo D	01/08/09-30/09/09
Periodo E	01/10/09-30/11/09
Periodo F	21/12/09-31/12/09
Periodo G	01/01/10-20/02/10

**Tabella 25 – Periodi di rilevamento**

Per ogni periodo sono stati analizzati tutti i 105 sensori e, partendo dai valori rilevati ogni due minuti circa, sono state ottenute le medie orarie di rilevamento. L'attivazione dei sensori però non è stata continua ma intermittente: per ogni sensore si è deciso quindi di valutare la frequenza oraria mensile di campionamento; sono stati perciò presi in considerazione solamente i periodi in cui il rilevamento è risultato maggiore del 30% delle ore di ogni mese.

I mesi in cui tutti i sensori, o la maggior parte di essi, hanno effettuato dei rilievi significativi sono, per l'anno 2009: luglio, agosto, settembre, ottobre, novembre e per l'anno 2010: gennaio.

Le frequenze relative percentuali di ore rilevate rispetto alle ore mensili di ogni sensore nei mesi sopracitati sono riportate nella tabella seguente:

Gruppo	Cod	Descrizione	Frequenza % delle ore rilevate rispetto alle ore mensili					
			Lug 09	Ago 09	Set 09	Ott 09	Nov 09	Gen 10
Contatori energia	1	Contatori energia parte freddo-Evaporatore termopompa	55	100	66	82	100	
	2	Contatori energia parte freddo-Gr. serpentine TABS	57	100	66	82	100	80
	3	Contatori energia parte freddo-Gr. raffr. ventilazioni	55	100	66	82	100	80
	4	Contatori energia parte freddo-Gr. collettore freddo	55	100	66	82	100	80
	4.1	Contatori energia parte caldo-Gr. Pdc secondario						
	5	Contatori energia parte caldo-Gr. serpentine appartamenti	54	100	66	82	100	80
	6	Contatori energia parte caldo-Gr. risc. ventilazioni	54	100	66	82	100	80
	7	Contatori energia parte caldo-Gr. serpentine TABS	55	100	66	82	100	80
	8	Contatori energia parte caldo-Gr. Bollitore	55	100	66	82	100	80

Condizioni climatiche	9	Stazione Meteorologica-Umidità Aria Esterna	54	100	90	99	100	100
	10	Stazione Meteorologica-Irraggiamento Solare	75	100	90	99	100	100
	11	Stazione Meteorologica-Temperatura Aria Esterna	54	100	90	99	100	100
	12	Stazione Meteorologica-Direzione Vento		100	90			100
	13	Rilevamento Pioggia	75			99	100	
	14	Stazione Meteorologica-Velocità Vento	55			99	100	100
Heating/cooling display	15	Gr. serpentine uffici (TABS)-Pompa	55	63		86		64
	16	Gr. serpentine uffici (TABS)-Circuito di Miscela	55	100	90	100	100	100
	17	Gr. serpentine uffici (TABS)-Circuito di Miscela	74	100	90	100	100	100
	18	Gr. serpentine uffici (TABS)-Circuito di Miscela caldo	55	100	90	99	100	100
Raffreddamento- Scamb. acqua falda	19	Circuito di Miscela-Pompa-Comando	55	100	90		88	100
	20	Circuito di Miscela-Valvola scambiatore	75	100	90	99	100	100
	21	Temperatura mandata sec	75	100	90	99	100	100
	22	Temperatura ritorno sec	58	100	90	99	100	100
Raffreddamento- Ventilazioni	23	Circuito di Miscela-Pompa-Comando	74	100	90		88	100
	24	Temperatura mandata	55	100	90	100	100	100
Acqua di falda	25	Flusso acqua di falda	55	100	90	99	100	100
	26	Circuito di Miscela-Pompa sud	54	100	66	82	85	80
	27	Circuito di Miscela-Pompa nord	75	100	90	99	100	100
	28	Temperatura Mandata	55	100	90	99	100	100
	29	Valvola intercettazione filtro	75	100	90	99	100	100
Riscaldamento	30	Temp. ingr. scamb. acqua falda	75	100	90	99	100	100
	31	Temp.uscita scamb. acqua falda	54	100	90	99	100	100
	32	Termopompa'Ins. resist. bivalente con Test	75	100	90	99	100	100
	33	Termopompa'Evaporatore'Temperatura Ingresso	75	100	90	99	100	100
	34	Termopompa'Evaporatore'Temperatura Uscita	55	100	90	99	100	100
	35	Riscaldamento'Termopompa'Compressore'Comando	55	56		76		76
	36	Acqua Sanitaria-Comando registro elettrico	75	100	90	100	100	100
	37	Acqua Sanitaria-Temp. bollitore in basso	75	100	90	100	100	100
	38	Acqua Sanitaria-Temp. bollitore in alto	72	100	90	100	100	100
	39	Accumulatore-Temp. in basso	74	100	90	99	100	100
	40	Accumulatore-Temp. in alto	75	100	90	99	100	100
	41	Termopompa-Condensatore-Temperatura ingresso	75	100	90	99	100	100
	42	Termopompa-Condensatore-Temperatura uscita	55	100	90	99	100	100
	43	Termopompa-Condensatore-Valvola Miscela	75	100	90	99	100	100
	44	Gruppo serpentine appartamenti-Circuito di Miscela-Temperatura mandata	75	100	90	99	100	100
45	Gruppo ventilazione-Circuito di Miscela-Temperatura mandata		100	90		88	100	
Sonde temp. finestre	46	Finestra sala riunioni PT B-1						
	47	Finestra fis. costr. PT D-1						
	48	Finestra amb. 1°P G-1						
	49	Finestra DB 1°P I-1						
Sonde temperatura beton	50	Sala riunioni B-2						
	51	Sonde Temp. beton'Fis. costr. D-2						
	52	Amb. G-2						
	53	DB I-2	75					
Sonde T ufficio	54	sala riunioni PT A-1	75	100	90	99	100	100
	55	sala riunioni PT A-3	75	100	90	99	100	100
	56	PT C-1	76	100	90	99	100	100
	57	PT C-3	75	100	90	99	100	100
	58	acustica PT E-1	75	100	90	99	100	100
	59	acustica PT E-3	75	100	90	99	100	100
	60	amb. 1°P F-1	75	100	90	99	100	100
	61	amb. 1°P F-3	75	100	90	99	100	100
	62	amb. DB 1°P H-1	75	100	90	99	100	100
	63	amb. DB 1°P H-3	75	100	90	99	100	100

Sonde T e U	64	sala riunioni PT A-2	75	100	90	99	100	100
	65	costr. C-2	75	100	90	99	100	100
	66	acustica E-2	75	100	90	99	100	100
	67	amb. F-2	75	100	90	99	100	100
	68	amb. DB H-2	75	100	90	99	100	100
	69	APP1/Sogg. J1	75	100	90	99	100	100
	70	APP2/Sogg. K1	75	100	90	99	100	100
	71	APP3/Sogg. L1	75	100	90	99	100	100
	72	APP4/Sogg. M1	75	100	90	99	100	100
	73	ufficio ST	75	100	90	99	100	100
	74	fis. costr. C-2	75	100	90	99	100	100
	75	acustica E-2	75	100	90	99	100	100
	76	amb. F-2	75	100	90	99	100	100
	77	DB H-2	75	100	90	99	100	100
	78	APP1/Sogg. J1	75	100	90	99	100	100
	79	APP2/Sogg. K1	75	100	90	99	100	100
	80	APP3/Sogg. L1	75	100	90	99	100	100
81	APP4/Sogg. M1	58	100	90	99	100	100	
Ventilazione'Uffici PT + P1 Monoblocco "B"	82	Batteria freddo'Valvola	75	100	90	99	100	100
	83	Recuperatore'Energy recovery monitoring'Temp dopo recuperatore	56	100	90	99	100	100
	84	Recuperatore'Motore'Modulazione	75	100	90	99	100	100
	85	Umidità aria aspirazione	75	100	90	99	100	100
	86	Umidità aria esterna	75	100	90	99	100	100
	87	Umidità aria immissione	55	100	90	99	100	100
	88	Batteria riscaldamento'Valvola	75	100	90	99	100	100
	89	Temp. aria espulsione	75	100	90	99	100	100
	90	Temp. aria aspirazione	75	100	90	99	100	100
	91	Temp. aria esterna	75	100	90	99	100	100
	92	Temp+umid convers entalpia	75	34		99	100	
	93	Temp. aria immissione	75	100	90	99	100	100
Ventilazione'Uffici PT + P1 Monoblocco "A"	94	Recuperatore'Energy recovery monitoring'Temp dopo recuperatore.	56	100	90	99	100	100
	95	Recuperatore'Motore'Modulazione	75	100	90			100
	96	Umidità aria aspirazione	75	100	90	99	100	100
	97	Umidità aria esterna	75	100	90	99	100	100
	98	Umidità aria immissione	54	100	90	99	100	100
	99	Batteria riscaldamento Valvola	58	100	90	99	100	100
	100	Batteria freddo Valvola	75	100	90	99	100	100
	101	Temp. aria espulsione	75	100	90	99	100	100
	102	Temp. aria aspirazione	75	100	90	99	100	100
	103	Temp. aria esterna	75	100	90	99	100	100
	104	Temp+umid convers entalpia	75	100	90	99	100	
	105	Temp. aria immissione	75	100	90	99	100	100

**Tabella 26 - Frequenze % delle ore rilevate rispetto alle ore mensili**

## 6. Condizioni climatiche reali

La posizione geografica del comune di Rivera è la seguente:

Comune di Rivera, TI	
Altitudine sul livello del mare [m]	525
Latitudine [°]	46.116 N
Longitudine [°]	8.922 E

**Tabella 27 - Coordinate geografiche del comune di Rivera**

Come scritto in precedenza, a partire da luglio 2008 è stata effettuata una campagna di misure che ha permesso di rilevare l'andamento di alcuni parametri significativi. I valori, tuttavia, non sono disponibili in maniera continua a causa di diversi fattori tra cui i guasti dei sensori; inoltre non tutti i campionamenti sono iniziati contemporaneamente, infatti la necessità di effettuare nuove misurazioni è sorta a partire dall'osservazione dei valori già acquisiti o da condizioni di discomfort percepite dall'utenza.

L'irradianza solare globale su piano orizzontale [ $W/m^2$ ], la temperatura dell'aria esterna [ $^{\circ}C$ ] e l'umidità dell'aria esterna [%] rilevati in situ fanno parte del gruppo "Condizioni climatiche" appartenente alla stazione meteorologica: i dispositivi di irradianza e umidità sono posti sulla copertura piana dell'edificio, mentre la sonda di temperatura esterna è situata sulla facciata esposta a NordOvest. Verranno di seguito analizzate singolarmente le tre grandezze, valutandone l'andamento orario in ogni mese di tutto il periodo di analisi (da luglio 2008 a febbraio 2010).



**Figura 71 - Sensore del vento e corretto posizionamento del sensore di irradianza solare**



Figura 72 - Stazione meteorologica posta sul tetto



Figura 73 - Sensore di temperatura esterna posto sulla facciata NW

I dati disponibili riguardano i seguenti periodi:

Anno 2008	Irradianza [W/m <sup>2</sup> ]	T_ext [°C]	UR_ext [%]
Gennaio			
Febbraio			
Marzo			
Aprile			
Maggio			
Giugno			
Luglio	x	x	x
Agosto	x	x	x
Settembre	x	x	x
Ottobre		x	x
Novembre		x	x
Dicembre			

Anno 2009	Irradianza [W/m <sup>2</sup> ]	T_ext [°C]	UR_ext [%]
Gennaio			
Febbraio		x	x
Marzo		x	x
Aprile		x	x
Maggio		x	x
Giugno		x	x
Luglio		x	x
Agosto		x	x
Settembre	x	x	x
Ottobre	x	x	x
Novembre	x	x	x
Dicembre	x	x	x

Anno 2010	Irradianza [W/m <sup>2</sup> ]	T_ext [°C]	UR_ext [%]
Gennaio	x	x	x
Febbraio	x	x	x
Marzo			
Aprile			
Maggio			
Giugno			
Luglio			
Agosto			
Settembre			
Ottobre			
Novembre			
Dicembre			

Tabella 28 - Disponibilità dei dati climatici esterni nel 2008, nel 2009 e nel 2010

## 6.1 Analisi della temperatura dell'aria esterna

La temperatura dell'aria esterna è stata rilevata dal sensore numero 11 da luglio a novembre del 2008, per tutto il 2009 ad esclusione del mese di gennaio, e per entrambi i mesi considerati nel 2010 (gennaio e febbraio). I rilievi non sono continuativi, ma presentano delle interruzioni dovute a mal funzionamenti del dispositivo o alla manutenzione dello stesso.

Per accertare l'attendibilità delle misure, sono stati confrontati i valori rilevati in situ con quelli misurati dalla stazione meteorologia di Camignolo che fa parte della rete di rilevamento OASI, acronimo di Osservatorio Ambientale della Svizzera Italiana, uno strumento del Dipartimento del territorio volto a promuovere un'osservazione ambientale permanente introducendo un sistema informativo per la gestione dei dati a servizio della ricerca. Questo osservatorio ambientale è sorto nel 2002 dalla constatazione del rischio di un degrado ambientale causato dall'aumento del traffico stradale che ha accentuato la necessità di seguire nel tempo e nello spazio l'evoluzione dei carichi ambientali.

I dati della stazione di Camignolo sono rilevati ogni 10 minuti e sono stati rielaborati al fine di calcolarne le medie orarie per effettuare dei confronti con i valori orari misurati in situ.

Stazione di rilevamento climatico	Rivera, TI	Camignolo, TI	Locarno-Monti, TI
Altitudine sul livello del mare [m]	525	449	366
Latitudine [°]	46.116 N	46.1 N	46.17 N
Longitudine [°]	8.922 E	8.95 E	8.78 E
Distanza in linea d'aria dal punto d'interesse [km]	0	2	13

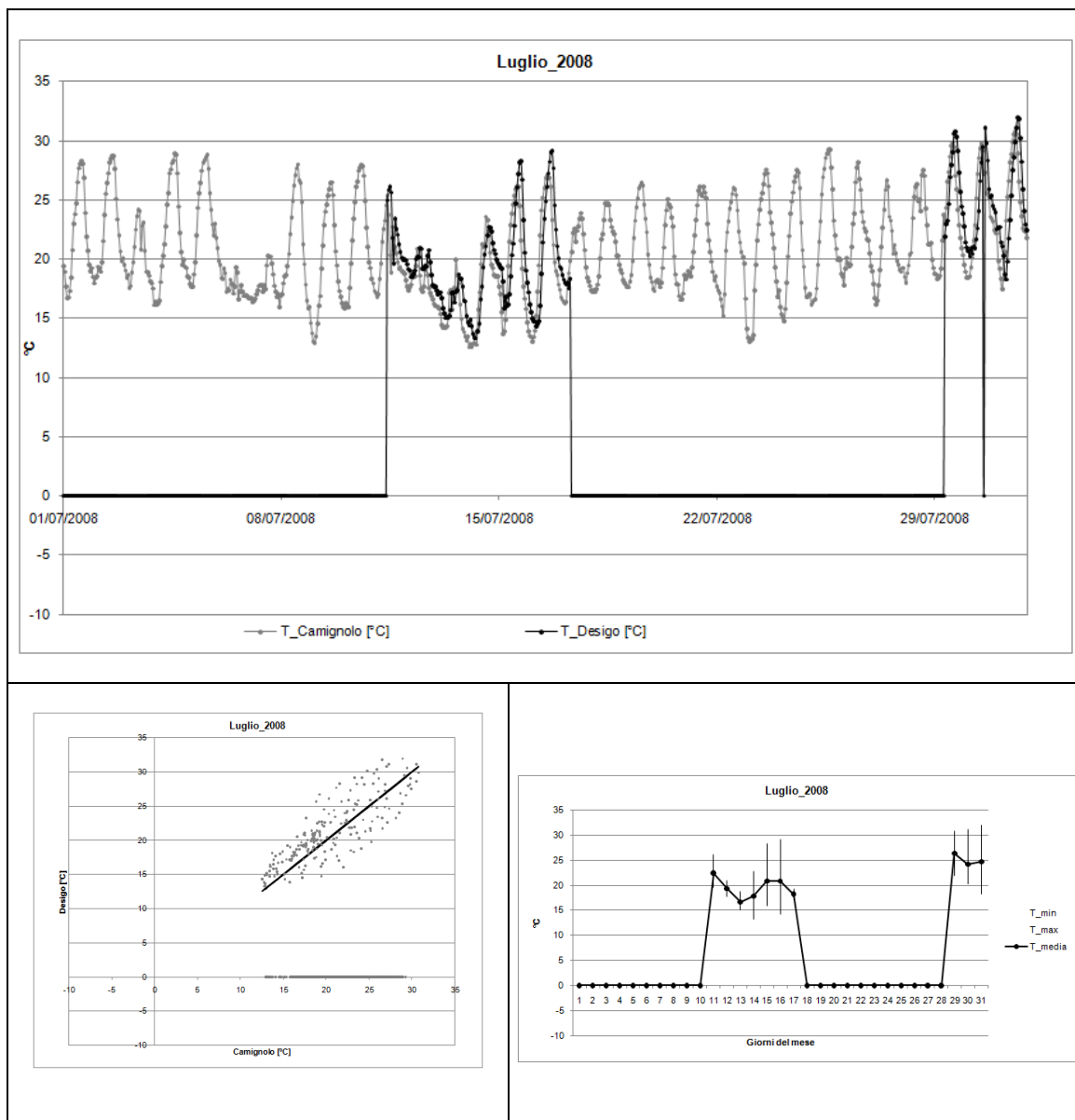
Tabella 29 - Caratteristiche delle stazioni di rilevamento



Figura 74 - Fonte: Google Earth

Per ogni mese considerato, vengono illustrate tre analisi attraverso altrettanti grafici: dapprima si osserva l'andamento orario nel mese della temperatura rilevata in situ dal sistema di monitoraggio Desigo confrontato con l'andamento dei dati misurati dalla stazione meteorologica di Camignolo; anche il secondo grafico mette in relazione le temperature rilevate da Camignolo con quelle misurate in situ per vedere la dispersione dei dati: nel caso in cui i dati coincidono, la

nuvola di valori si avvicina sempre più alla bisettrice del grafico, segnalata da una linea nera; nel terzo grafico, detto “box-plot”, si nota per ogni giorno del mese il valore di temperatura media, massima e minima rilevato in situ dal sistema di monitoraggio Desigo.

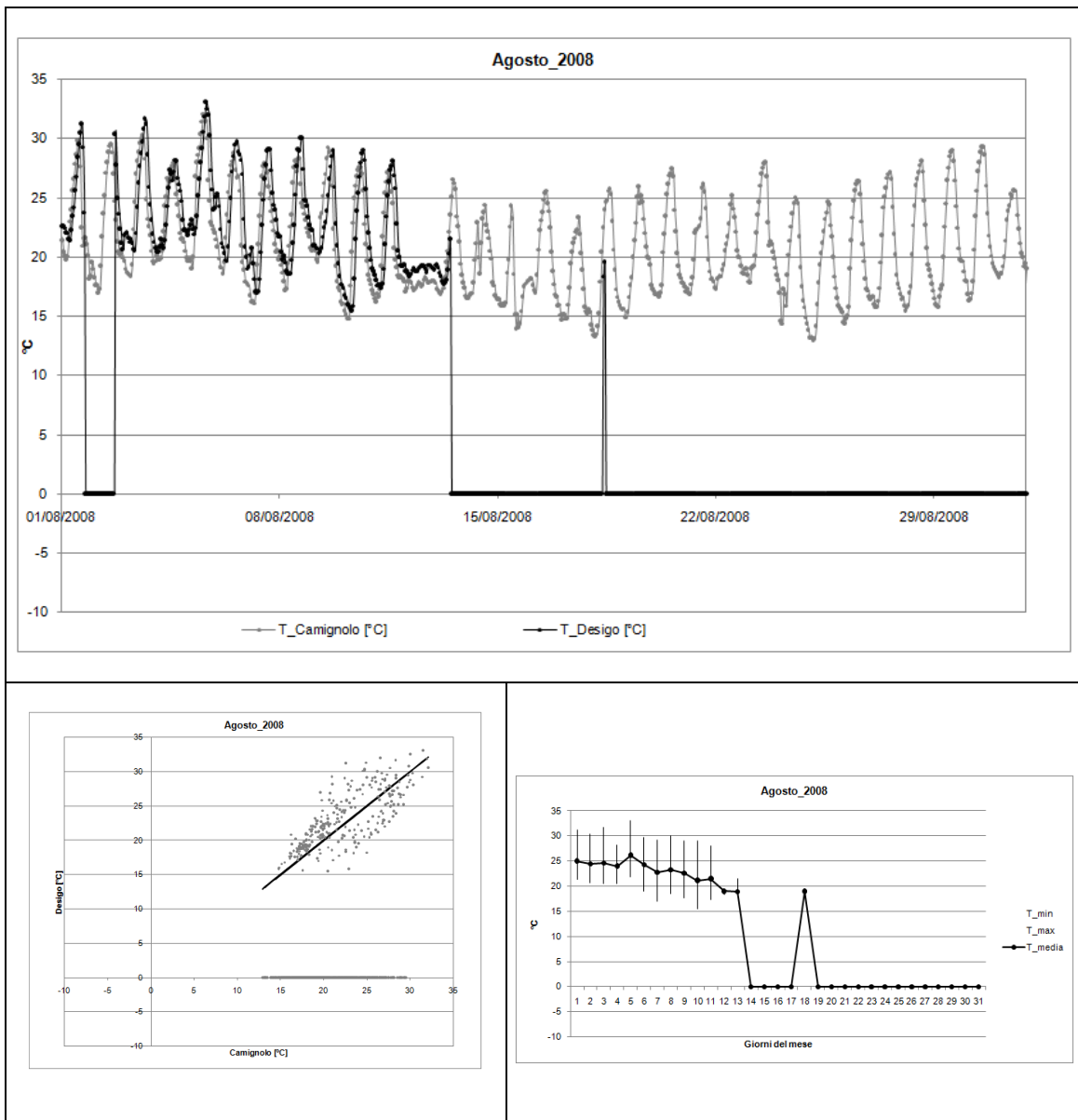


**Tabella 30 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di luglio 2008**

Nel mese di luglio 2008, si vede che i rilievi in situ non sono stati continuativi, ma effettuati solamente a cavallo tra la seconda e la terza settimana e negli ultimi giorni del mese.

Nei periodi in cui sono stati rilevati, l'andamento è pressoché analogo a quello di Camignolo e la nuvola di dispersione tende a coincidere con la linea di bisettrice.

La massima temperatura di circa 33°C è stata raggiunta a fine mese, mentre la minima di circa 14°C è rilevata il 14 luglio.



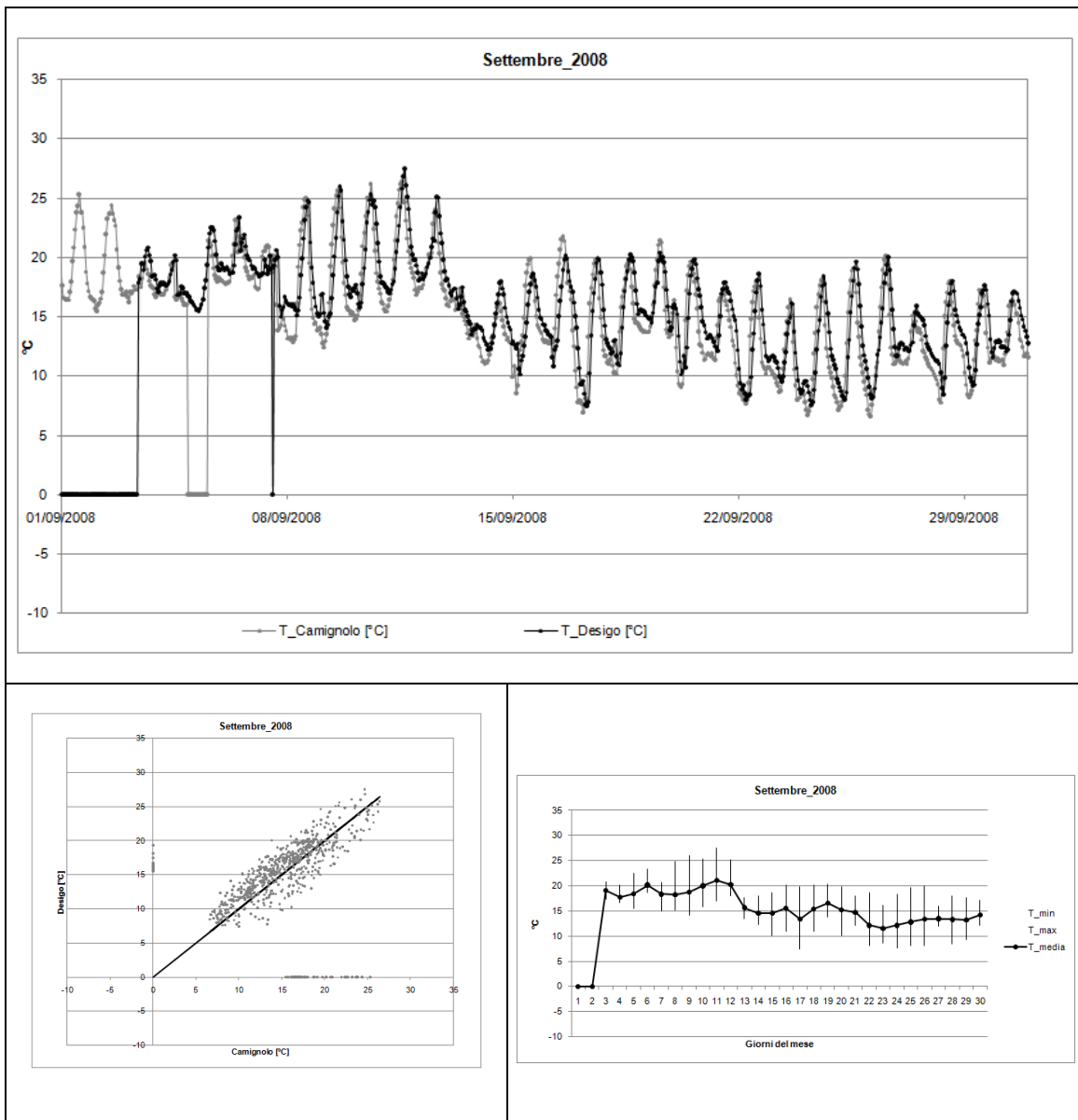
**Tabella 31 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di agosto 2008**

Nel mese di agosto 2008 i rilievi sono stati effettuati solamente nelle prime due settimane; questo è dovuto a un probabile guasto del sensore.

La nuvola di dispersione non coincide esattamente con la linea di bisettrice poiché la temperatura è misurata in condizioni, seppur lievemente, differenti: in situ la sonda di temperatura è posta sul lato NordOvest dell'edificio a un'altezza di circa 6 metri, mentre la stazione meteorologica di Camignolo, che si trova a 2 km dall'edificio in esame, misura la temperatura a un'altezza di 2.4 m.

La massima temperatura di 34°C di agosto 2008 è rilevata al quinto giorno del mese, mentre la minima di 15°C al decimo giorno.

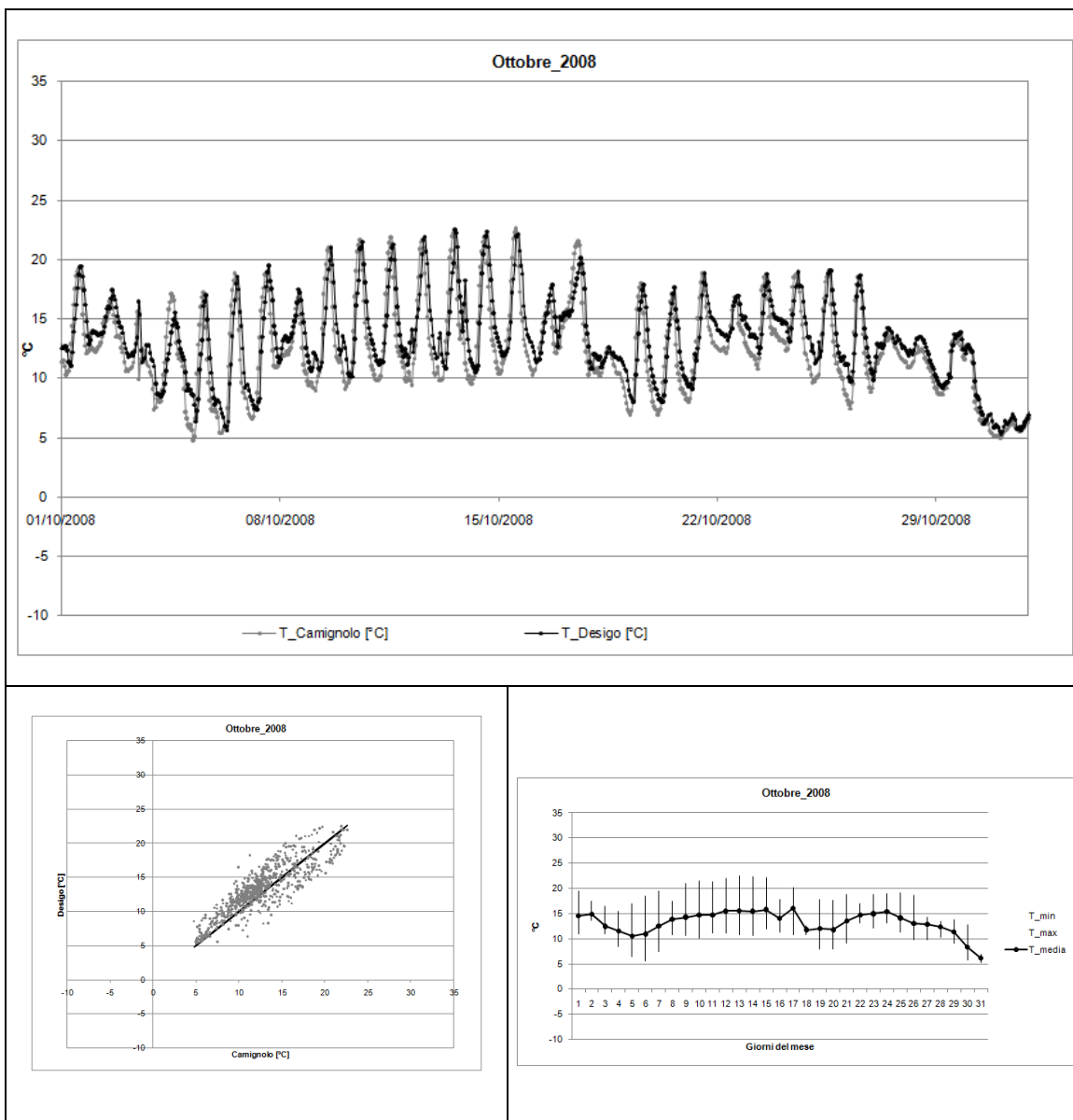




**Tabella 32 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di settembre 2008**

La prima settimana del mese di settembre, in continuità con il mese precedente, il sensore ha smesso di funzionare, per poi riprendere a pieno ritmo. Anche la stazione di Camignolo ha avuto dei problemi di rilevamento dati per qualche giorno, misurando valori pari a zero; questo spiega il fatto che la bisettrice del secondo grafico parte dall'origine del diagramma nonostante la temperatura non tocchi mai i 0°C in questo mese.

La minima temperatura, infatti, è intorno ai 7°C misurata il diciassettesimo giorno, mentre la massima di 27°C è rilevata il decimo giorno.

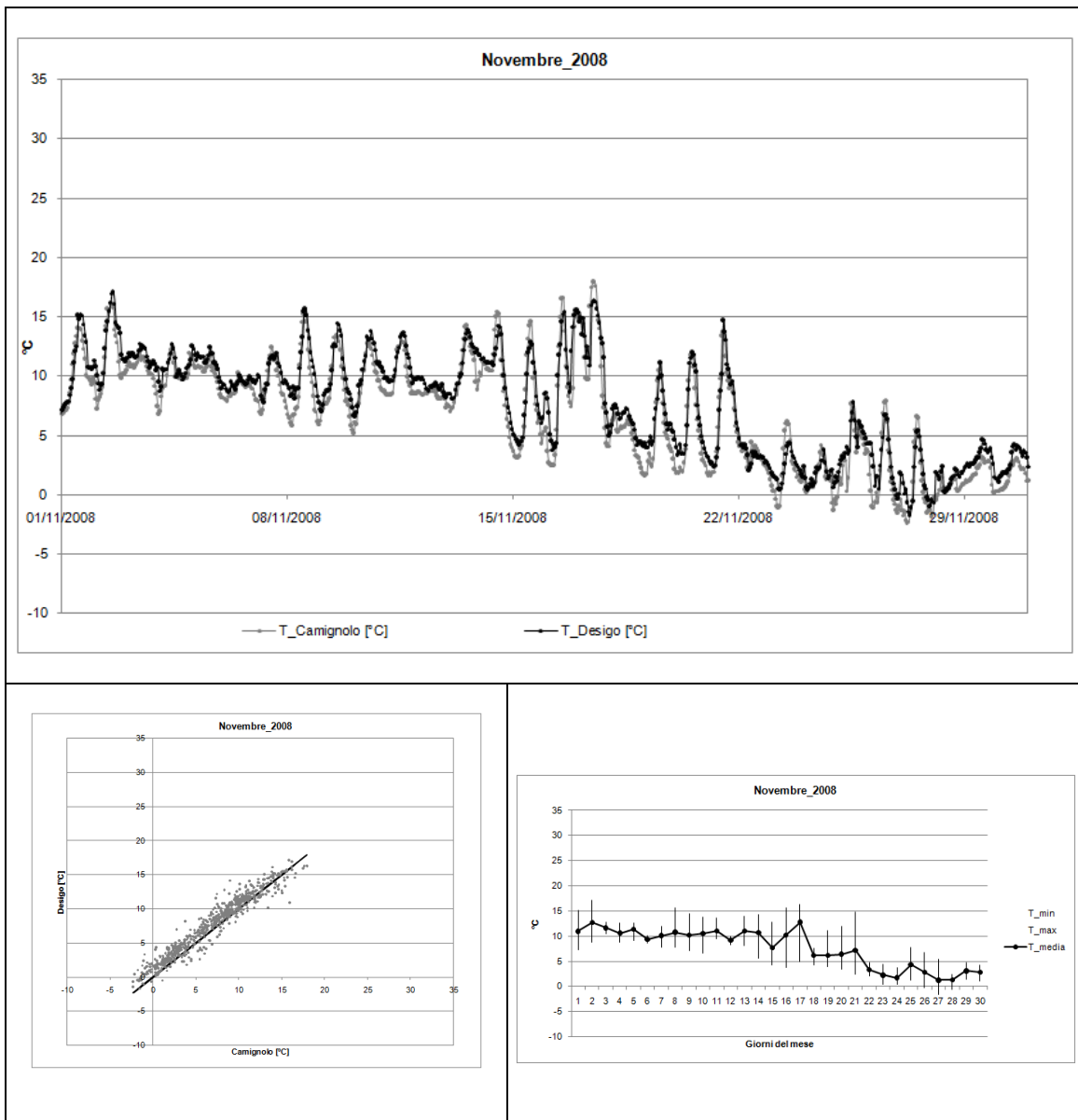


**Tabella 33 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di ottobre 2008**

Nel mese di ottobre 2008 il sensore ha funzionato per tutto il mese.

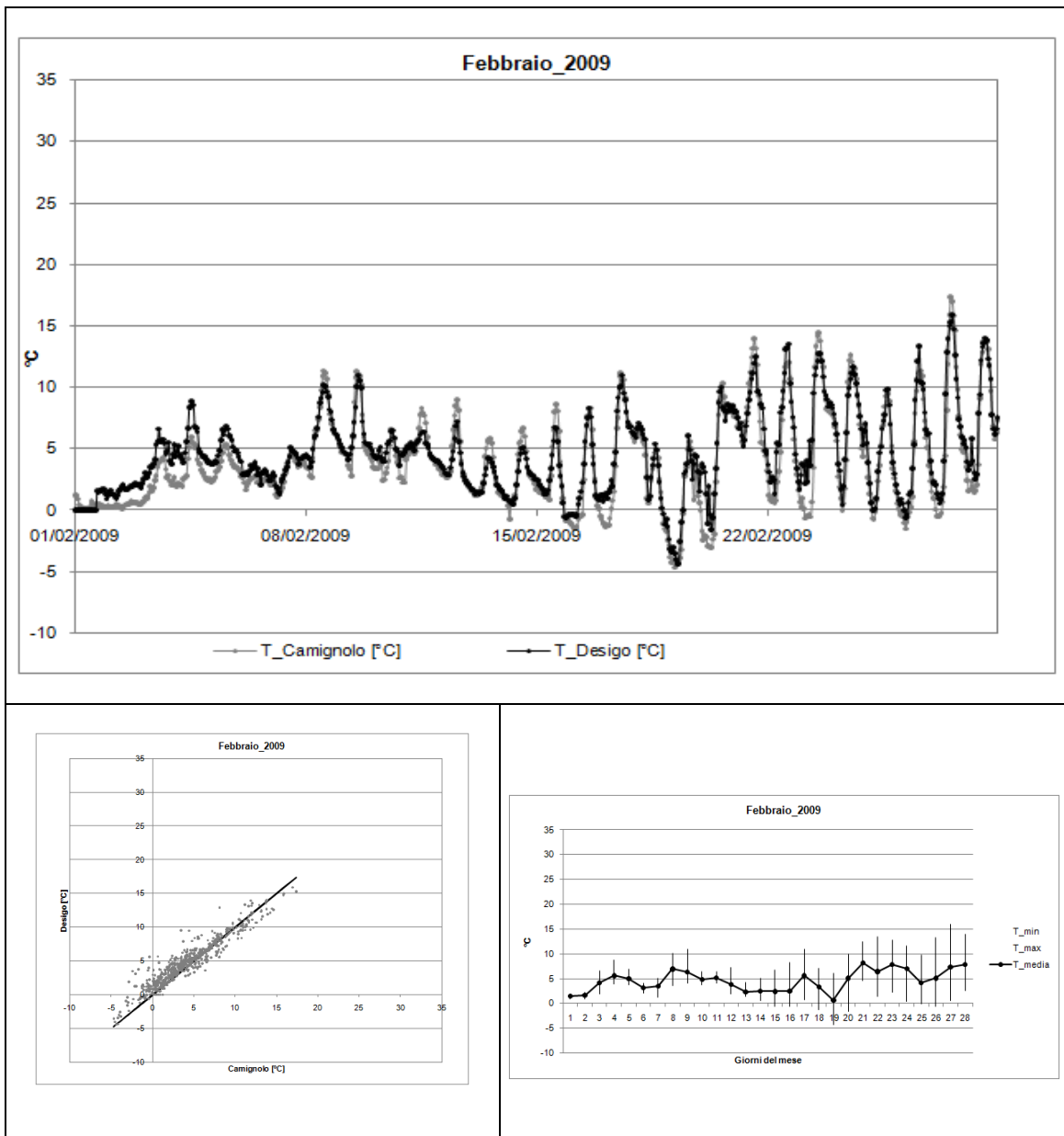
Si osserva che, mentre nella fine di settembre i valori oscillavano tra 7 °C e 20 °C, la prima metà di questo mese è risultata mediamente più calda, variando la propria temperatura in un intervallo compreso tra 5 °C e 23 °C.

Si nota inoltre che i picchi massimi giornalieri rilevati da Desigo e da Camignolo coincidono, mentre ci sono maggiori differenze nelle misure delle temperature notturne: i dati di Desigo risultano sempre più alti rispetto a quelli di Camignolo, probabilmente perché il sensore posto sulla parete NordOvest dell'edificio è più riparato rispetto al sensore della stazione meteorologica. La massima temperatura di 23 °C è raggiunta nei giorni 13, 14 e 15, mentre la minima di 5 °C è stata misurata il sesto giorno.



**Tabella 34 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di novembre 2008**

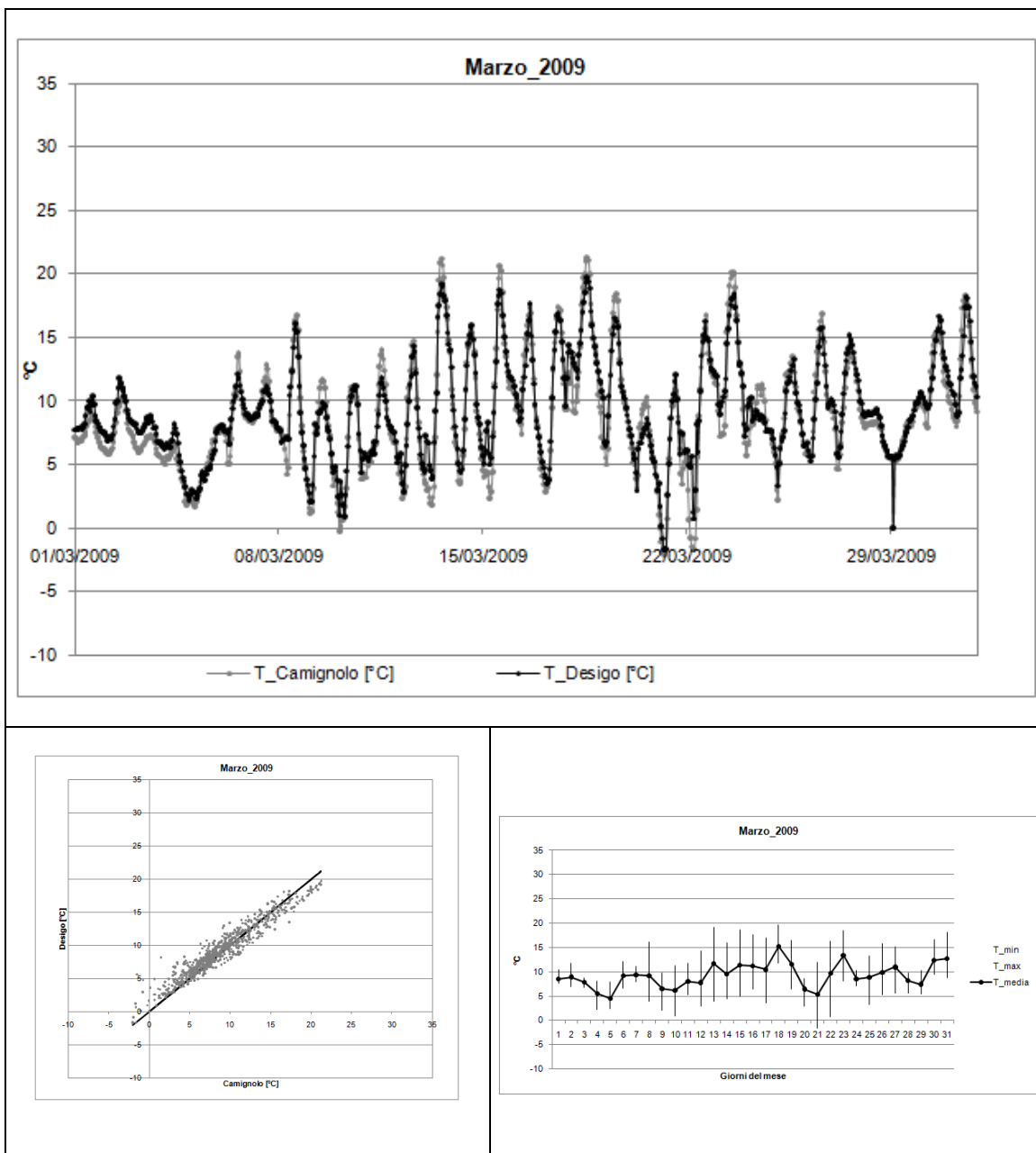
È possibile suddividere il mese di novembre 2008 in due parti: nella prima metà del mese la temperatura ha oscillato tra 5°C e 17°C e, come già si era verificato nel mese di ottobre, lo scostamento delle misure di temperatura tra Desigo e Camignolo avviene in corrispondenza dei picchi minimi. Con l'avanzamento della stagione invernale, nella seconda metà del mese si assiste alla progressiva diminuzione delle temperature: l'intervallo di variazione oscilla tra -3°C, che è la temperatura minima rilevata il ventisettesimo giorno, e 7°C con un picco isolato di 15°C il ventunesimo giorno. La temperatura massima del mese è di 17°C raggiunta il secondo e il diciassettesimo giorno.



**Tabella 35 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di febbraio 2009**

Nel mese di gennaio 2009 non sono state effettuate misure; si passa quindi all'analisi di febbraio 2009, che presenta una notevole variazione tra i valori di Desigo e quelli di Camignolo nella prima settimana: questo è probabilmente dovuto al fatto che il guasto che caratterizzava lo strumento nel mese precedente era appena stato risolto e il dispositivo si trovava ancora in una fase di adattamento. Per la restante parte del mese, si nota che gli andamenti tra le due misurazioni sono grossomodo coincidenti, tranne che per alcuni picchi massimi misurati nella metà del mese. Rispetto ai mesi analizzati in precedenza, si nota che l'andamento della temperatura media, minima e massima del terzo grafico oscilla con un'ampiezza minore poiché

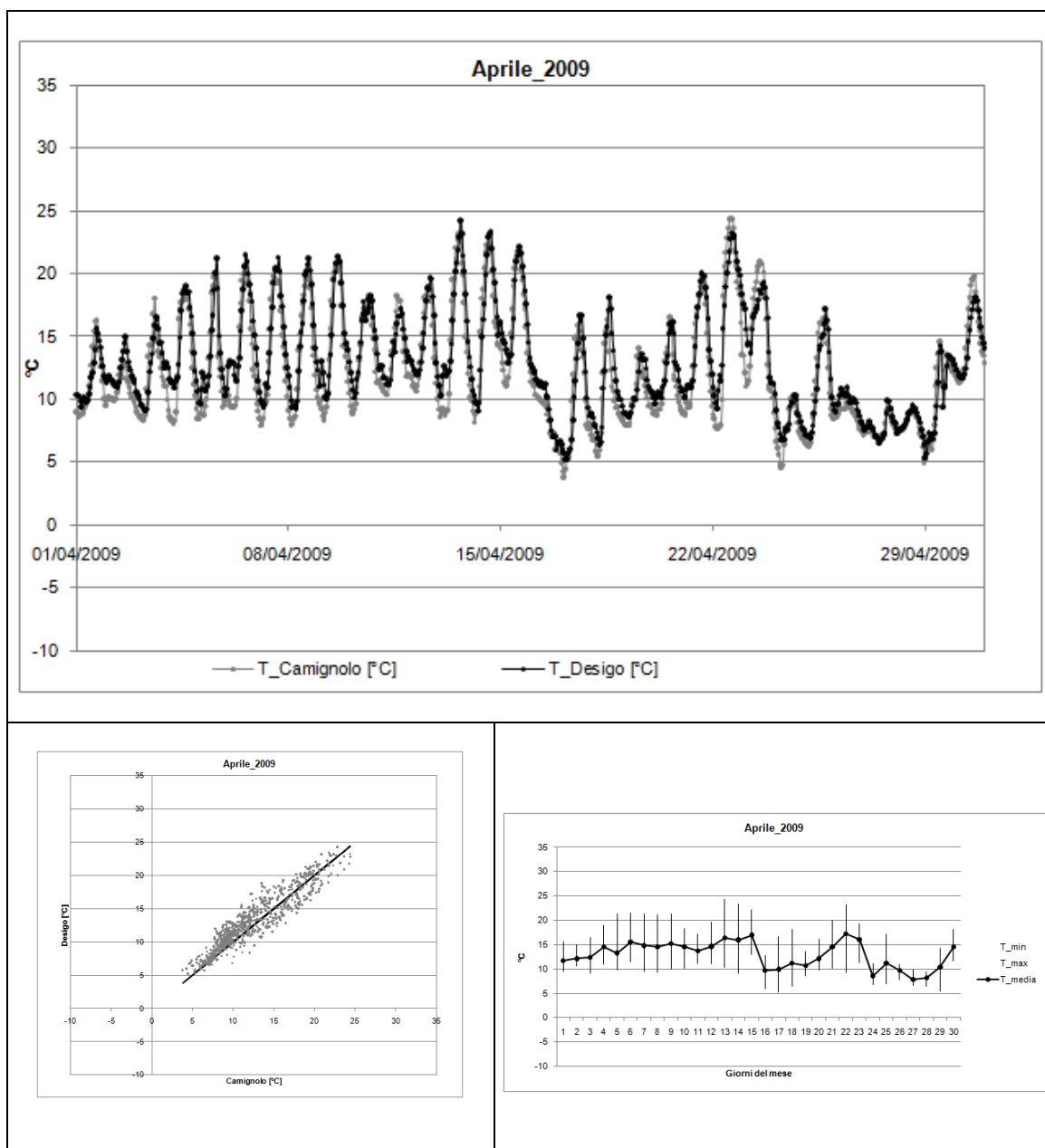
ci si trova nella stagione invernale. La temperatura massima misurata è di 16°C il 27 febbraio, mentre la minima, di -4°C, è stata toccata il 19 febbraio.



**Tabella 36 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di marzo 2009**

Il sensore di temperatura è stato attivo per tutto il mese di marzo 2009, che è caratterizzato da una generale sovrapposizione tra l'andamento delle misure di Desigo e quello di Camignolo, come si può notare oltre che dal grafico uno, anche dalla notevole concentrazione della nuvola di dati intorno alla bisettrice del grafico due, ma in particolare si osserva che i picchi, sia superiori sia inferiori, dei due andamenti non sono coincidenti. Nello specifico, Desigo registra temperature più basse per i picchi superiori e temperature più alte per quanto riguarda i picchi

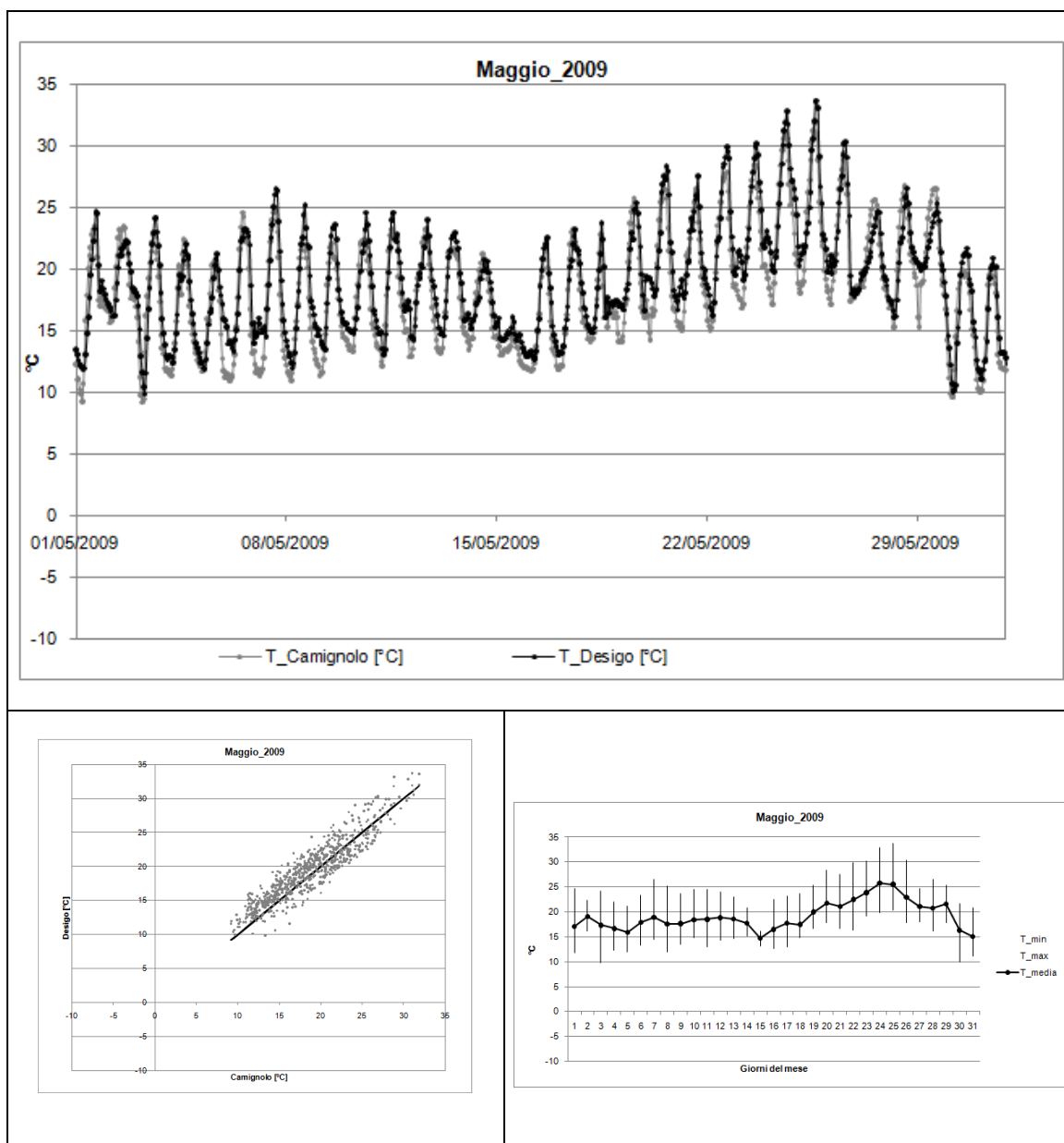
inferiori. L'intervallo di variazione oscilla tra i -2°C, temperatura minima rilevata il ventunesimo giorno, e i 20°C, temperatura massima misurata il diciottesimo giorno.



**Tabella 37 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di aprile 2009**

L'analisi del mese di aprile 2009 può essere suddivisa in due parti: le prime due settimane vedono un restringimento dell'intervallo di oscillazione delle temperature a favore della mitezza climatica per cui si varia tra i 10°C e i 23°C e in cui si nota che lo scostamento tra le misure di Desigo e quelle di Camignolo avviene nei picchi inferiori di temperatura, probabilmente per il fatto che il sensore di Desigo è più riparato. Nelle rimanenti settimane, l'oscillazione ha aumentato la propria ampiezza ed ha acquisito un andamento maggiormente irregolare, facendo variare la temperatura da un minimo di 5°C, rilevati il 17 aprile, a un massimo di 24°C,

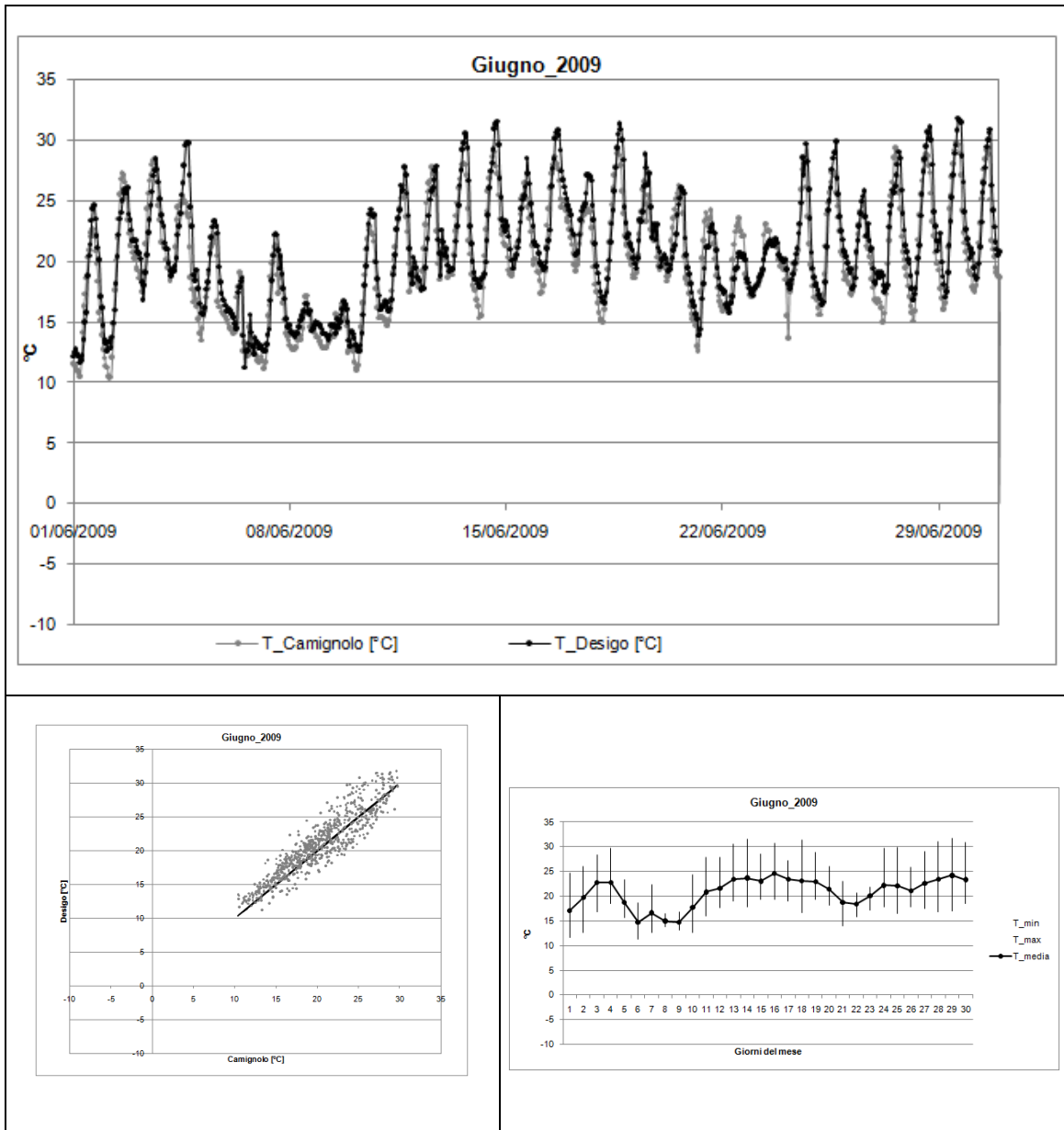
misurati il 22 aprile. In questa seconda parte lo scostamento è meno rilevante e riguarda non solo alcuni picchi inferiori ma anche qualche picco superiore.



**Tabella 38 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di maggio 2009**

Il mese di maggio 2009 è stato particolarmente caldo rispetto alla norma e lo si nota dal fatto che la prima parte del mese oscilla tra i 10°C, temperatura minima registrata il 3 e il 30 maggio, e i 25°C, mentre la seconda parte tra i 10°C e i 33°C, temperatura massima misurata il 25 maggio. Come osservato anche in alcuni mesi precedenti, si osserva che l'andamento delle misure di Desigo e quello di Camignolo si sovrappone perfettamente ad eccezione di tutti picchi minimi e di qualche picco massimo. Questo spiega il fatto che, nel secondo grafico, la nuvola di valori non coincide con la linea della bisettrice, ma si discosta da essa. Dal terzo grafico si vede

che la temperatura media dell'aria esterna nella prima metà del mese si è sempre aggirata intorno ai 17°C, mentre nella seconda parte si è assistito ad un aumento fino a 26°C di media e ad una progressiva diminuzione fino a 15°C di valor medio.

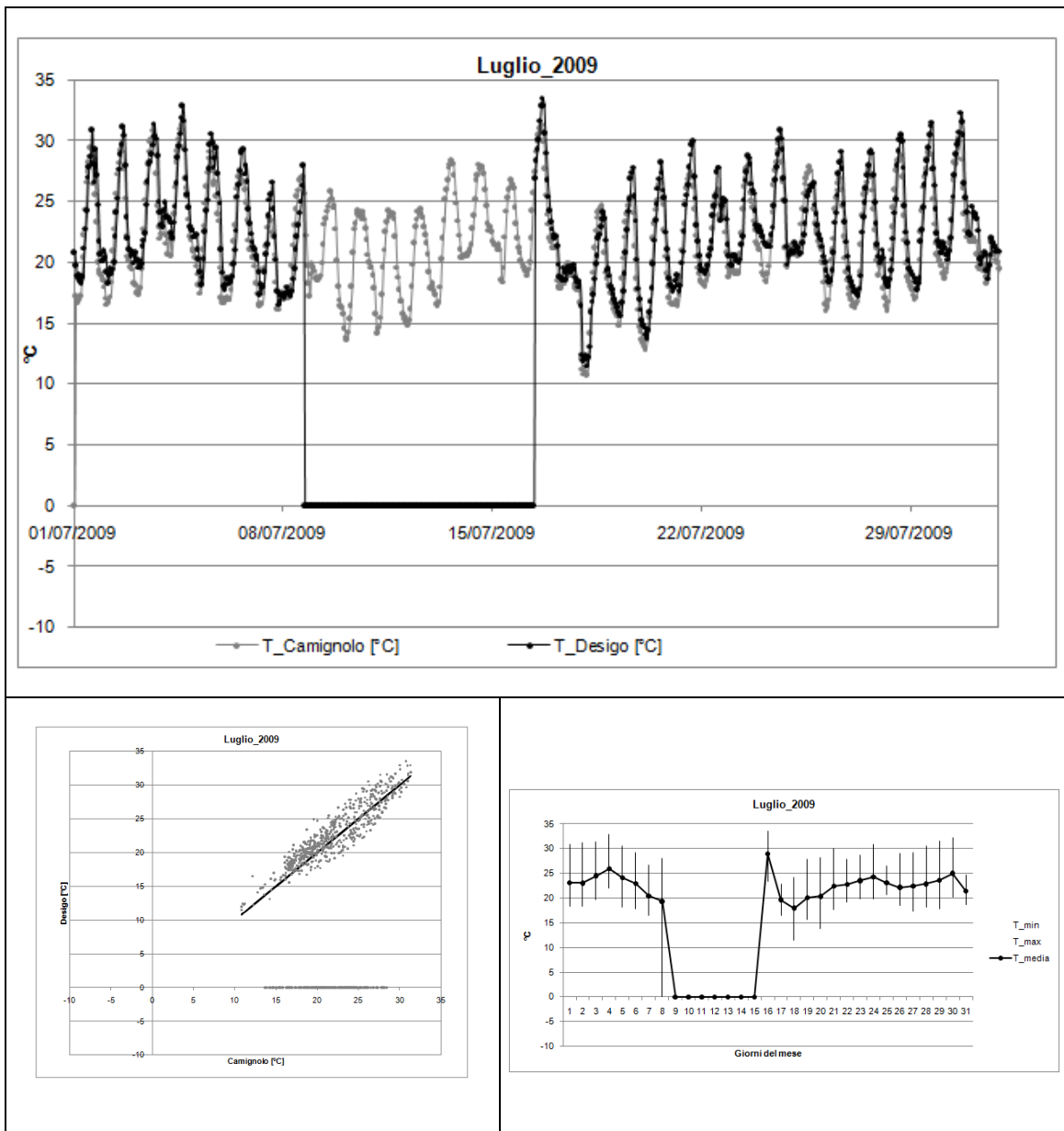


**Tabella 39 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di giugno 2009**

Il sensore che rileva la temperatura dell'aria esterna ha funzionato per tutto il mese di giugno 2009. Dal terzo grafico si vede che i primi quattro giorni del mese sono stati caratterizzati da un progressivo aumento della temperatura partendo da 17°C di media a 24°C, mentre la seconda settimana ha registrato un valore medio intorno ai 15°C. Nei restati giorni il valore medio di temperatura è salito toccando anche i 25°C a metà mese. Il valore minimo misurato è di 12°C al sesto giorno, mentre il massimo di 31°C è stato raggiunto il 14, il 19 e il 29 giugno.



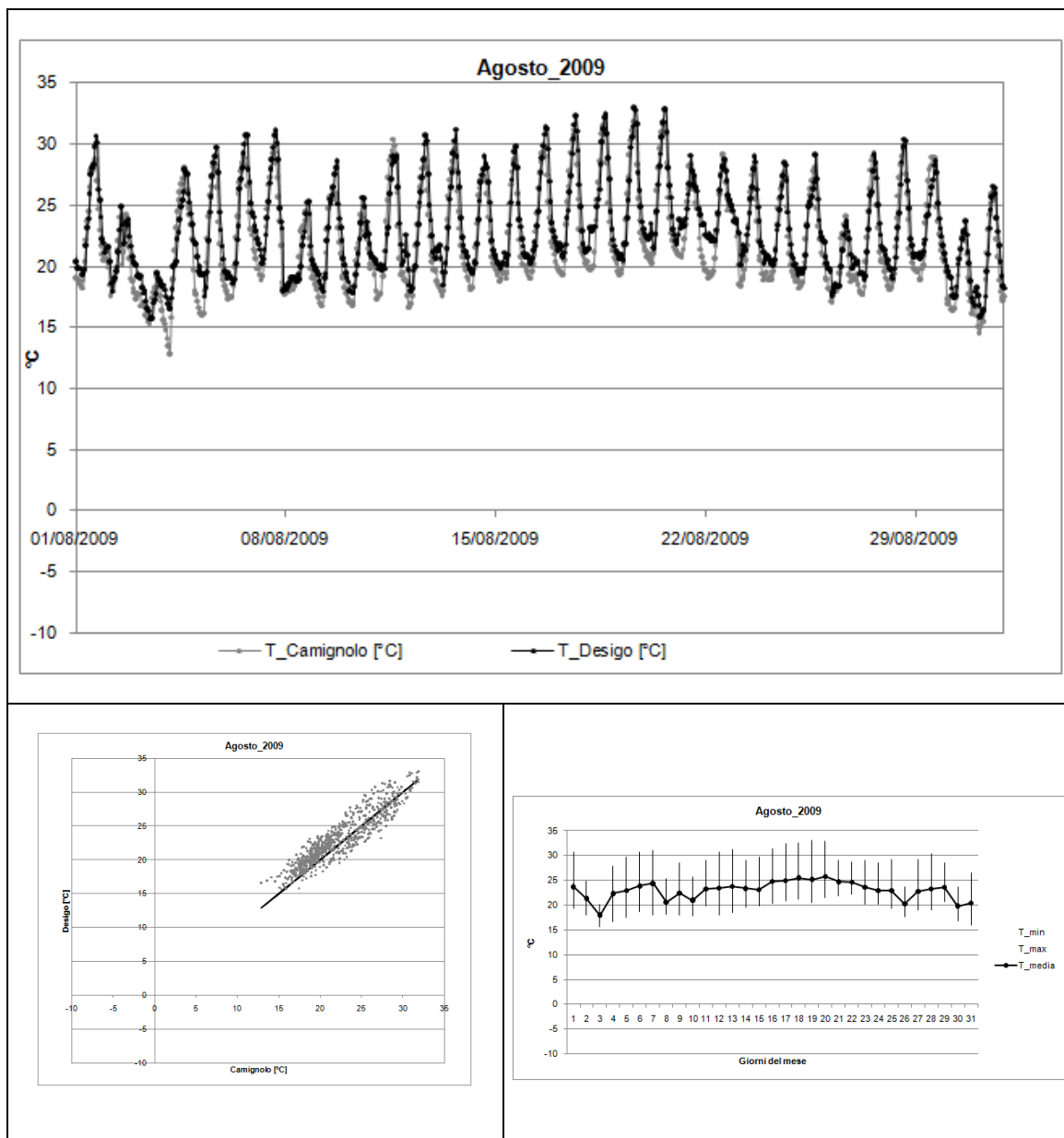
Dai primi due grafici invece si osserva che i due andamenti sono sostanzialmente coincidenti, a parte i picchi inferiori che variano fino a 3°C (ad esempio a inizio mese e a metà mese).



**Tabella 40 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di luglio 2009**

Nel mese di luglio 2009 il sensore non ha funzionato durante tutta la seconda settimana, come si può notare dalla mancanza di dati nel primo grafico e dal fatto che nel terzo grafico la minima temperatura segnalata all'ottavo giorno risulta essere 0°C, dove per 0 in realtà si intende assenza di valore. Dal primo grafico si può constatare la coincidenza dei due andamenti, a meno sempre dei picchi inferiori di temperatura. L'oscillazione varia abbastanza regolarmente nella prima settimana tra 17°C e 33°C, mentre nel resto del mese si passa da un massimo di 34°C registrato il 16 luglio a un minimo di 12°C del 18 luglio. Il mese di luglio 2009 è importante

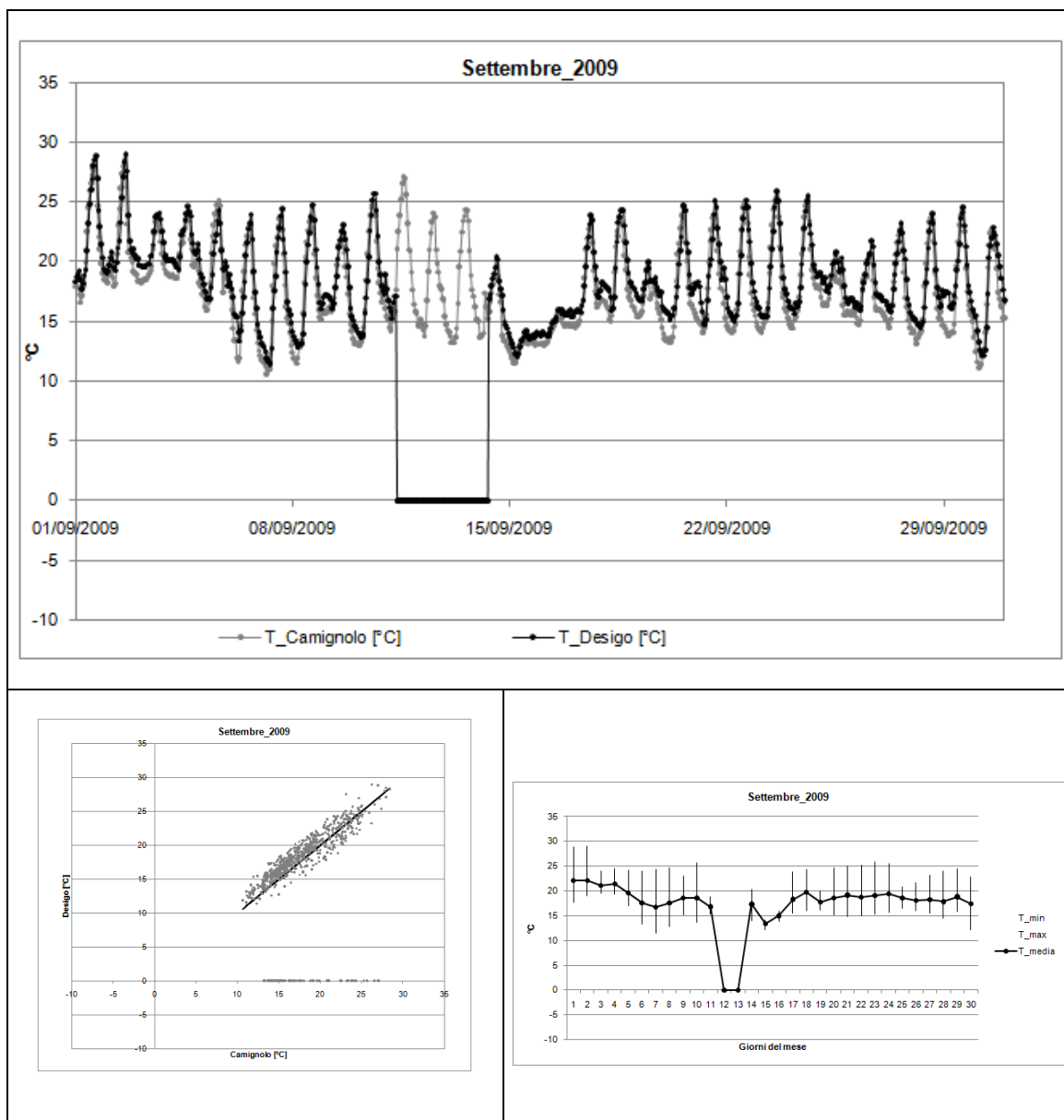
anche per le analisi degli altri sensori poiché è proprio da questo mese che inizia il periodo di riferimento, che durerà fino a novembre 2009 e include anche il mese di gennaio 2010, per le successive valutazioni sull'impianto e sul comfort interno.



**Tabella 41 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di agosto 2009**

Dal terzo grafico si vede che l'andamento della temperatura media del mese di agosto 2009 è pressoché stazionario intorno ai 25°C nella parte centrale del mese, mentre varia irregolarmente oscillando tra 18°C e 25°C nella prima e nell'ultima parte del mese. Il valore massimo di 33°C è raggiunto in due giorni (il 19 e il 20 agosto), mentre il minimo di 16°C è misurato il 3 e il 31 agosto.

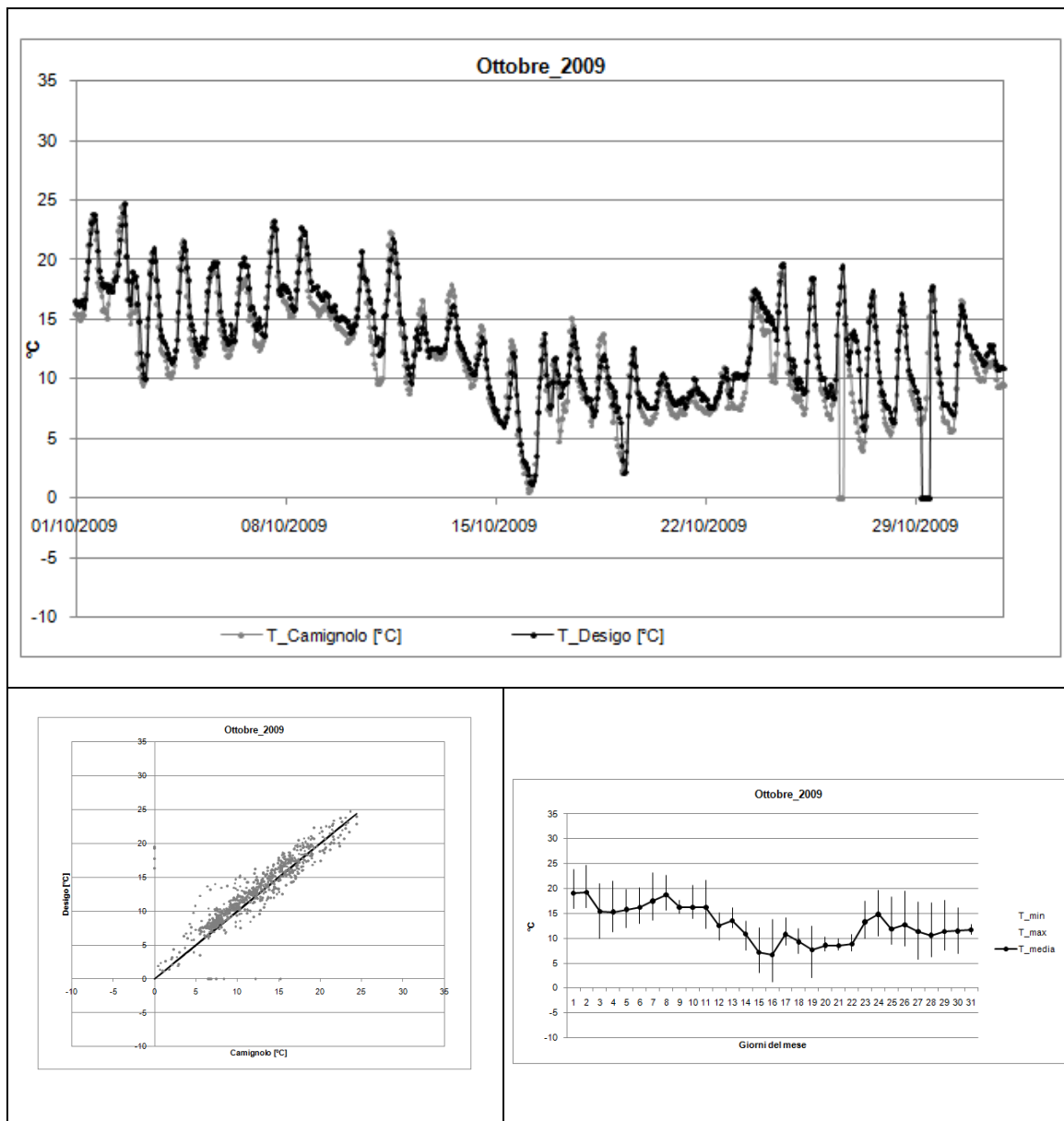
Dal secondo grafico si osserva che la nuvola di dispersione dei valori è compatta intorno alla linea della bisettrice; ciò sta a significare che i due rilievi discostano poco tra loro, come si può notare del primo grafico, dove persiste la variazione di misure nei picchi inferiori come anche nei mesi analizzati in precedenza.



**Tabella 42 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di settembre 2009**

Nel mese di settembre 2009 il sensore non ha funzionato per tre giorni nella seconda settimana. Questo fatto è comune a quasi la totalità degli altri sensori, il che porta a pensare ad un guasto generale del sistema di monitoraggio o ad uno spegnimento per manutenzione. Per la rimanente parte del mese, invece, si vede che l'andamento delle misure di Desigo è pressoché analogo all'andamento di Camignolo, vale a dire che gli eventuali danni del sistema sono stati riparati. Dal secondo grafico emerge una notevole compattezza dei dati a dispersione

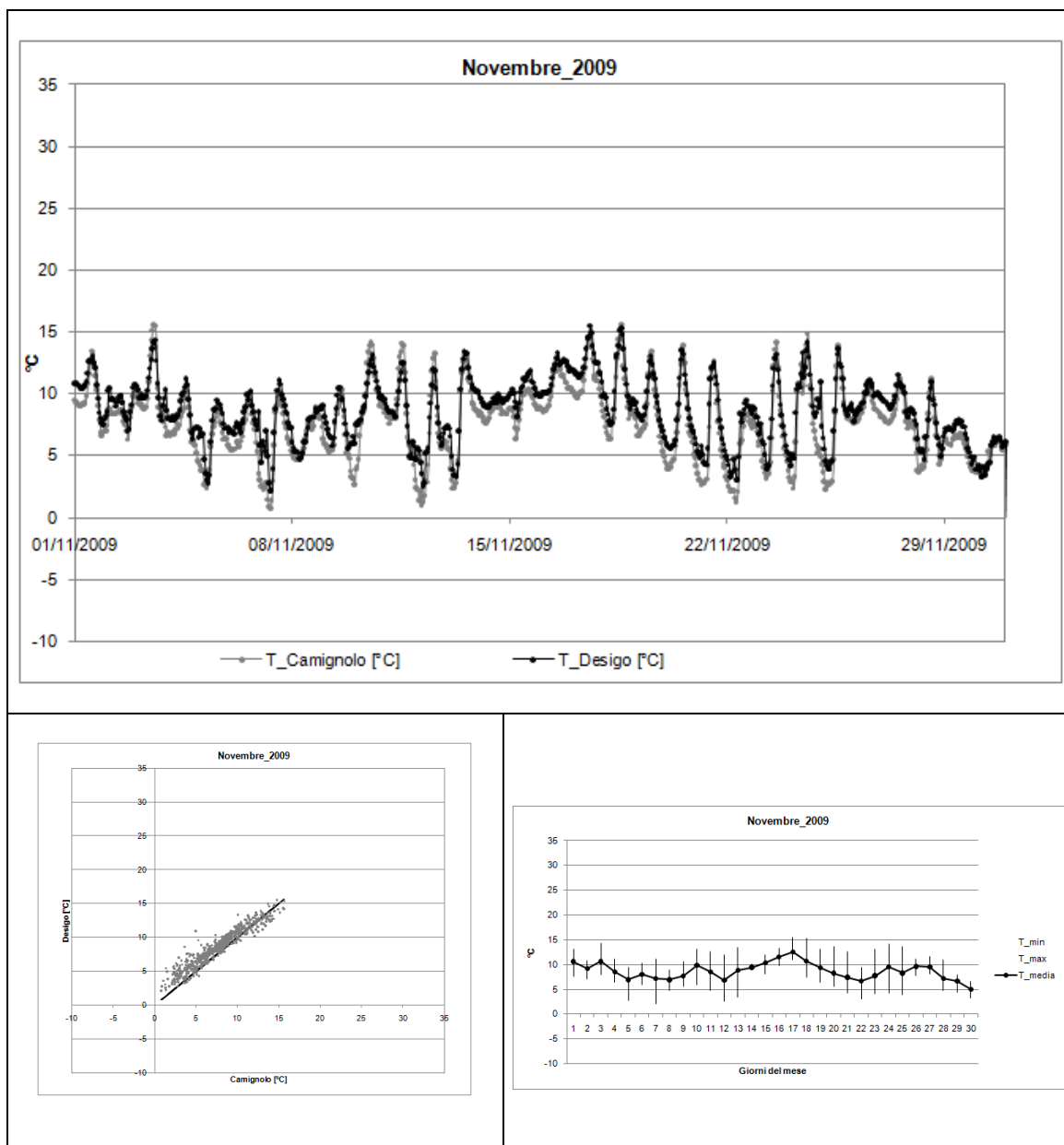
intorno alla linea di ideale coincidenza tra i due andamenti. Dal terzo grafico si osserva inoltre che la temperatura media rilevata ha avuto un iniziale andamento ondulatorio tra i 22°C e i 16°C per poi stabilizzarsi intorno ai 18°C. La temperatura massima di 29°C è stata raggiunta i primi due giorni del mese, mentre il minimo di 11°C è stato misurato il 7 settembre.



**Tabella 43 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di ottobre 2009**

Verso la fine del mese di ottobre 2009 sia il sensore in situ sia la stazione di Camignolo hanno avuto dei problemi di rilevamento dati per un giorno, misurando valori pari a zero; questo spiega il fatto che la bisettrice del secondo grafico parte dall'origine del diagramma nonostante la temperatura non tocchi mai i 0°C in questo mese. La minima temperatura, infatti, è intorno ai 2°C misurata il sedicesimo giorno, mentre la massima di 25°C è rilevata il secondo giorno. Dai primi due grafici si nota che i due andamenti sono coincidenti per le ore centrali della giornata e

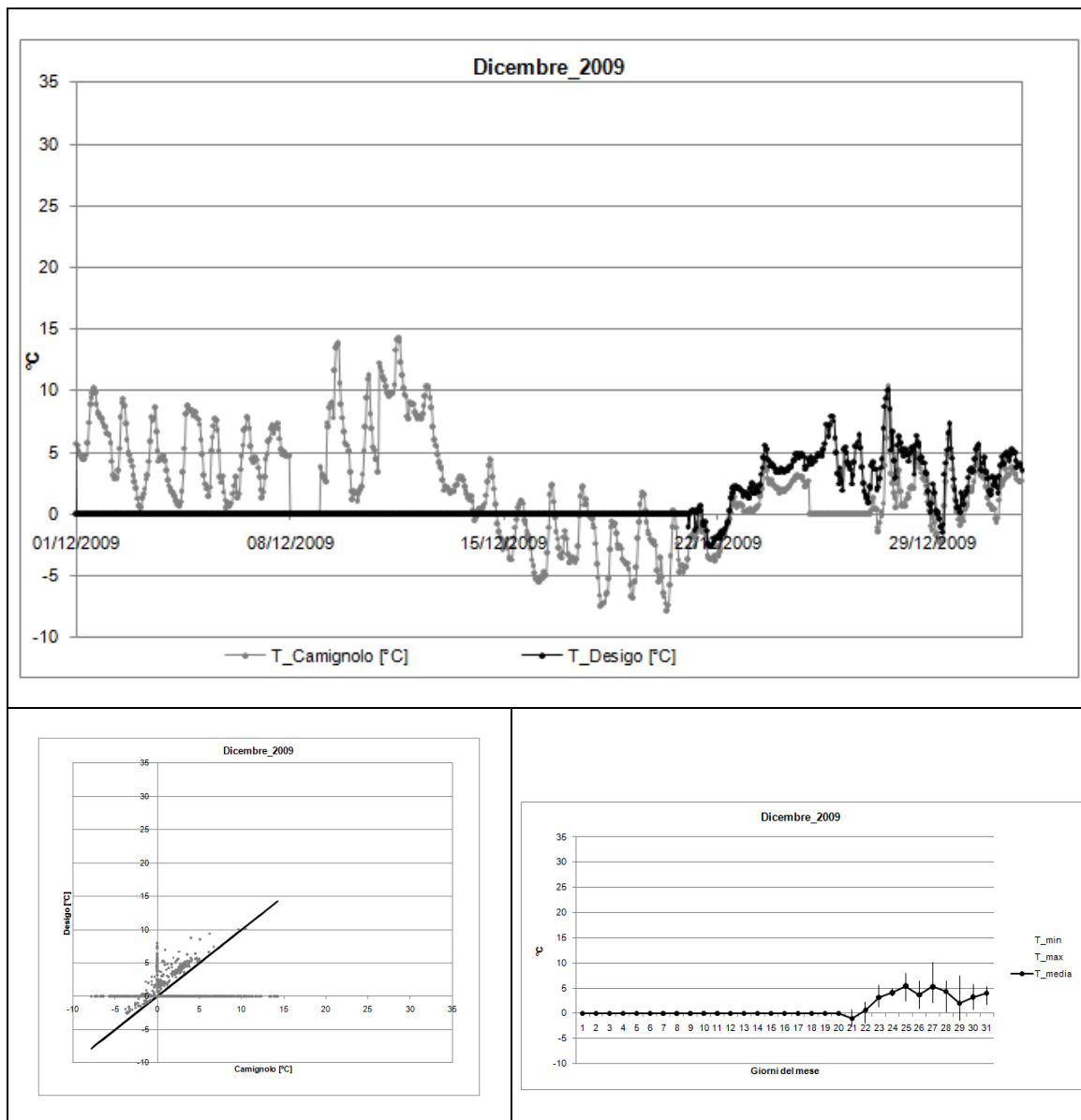
discostano tra loro per i picchi inferiori notturni ed anche per qualche picco superiore nella parte centrale del mese. Dal terzo grafico si osserva che nei primi dieci giorni del mese la temperatura media si è aggirata intorno ai 18°C, mentre per i rimanenti giorni si è assistito ad una progressiva diminuzione dei valori medi giornalieri intorno ai 7°C per poi risalire fino a 12°C.



**Tabella 44 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di novembre 2009**

Nel mese di novembre 2009 il sensore ha funzionato per tutti i giorni. Dai primi due grafici si vede che l'andamento delle temperature misurate da Desigo e quello delle temperature misurate da Camignolo sono pressoché coincidenti e nel grafico a dispersione formano una nuvola di valori notevolmente compatta intorno alla linea bisettrice di ideale coincidenza tra i due andamenti.

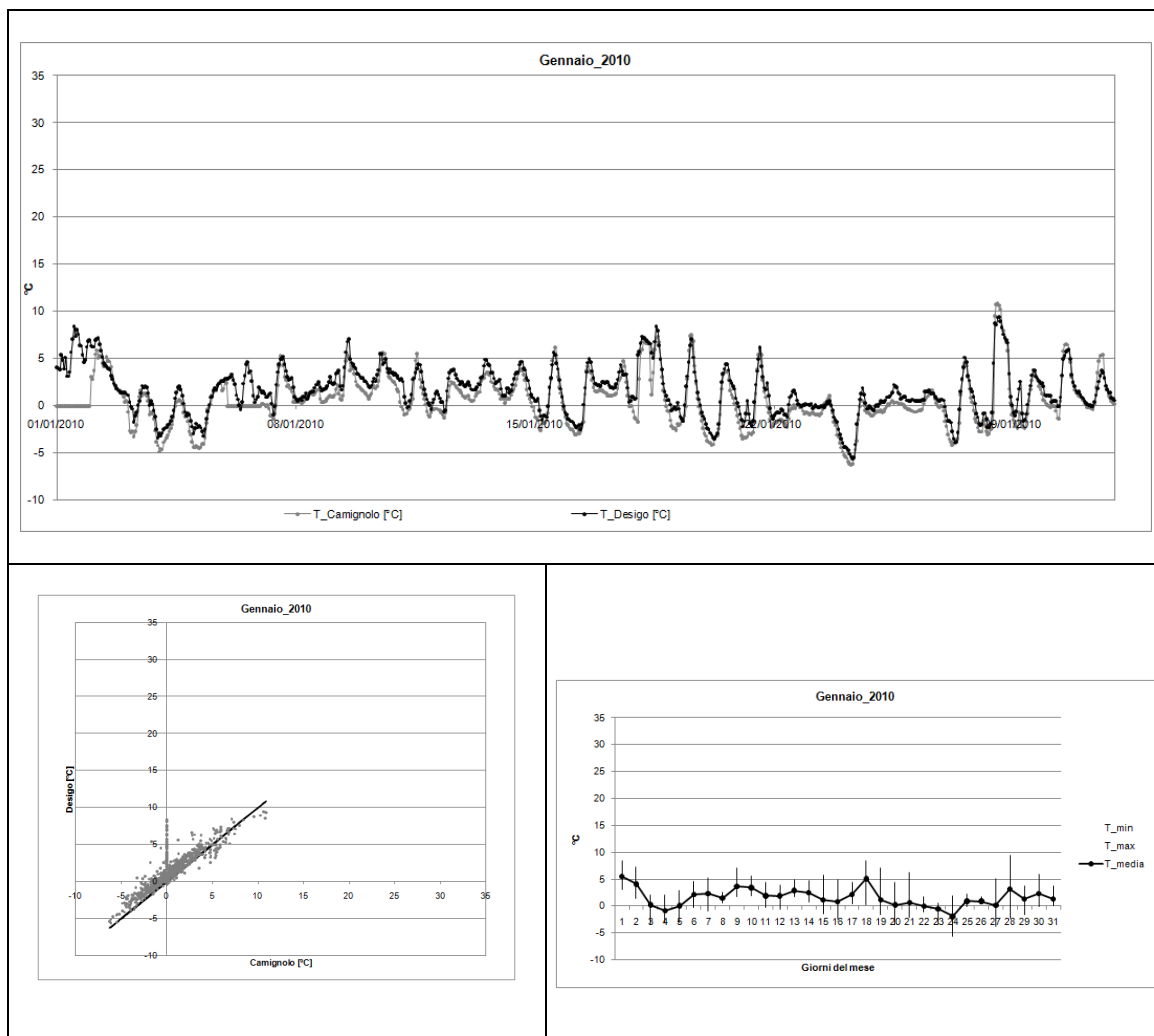
Dal terzo grafico si osserva una tendenza dei valori di temperatura media giornaliera a stabilizzarsi intorno ai 7°C per la prima e l'ultima parte del mese e ad aumentare fino a 13°C a metà mese. Il massimo valore di 15.5°C è raggiunto il diciassettesimo giorno, mentre il minimo valore di 2°C è registrato al settimo giorno del mese.



**Tabella 45 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di dicembre 2009**

Nel mese di dicembre 2009 si hanno a disposizione i dati misurati a partire dal ventunesimo giorno. Si osserva innanzi tutto dal primo grafico che, analizzando i dati a disposizione, l'andamento della temperatura dell'aria esterna rilevata in situ è differente dall'andamento della temperatura misurata dalla stazione climatica di Camignolo. In particolare, si nota che per qualche giorno verso fine mese la stazione meteorologica non ha effettuato misure. A conferma di questa osservazione, il secondo grafico mostra una nuvola di valori a dispersione molto

lontana dalla linea bisettrice di coincidenza dei dati. Dal terzo grafico si vede che la temperatura minima di  $-3^{\circ}\text{C}$  è raggiunta il ventunesimo giorno e la massima di  $10^{\circ}\text{C}$  è rilevata il ventisettesimo giorno. Dato che non si hanno rilievi in situ per tutto il mese ma solo per una decina di giorni, e poiché la congruenza tra i due andamenti non è garantita, si è deciso di non prendere in considerazione per le prossime analisi il mese di dicembre 2009.

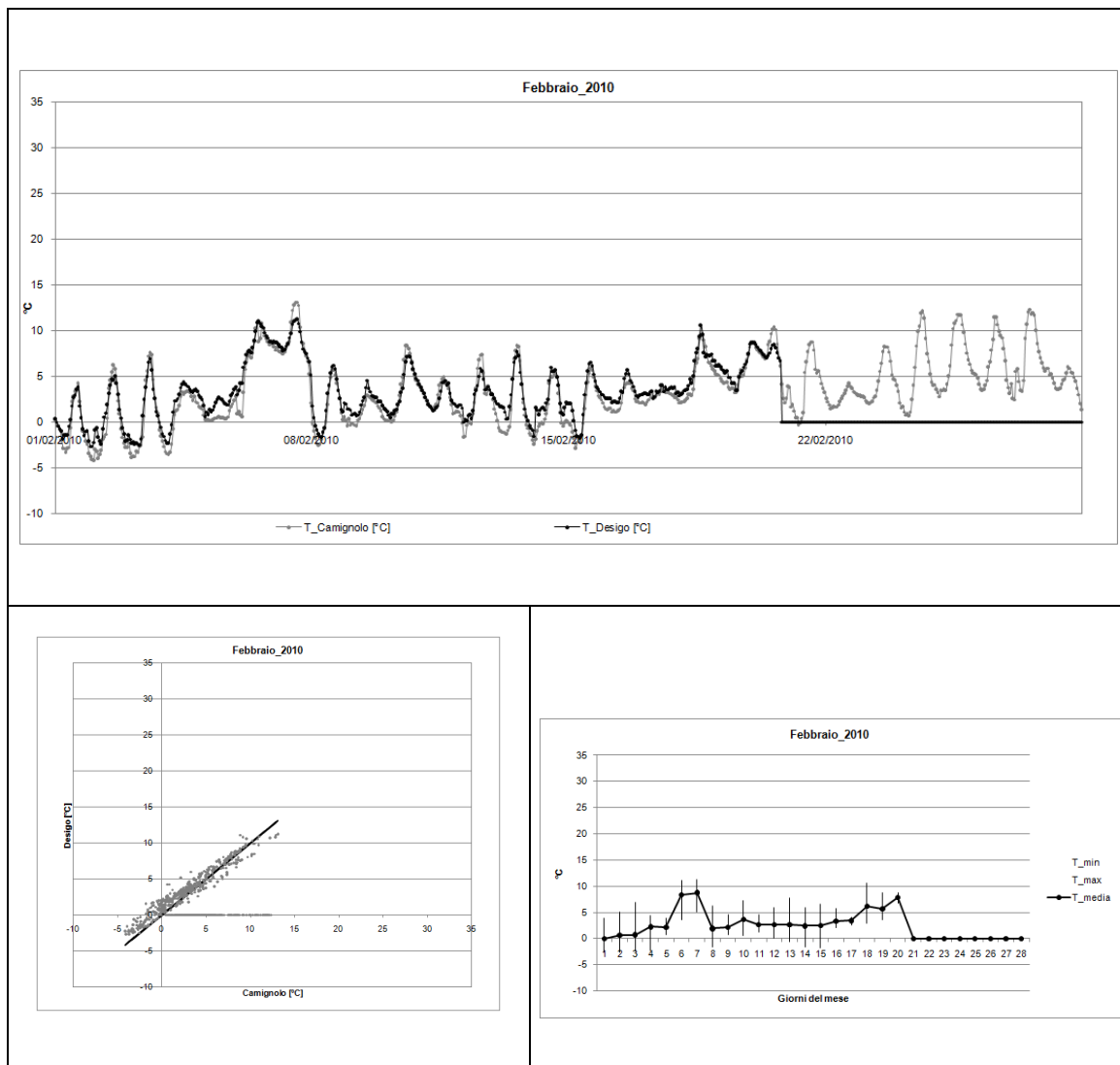


**Tabella 46 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di gennaio 2010**

Poiché nel mese di dicembre 2009 non si è verificata alcuna rispondenza tra i due andamenti delle temperature misurate, anche l'inizio del mese di gennaio 2010 dimostra l'incoerenza tra le due serie di valori. Questo è probabilmente dovuto ad alcuni guasti nella stazione meteorologica di Camignolo, che sono poi stati risolti nei primi giorni del nuovo anno e lo si nota dal fatto che gli andamenti delle temperature rilevate in situ e dalla stazione climatica stessa hanno ripreso a coincidere per la maggior parte dei valori.

Lo dimostra anche il secondo grafico, in cui la nuvola dei dati di dispersione è notevolmente compatta intorno alla linea di bisettrice.

Dal terzo grafico, invece, si nota che la variazione delle temperature oscilla tra un minimo di -5.5°C misurato il ventiquattresimo giorno e un massimo di 9.5°C registrato il ventottesimo giorno. La temperatura media giornaliera, inoltre, oscilla tra -2°C e 5°C, caratteristico andamento invernale con una bassa ampiezza di oscillazione.

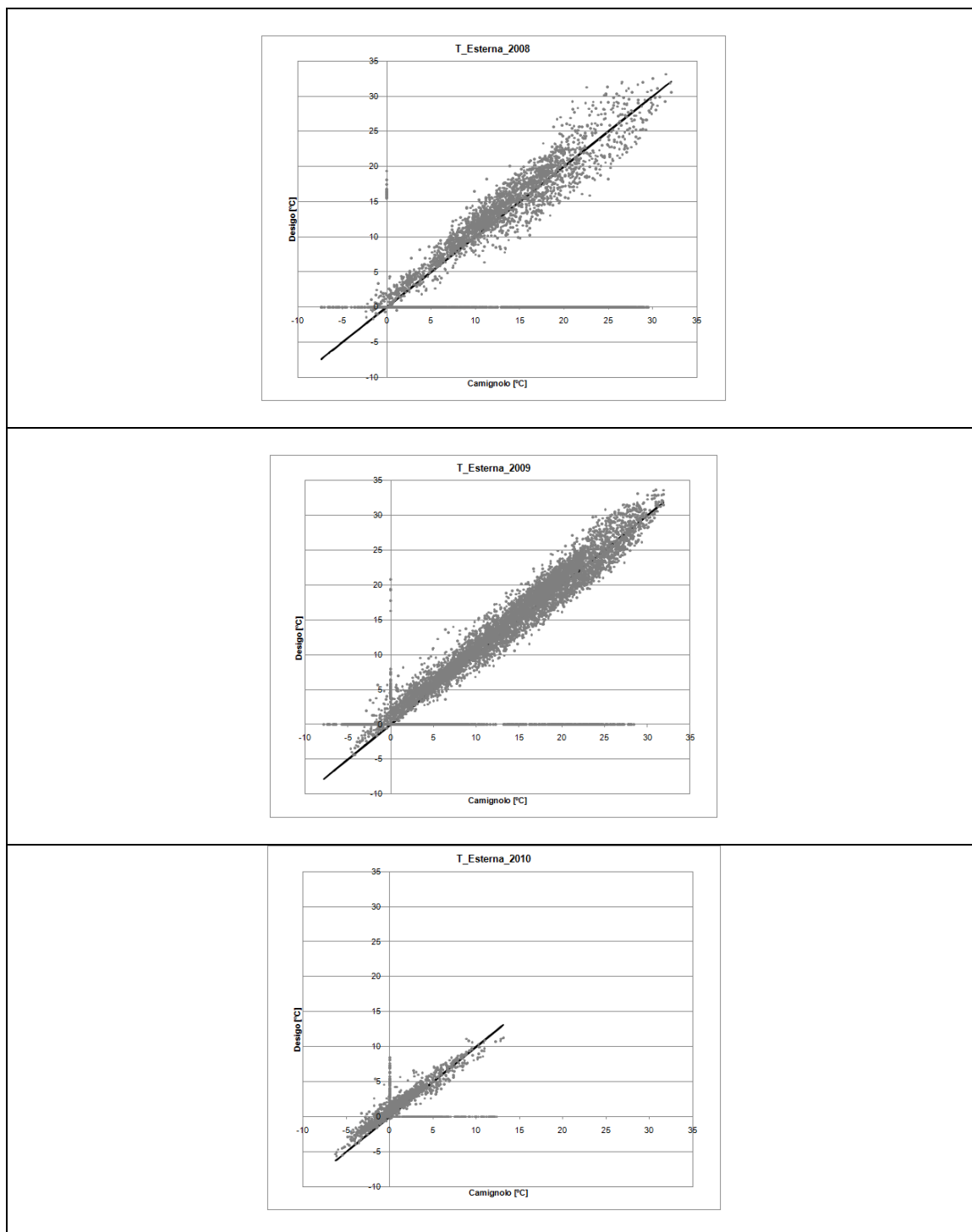


**Tabella 47 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di febbraio 2010**

Nel mese di febbraio 2010, i dati a disposizione arrivano fino al ventesimo giorno. Fino a quella data, dal primo grafico si vede che i due andamenti sono pressoché coincidenti eccezion fatta per i picchi inferiori di temperatura, poiché Desigo rileva delle temperature più alte, e anche per qualche picco superiore. Nonostante ciò, dal secondo grafico si osserva una compattezza della nuvola dei valori di dispersione è quindi possibile ai dati mancanti dell'ultima settimana del mese quelli rilevati a Camignolo. Ma poiché anche di tutti gli altri sensori si hanno a disposizione i valori fino al ventesimo giorno del mese, si è deciso di non considerare febbraio 2010 nelle analisi successive.



La minima temperatura di  $-2.7^{\circ}\text{C}$ , comunque, è rilevata nei primi due giorni del mese mentre la massima di  $11^{\circ}\text{C}$  è registrata il sesto e il settimo giorno.



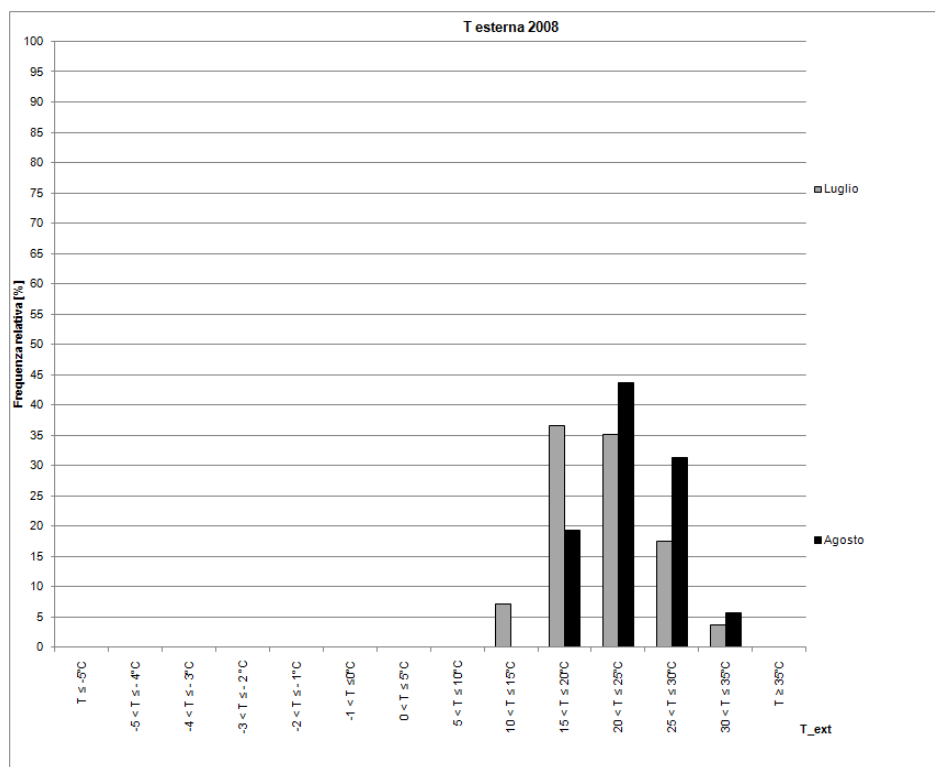
**Tabella 48 - Grafici a dispersione che mettono in relazione la temperatura dell'aria esterna misurata da Desigo con quella misurata dalla stazione di Camignolo negli anni 2008, 2009 e 2010**

Il confronto tra i valori misurati da Desigo e quelli misurati dalla stazione meteorologica di Camignolo è stato effettuato innanzitutto per accertare l'attendibilità dei valori rilevati in situ e

anche, nel caso di periodi di guasto o malfunzionamento del sensore, per effettuare una sostituzione con i valori misurati da Camignolo. Dai grafici della Tabella 48, infatti, si nota che i valori misurati in situ sono pressoché coincidenti con quelli misurati dalla stazione climatica di riferimento per questo confronto. Gli scostamenti che sono stati segnalati mese per mese riguardano i picchi inferiori notturni, in cui Desigo rileva dei valori più alti di temperatura. Questo può essere dovuto al fatto che il sensore, che è posto sulla parete rivolta a NordOvest, potrebbe essere più riparato rispetto al sensore della stazione meteorologica.

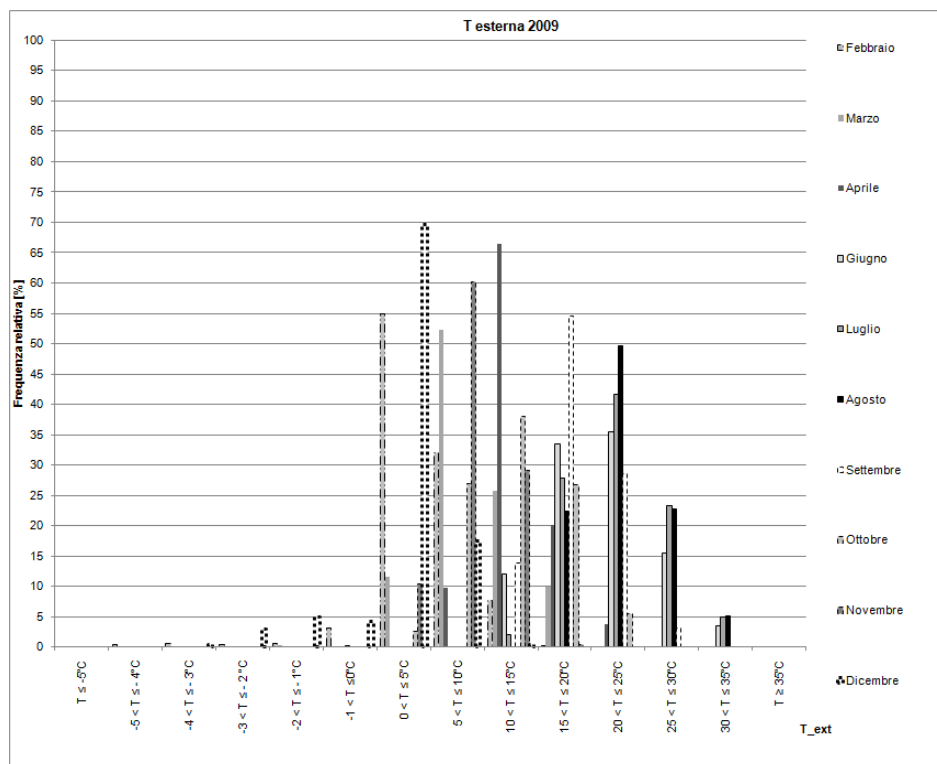
Nei mesi invernali, invece, si sono osservati anche degli scostamenti per quanto riguarda i picchi superiori: i valori misurati da Desigo risultano inferiori rispetto ai picchi rilevati da Camignolo, probabilmente per il fatto che il sensore in situ non è mai esposto alla luce del sole e non risente dei suoi effetti.

Oltre alle analisi orarie, nei grafici seguenti si è voluta mettere in evidenza la frequenza relativa percentuale mensile delle ore di rilevamento della temperatura dell'aria esterna rispetto alle ore di ogni mese, valutando gli intervalli in cui cadono le misure:



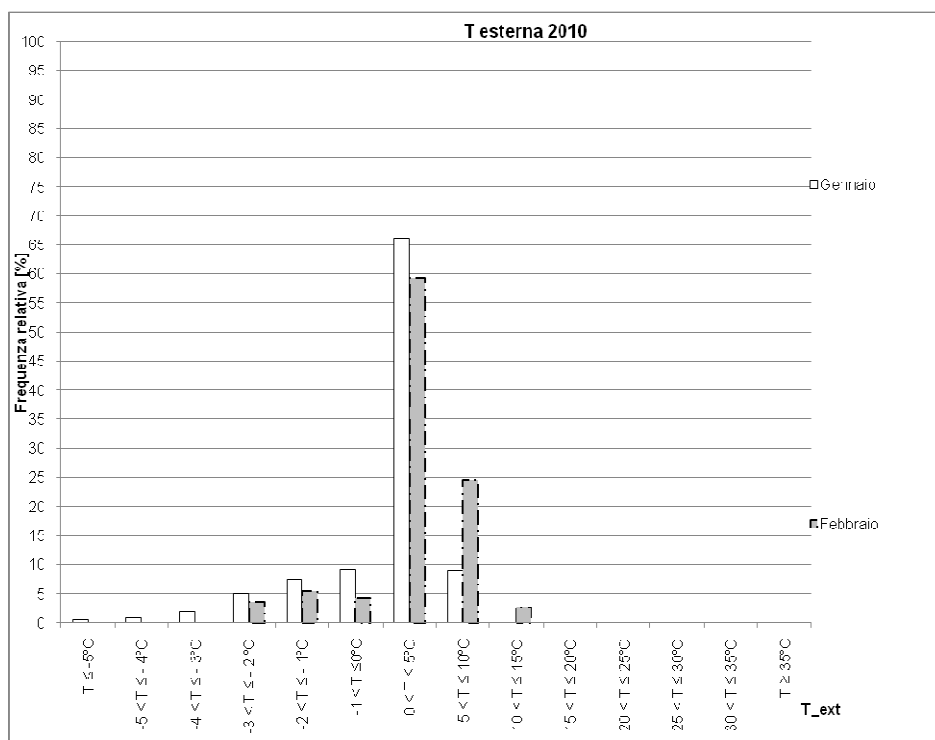
**Grafico 18- Frequenza relativa [%] di rilevamento della temperatura esterna nel 2008**

Si vede che nel mese di luglio 2008 la maggior parte dei valori rilevati è compresa tra i 15°C e i 20 °C, mentre la maggior parte delle misure di agosto 2008 è compresa tra 20°C e 25 °C.



**Grafico 19- Frequenza relativa [%] di rilevamento della temperatura esterna nel 2009**

Per quanto riguarda il 2009, i campionamenti sono stati archiviati per tutti i mesi, tranne che in gennaio. È possibile notare per ogni mese l'andamento dei valori rilevati e quanto essi ricadano negli intervalli di temperatura delineati: in febbraio il 55% dei valori rilevati è compreso tra -1 °C e 0 °C, l'intervallo tra 0 °C e 5 °C vede il picco del 53% di marzo e quello del 70% di dicembre, aprile con il 67% e novembre con il 60% cadono nell'intervallo tra 5 °C e 10 °C, mentre i picchi di giugno (36%), luglio (43%) e agosto (50%) sono compresi tra 20 °C e 25 °C, il mese di settembre ha un picco del 55% nell'intervallo tra 15 °C e 20 °C e il mese di ottobre ha il 37% compreso tra 10 °C e 15 °C.



**Grafico 20 - Frequenza relativa [%] di rilevamento della temperatura esterna nel 2010**

Nei primi due mesi del 2010 si osserva che i valori rilevati compresi tra 0°C e 5 °C in gennaio coprono il 65% e in febbraio il 60% dei valori rilevati.

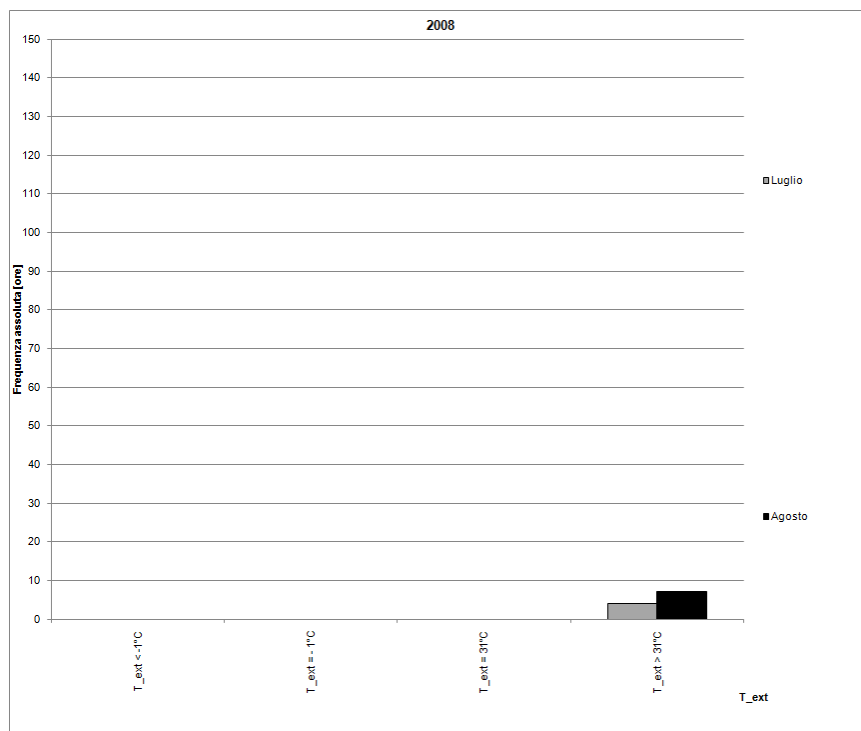
Nelle tabelle e grafici seguenti si è voluto mettere in evidenza con quale frequenza mensile gli effettivi valori rilevati in situ superano i parametri di progetto: nei mesi invernali è stato preso come limite -1 °C, mentre nei mesi estivi 31 °C.

Le tabelle riportano per ogni mese la frequenza relativa percentuale delle ore di campionamento rilevate rispetto alle ore totali del mese e la frequenza assoluta delle ore in cui viene raggiunto o superato il valore limite della normativa.

In grigio sono evidenziati i mesi in cui sono stati effettuati i campionamenti.

Frequenza relativa di campionamento 2008		Frequenza assoluta [h]			
		T <sub>ext</sub> < -1 °C	T <sub>ext</sub> = -1 °C	T <sub>ext</sub> = 31 °C	T <sub>ext</sub> > 31 °C
Gennaio	0%	0	0	0	0
Febbraio	0%	0	0	0	0
Marzo	0%	0	0	0	0
Aprile	0%	0	0	0	0
Maggio	0%	0	0	0	0
Giugno	0%	0	0	0	0
<b>Luglio</b>	<b>28%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>Agosto</b>	<b>36%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>
Settembre	0%	0	0	0	0
Ottobre	0%	0	0	0	0
Novembre	0%	0	0	0	0
Dicembre	0%	0	0	0	0

**Tabella 49 - Superamento dei limiti di temperatura nel 2008**

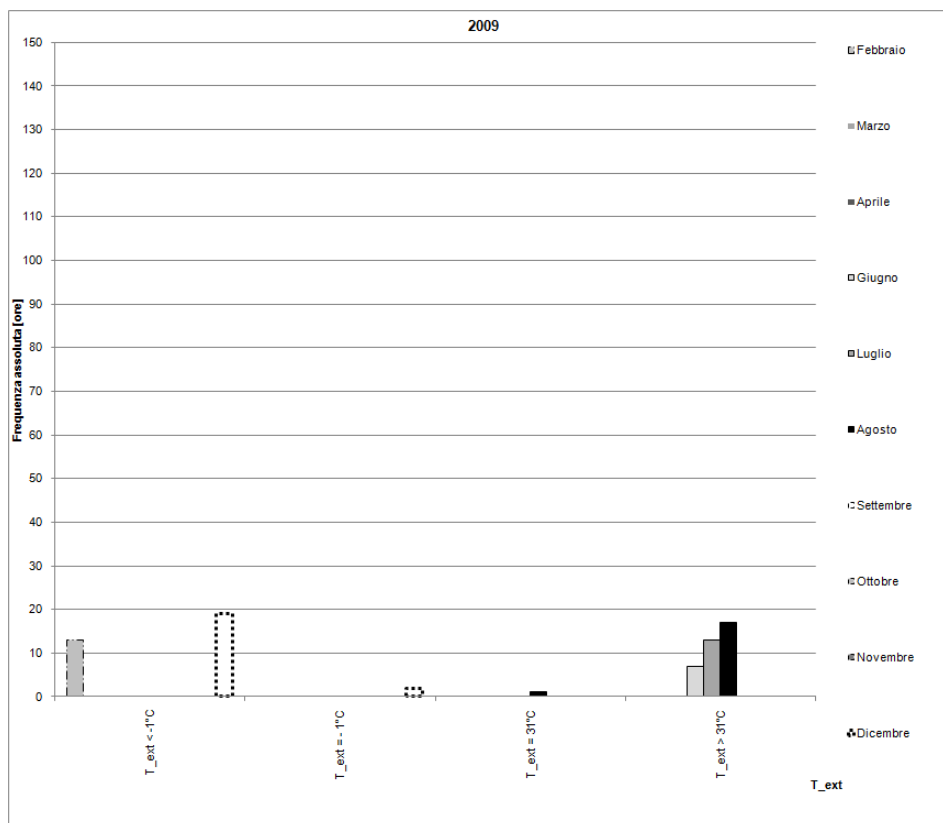


**Grafico 21 - Frequenza assoluta di ore che superano i valori di progetto della temperatura esterna nei mesi di rilevamento del 2008**

Si vede che nei mesi di luglio e agosto del 2008 la temperatura esterna ha superato 31 °C rispettivamente per 4 e 7 ore.

Frequenza relativa di campionamento 2009		Frequenza assoluta [h]			
		T_ext < -1 °C	T_ext = - 1 °C	T_ext = 31 °C	T_ext > 31 °C
Gennaio	0%	0	0	0	0
<b>Febbraio</b>	<b>73%</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Marzo</b>	<b>74%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Aprile</b>	<b>14%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Maggio	0%	0	0	0	0
<b>Giugno</b>	<b>100%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>
<b>Luglio</b>	<b>75%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>
<b>Agosto</b>	<b>100%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>17</b>
<b>Settembre</b>	<b>90%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Ottobre</b>	<b>99%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Novembre</b>	<b>100%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Dicembre</b>	<b>35%</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tabella 50 - Superamento dei limiti di temperatura nel 2009**

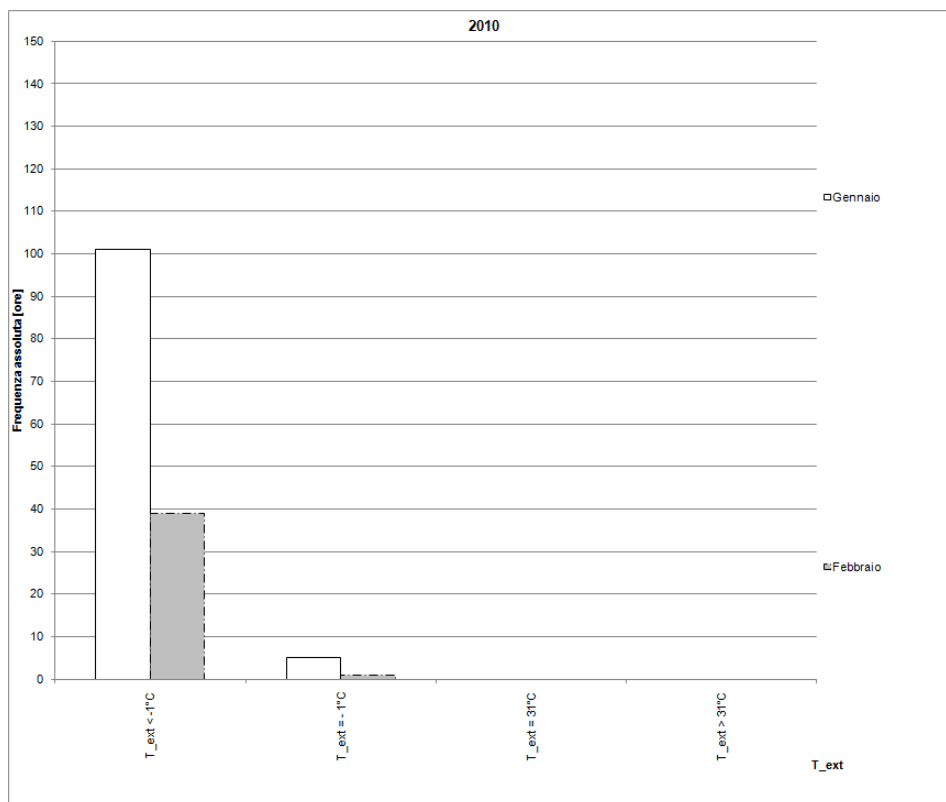


**Grafico 22 - Frequenza assoluta di ore che superano i valori di progetto della temperatura esterna nei mesi di rilevamento del 2009**

Nel 2009 la temperatura è scesa al di sotto di  $-1^{\circ}\text{C}$  nel mese di febbraio per 13 ore e in dicembre per 19 ore e, sempre in dicembre, ha raggiunto il valore di  $-1^{\circ}\text{C}$  per 2 ore; i  $31^{\circ}\text{C}$ , invece, sono stati superati nel mese di giugno per 7 ore, in luglio per 13 ore e in agosto per 17 ore, mentre i  $31^{\circ}\text{C}$  sono stati raggiunti in agosto per una sola ora.

Frequenza relativa di campionamento 2010		Frequenza assoluta [h]			
		T_ext < -1°C	T_ext = -1°C	T_ext = 31°C	T_ext > 31°C
<b>Gennaio</b>	<b>100%</b>	<b>101</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Febbraio</b>	<b>71%</b>	<b>39</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Marzo	0%	0	0	0	0
Aprile	0%	0	0	0	0
Maggio	0%	0	0	0	0
Giugno	0%	0	0	0	0
Luglio	0%	0	0	0	0
Agosto	0%	0	0	0	0
Settembre	0%	0	0	0	0
Ottobre	0%	0	0	0	0
Novembre	0%	0	0	0	0
Dicembre	0%	0	0	0	0

**Tabella 51 - Superamento dei limiti di temperatura nel 2010**

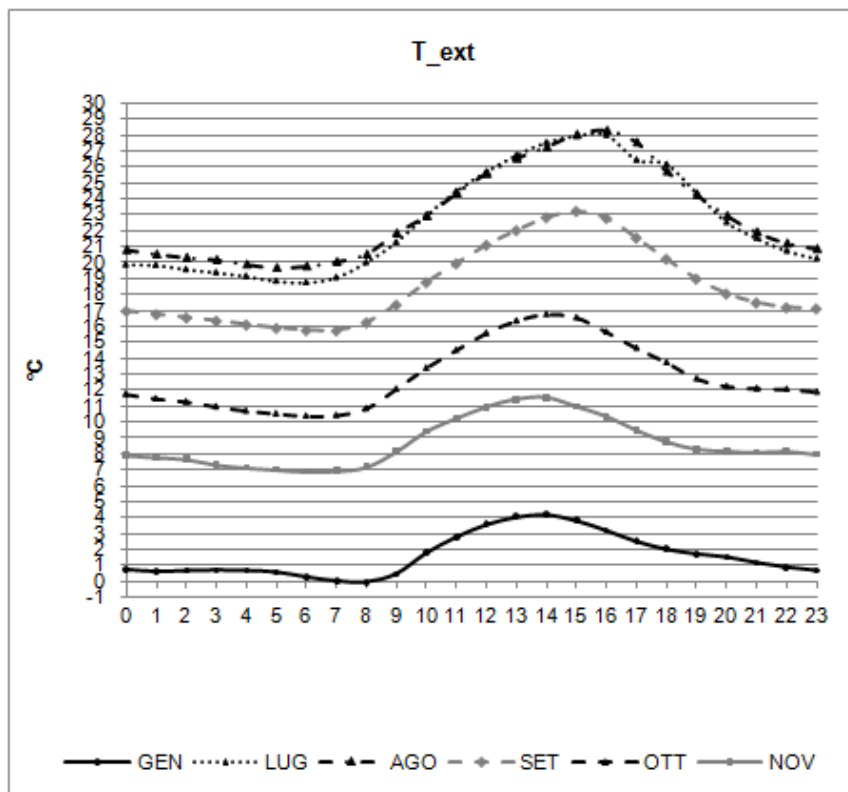


**Grafico 23 - Frequenza assoluta di ore che superano i valori di progetto della temperatura esterna nei mesi di rilevamento del 2010**

Nei mesi di gennaio e febbraio 2010 la temperatura esterna è scesa al di sotto di  $-1^{\circ}\text{C}$  rispettivamente per 101 e 39 ore, mentre ha raggiunto questa temperatura limite rispettivamente per 5 e 1 ore.

Si nota che i parametri di progetto per il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento portano a un sovradimensionamento dell'impianto stesso poiché i limiti imposti sono raggiunti per poche ore al mese. Nei mesi estivi, invece, il limite normativo risulta più vicino ai dati reali.

Come descritto nel capitolo 5, i mesi in cui la maggior parte dei sensori ha effettuato un numero significativo di rilievi sono: per l'anno 2009, da luglio a novembre inclusi; per il 2010, il mese di gennaio. Si riportano di seguito gli andamenti medi mensili orari del periodo di riferimento (da luglio 2009 a novembre 2009, gennaio 2010) per dare una visione d'insieme degli intervalli medi in cui si trova l'edificio.



**Grafico 24 - Andamento medio orario mensile della temperatura esterna nei periodi di riferimento**

Nei mesi di riferimento, si vede che la temperatura media oraria dell'aria esterna ha un andamento pressoché sinusoidale nei mesi estivi e con un'ampiezza minore nei mesi invernali. Il picco massimo medio orario di 28°C è stato toccato nel mese di agosto 2009 alle ore 16 mentre quello minimo di 0°C in gennaio 2010 alle ore 8.



## 6.2 Analisi dell'umidità relativa dell'aria esterna

Come la temperatura, così anche l'umidità relativa dell'aria esterna è stata misurata, dal sensore numero 9, da luglio a novembre del 2008, da febbraio a dicembre del 2009 e nei primi due mesi del 2010. I rilievi non sono continuativi, ma presentano delle interruzioni dovute a mal funzionamenti del dispositivo o alla manutenzione dello stesso.

Per accertare l'attendibilità delle misure, anche i valori di umidità relativa rilevati in situ sono stati confrontati con quelli misurati dalla stazione meteorologia di Camignolo. Le sovrapposizioni tra le due serie di misure sono state effettuate per ogni mese da luglio 2008 a febbraio 2010 ma, per non appesantire troppo l'analisi, si è deciso di riportare solamente le valutazioni dei mesi del periodo di riferimento, che verranno analizzati anche nei capitoli successivi, ed i grafici a dispersione riassuntivi per ogni anno.

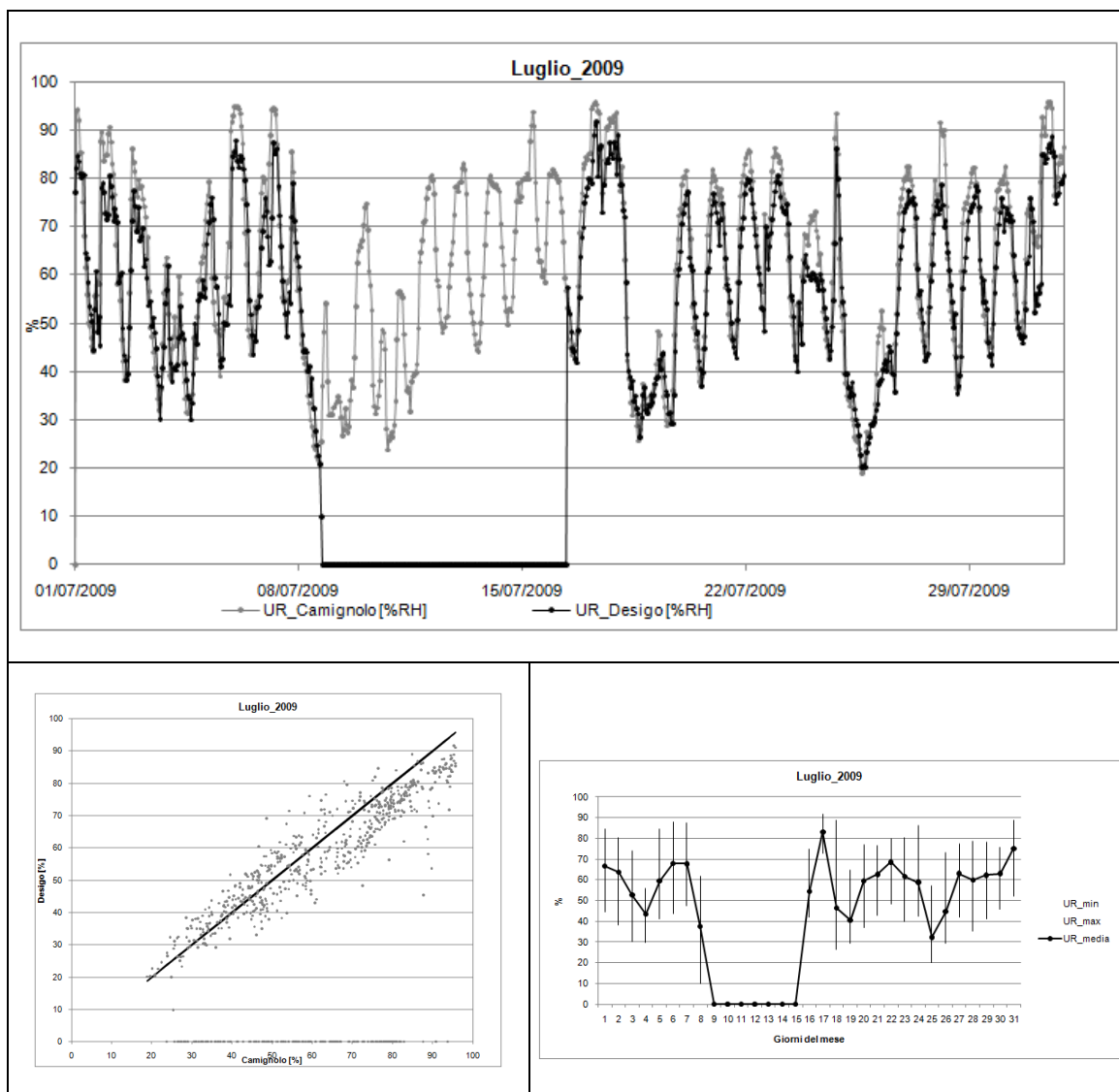
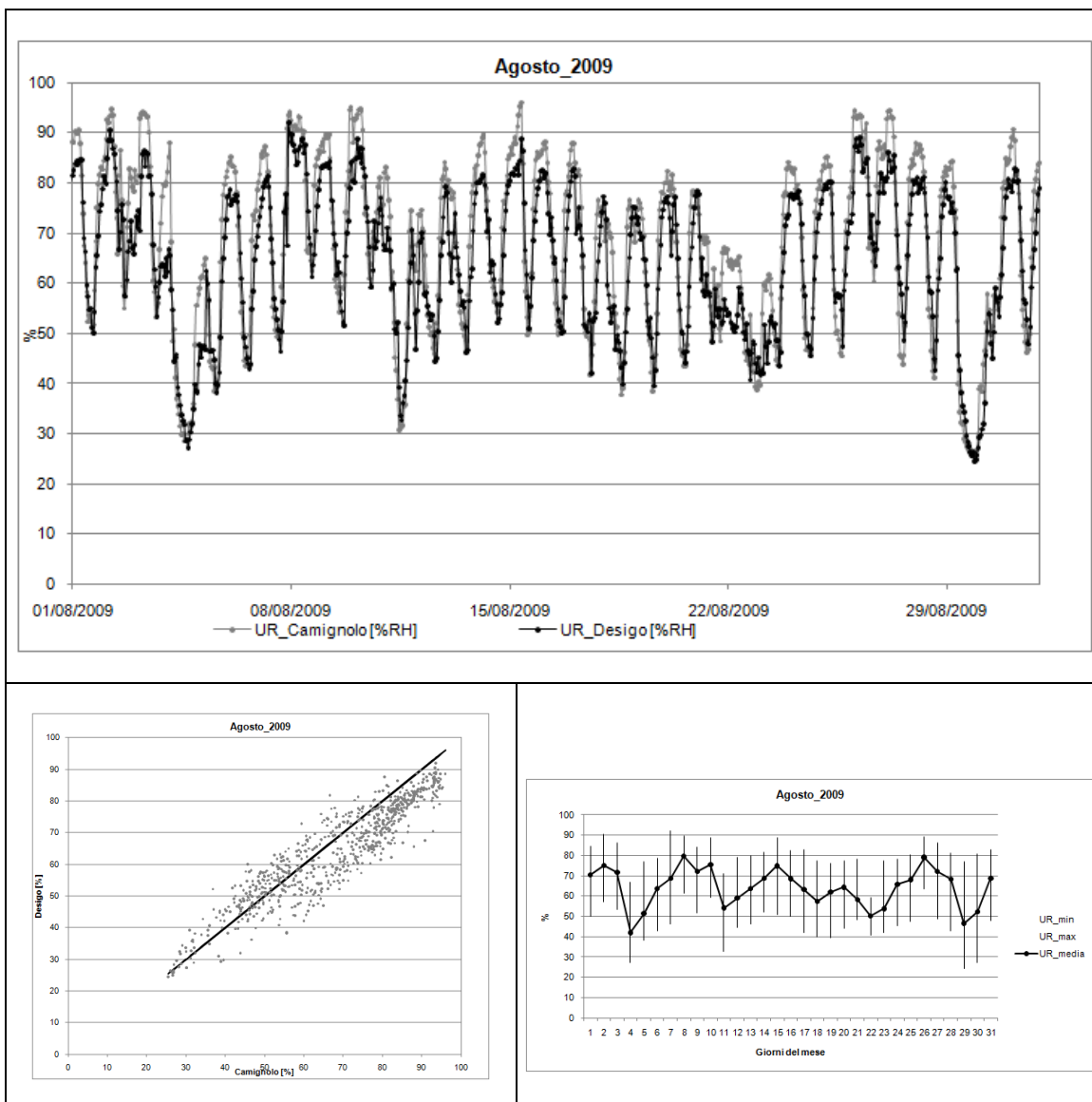


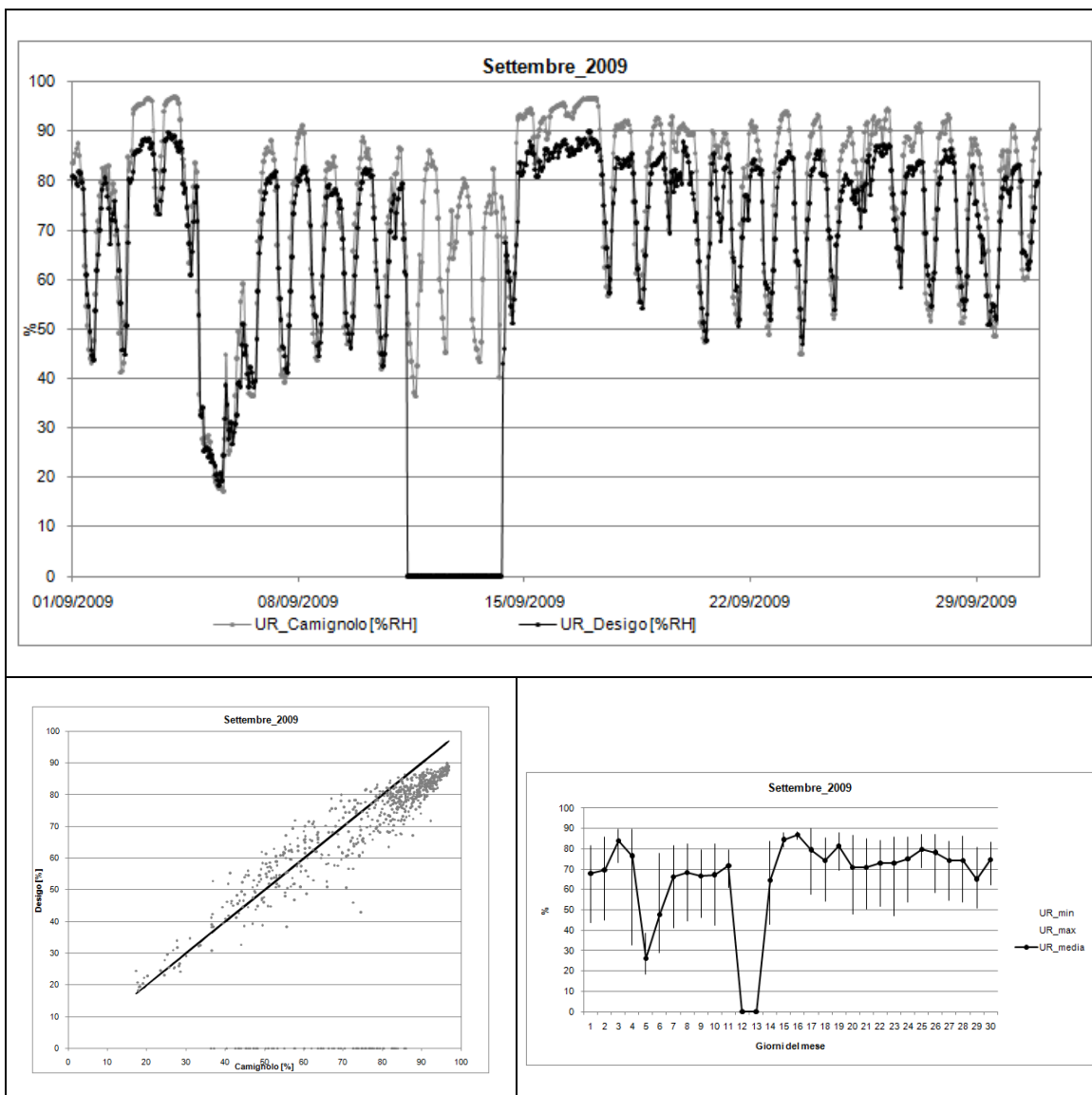
Tabella 52 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di luglio 2009



**Tabella 53 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di agosto 2009**

Nel mese di luglio 2009 il sensore non ha funzionato durante tutta la seconda settimana, come si può notare dalla mancanza di dati nel primo grafico e dal fatto che nel terzo grafico il valore minimo di umidità relativa segnalato al nono giorno risulta essere 0%, dove per 0 in realtà si intende assenza di valore. Dal primo grafico si può constatare la coincidenza dei due andamenti ad esclusione dei picchi superiori. Il valore medio dell'umidità relativa oscilla irregolarmente durante tutto il periodo del mese in cui è effettuata la campagna di misure, variando tra il 35% e l'85%. Il massimo valore raggiunto è il 90% misurato il diciassettesimo giorno, mentre il minimo del 20% è rilevato il venticinquesimo giorno.

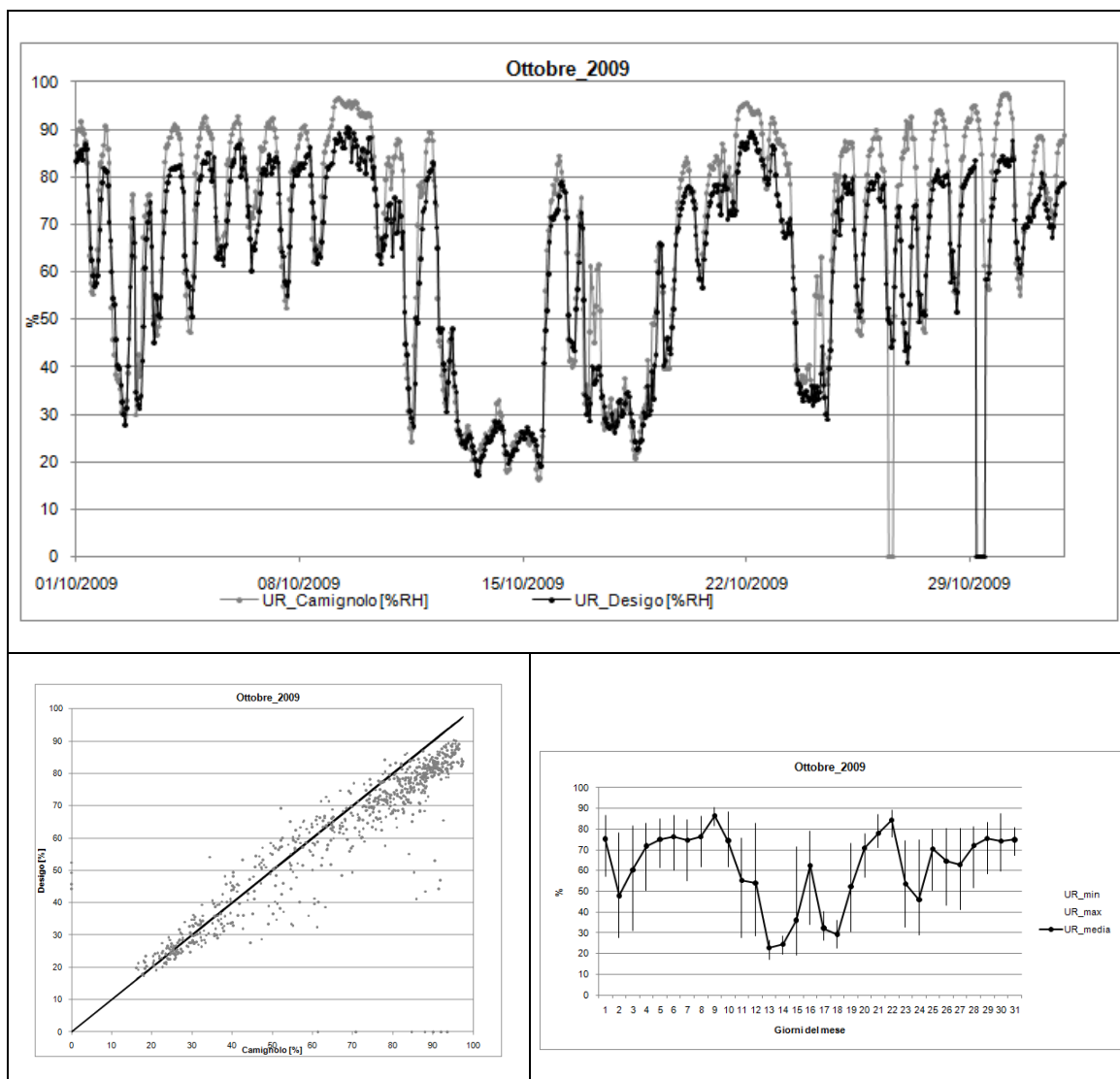
Nel mese di agosto 2009, invece, i valori sono stati rilevati tutti i giorni e, analogamente al mese precedente, l'andamento delle misure in situ discosta dall'andamento delle misure di Camignolo soprattutto in prossimità dei picchi massimi di umidità.



**Tabella 54 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di settembre 2009**

Come fatto notare nell'analisi delle temperature dell'aria esterna, nella seconda settimana del mese di settembre 2009 c'è stato un guasto a tutto il sistema di monitoraggio e non sono disponibili i dati misurati. Questi possono essere sostituiti dai valori misurati dalla stazione meteorologica di Camignolo, poiché l'andamento delle misure effettuate in situ coincide con l'andamento delle misure della stazione meteorologica di Camignolo, tranne nei picchi di umidità relativa.

Dal terzo grafico si osserva inoltre che l'umidità relativa media rilevata ha avuto un iniziale andamento ondulatorio tra il 25% e l'85% per poi stabilizzarsi intorno al 75%. L'umidità massima del 90% è stata raggiunta il diciassettesimo giorno del mese, mentre il minimo del 20% è stato misurato il 5 settembre.

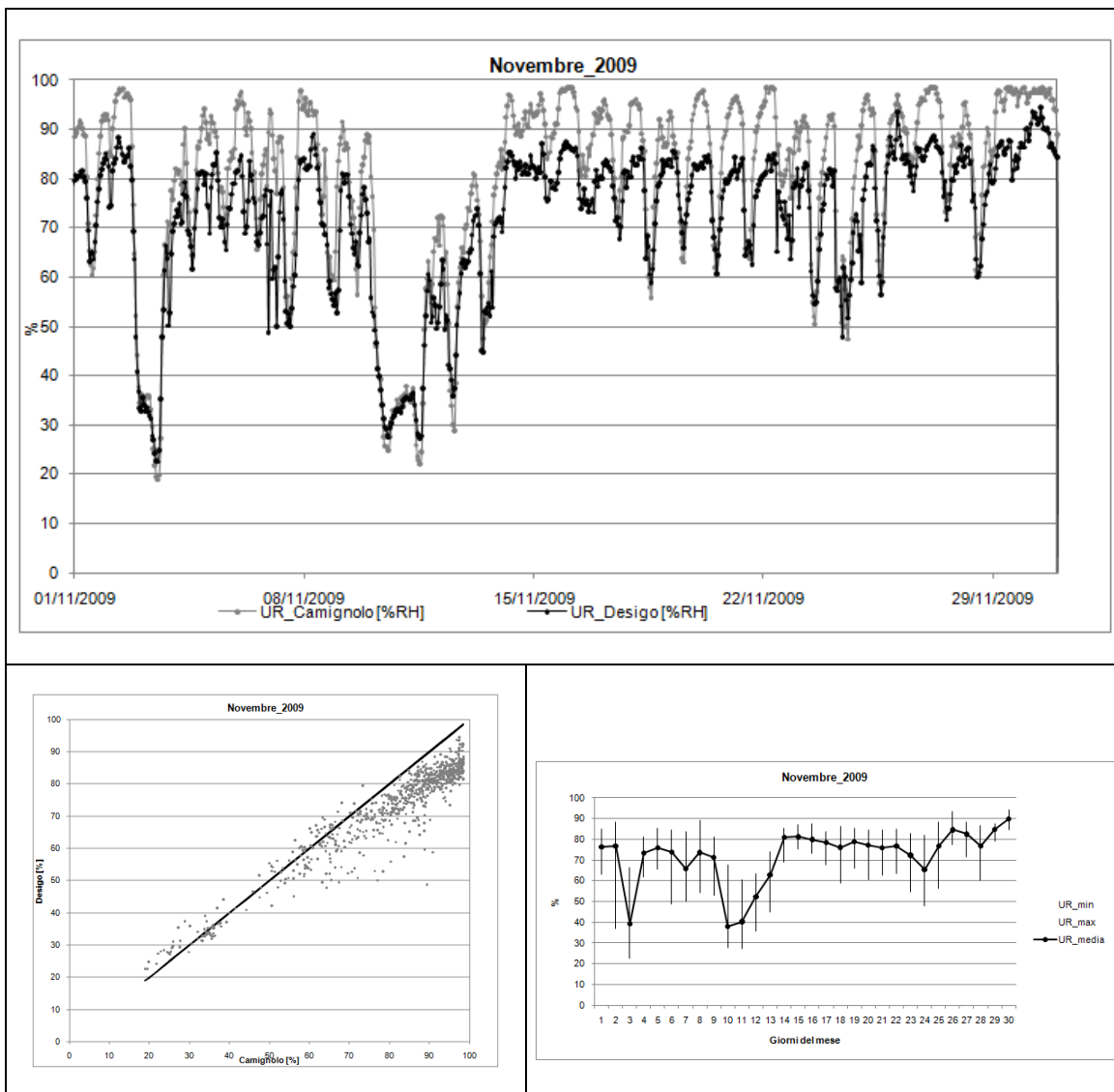


**Tabella 55 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di ottobre 2009**

Verso la fine del mese di ottobre 2009 sia il sensore in situ sia la stazione di Camignolo hanno avuto dei problemi di rilevamento dati per un giorno, misurando valori pari a zero; questo spiega il fatto che la bisettrice del secondo grafico parta dall'origine del diagramma nonostante l'umidità non raggiunga mai lo 0%. Il minimo valore rilevato è intorno al 17% misurato il tredicesimo giorno, mentre il massimo di 90% è rilevato il nono giorno.

Dai primi due grafici si nota che i due andamenti sono coincidenti ma discostano tra loro per i picchi superiori per tutto il mese. Questo è probabilmente dovuto al fatto che il sensore in situ è posto in una zona decisamente meno umida rispetto alla stazione meteorologica di Camignolo.

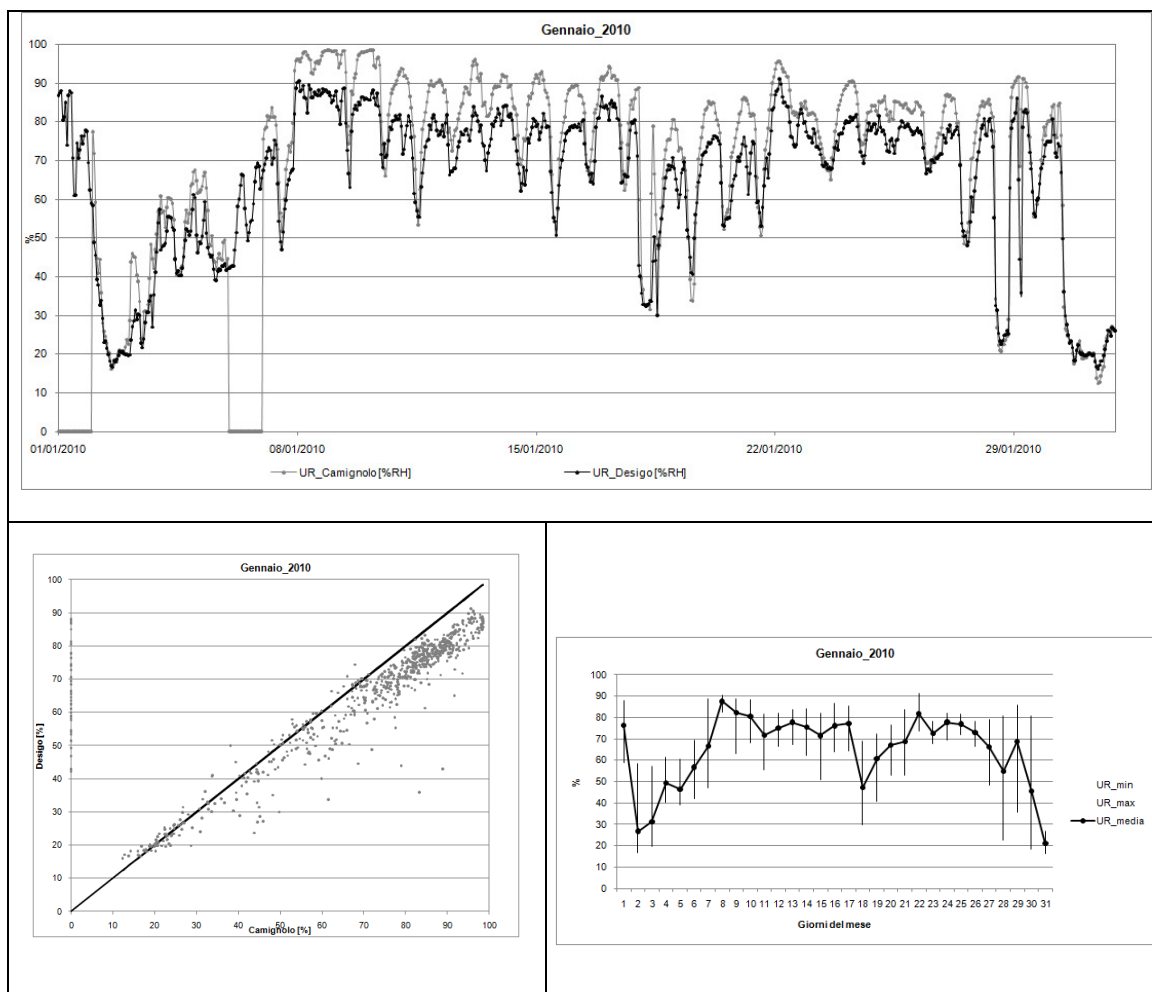
Dal terzo grafico si osserva che nei primi dieci giorni del mese l'umidità media si è aggirata intorno al 75%, con un picco superiore dell'85% ed un picco inferiore del 50%, mentre per i rimanenti giorni si è assistito ad una progressiva diminuzione dei valori medi giornalieri intorno al 25% per poi risalire fino al 70%.



**Tabella 56 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di novembre 2009**

Nel mese di novembre 2009 il sensore ha funzionato per tutti i giorni. Dai primi due grafici si vede che l'andamento dell'umidità relativa misurata da Desigo e quello dell'umidità relativa misurata da Camignolo sono pressoché coincidenti e nel grafico a dispersione formano una nuvola di valori intorno alla linea bisettrice di ideale coincidenza tra i due andamenti, mentre i picchi massimi di umidità raggiunti sono notevolmente differenti tra loro e formano nel secondo grafico una nuvola di valori a dispersione, più densa rispetto a quella dei dati coincidenti, che discosta dalla linea di bisettrice.

Dal terzo grafico si osserva una tendenza dei valori di umidità relativa media giornaliera a diminuire dal 75% al 40% a inizio mese, a stabilizzarsi intorno all'80% per la parte centrale del mese e ad aumentare fino al 90% a fine mese. Il massimo valore di 90% è raggiunto il trentesimo giorno, mentre il minimo valore del 40% è registrato al terzo giorno del mese.

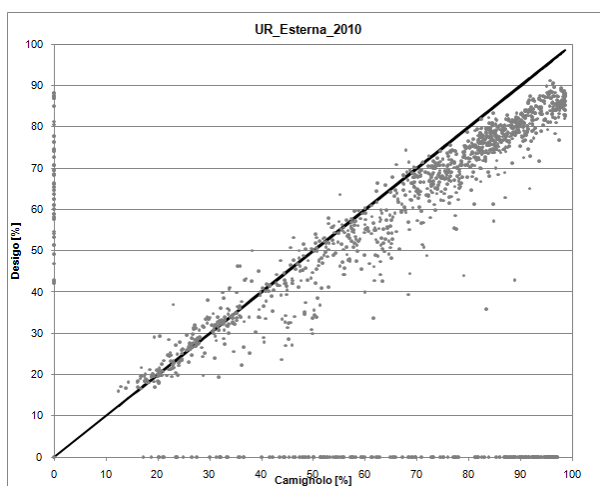
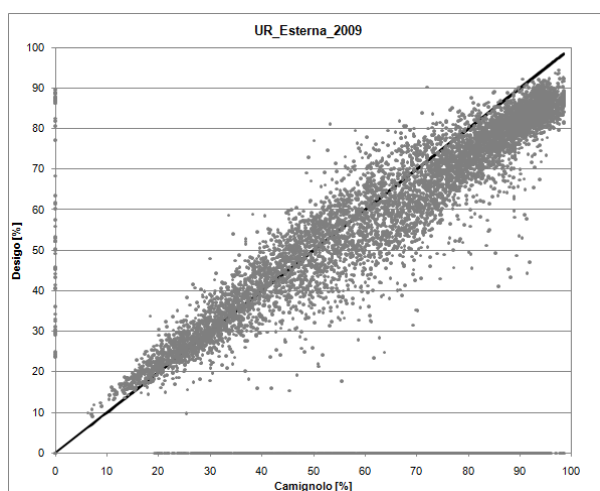
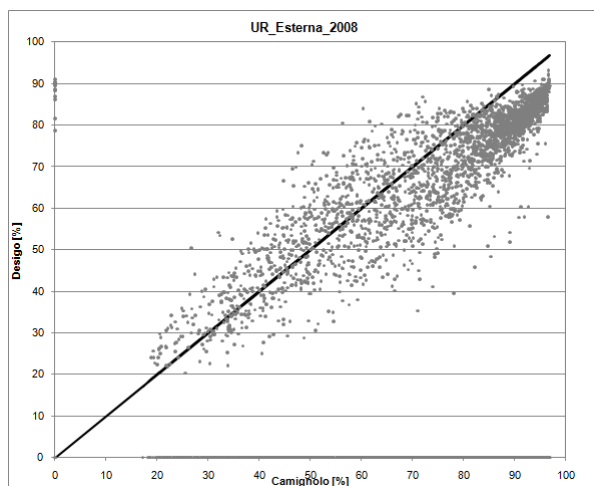


**Tabella 57 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di gennaio 2010**

Come per la temperatura, così anche per l'umidità relativa il sistema di misurazione della stazione meteorologica di Camignolo ha presentato dei guasti nella prima parte del mese. Questo spiega il fatto che la bisettrice del secondo grafico parte dall'origine del diagramma nonostante l'umidità relativa non tocchi mai il valore di 0%.

Per il resto del mese si osserva che l'andamento dell'umidità relativa misurata in situ è pressoché coincidente con quello dell'umidità relativa misurata dalla stazione meteorologica di Camignolo, tranne che per i picchi superiori che discostano del 10% circa.

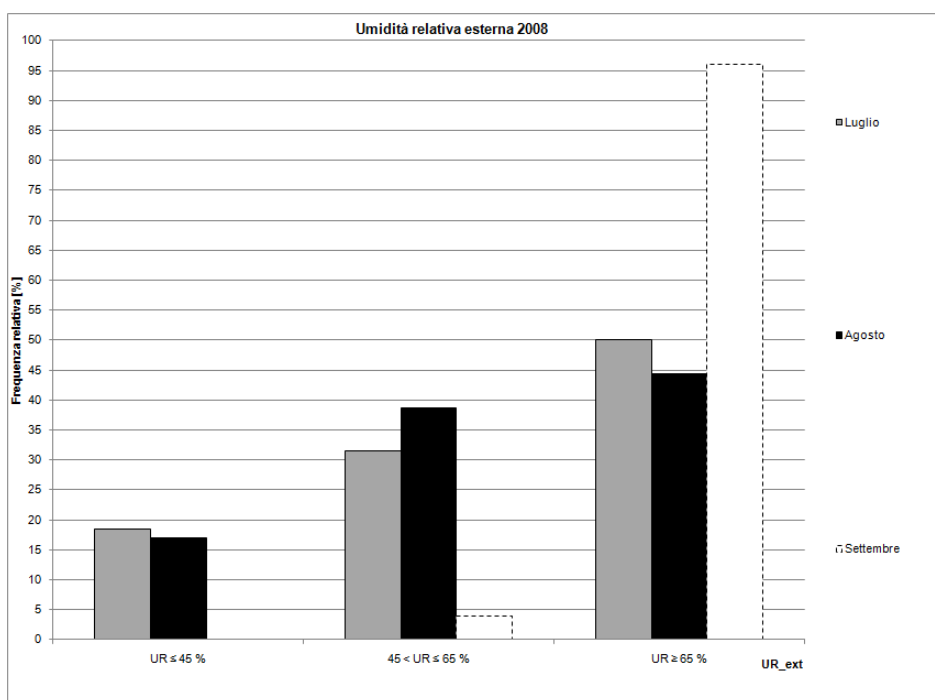
Il minimo valore misurato in situ è di 16% rilevato l'ultimo giorno, il massimo valore di 91% è registrato il ventiduesimo giorno, mentre la massima escursione di umidità relativa del 60% è avvenuta il ventottesimo giorno.



**Tabella 58 - Grafici a dispersione che mettono in relazione l'umidità relativa dell'aria esterna misurata da Desigo con quella misurata dalla stazione di Camignolo negli anni 2008, 2009 e 2010**

Il confronto tra i valori misurati da Desigo e quelli misurati dalla stazione meteorologica di Camignolo è stato effettuato innanzitutto per accertare l'attendibilità dei valori misurati in situ e anche, nel caso di periodi di guasto o malfunzionamento del sensore, per effettuare una sostituzione con i valori misurati da Camignolo. Dai grafici della Tabella 58, infatti, si nota che i valori misurati in situ sono pressoché coincidenti con quelli misurati dalla stazione climatica di riferimento per questo confronto. Gli scostamenti che sono stati segnalati mese per mese riguardano soprattutto i picchi superiori, in cui Desigo rileva dei valori più bassi di umidità relativa. Questo avviene sia nei mesi invernali sia nei mesi estivi e può essere dovuto al fatto che la stazione meteorologica di Camignolo è posta in una zona più boschiva e quindi più umida rispetto alla zona in cui è situato l'edificio in esame sulla cui copertura piana è posto il sensore stesso.

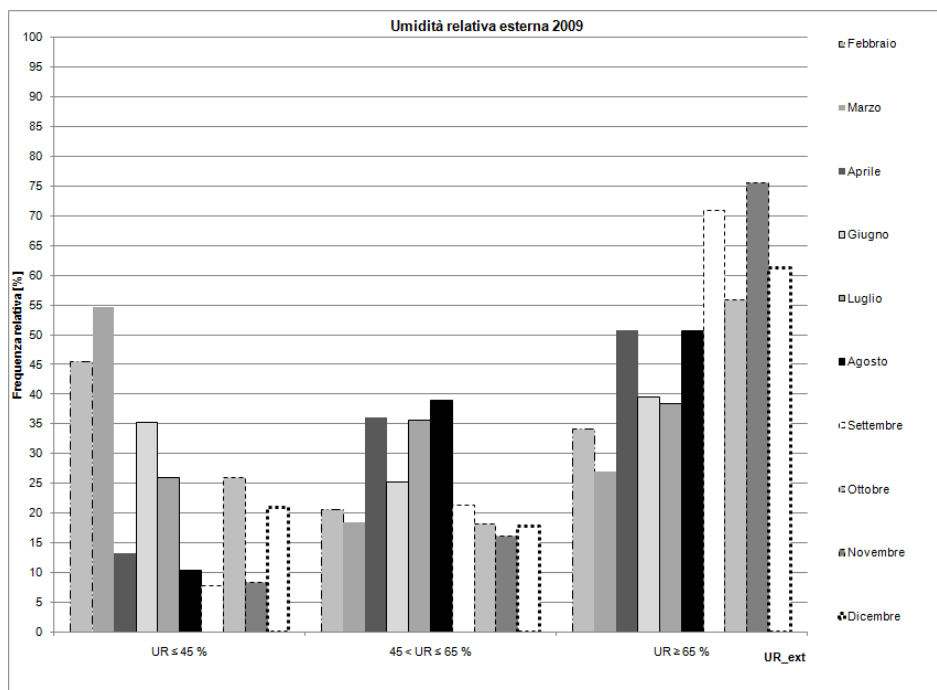
Oltre alle analisi orarie, nei grafici seguenti si è voluta mettere in evidenza la frequenza relativa percentuale mensile delle ore di rilevamento dell'umidità relativa dell'aria esterna rispetto alle ore di ogni mese, valutando gli intervalli in cui cadono le misure:



**Grafico 25 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'umidità esterna nel 2008**

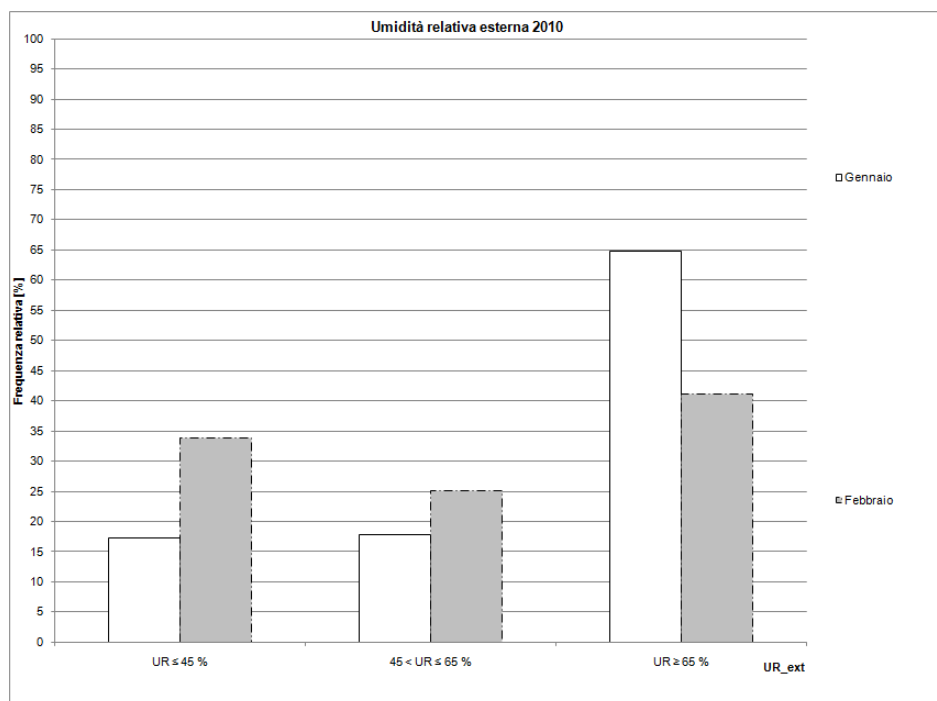
Si vede che in tutti i mesi considerati, la maggior parte dei valori rilevati (in luglio il 50%, in agosto il 45% e in settembre il 95%) supera il valore di 65% di umidità relativa.





**Grafico 26 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'umidità esterna nel 2009**

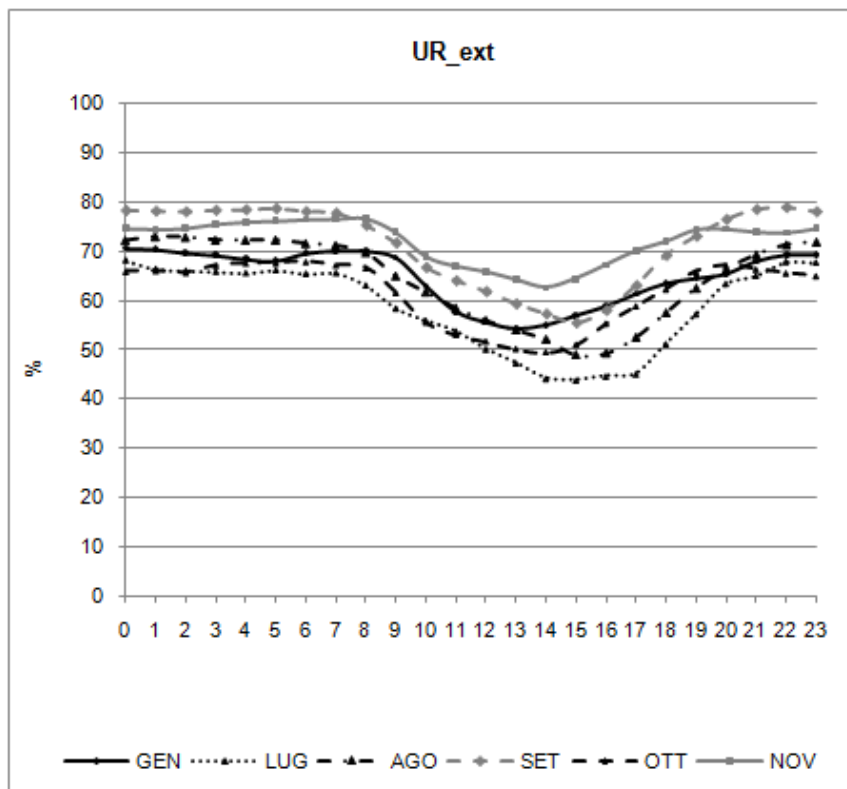
Nel 2009 si osserva che i picchi mensili dei valori rilevati di umidità relativa dell'aria esterna si trovano nell'intervallo di umidità maggiore del 65% tranne che per i mesi di febbraio (45%) e marzo (55%) in cui la maggior parte dei valori è inferiore al 45% di umidità esterna.



**Grafico 27 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'umidità esterna nel 2010**

Nei primi due mesi del 2010 si nota che sia per gennaio (65%) sia per febbraio (40%) la maggior parte dei valori supera il 65% di umidità relativa dell'aria esterna.

Si riportano di seguito gli andamenti medi mensili orari del periodo di riferimento (da luglio 2009 a novembre 2009, gennaio 2010) per dare una visione d'insieme degli intervalli medi in cui si trova l'edificio.



**Grafico 28 - Andamento medio orario mensile dell'umidità relativa esterna nei periodi di riferimento**

L'umidità relativa dell'aria esterna è rilevata in un range tra 45 e 80%. Per ogni mese si osserva che all'aumentare della temperatura esterna, e quindi nelle ore diurne, si assiste alla diminuzione dell'umidità relativa percentuale. Il mese in cui l'umidità è stata mediamente maggiore è settembre 2009, mentre l'andamento minimo medio orario è riscontrato nel mese di luglio 2009.

### 6.3 Analisi dell'irradianza solare totale sul piano orizzontale

A differenza di temperatura e umidità relativa, l'irradianza solare, espressa in  $[W/m^2]$ , è rilevata dal sensore numero 10 solamente nei mesi di luglio, agosto e settembre del 2008, da settembre a dicembre del 2009 e nei primi due mesi del 2010. I rilievi non sono continuativi, ma presentano delle interruzioni dovute a mal funzionamenti del dispositivo. Anche i valori di irradianza solare rilevati in situ sono stati confrontati con quelli misurati dalla stazione meteorologia di Camignolo. Anche in questo caso, per non appesantire troppo l'analisi, si è deciso di riportare solamente le valutazioni dei mesi del periodo di riferimento, che verranno analizzati anche nei capitoli successivi, ed i grafici a dispersione riassuntivi per ogni anno.

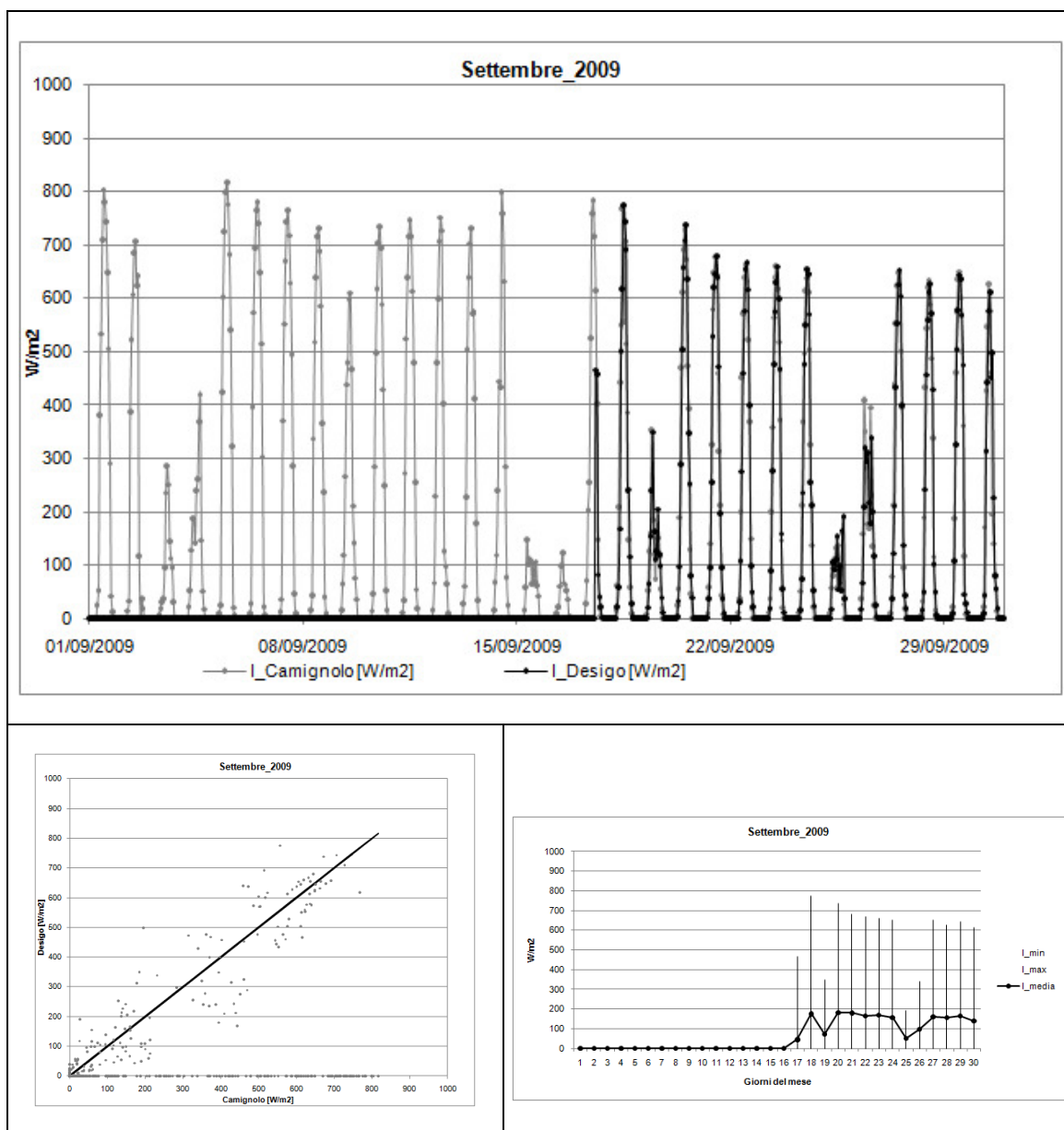
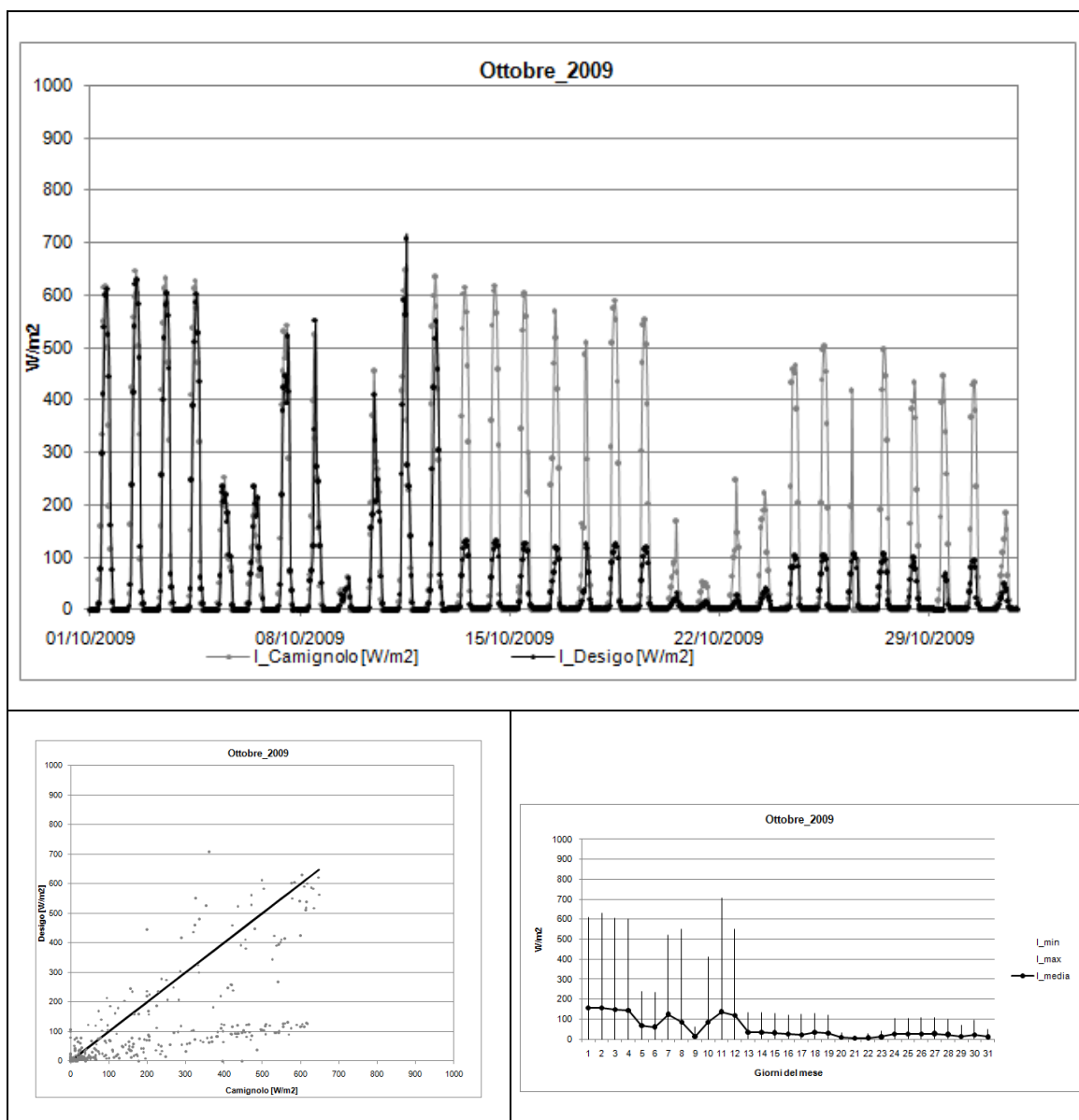


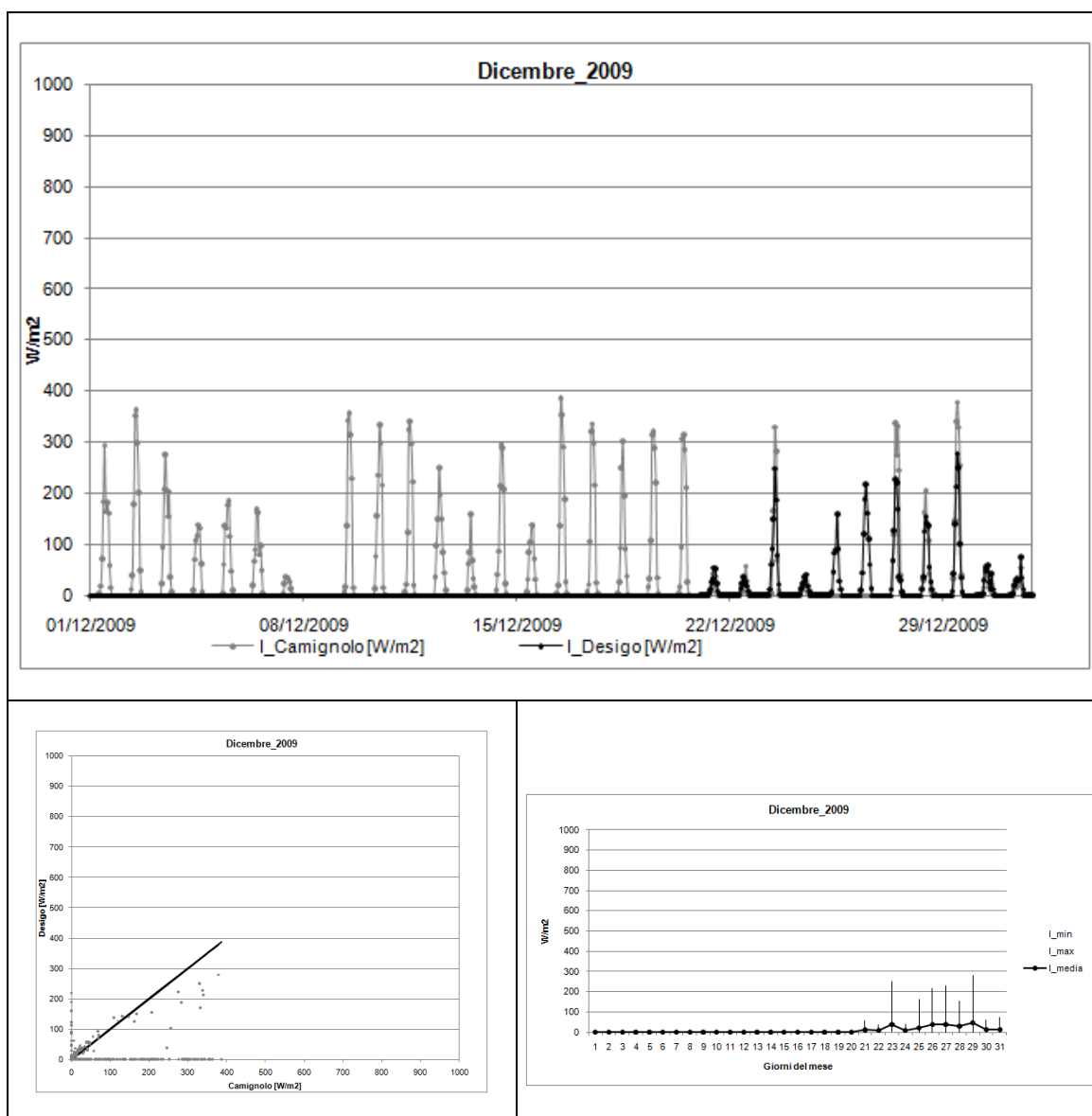
Tabella 59 - Grafici relativi all'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di settembre 2009



**Tabella 60 - Grafici relativi all'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di ottobre 2009**

Nel mese di settembre 2009 le misure dell'irradianza solare totale sul piano orizzontale in situ sono state registrate a partire dalla seconda metà del mese, in particolare dal diciassettesimo giorno. Da questa data in poi, per tutto il mese si osserva una notevole coincidenza tra i due andamenti, dove il massimo di  $775 W/m^2$  è raggiunto il diciottesimo giorno e il più basso valore medio di  $50 W/m^2$  è rilevato il venticinquesimo giorno. Il valore minimo rilevato nelle ore notturne è sempre pari a  $0 W/m^2$ . Nel mese di ottobre 2009 il sensore ha funzionato in maniera appropriata fino al dodicesimo giorno, e lo si nota dalla coincidenza tra i due andamenti nel primo grafico. Dal tredicesimo giorno in poi, il sensore ha assunto una posizione scorretta, poiché si è capovolto, ed ha rilevato valori significativamente inferiori rispetto a quelli misurati

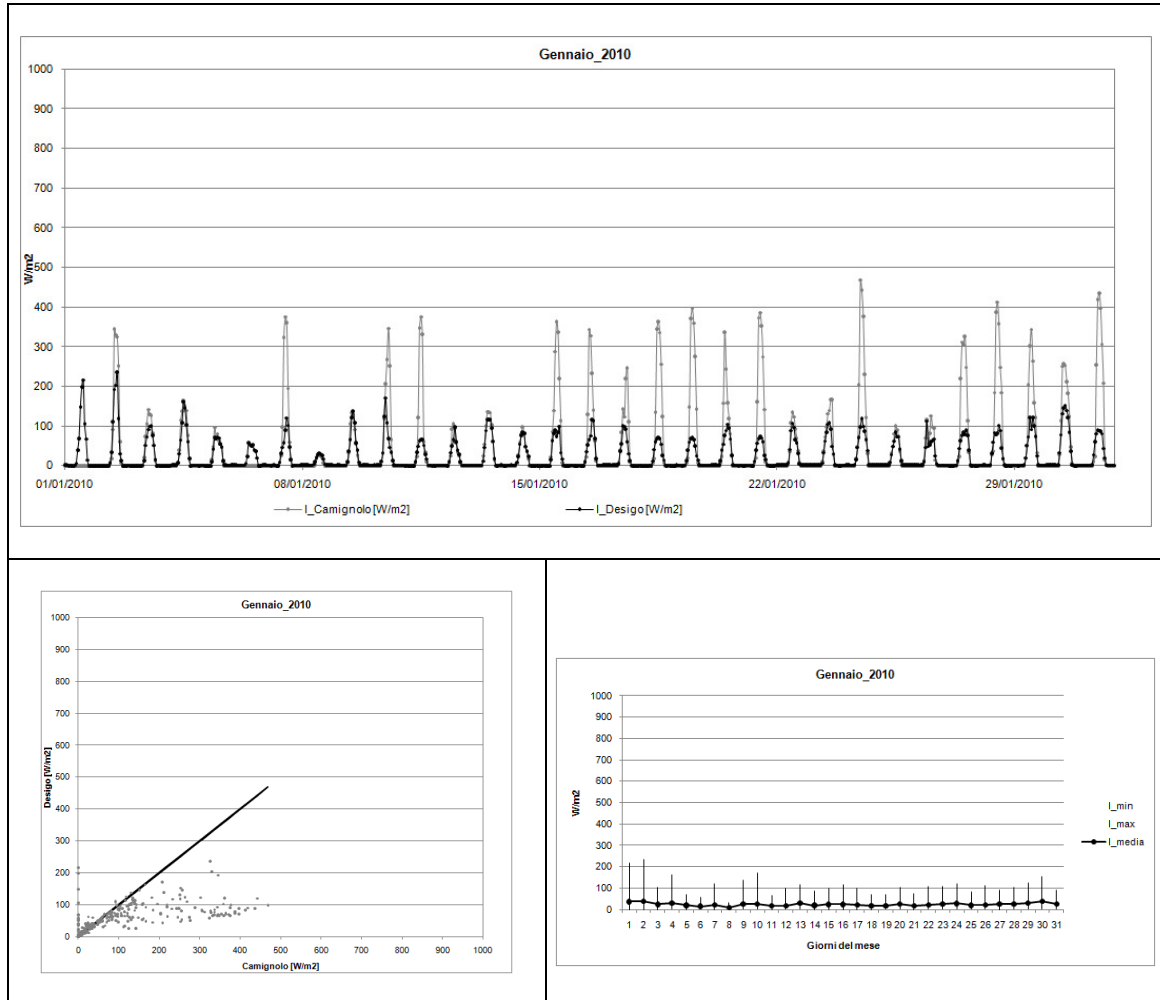
dalla stazione meteorologica di Camignolo. Da questa data viene quindi a mancare l'attendibilità delle misure in situ.



**Tabella 61 - Grafici relativi all'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di dicembre 2009**

Si è deciso di non illustrare gli andamenti dell'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di novembre 2009 dato che il sensore era ancora nella posizione scorretta e ha rilevato valori non significativi. Al suo posto si è scelto di mostrare i grafici relativi al mese di dicembre 2009, anche se non fa parte del periodo scelto come riferimento per le analisi dei sensori, perché in questo mese è stata ripristinata la posizione corretta del sensore (più precisamente in data 17 dicembre 2009, come testimonia la Tabella 61) e lo si capisce anche dal fatto che gli andamenti nel primo grafico, dal ventunesimo giorno a fine mese, coincidono tra loro.

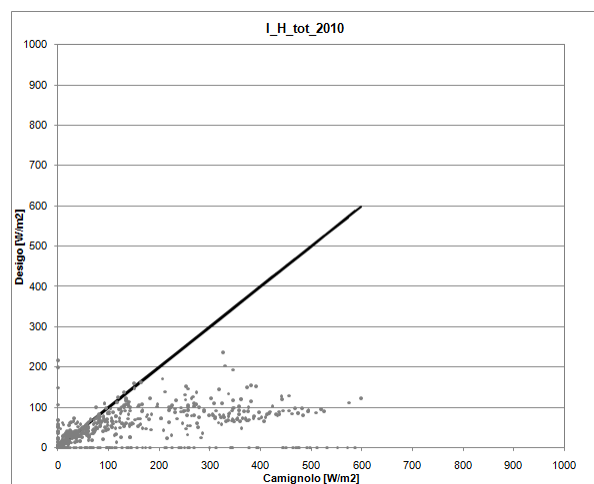
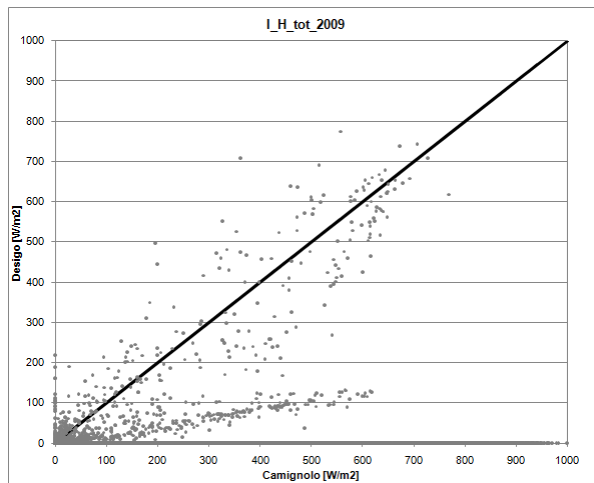
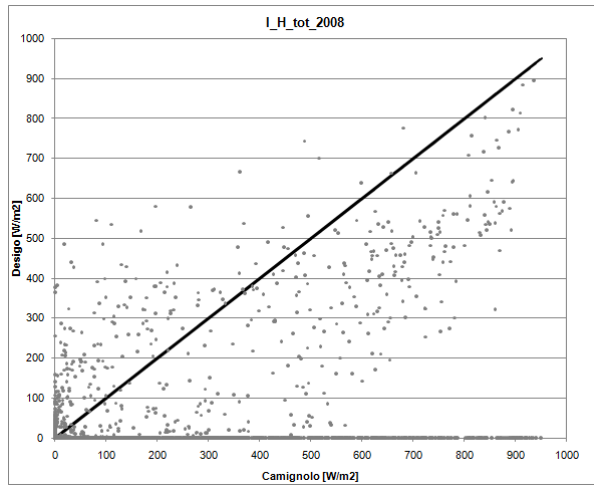
Il massimo valore di  $278 \text{ W/m}^2$  è stato registrato il ventinovesimo giorno ed è un dato notevolmente inferiore rispetto al massimo raggiunto il mese di ottobre 2009. Il valore medio si aggira intorno ai  $25 \text{ W/m}^2$ , pari a circa la metà dei valori medi registrati sempre in ottobre 2009.



**Tabella 62 - Grafici relativi all'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di gennaio 2010**

Nella prima settimana del mese di gennaio 2010 il sensore di irradianza solare totale sul piano orizzontale ha funzionato in modo appropriato, poi deve essersi ancora capovolto a causa di sollecitazioni esterne quali ad esempio il vento o la neve.

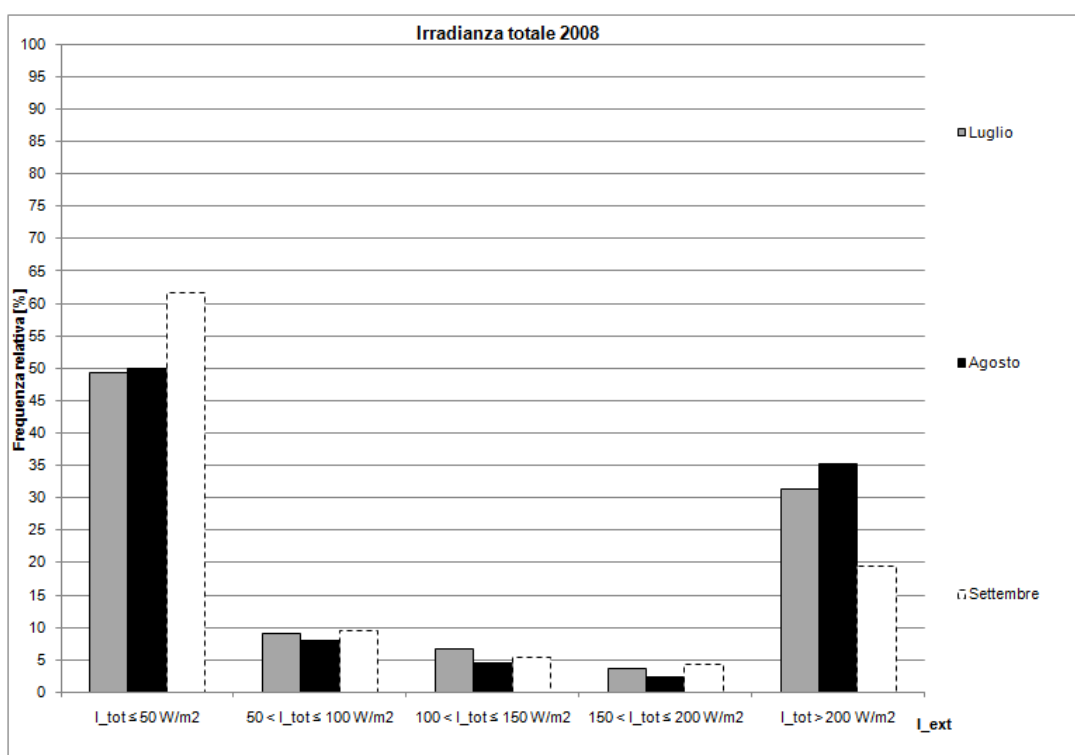
Si può quindi affermare che i dati a disposizione rilevati in questo mese non sono attendibili e risulta necessario effettuare una sostituzione con i dati misurati dalla stazione meteorologica di Camignolo.



**Tabella 63 - Grafici a dispersione che mettono in relazione l'irradianza solare totale sul piano orizzontale misurata da Desigo con quella misurata dalla stazione di Camignolo negli anni 2008, 2009 e 2010**

Si è potuto notare dalle analisi mensili fatte in precedenza che nei momenti in cui il sensore di irradianza solare totale sul piano orizzontale ha funzionato in maniera appropriata, gli andamenti delle misure effettuate in situ coincidevano perfettamente con gli andamenti delle misure effettuate dalla stazione climatica di Camignolo. È possibile pertanto coprire i periodi in cui le misure non sono state effettuate o non sono significative a causa dell'errato posizionamento del sensore, con i valori misurati dalla stazione climatica stessa.

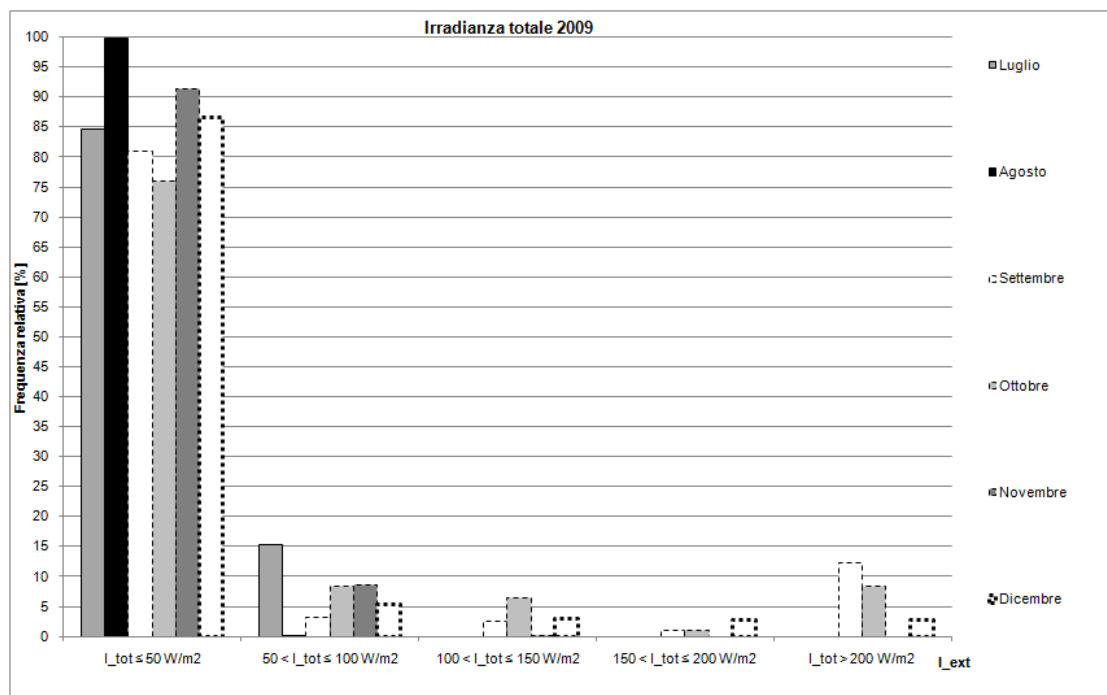
Oltre alle analisi orarie, nei grafici seguenti si è voluta mettere in evidenza la frequenza relativa percentuale mensile delle ore di rilevamento dell'umidità relativa dell'aria esterna rispetto alle ore di ogni mese, valutando gli intervalli in cui cadono le misure:



**Grafico 29 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'irradianza totale nel 2008**

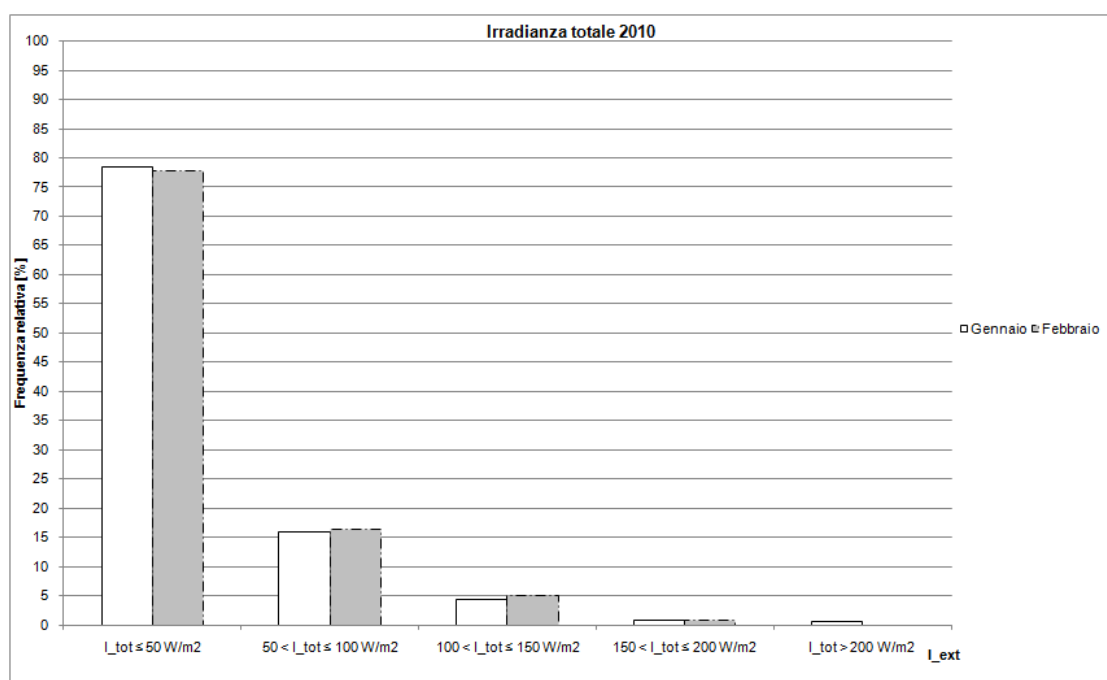
L'irradianza solare totale sul piano orizzontale nei mesi di luglio, agosto e settembre del 2008, vede la maggior parte dei valori rilevati inferiore a  $50 \text{ W/m}^2$ ; ciò è dovuto al fatto che in questo intervallo sono incluse anche le ore notturne in cui l'irradianza è prossima a zero.





**Grafico 30 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'irradianza totale nel 2009**

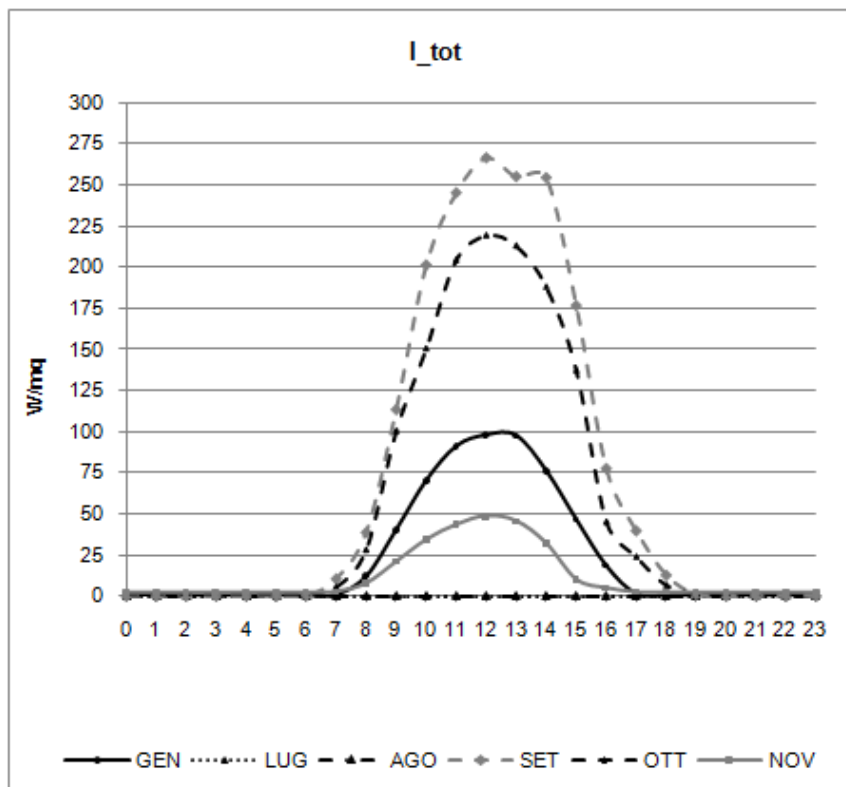
Nel 2009, la campagna di misurazione è stata effettuata da luglio a dicembre. La maggior parte dei valori risulta inferiore a  $50 W/m^2$  per il motivo descritto in precedenza, ma rispetto al 2008 si osserva che in luglio, agosto e settembre i picchi di rilevamento sono notevolmente maggiori: luglio passa dal 50% nel 2008 all' 85% nel 2009, agosto dal 50% al 100% e settembre dal 63% all'85%.



**Grafico 31 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'irradianza totale nel 2010**

Nel 2010 i mesi di gennaio e febbraio sono caratterizzati da un picco compreso tra il 75 e l'80% di valori inferiori a  $50 \text{ W/m}^2$ .

Si riportano di seguito gli andamenti medi mensili orari del periodo di riferimento (da luglio 2009 a novembre 2009, gennaio 2010) per dare una visione d'insieme degli intervalli medi in cui si trova l'edificio.



**Grafico 32 - Andamento medio orario mensile dell'irradianza solare totale sul piano orizzontale nei periodi di riferimento**

Si nota che l'irradianza solare totale sul piano orizzontale media oraria relativa ai mesi del periodo di riferimento varia tra un minimo notturno di  $0 \text{ W/m}^2$ , ad un massimo di circa  $275 \text{ W/m}^2$  raggiunto nel mese di settembre 2009 alle ore 12. Nei mesi di luglio e agosto 2009 il sensore si è guastato e rilevava solamente valori nulli; per questo motivo nella precedente analisi delle frequenze relative percentuali di rilevamento nel mese di agosto il 100% dei valori risultava inferiore a  $50 \text{ W/m}^2$ .

## 7. Il monitoraggio dell'impianto

L'impianto è monitorato in tutte le sue parti da diversi sensori. Per la descrizione dettagliata del funzionamento dell'impianto si rimanda al Capitolo 4. Nelle successive analisi verrà preso in considerazione il periodo di riferimento individuato nel Capitolo 5 che include dell'anno 2009 i mesi di luglio, agosto, settembre, ottobre, novembre e dell'anno 2010 il mese di gennaio.

Verranno illustrate le analisi orarie mensili di ogni grandezza e anche alcune analisi medie mensili per dare un'idea di massima degli andamenti negli altri periodi non analizzati nel dettaglio.

La descrizione dei vari componenti dell'impianto, riportata in ogni singola analisi, è accompagnata dai riferimenti grafici delle tavole allegate poste in fondo all'elaborato.

### 7.1 Analisi dell'impianto durante il funzionamento estivo

L'analisi dell'impianto durante il funzionamento estivo è stata effettuata prendendo in considerazione il periodo che va dal 20 luglio 2009 al 30 agosto 2009.

#### 7.1.1 Emungimento dell'acqua di falda e scambiatori a piastre

La descrizione del monitoraggio degli scambiatori ad acqua di falda è stata suddivisa in quattro parti: l'emungimento dell'acqua di falda, la valvola posta tra i due scambiatori, lo scambiatore SC1 per il raffrescamento e lo scambiatore SC2 per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria.

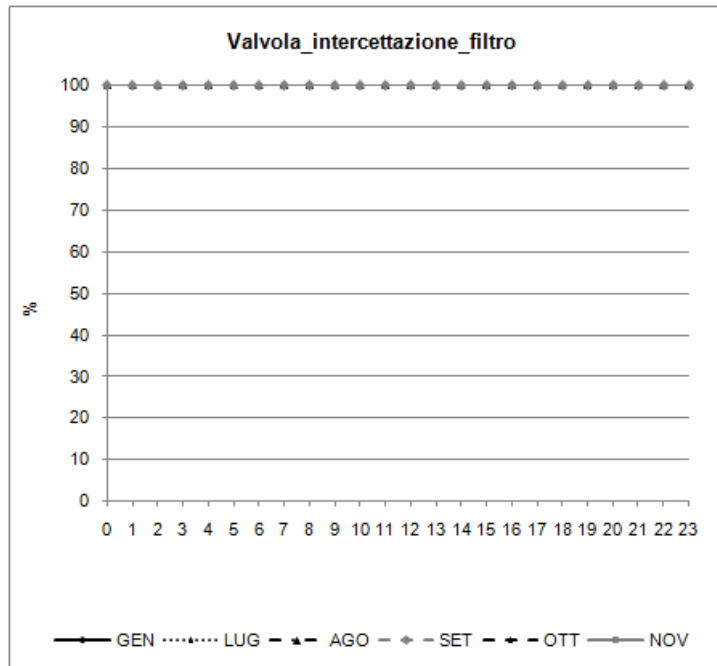
##### 7.1.1.1 Emungimento dell'acqua di falda

Questa parte dell'impianto è comune ad entrambi gli scambiatori (chiamati SC1 e SC2). I sensori in esame riguardano il circuito di pompaggio dell'acqua di falda (sensori 26 e 27), la valvola di intercettazione del filtro (sensore 29), la portata del flusso di acqua di falda (sensore 25) e la temperatura dell'acqua di falda a monte dei due scambiatori (sensore 28).

Tav.	Sensore	Descrizione	Unità di misura
1	26	Circuito di Miscela-Pompa sud	[Comando]
1	27	Circuito di Miscela-Pompa nord	[%]
1	29	Valvola intercettazione filtro	[%]
1	25	Flusso acqua di falda	[m <sup>3</sup> /h]
1	28	Temperatura Mandata	[°C]

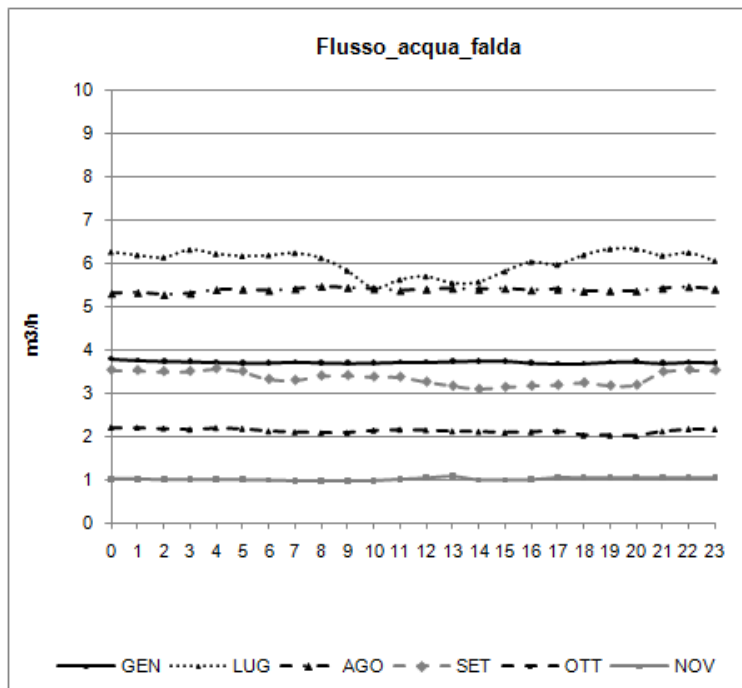
**Tabella 64 - Sensori relativi all'emungimento dell'acqua di falda**

La valvola dell'intercettazione del filtro, posta dopo il sistema di pompaggio, risulta aperta (100 %) per tutti i mesi del periodo di riferimento:



**Grafico 33 - Valvola intercettazione filtro [%] nel periodo di riferimento**

Il flusso, espresso in m<sup>3</sup>/h attraverso il sensore 25, varia a seconda della richiesta di acqua di falda per lo scambio termico con gli scambiatori SC1 e SC2:

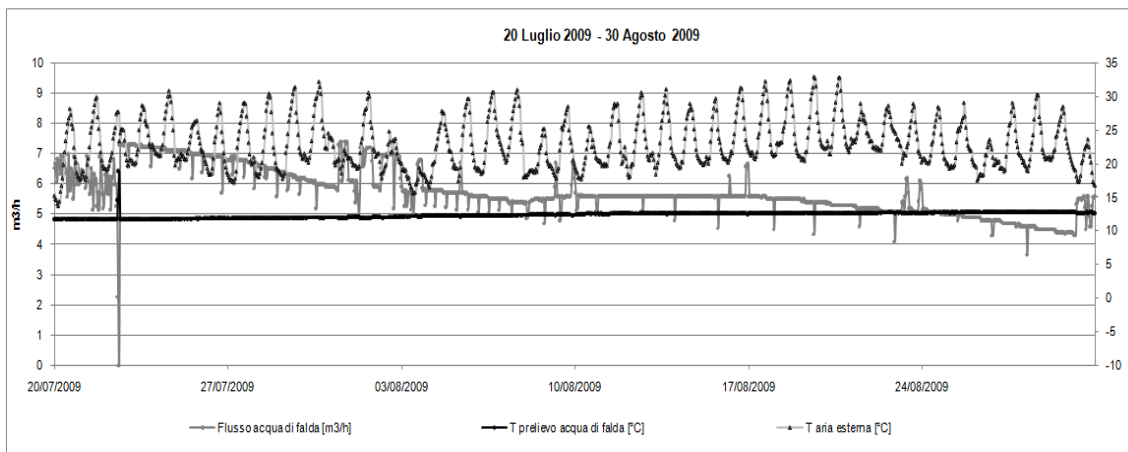


**Grafico 34 - Flusso di acqua di falda [m<sup>3</sup>/h] nel periodo di riferimento**

Si osserva che nei mesi di luglio e di agosto 2009 il flusso è maggiore e vale circa 6 m<sup>3</sup>/h poiché si effettua anche lo scambio termico per il raffreddamento (nello scambiatore SC1) mentre nei

mesi invernali, in cui viene effettuato solamente lo scambio nello scambiatore SC2 per il riscaldamento, la portata diminuisce e risulta pressoché costante: in gennaio si aggira intorno ai 4 m<sup>3</sup>/h, in settembre è prossimo ai 3,5 m<sup>3</sup>/h, in ottobre ai 2 m<sup>3</sup>/h e in novembre intorno a 1 m<sup>3</sup>/h.

Vengono di seguito riportate le analisi effettuate nel periodo estivo di riferimento che va da lunedì 20 Luglio 2009 a domenica 30 Agosto 2009:



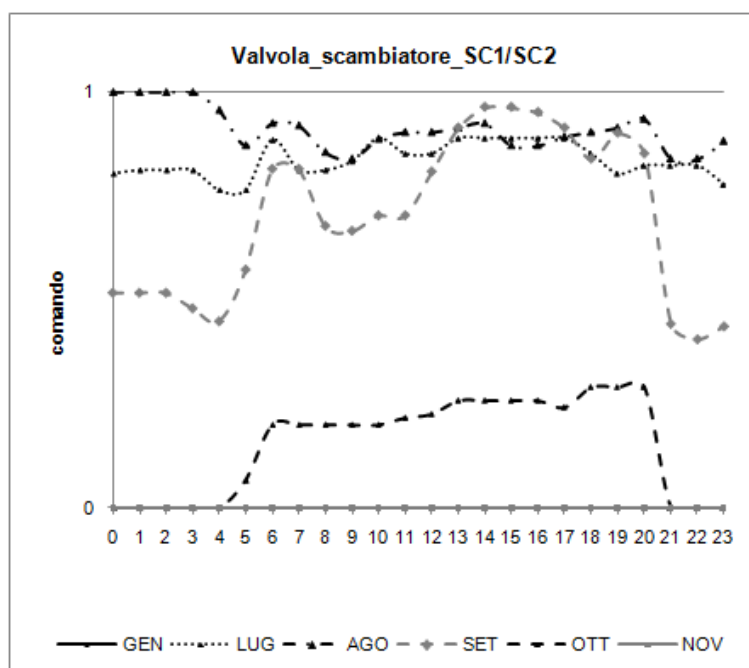
**Grafico 35 - Andamento del flusso di acqua di falda [m<sup>3</sup>/h], della temperatura di prelievo [°C] e della temperatura dell'aria esterna [°C] nel periodo estivo di riferimento**

Si nota immediatamente che la temperatura di prelievo dell'acqua di falda è pressoché costante e si aggira intorno ai 13°C. La portata di prelievo varia tra 5 m<sup>3</sup>/h (con un picco minimo raggiunto alla fine di agosto di 3.5 m<sup>3</sup>/h) e 7 m<sup>3</sup>/h, a seconda della richiesta di raffreddamento da parte dell'impianto progettato a tale scopo.

Non esiste una correlazione con la temperatura esterna, poiché l'andamento della portata non è sinusoidale come quello della temperatura.

### 7.1.1.2 La valvola posta tra i due scambiatori

La valvola posta tra gli scambiatori, i cui andamenti sono stati rilevati dal sensore 20 presente nella tavola 1, è di rilevante importanza nelle stagioni intermedie. Essa ha infatti il compito di chiudere il passaggio dell'acqua di falda verso lo scambiatore SC1 adibito al raffreddamento nei mesi invernali e aprirlo progressivamente nei mesi più caldi.

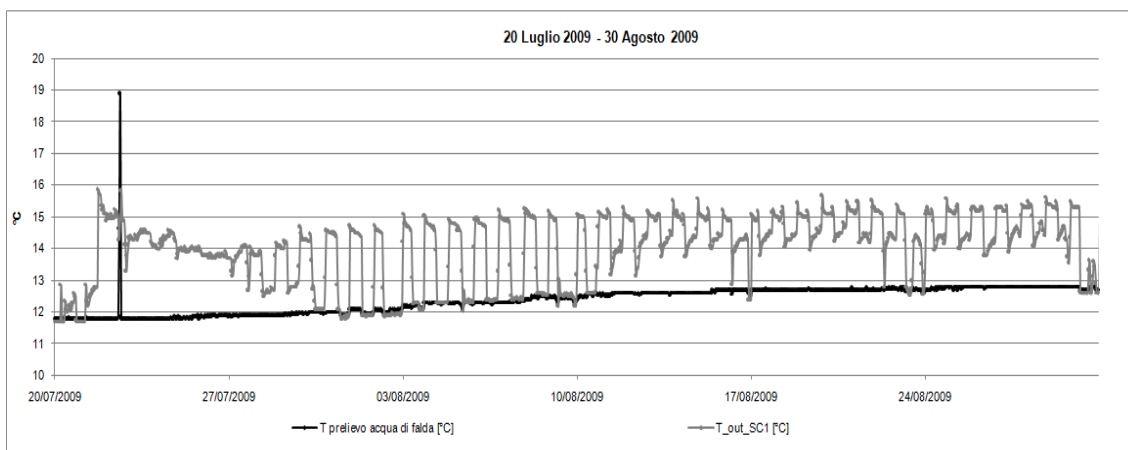


**Grafico 36 - Valvola posta tra i due scambiatori [comando] nel periodo di riferimento**

L'asse delle ordinate esprime il comando della valvola, dove al numero 1 corrisponde l'apertura totale e al numero 0 la chiusura totale. Come previsto, si vede che nei mesi estivi la valvola è aperta (rispettivamente dall'alto verso il basso: agosto, luglio, settembre, ottobre del 2009) per consentire lo scambio termico tra l'acqua di falda prelevata e lo scambiatore SC1; nei mesi di novembre 2009 e gennaio 2010 invece è sempre pari a 0 perché lo scambiatore SC1 viene bypassato per arrivare direttamente allo scambiatore SC2.

### 7.1.1.3 Lo scambiatore SC1

Lo scambiatore a piastre SC1 è adibito al raffreddamento dell'acqua per il sistema di raffreddamento degli uffici che avviene attraverso i TABS e le batterie fredde della ventilazione. Sono state analizzate nel dettaglio le temperature in ingresso (sensore 28) e in uscita (sensore 30) dallo scambiatore per quanto riguarda il circuito primario, lato acqua di falda, e le temperature di mandata (sensore 21) e di ritorno (sensore 22) del circuito secondario, lato collettore raffreddamento:



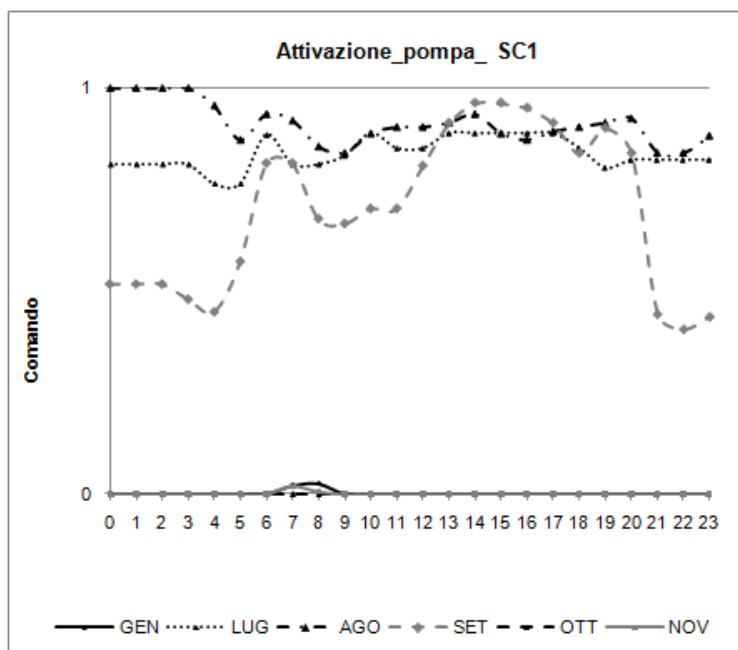
**Grafico 37 - Temperature in ingresso e in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC1**

Dal Grafico 37 si vede che la temperatura in ingresso nel circuito primario dello scambiatore SC1, che è la temperatura di prelievo dell'acqua di falda, aumenta progressivamente da 12°C a 13°C, mentre la temperatura in uscita dallo scambiatore, sempre sul lato falda, risente dello scambio termico con il flusso del circuito secondario e quindi ha un andamento irregolare; varia tra 12°C e 15.5°C ed è ragionevolmente sempre superiore alla temperatura in ingresso a causa dello scambio termico. L'acqua di falda in uscita dallo scambiatore SC1 entrerà nello scambiatore SC2, che verrà analizzato in seguito, adibito al riscaldamento dell'acqua. L'aumento di temperatura dell'acqua di falda in uscita da SC1, quindi, è una scelta impiantistica migliorativa per l'efficienza del sistema poiché l'acqua entra in SC2 ad una temperatura maggiore.

Dello scambiatore SC1 si analizza anche il circuito secondario che collega lo scambiatore stesso al collettore di mandata dell'acqua raffreddata:

Tav.	Sensore	Descrizione	Unità di misura
1	21	Temperatura mandata sec	[°C]
1	22	Temperatura ritorno sec	[°C]
1	19	Circuito di Miscela-Pompa-Comando	[Comando]

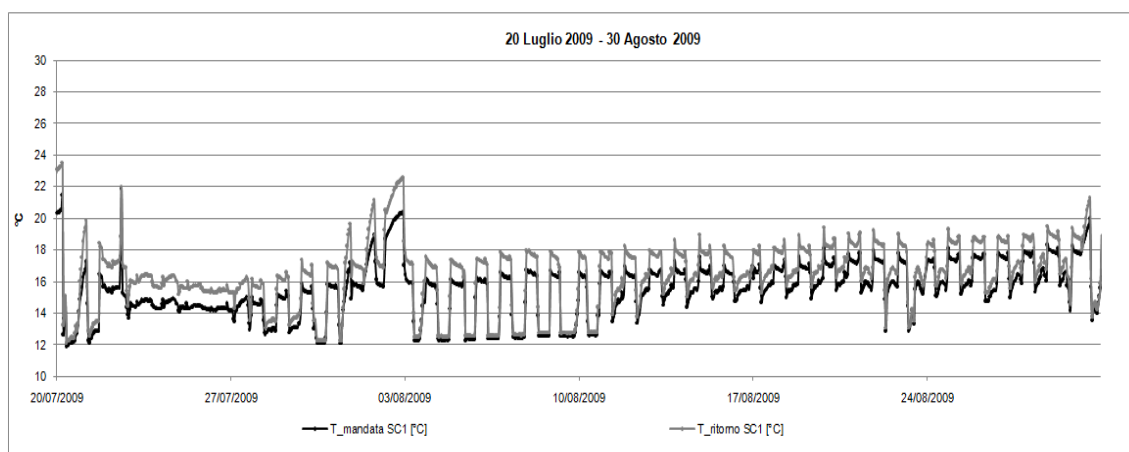
**Tabella 65 - Sensori relativi allo scambiatore SC1**



**Grafico 38 - Attivazione della pompa di circolazione di SC1 [Comando] nel periodo di riferimento**

La pompa di circolazione del fluido contenuto nel circuito secondario che collega lo scambiatore SC1 con il collettore di acqua raffreddata, quando è attiva assume valore 1, in caso contrario assume valore 0. I valori intermedi compresi tra 0 e 1 stanno ad indicare che la pompa non è stata attiva per tutto il giorno.

Si osserva che è stata attivata solamente per tre mesi del periodo di riferimento: in agosto 2009 la circolazione del fluido è stata attivata nelle ore notturne e per buona parte delle ore diurne; in luglio 2009 la pompa si è accesa più volte nelle ore diurne rispetto a quelle notturne; anche in settembre 2009 la pompa era attivata sia di giorno sia di notte, ma con una frequenza minore.



**Grafico 39 - Temperatura di mandata e di ritorno del circuito secondario dello scambiatore SC1**

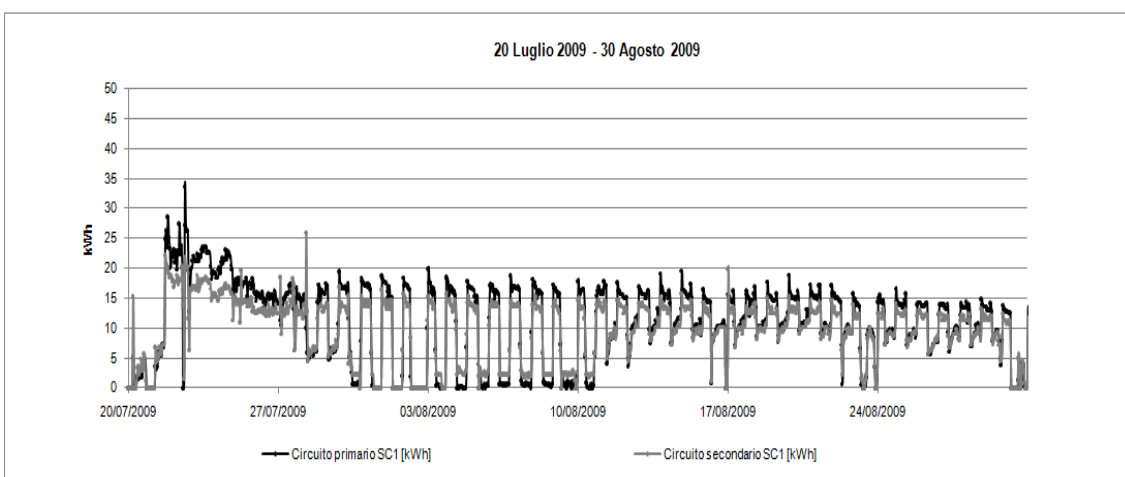
Il circuito secondario dello scambiatore SC1 è direttamente collegato al collettore dell'acqua raffreddata: facendo riferimento al Grafico 39, si nota che la temperatura di mandata, che varia tra 12°C e 17°C, risulta inferiore di circa 1°C alla temperatura di ritorno dal collettore freddo.



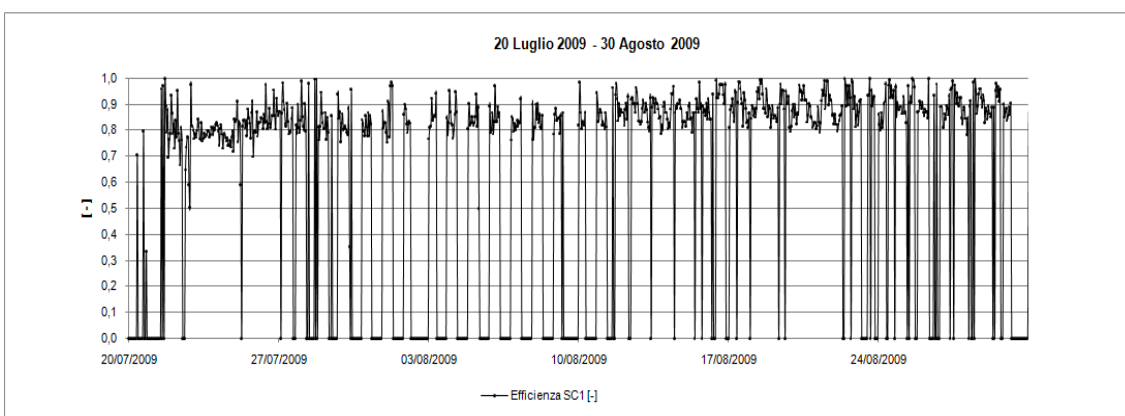
Si è valutata inoltre l'energia di prelievo dall'acqua di falda. Noti infatti: la portata di prelievo (sensore 25), espressa in [m<sup>3</sup>/h], la temperatura di prelievo in [°C] (sensore 28), viste in precedenza, e la temperatura in uscita dallo scambiatore SC1 adibito al raffreddamento

espressa in [°C] (sensore 30), attraverso la formula  $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ , dove m' è la portata d'acqua [kg/h]; c<sub>p</sub> è il calore specifico dell'acqua, pari a 4.186 kJ/(kg\*K) oppure a 0.001163 kWh/(kg\*K); ΔT è la variazione di temperatura a monte e a valle dello scambiatore.

Si ricava la potenza termica di scambio espressa in [kW] che, analizzata per ogni ora, è espressa quindi in [kWh]. Analogo calcolo è stato effettuato per quanto riguarda il circuito secondario di SC, di cui si conosce anche il comando della pompa di circolazione. Sono quindi di seguito riportati i grafici che riguardano l'energia relativa al circuito primario ed a quello secondario di SC1 e l'andamento dell'efficienza dello scambiatore, calcolata come output/input, vale a dire come rapporto tra l'energia del circuito secondario e l'energia del circuito primario:



**Grafico 40 - Energia del circuito primario e secondario dello scambiatore SC1**



**Grafico 41 - Efficienza dello scambiatore SC1**

Dal Grafico 40 si vede che l'energia del circuito secondario risulta inferiore a quella del circuito primario e ne consegue che l'efficienza dello scambiatore SC1 è minore di 1 (Grafico 41).

#### 7.1.1.4 Lo scambiatore SC2

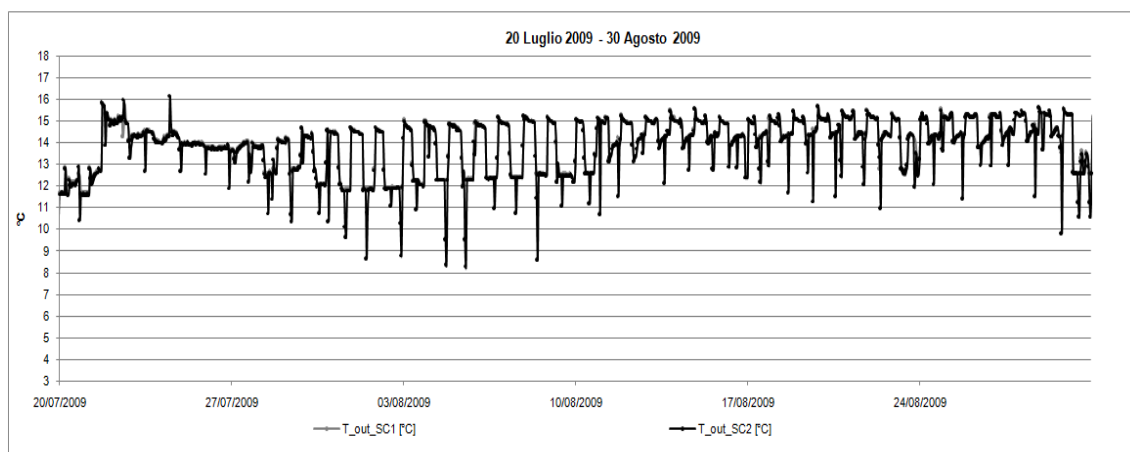
Lo scambiatore SC2 è attivo durante tutto l'anno e ha lo scopo di pre-riscaldare l'acqua del circuito in ingresso nell'evaporatore della pompa di calore. Esso è caratterizzato da due circuiti: il circuito primario, lato acqua di falda, e il circuito secondario, che collega lo scambiatore SC2 con la pompa di calore.

Verranno di seguito analizzate le temperature del circuito primario in ingresso ed in uscita dello scambiatore e le energie in gioco.

Tav.	Sensore	Descrizione	Unità di misura
1	30	Temp. ingr. scamb. acqua falda	[°C]
1	31	Temp.uscita scamb. acqua falda	[°C]
1	33	Termopompa'Evaporatore'Temperatura Ingresso	[°C]
1	34	Termopompa'Evaporatore'Temperatura Uscita	[°C]

**Tabella 66 - Sensori relativi allo scambiatore SC2**

La temperatura in ingresso nel circuito primario dello scambiatore SC2 è, a meno di dispersioni lungo la tubazione, la stessa in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC1; gli andamenti delle temperature sono illustrati nel grafico seguente:



**Grafico 42 - Temperature in ingresso e in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC2**

Dal grafico si nota che le temperature in ingresso ed in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC2 sono pressoché coincidenti. Questo non è dovuto ad un cattivo funzionamento dello scambiatore, ma al fatto che l'analisi è stata effettuata su base oraria, mentre lo scambiatore SC2 in estate è utilizzato per effettuare un pre-riscaldamento dell'acqua in ingresso nell'evaporatore della pompa di calore adibita al solo riscaldamento dell'acqua calda sanitaria e quindi attiva solamente per poche decine di minuti al giorno.

Risulta quindi privo di significato effettuare un'analisi delle energie in gioco, dal momento che si hanno a disposizione solamente valori orari.

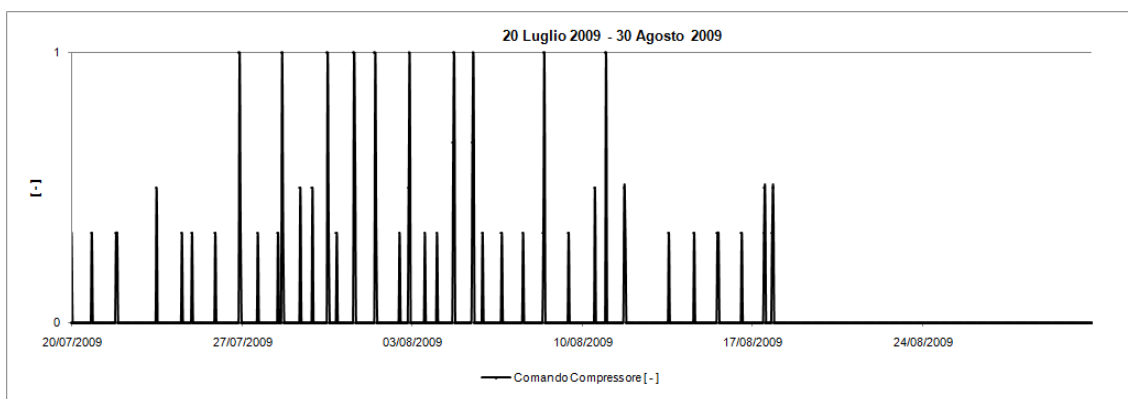
#### 7.1.2 La pompa di calore e l'accumulo

La pompa di calore in estate è utilizzata solamente per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, poiché le batterie calde della ventilazione sono attivate esclusivamente in inverno per

riscaldare l'aria in immissione e non anche in estate per effettuare un post-riscaldamento dell'aria.

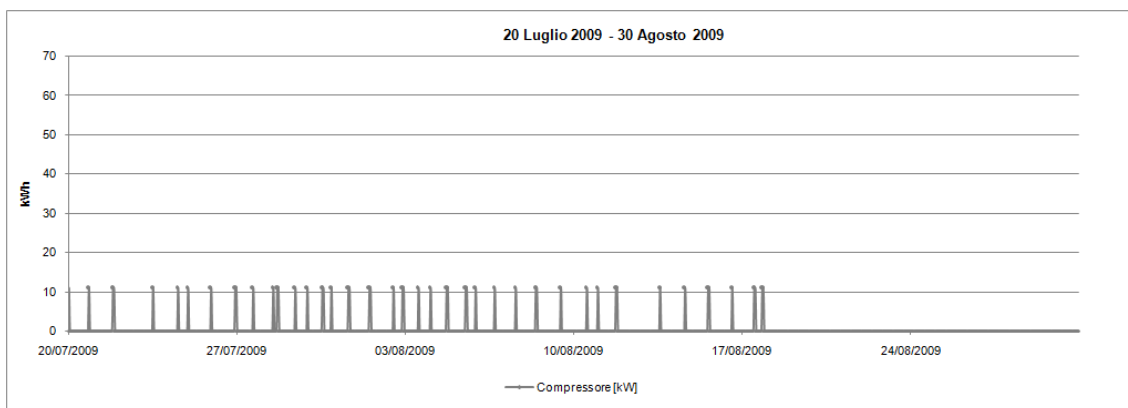
#### 7.1.2.1 Il funzionamento del compressore

Dato che in estate il funzionamento della termopompa è adibito solamente al riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, essa si è attivata per qualche frazione di ora in ogni giornata. Il compressore, di potenza nominale pari a 11.1 kW, agisce in modalità on/off, che nel grafico seguente è rappresentato con 1 se acceso e 0 se spento; ma poiché è stata eseguita un'analisi oraria, vengono raggiunti anche valori intermedi che stanno a significare che il compressore è stato acceso solamente per una parte di un'ora intera.



**Grafico 43 - Comando del compressore**

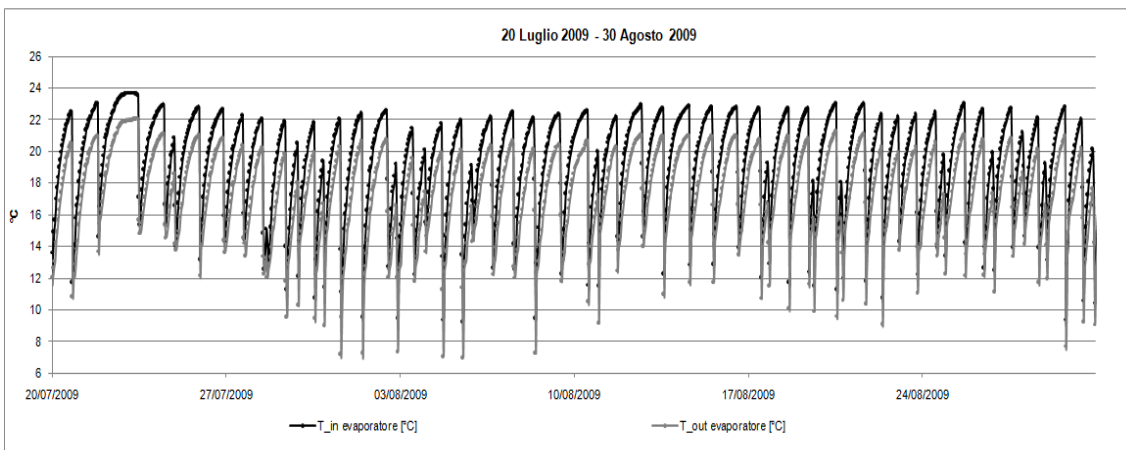
Note le frazioni di ore in cui ha funzionato la pompa di calore e nota la potenza nominale del compressore stesso, è stato calcolato l'assorbimento orario di energia elettrica, illustrato nel grafico seguente:



**Grafico 44 - Assorbimento di energia elettrica da parte del compressore della pompa di calore**

#### 7.1.2.2 L'evaporatore

Dell'evaporatore sono note le temperature in ingresso ed in uscita, rispettivamente pari a quelle in uscita ed in ingresso dal circuito secondario dello scambiatore SC2:



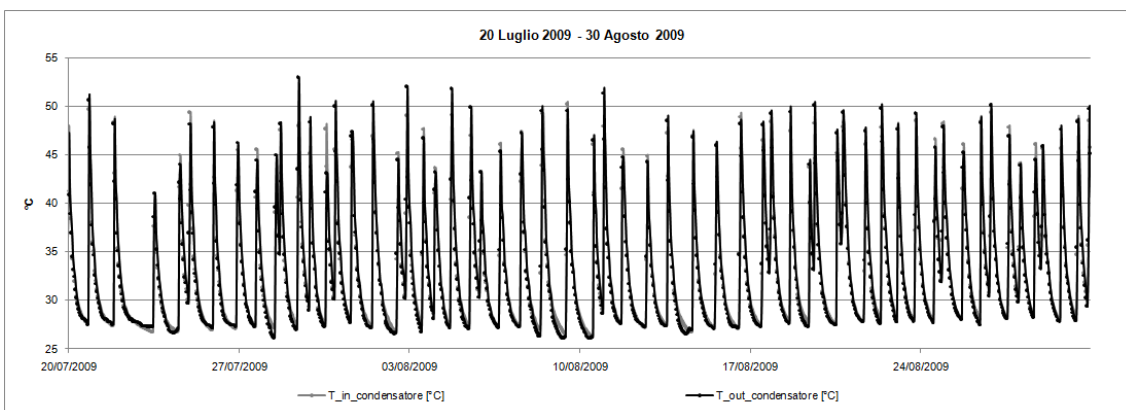
**Grafico 45 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dall'evaporatore**

Dal Grafico 45 si vede come la temperatura in ingresso nell'evaporatore, proveniente dallo scambiatore SC2, sia sempre maggiore della temperatura in uscita, proprio a causa della trasformazione termodinamica che è avvenuta nell'evaporatore stesso: nei periodi di funzionamento, il fluido composto da acqua glicolata al 30%, entra nell'evaporatore con una temperatura pari a circa 22°C e ne esce mediamente di 2°C inferiore.

#### 7.1.2.3 Il condensatore

Come per l'evaporatore, così anche per il condensatore sono note le temperature in ingresso e in uscita, che sono direttamente collegate alle temperature dell'accumulo posto a valle della termopompa.

L'andamento delle temperature in giuoco è il seguente:



**Grafico 46 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dal condensatore**

Si nota immediatamente che l'intervallo di variazione è molto ampio e va da circa 27°C nei periodi in cui la pompa di calore non è funzionante ma la temperatura viene lo stesso rilevata, a circa 53°C negli intervalli di funzionamento. Da un grafico di questo tipo non è immediatamente percepibile la differenza tra la temperatura in ingresso e quella in uscita dal condensatore sempre per il fatto che il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria è avvenuto per frazioni di ora che non si possono rendere in un'analisi oraria.

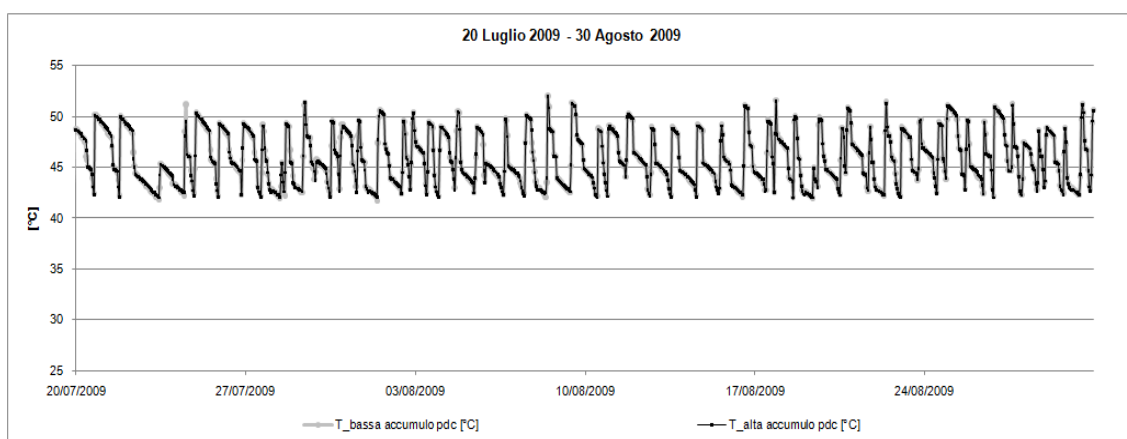
Oltre alle temperature è nota anche la portata che circola nel circuito chiuso che collega SC2 all'evaporatore della pompa di calore, da progetto pari a 13820 l/h e la portata circolante nel circuito chiuso del condensatore, da progetto pari a 10259 l/h.

Si sarebbe anche potuto valutare l'apporto energetico da parte dell'evaporatore e del condensatore, ma avendo a disposizione solamente valori orari ed essendo la termopompa funzionante in frazioni di ora, un'analisi di questo tipo non sarebbe stata significativa.

Per lo stesso motivo si è deciso di non valutare il coefficiente di prestazione (COP) della pompa di calore in questo periodo.

#### 7.1.2.4 L'accumulo

L'accumulo posto a valle della pompa di calore ha come obiettivo riscaldare una notevole massa di acqua per poter permettere alla termopompa un funzionamento intermittente e non continuativo. Di seguito è riportato il grafico che illustra gli andamenti delle temperature caratterizzanti l'accumulo:



**Grafico 47 - Andamento delle temperature in alto e in basso dell'accumulo posto a valle della pompa di calore**

Si nota come nel periodo estivo la differenza di temperatura tra la parte alta e la parte bassa dell'accumulo sia praticamente nulla; questo è dovuto al fatto che l'accumulo, che fa attivare la pompa di calore per poche decine di minuti in una giornata, è direttamente collegato al collettore caldo di distribuzione che va a riscaldare il bollitore dell'acqua calda sanitaria.

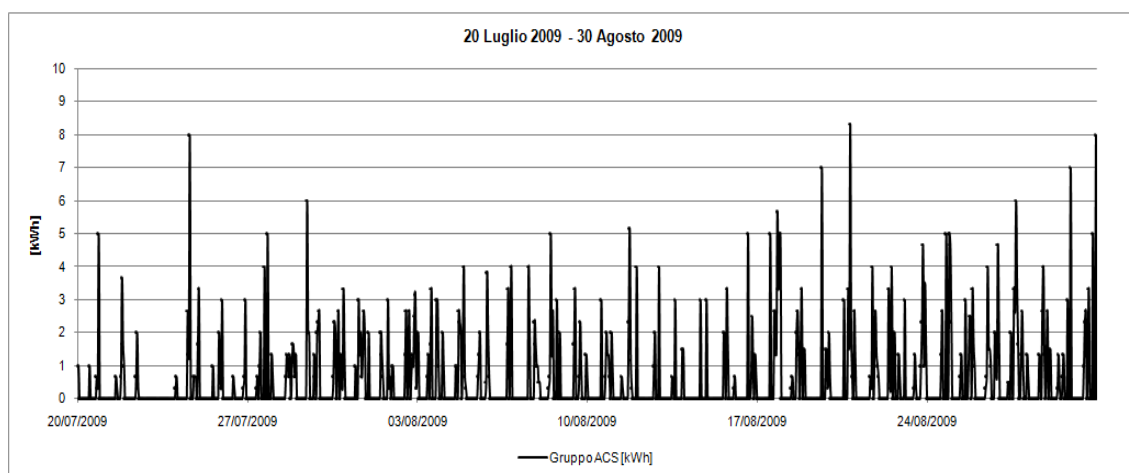
### 7.1.3 I collettori

Nell'analisi estiva vanno presi in considerazione sia il collettore caldo sia il collettore freddo: per quanto riguarda il primo, si valuta il fabbisogno di acqua calda sanitaria registrato a valle del collettore; del secondo si analizza la richiesta energetica di raffreddamento da parte dei TABS e delle batterie fredde della ventilazione per il raffrescamento degli uffici.

#### 7.1.3.1 Il collettore caldo

Nelle unità di trattamento dell'aria sono presenti anche delle batterie calde a circolazione di acqua, ma sono adibite al solo utilizzo invernale per il riscaldamento dell'aria di immissione e non al post-riscaldamento estivo. Per questo motivo il collettore caldo in estate si occupa esclusivamente del riscaldamento dell'acqua calda sanitaria.

Dai valori rilevati dal contatore di energia relativo al riscaldamento dell'acqua calda sanitaria (sensore 8) è stato possibile ottenere l'andamento della richiesta di energia per il riscaldamento a valle del collettore di distribuzione:

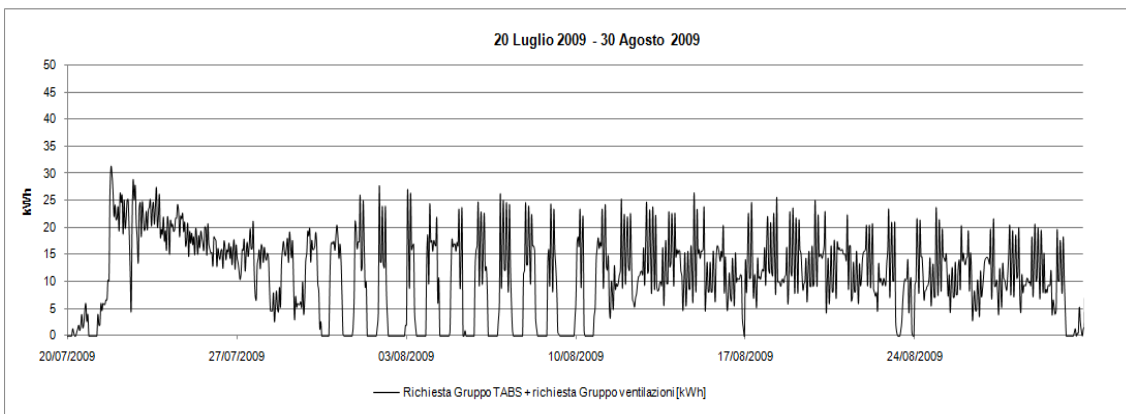


**Grafico 48 - Energia richiesta per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria**

Dal Grafico 48 è possibile valutare l'andamento della richiesta energetica per il riscaldamento dell'acqua sanitaria: nei periodi in cui è richiesto il funzionamento della pompa di calore, il fabbisogno si aggira intorno ai 2-3 kWh di energia, mentre i picchi, che raggiungono anche il valore di 8 kWh, sono dovuti alla funzione anti-legionella.

#### 7.1.3.2 Il collettore freddo

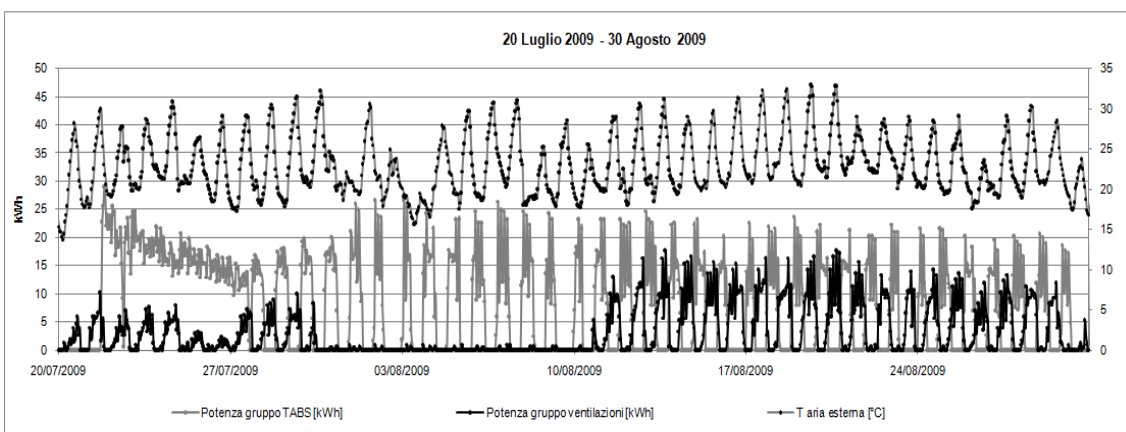
Dal collettore freddo, invece, parte il sistema di distribuzione relativo ai TABS ed alle batterie di raffreddamento delle unità di trattamento dell'aria:



**Grafico 49 – Somma dell'energia richiesta per il raffreddamento dell'acqua circolante nel gruppo TABS e nelle batterie di ventilazione**

Dal Grafico 49 si osserva che la somma delle richieste di energia per il raffreddamento dell'acqua da parte dei TABS e delle batterie delle unità di trattamento dell'aria oscilla in un range che varia da un minimo di 5 kWh ad un massimo di circa 30 kWh.

In particolar modo, dal Grafico 50 è possibile distinguere le richieste da parte dei due impianti separatamente: si nota che l'energia richiesta dai TABS, che va da 0 kWh nei momenti in cui non è attivato il sistema a dei picchi di 25 kWh, è superiore a quella delle batterie di raffreddamento che vanno da un minimo di 0 kWh nei momenti in cui la ventilazione è disattivata (di notte) a un massimo di 15 kWh raggiunto nella seconda metà del mese di agosto, quando la temperatura esterna ha raggiunto picchi di 33°C. Dal grafico si capisce inoltre che nelle prime due settimane di agosto la ventilazione è stata spenta, probabilmente per la chiusura estiva degli uffici.

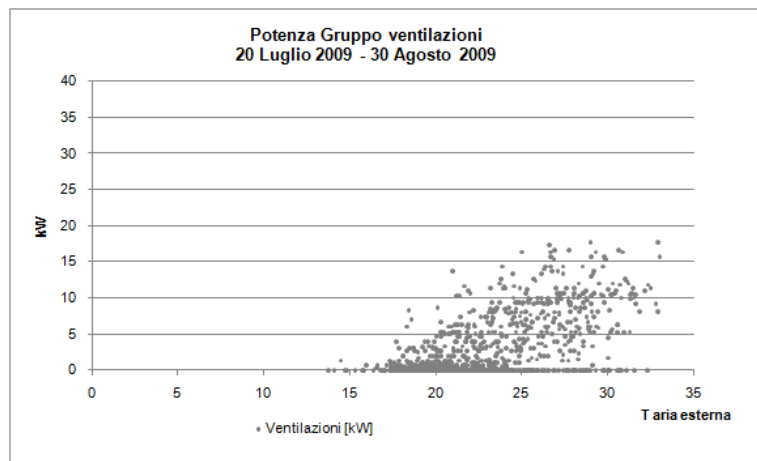
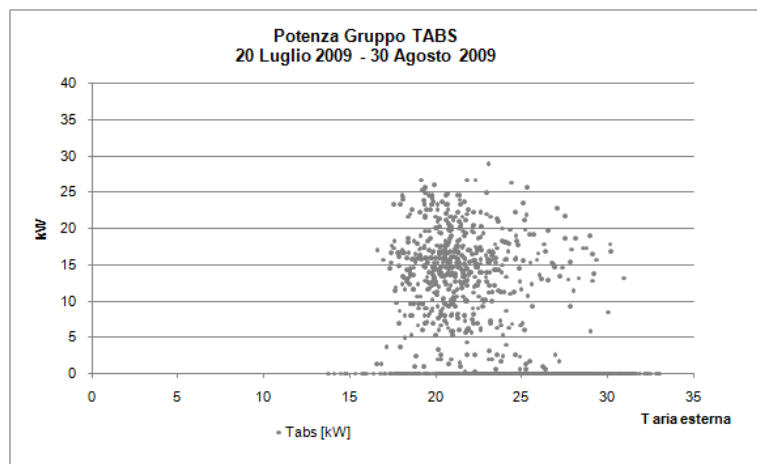


**Grafico 50 - Energia richiesta per il raffreddamento dell'acqua circolante nel gruppo TABS e nelle batterie di ventilazione**

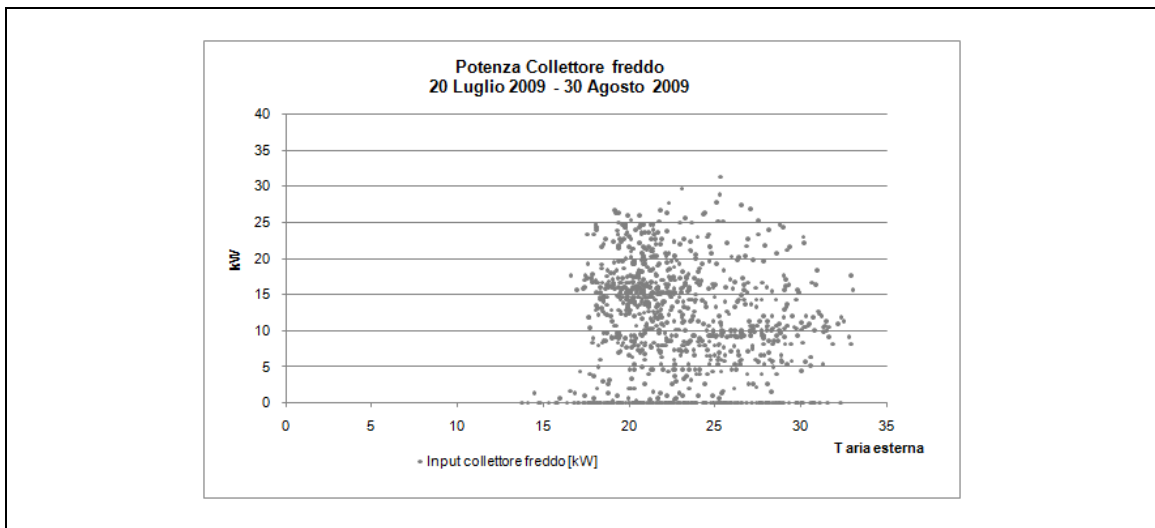
Nei grafici seguenti illustrati nella Tabella 67 viene valutata la correlazione che sussiste tra la potenza richiesta rispettivamente per il raffreddamento del gruppo TABS, del gruppo ventilazioni, dell'intero collettore freddo e l'andamento della temperatura dell'aria esterna.

Dai primi due grafici, si nota che il funzionamento dei TABS in modalità raffrescamento presenta una nuvola di dispersione più concentrata rispetto a quella del gruppo ventilazioni e fa variare il proprio range di potenza da un minimo di 5 kW ad un massimo di 25 kW in un intervallo di temperatura esterna che va dai 17°C ai 27°C; la nuvola di dispersione che caratterizza il gruppo ventilazioni, a sua volta, raggiunge valori minori di potenza rispetto a quelli rilevati dal gruppo TABS, come anche è stato descritto in precedenza, ma viene attivata quando la temperatura dell'aria esterna raggiunge valori più alti, che vanno da 20°C a 30°C.

Il terzo grafico mostra come la somma delle richieste di potenza per il raffreddamento del gruppo TABS e del gruppo ventilazioni varia in funzione della temperatura dell'aria esterna; si vedono entrambi i contributi: l'ampiezza della variazione di potenza è data principalmente dal gruppo TABS, mentre lo sviluppo in larghezza della nuvola di dispersione è dato soprattutto dal gruppo ventilazioni.





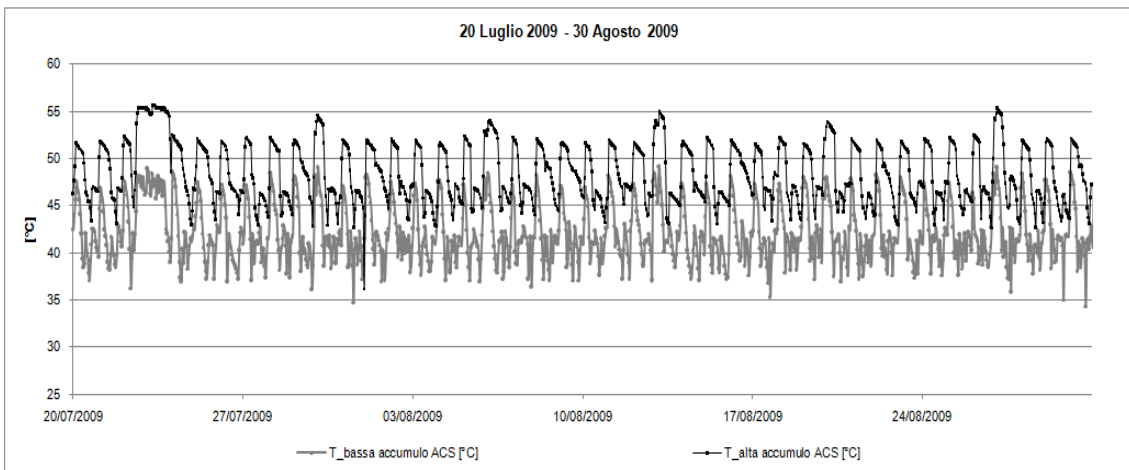


**Tabella 67 - Correlazione tra potenza richiesta per il raffreddamento del gruppo TABS, del gruppo ventilazioni e del collettore freddo e la temperatura dell'aria esterna**

#### 7.1.4 Acqua calda sanitaria

L'analisi del fabbisogno di riscaldamento dell'acqua sanitaria è stata effettuata nel capitolo relativo all'analisi del collettore caldo.

Si valuta ora l'andamento della temperatura alta e della temperatura bassa dell'accumulo dell'acqua calda sanitaria, rilevate rispettivamente dai sensori 38 e 37.

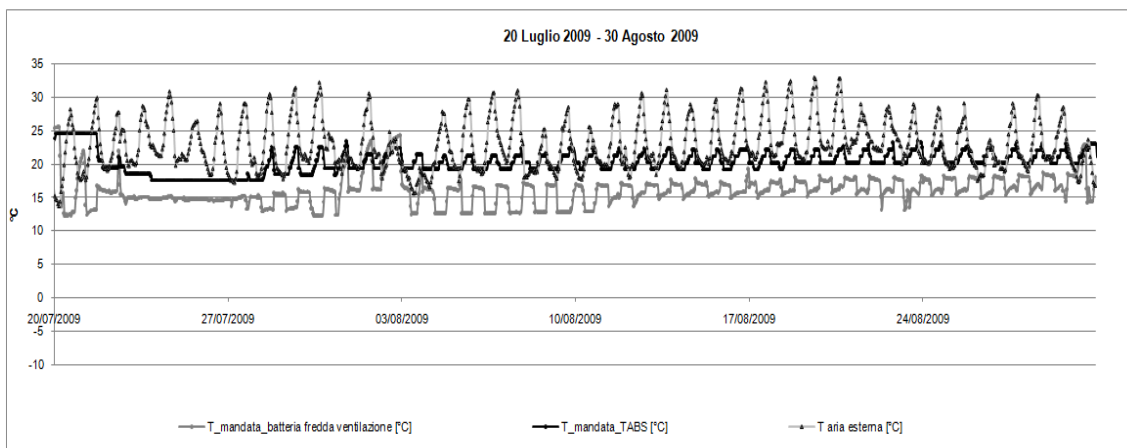


**Grafico 51 - Andamento delle temperature nella parte alta e bassa dell'accumulo dell'acqua calda sanitaria**

Dal momento che l'acqua da mandare all'utenza è prelevata nella parte alta dell'accumulo, si nota dal Grafico 51 che la temperatura nella parte alta dell'accumulo risulta ragionevolmente maggiore di quella misurata nella parte bassa di circa 10°C: la prima infatti si aggira mediamente intorno ai 50°C, mentre la seconda intorno ai 40°C.

### 7.1.5 Terminali impiantistici

Per quanto riguarda i terminali impiantistici, sono state analizzate le temperature di mandata in uscita dal collettore freddo:



**Grafico 52 - Andamento delle temperature di mandata dal collettore freddo al gruppo TABS e al gruppo ventilazioni confrontate con la temperatura dell'aria esterna**

Si nota che la temperatura in uscita dal collettore freddo rilevata in corrispondenza della mandata alle batterie fredde del gruppo ventilazioni oscilla tra 13°C e 17°C e risulta inferiore alla temperatura di mandata del gruppo TABS che varia tra 17°C e 22°C.

## 7.2 Analisi dell'impianto durante il funzionamento invernale

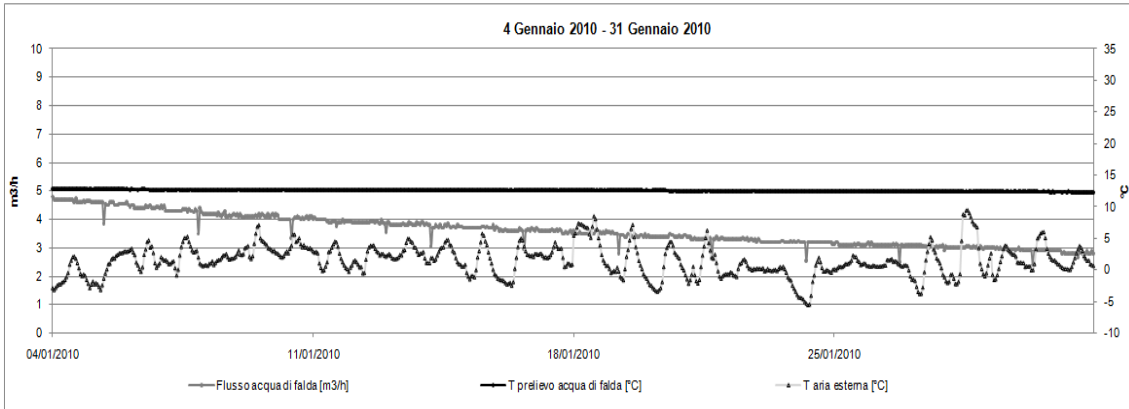
Mentre nell'analisi estiva si è analizzato il periodo che va dal 20 luglio 2009 al 30 agosto 2009, per la valutazione invernale si è preso in considerazione il periodo che va dal 4 gennaio 2010 al 31 gennaio 2010.

### 7.2.1 Emungimento dell'acqua di falda e scambiatori a piastre

Come per l'analisi estiva, anche nella valutazione invernale la descrizione del monitoraggio degli scambiatori ad acqua di falda è stato considerato l'emungimento dell'acqua di falda illustrando la portata e la temperatura di prelievo e lo scambiatore SC2 per il pre-riscaldamento a monte della pompa di calore. La valvola posta tra i due scambiatori è già stata analizzata anche nei mesi invernali nel capitolo 7.1.1.2, mentre lo scambiatore SC1 adibito al raffreddamento dell'acqua in inverno non è attivo.

#### 7.2.1.1 Emungimento dell'acqua di falda

Viene di seguito illustrata la portata, espressa in [m<sup>3</sup>/h], e la temperatura [°C] dell'acqua di falda prelevata dal pozzo di emungimento.



**Grafico 53 - Andamento della portata [m<sup>3</sup>/h], della temperatura di prelievo dell'acqua di falda [°C] e della temperatura dell'aria esterna [°C] nel periodo invernale considerato**

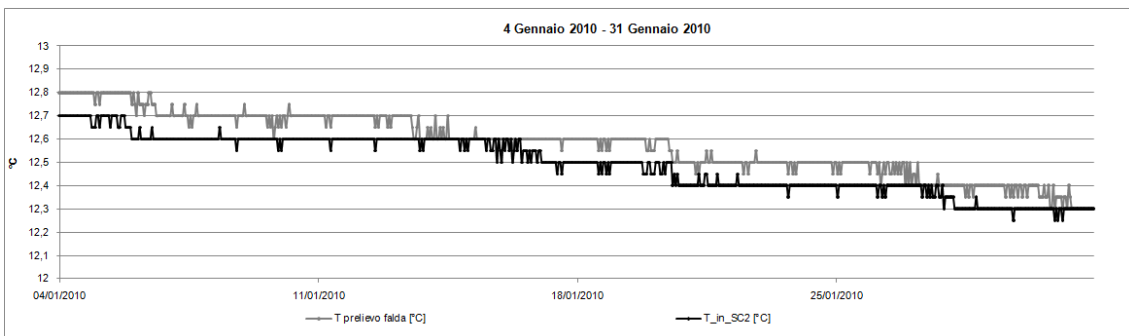
Si nota immediatamente che la temperatura di prelievo ha assunto costantemente il valore di 12.5°C per tutto il periodo invernale considerato, come anche nel periodo estivo.

La portata di prelievo è diminuita progressivamente da 5 m<sup>3</sup>/h a 3 m<sup>3</sup>/h, senza essere influenzata dall'andamento irregolare della temperatura esterna.

#### 7.2.1.2 Lo scambiatore SC1

Come enunciato in precedenza, lo scambiatore SC1, adibito allo scambio termico con l'acqua di falda prelevata per il raffreddamento dell'acqua, in inverno non è funzionante.

Si è deciso però di analizzare l'andamento della temperatura di prelievo dell'acqua di falda con quella in ingresso nello scambiatore SC2 a valle della valvola interposta tra i due scambiatori.



**Grafico 54 - Andamento della temperatura di prelievo della falda e della temperatura in ingresso nello scambiatore SC2 [°C]**

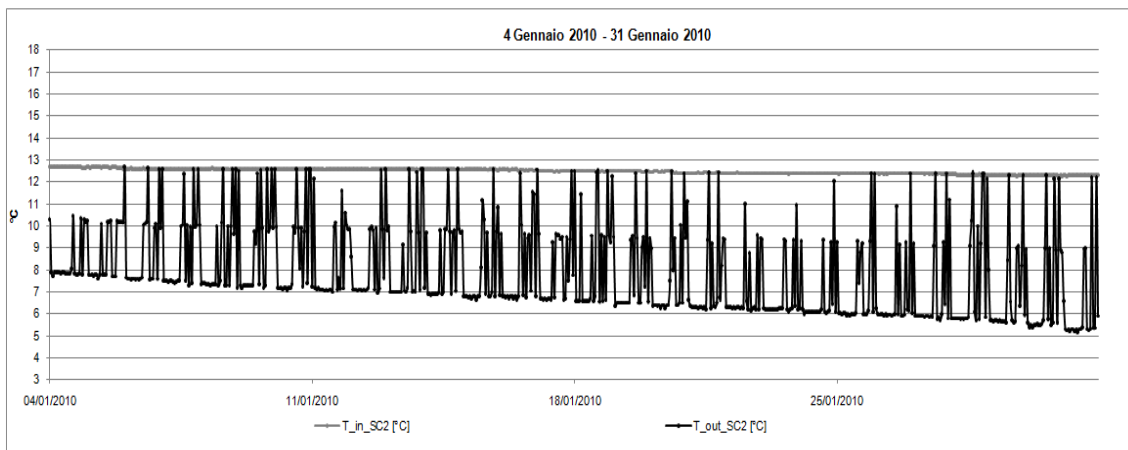
Si vede che nel trasporto dal punto di prelievo in cui viene misurata la temperatura al punto di ingresso nello scambiatore SC2, attraversando la valvola che impedisce lo scambio con SC1, la temperatura dell'acqua di falda diminuisce regolarmente di un decimo di grado.

#### 7.2.1.3 Lo scambiatore SC2

Nella stagione invernale, lo scambiatore a piastre SC2 è adibito al pre-riscaldamento di un circuito di acqua glicolata al 30% che effettua a sua volta uno scambio termico con l'evaporatore della pompa di calore che si occupa del riscaldamento non solo dell'acqua

sanitaria, come nella stagione estiva, ma anche dell'acqua da distribuire nei terminali impiantistici (TABS, serpentine radianti, batteria calde delle unità di trattamento dell'aria).

Una prima analisi riguarda le temperature in gioco in ingresso ed in uscita dal circuito primario lato falda dello scambiatore SC2 e quelle di mandata e ritorno relative al circuito secondario lato evaporatore della pompa di calore.



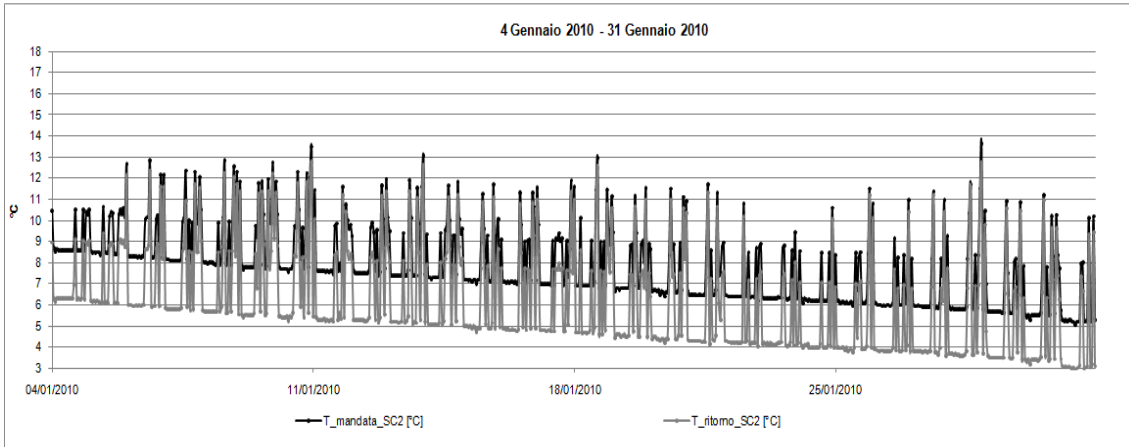
**Grafico 55 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC2**

Dal Grafico 55 si vede immediatamente che la temperatura del circuito primario in ingresso nello scambiatore SC2 sul lato falda è costante ed assume un valore di circa 12.5°C, come visto in precedenza; quando SC2 è attivato, la temperatura in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC2 è sempre minore, a causa dello scambio termico che avviene nello scambiatore, ed oscilla tra un minimo di 5°C, toccato a fine mese, ed un massimo di 10°C. A parità di temperatura in ingresso, l'efficienza dello scambiatore è maggiore quando è minore la temperatura in uscita dal circuito primario.

Raggiunge invece la stessa temperatura che ha in ingresso quando è disattivato.

Per quanto riguarda le temperature di mandata verso l'evaporatore della termopompa e ritorno relative al circuito secondario dello scambiatore SC2, facendo riferimento al Grafico 56 si nota che, quando lo scambiatore è attivo, la temperatura di mandata verso l'evaporatore della pompa di calore risulta ragionevolmente sempre maggiore rispetto a quella di ritorno; questo fatto è dovuto allo scambio termico che avviene in SC2 ed allo scambio termico, che a sua volta avviene all'interno della termopompa in prossimità dell'evaporatore.

Quando SC2 è attivato, la temperatura di mandata varia da un minimo di 6.5°C ad un massimo di 13.5°C. La temperatura di ritorno, invece, è minore di quella di mandata di circa 2.5°C.

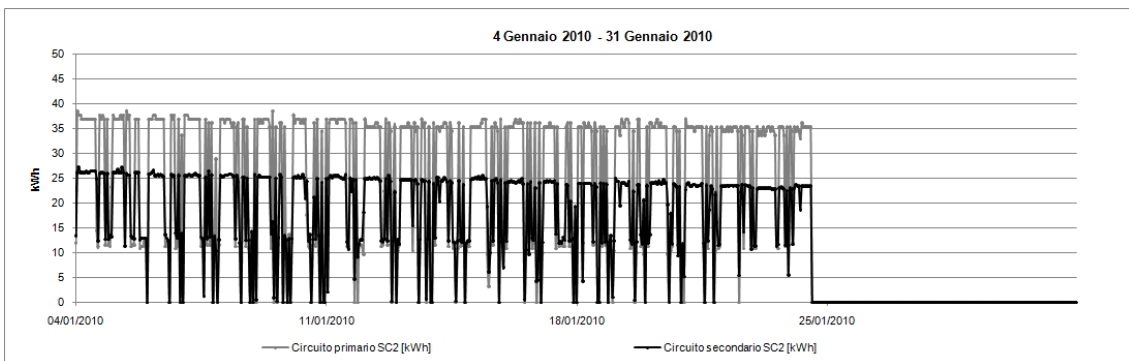


**Grafico 56 - Andamento delle temperature di mandata e ritorno relative al circuito secondario dello scambiatore SC2**

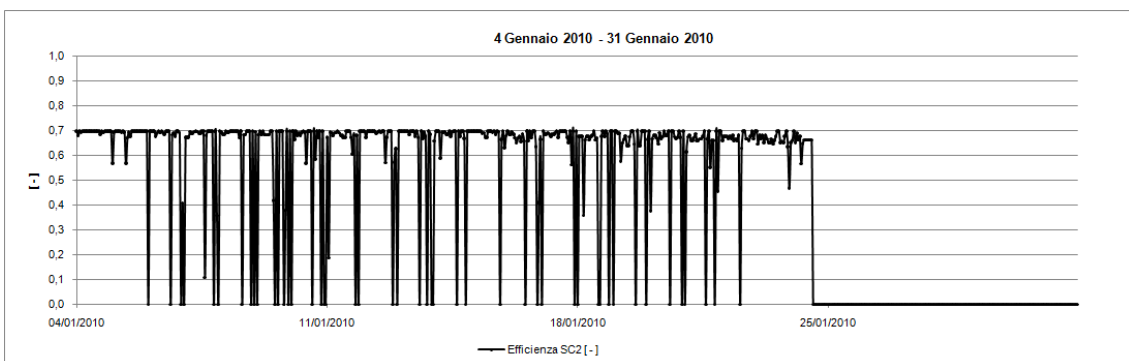
Dopo aver analizzato le temperature, sono state valutate le energie relative allo scambiatore SC2 per entrambi i circuiti primario e secondario e l'efficienza dello scambiatore stesso.

I dati sono stati calcolati fino al 24 gennaio. Si nota che l'energia calcolata sul circuito primario dello scambiatore SC2 si aggira intorno ai 37 kWh quando lo scambiatore è attivo, mentre l'energia calcolata relativamente al circuito secondario è inferiore e risulta di circa 27 kWh.

L'efficienza così ottenuta varia in un intervallo molto ristretto in cui il valor medio è intorno al valore di 0.7.



**Grafico 57 - Energia relativa al circuito primario e al circuito secondario dello scambiatore SC2**



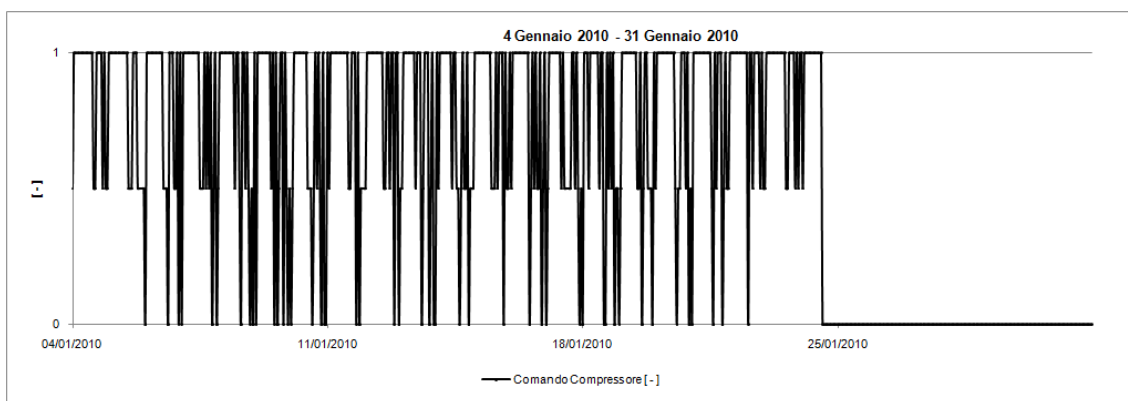
**Grafico 58 - Efficienza dello scambiatore SC2**

## 7.2.2 La pompa di calore e l'accumulo

La pompa di calore nella stagione invernale è utilizzata per riscaldare l'acqua contenuta nell'accumulo, che viene prelevata per alimentare i terminali di emissione dei sistemi di riscaldamento (TABS per gli uffici, serpentine radianti per gli appartamenti e le batterie calde nelle unità di trattamento dell'aria di immissione degli uffici) e per riscaldare l'accumulo dell'acqua calda sanitaria.

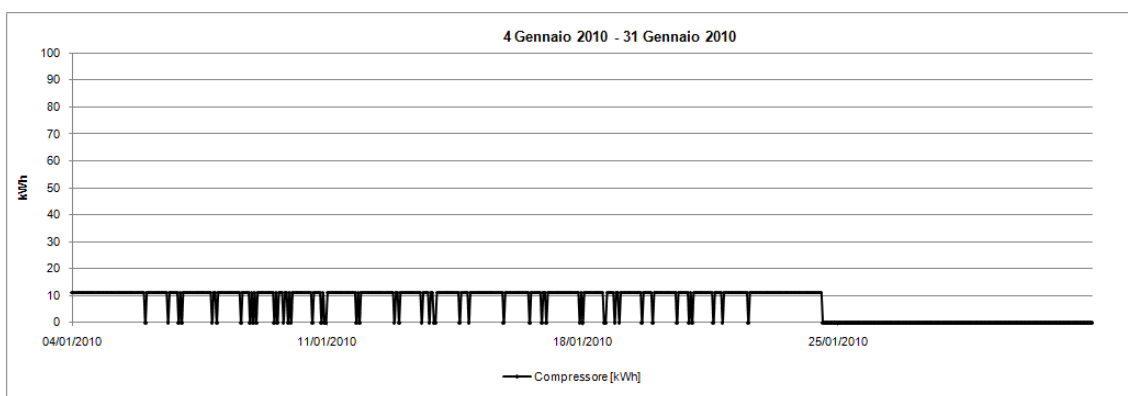
### 7.2.2.1 Il funzionamento del compressore

Del compressore si ha a disposizione il comando on/off fino al 24 gennaio 2010. Come spiegato nell'analisi estiva, quando il compressore assume valore compreso tra 0 e 1 significa che non ha funzionato per l'intera ora ma per una parte di essa.



**Grafico 59 - Andamento del comando del compressore della pompa di calore nel periodo di riferimento invernale**

Si nota come, rispetto all'analisi estiva, la pompa di calore sia stata attivata più frequentemente proprio perché è aumentata la richiesta di riscaldamento rispetto al mese di luglio.



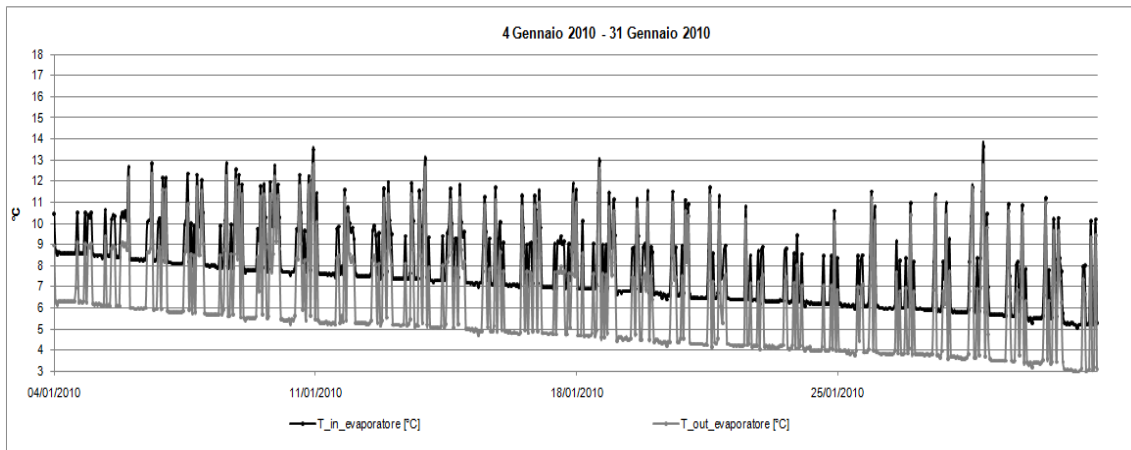
**Grafico 60 - Assorbimento di energia elettrica da parte del compressore della pompa di calore**

Note le frazioni di ore in cui ha funzionato la pompa di calore e nota la potenza nominale del compressore stesso, da progetto pari a 11.1 kW, è stato calcolato l'assorbimento orario di energia elettrica, illustrato nel Grafico 60.

### 7.2.2.2 L'evaporatore

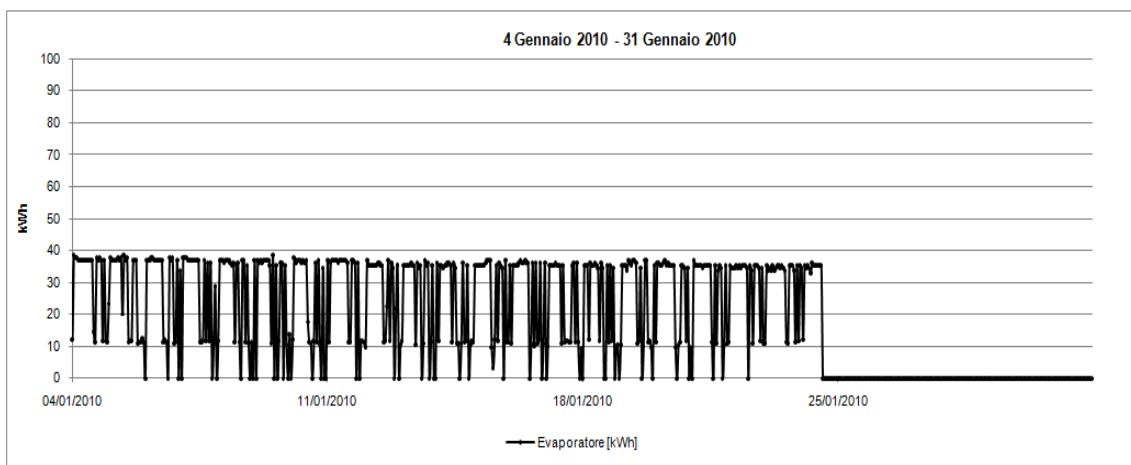
Per valutare lo scambio termico che avviene nell'evaporatore, si sono analizzate le temperature in ingresso ed in uscita dall'evaporatore stesso, che sono analoghe rispettivamente a quelle di mandata e ritorno provenienti dal circuito secondario dello scambiatore SC2.

Come visto in precedenza, la temperatura in ingresso varia tra un minimo di 6.5°C ed un massimo di 13.5, mentre la temperatura in uscita è sempre minore di circa 2.5°C rispetto a quella di mandata.



**Grafico 61 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dall'evaporatore**

Lo scambio termico che è avvenuto in corrispondenza dell'evaporatore, e quindi l'energia in ingresso nella pompa di calore dalla sorgente fredda, è stato contabilizzato fino al 24 gennaio, e facendo riferimento al Grafico 62 si osserva che, quando la pompa di calore è attiva, l'energia in ingresso sul lato sorgente fredda arriva fino a circa 40 kWh.

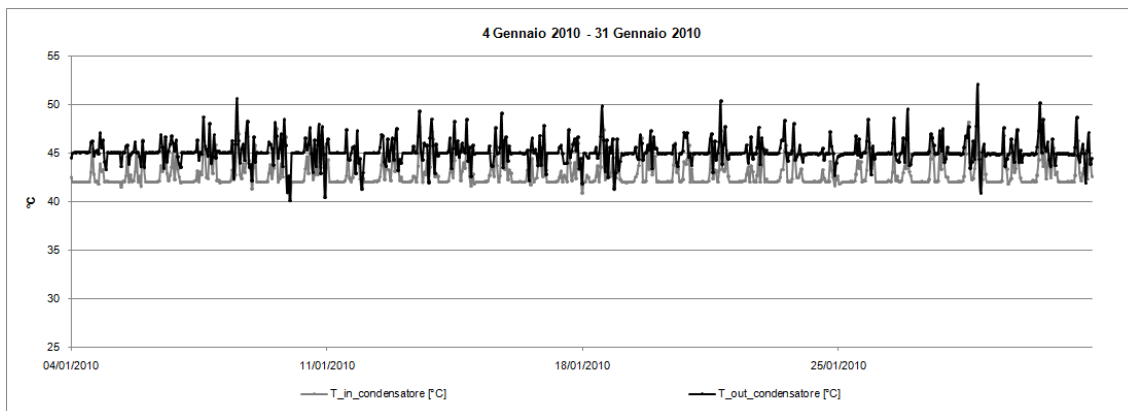


**Grafico 62 - Energia relativa all'evaporatore della pompa di calore [kWh]**

### 7.2.2.3 Il condensatore

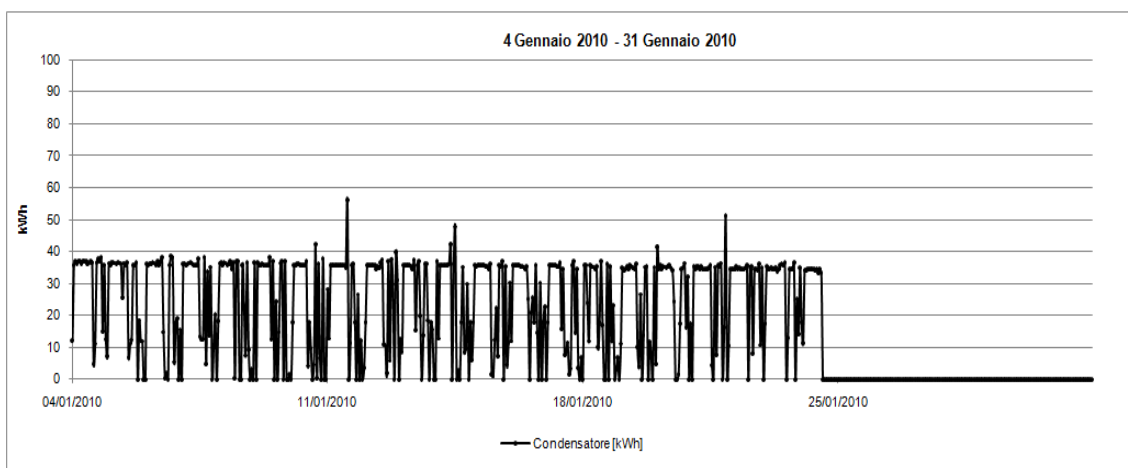
Come per l'evaporatore, così anche per il condensatore sono state analizzate le temperature in ingresso e in uscita direttamente collegate con il serbatoio di accumulo: facendo riferimento al

Grafico 63 si nota che la temperatura in ingresso dell'acqua proveniente dal serbatoio di accumulo oscilla tra 43°C e 45°C, entra nel condensatore dove avviene lo scambio termico e ne esce caratterizzata da una temperatura superiore rispetto all'ingresso di circa 2°C, oscillando quindi tra 45°C e 47°C arrivando a toccare picchi di 50°C quando è richiesta una temperatura maggiore per l'anti-legionella.



**Grafico 63 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dal condensatore della pompa di calore**

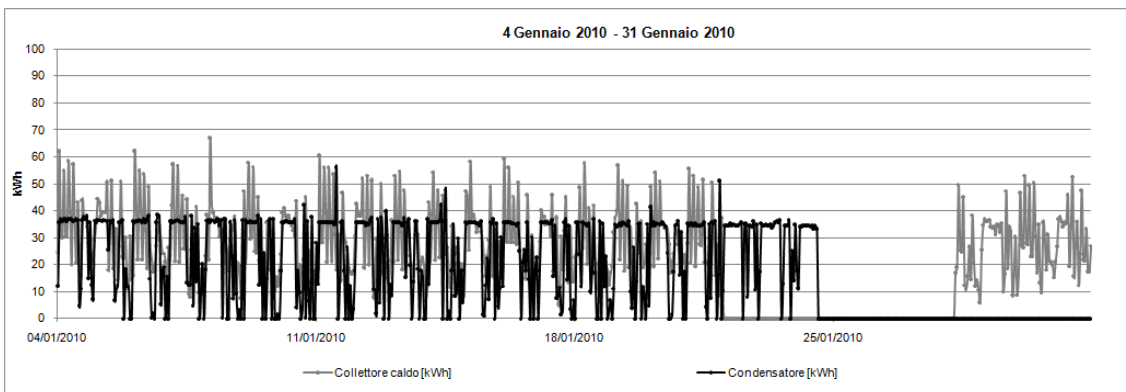
Oltre all'analisi delle temperature, anche per il condensatore è stata calcolata l'energia relativa al condensatore stesso e quindi in uscita dalla pompa di calore: nel Grafico 64 è illustrato il risultato del calcolo dell'energia termica in uscita dal condensatore, che nei periodi di funzionamento della pompa di calore si aggira intorno ai 37 kWh, raggiungendo anche picchi di 50 kWh.



**Grafico 64 - Energia relativa al condensatore della pompa di calore [kWh]**

Dalla valutazione della richiesta di energia termica da parte del collettore caldo, che verrà descritta in seguito, sono state messe a confronto nel Grafico 65 l'energia in uscita dal condensatore e quella richiesta dal collettore: nei giorni in cui la pompa di calore non è in grado di soddisfare la richiesta di riscaldamento, è subentrata la resistenza elettrica integrativa del serbatoio di accumulo.

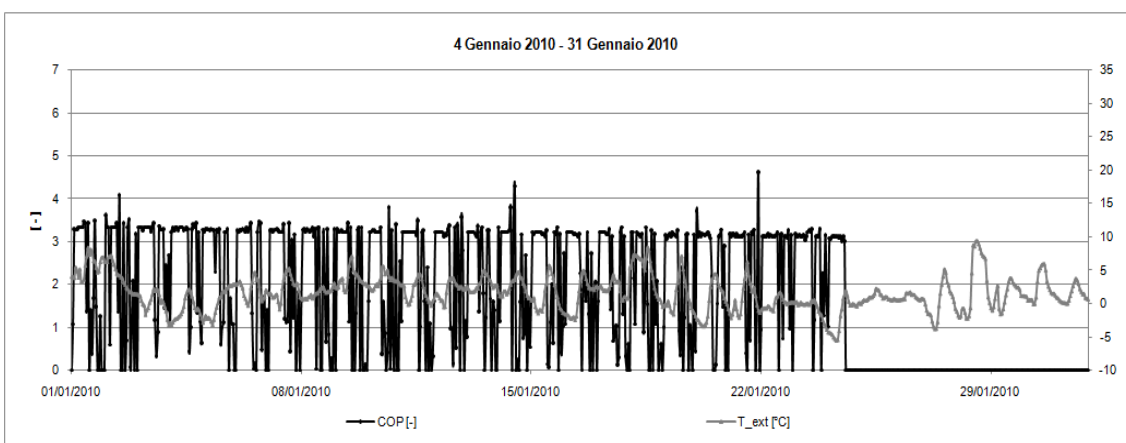




**Grafico 65 - Confronto tra l'energia richiesta dal collettore caldo e quella in uscita dal condensatore**

#### 7.2.2.4 Il coefficiente di prestazione della pompa di calore

Nella valutazione estiva non è stato possibile calcolare il coefficiente di prestazione (COP) della pompa di calore poiché essa è stata attiva per frazioni di ore, mentre l'analisi è effettuata su base oraria. Nella stagione invernale, invece, è stato possibile effettuare il calcolo, secondo cui il COP è espresso come il rapporto tra l'energia termica in uscita dal condensatore e l'energia elettrica assorbita dal compressore.

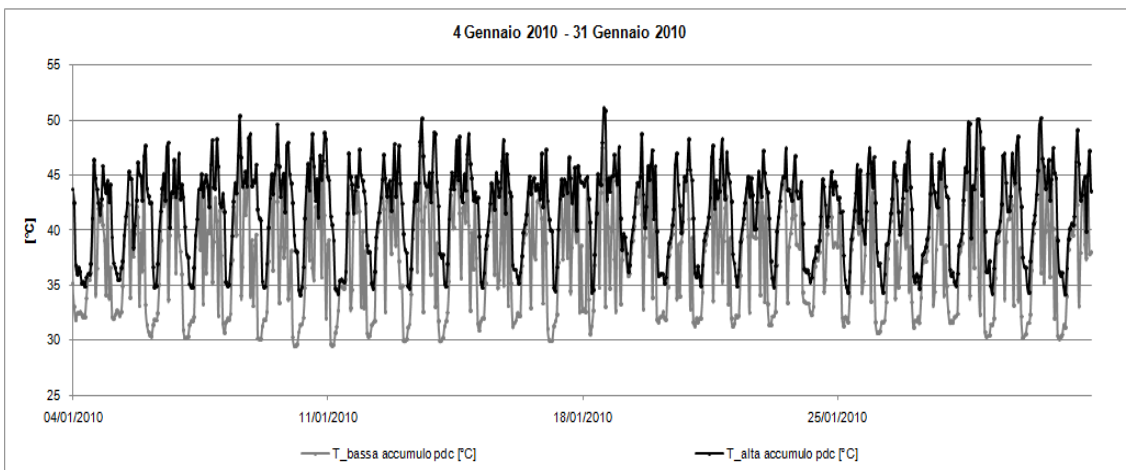


**Grafico 66 - Andamento del coefficiente di prestazione della pompa di calore nel periodo di riferimento invernale**

Dal Grafico 66 si nota che, nei periodi di funzionamento della pompa di calore, essa ha raggiunto coefficienti di prestazione che variano tra 3 e 3.5.

#### 7.2.2.5 L'accumulo

Dell'accumulo posto a valle della termopompa sono state analizzate le temperature nei diversi strati dell'accumulo stesso:



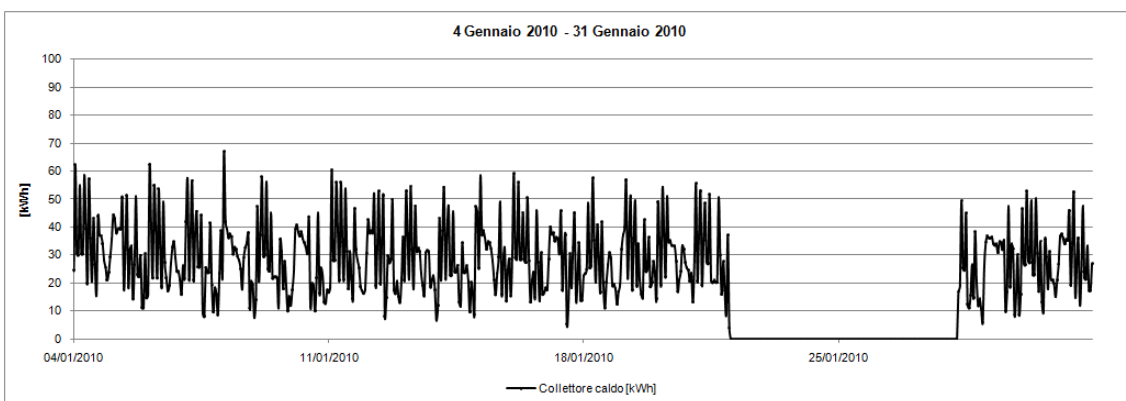
**Grafico 67 - Andamento della temperatura alta e bassa dell'accumulo posto a valle della pompa di calore**

L'accumulo posto a valle della pompa di calore ha come obiettivo riscaldare una notevole massa di acqua per poter permettere alla termopompa un funzionamento intermittente e non continuativo; questo spiega l'andamento irregolare delle temperature illustrate nel Grafico 67 in cui si osserva anche che la temperatura alta dell'accumulo è sempre maggiore della temperatura bassa.

### 7.2.3 I collettori

Nell'analisi invernale viene preso in considerazione solamente il collettore caldo, adibito alla distribuzione di acqua riscaldata ai terminali di erogazione dell'impianto di riscaldamento (TABS e serpentine radianti), alle batterie calde delle unità di trattamento dell'aria ed al serbatoio di riscaldamento dell'acqua sanitaria.

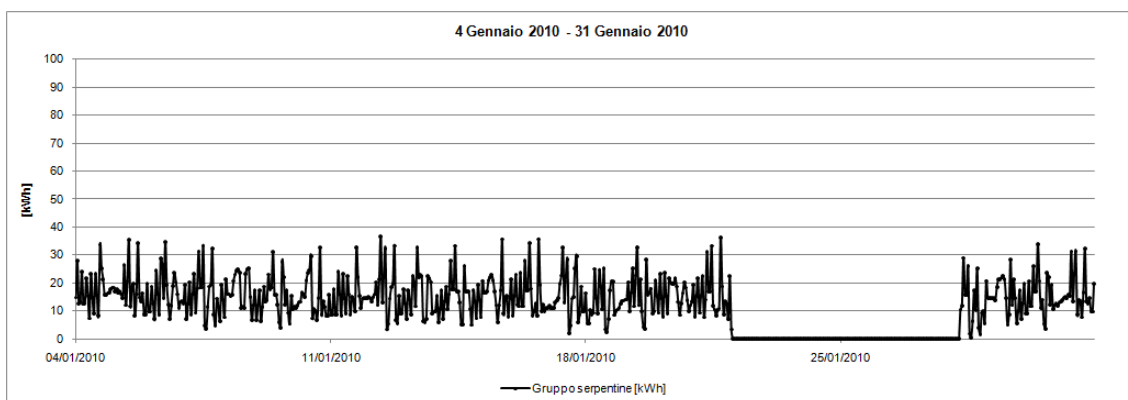
Vengono di seguito riportati i grafici che evidenziano l'andamento delle richieste di energia per il riscaldamento dell'intero collettore caldo e di ogni singolo terminale dei sistemi impiantistici:



**Grafico 68 - Andamento della richiesta di energia da parte del collettore caldo nel periodo invernale di riferimento**

Il Grafico 68 mostra come la richiesta di energia per il riscaldamento dell'acqua per l'intero collettore caldo varia nel tempo: i picchi di richiesta massima arrivano fino a 65 kWh mentre i picchi minimi di richiesta si aggirano intorno a 5 kWh.

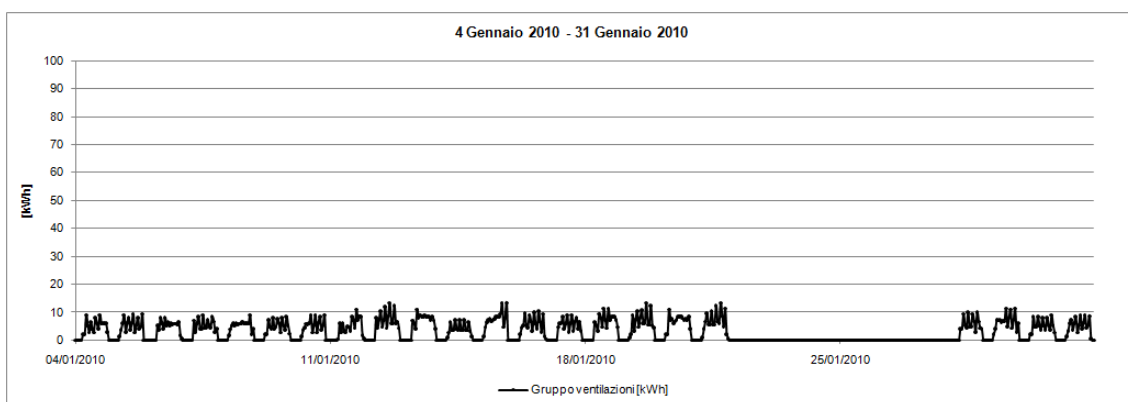
La richiesta totale è così suddivisa per ogni terminale di impianto:



**Grafico 69 - Andamento della richiesta di energia da parte del gruppo serpentine nel periodo invernale di riferimento**

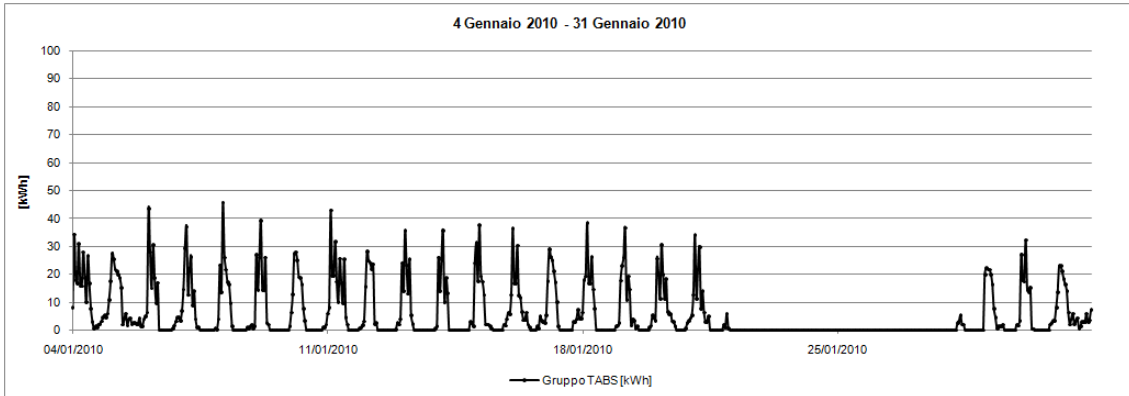
Facendo riferimento al Grafico 69 si osserva che il gruppo delle serpentine radianti, adibito al riscaldamento degli appartamenti, presenta un andamento della richiesta di energia per il riscaldamento che varia tra un minimo di 5 kWh ed un massimo di 35 kWh.

Da questo grafico non è possibile determinare l'incidenza che ha il singolo gruppo delle serpentine rispetto alla richiesta totale, ma è possibile notare che è una richiesta dall'andamento irregolare ma periodico, con un intervallo fissato entro cui variano i valori rilevati dal contatore di energia (che, per il gruppo serpentine, è misurato dal sensore 5).



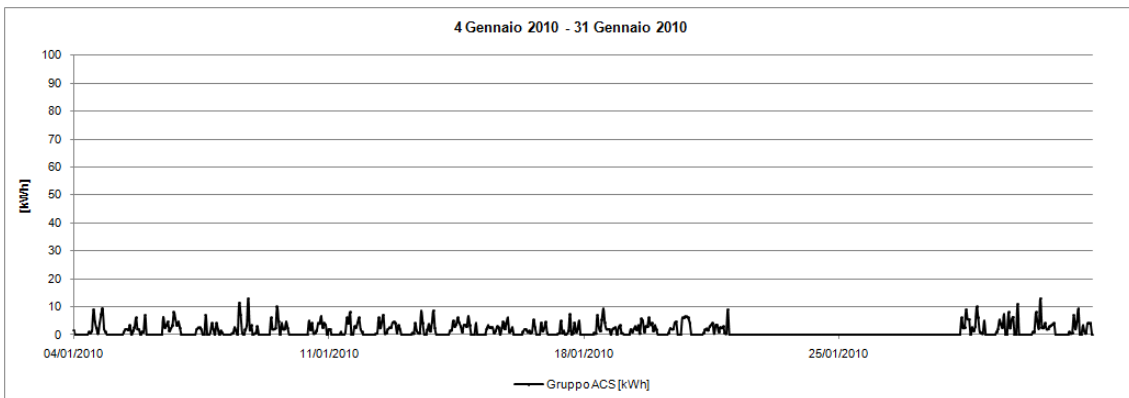
**Grafico 70 - Andamento della richiesta di energia da parte del gruppo ventilazioni nel periodo invernale di riferimento**

Dal Grafico 70 si vede che la richiesta di energia da parte del gruppo ventilazioni, misurata dal contatore di energia del sensore 6, presenta un andamento che si ripete con un periodo giornaliero che rimane mediamente sempre sotto la soglia di 10 kWh in cui il picco massimo raggiunto è stato di circa 13 kWh.



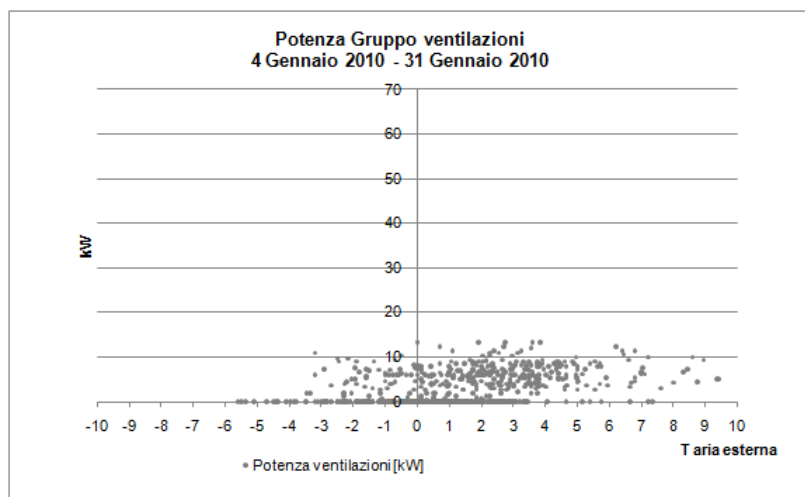
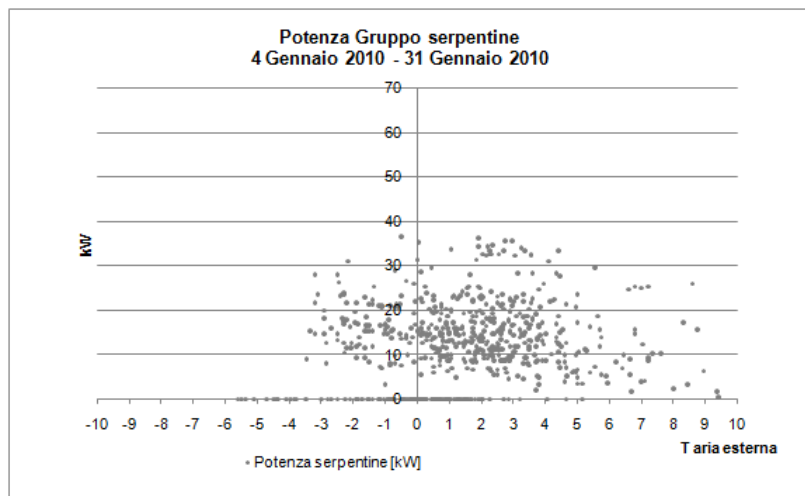
**Grafico 71 - Andamento della richiesta di energia da parte del gruppo TABS nel periodo invernale di riferimento**

L'andamento delle misure effettuate dal sensore 7, vale a dire il contatore di energia per il riscaldamento del gruppo TABS, è riportato nel Grafico 71 da cui si osserva che il gruppo TABS presenta periodicamente un picco di richiesta, che raggiunge al massimo 45 kWh, per poi diminuire progressivamente.



**Grafico 72 - Andamento della richiesta di energia da parte del gruppo acqua calda sanitaria nel periodo invernale di riferimento**

Dal Grafico 72 si nota che la richiesta di energia per il riscaldamento dell'acqua sanitaria è il contributo che ha l'incidenza minore rispetto all'intero collettore caldo: l'andamento delle misure rilevate dal contatore di energia del sensore 8, mostrano infatti che la massima richiesta si aggira intorno ai 10 kWh.



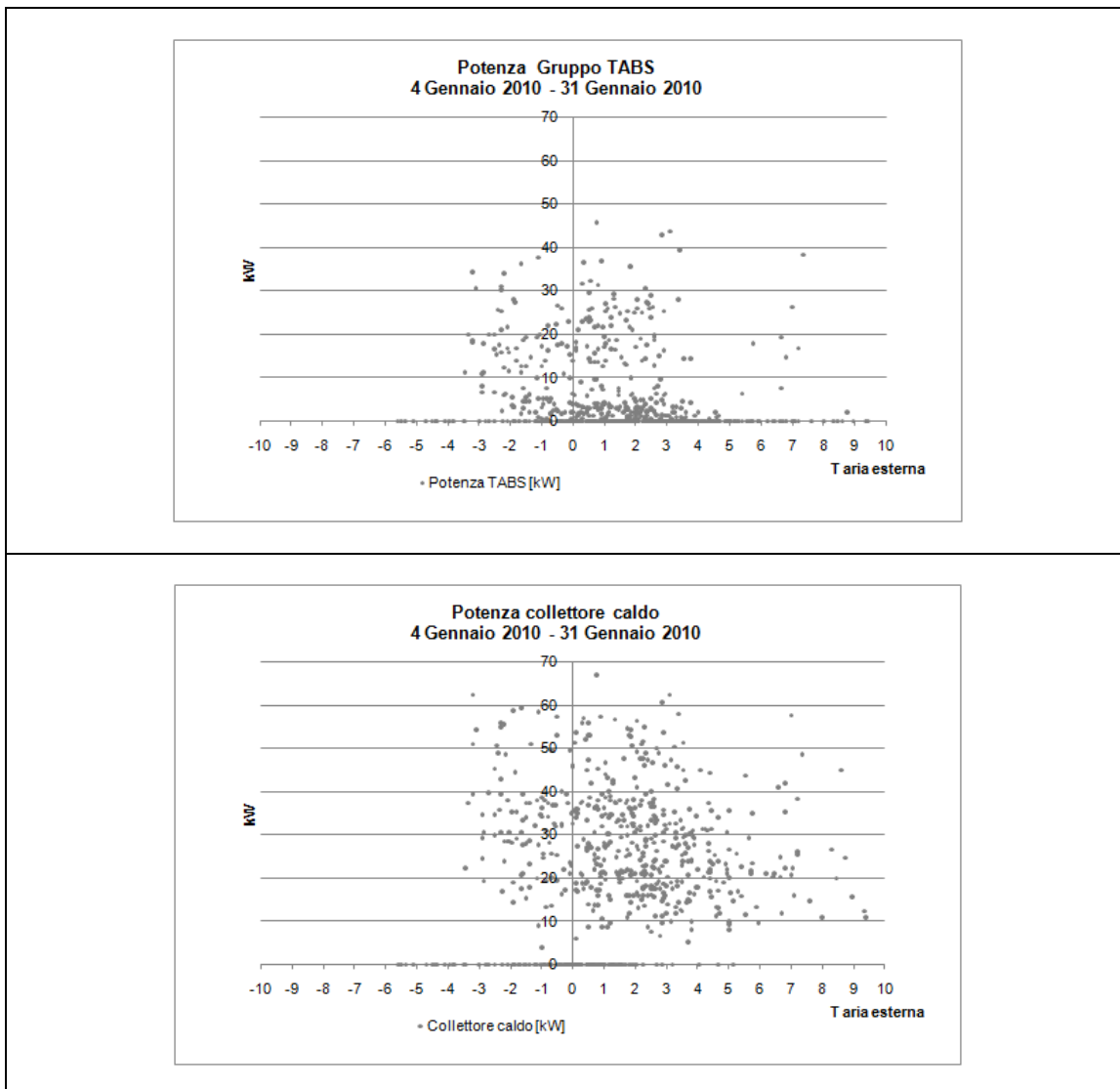
**Tabella 68 - Correlazione tra potenza richiesta per il riscaldamento del gruppo serpentine, del gruppo ventilazioni e la temperatura dell'aria esterna**

La Tabella 68 e la Tabella 69 riportano i grafici che mettono in correlazione la potenza richiesta rispettivamente dal gruppo serpentine e dal gruppo ventilazioni per la prima tabella e del gruppo TABS e l'intero collettore caldo per la seconda tabella con la temperatura esterna.

Nonostante ci sia anche la richiesta di potenza per il riscaldamento dell'acqua sanitaria, si è deciso di non illustrarne il grafico perché ritenuto non significativo e privo di correlazione con il variare della temperatura esterna.

Dai grafici si osserva che il gruppo serpentine presenta una nuvola di dispersione non particolarmente fitta, con un range di temperatura che va da  $-3^{\circ}\text{C}$  a  $9^{\circ}\text{C}$  ed un intervallo di variazione di potenza che arriva fino a 35 kW.

La distribuzione dei valori relativi al gruppo ventilazioni, invece, risulta molto più compatta, entro i 10 kW ed anch'essa con attivazione da  $-3^{\circ}\text{C}$  a  $8^{\circ}\text{C}$  di temperatura esterna.



**Tabella 69 - Correlazione tra potenza richiesta per il riscaldamento del gruppo TABS, del collettore caldo e la temperatura dell'aria esterna**

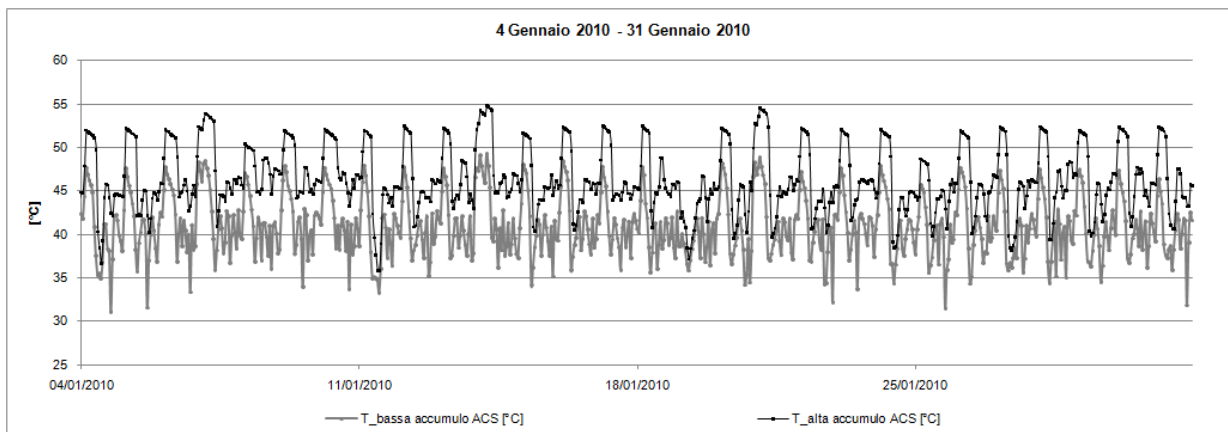
La nuvola di dispersione dei valori relativa al gruppo TABS presenta una parte compatta inclusa in un intervallo di potenza inferiore a 10 kW attivata quando la temperatura esterna è compresa tra -1 °C e 4°C e un'altra parte, in cui la dispersione dei valori è maggiormente accentuata, che arriva fino a 45 kW di potenza nello stesso intervallo di temperature.

Dal grafico relativo all'intero collettore, inserito nella Tabella 69, si vede che la nuvola di dispersione dei valori globali è largamente distribuita da -3°C di temperatura esterna a 10°C, raggiungendo valori di potenza massimi di 65 kW ed è caratterizzata da alcune parti particolarmente compatte tra loro e concentrate in uno spazio compreso tra 1°C e 5°C di temperatura esterna e tra 10 kW e 30 kW.

### 7.2.4 Acqua calda sanitaria

L'analisi del fabbisogno di riscaldamento dell'acqua sanitaria è stata effettuata nel capitolo relativo all'analisi del collettore caldo.

Si valuta ora l'andamento della temperatura alta e della temperatura bassa dell'accumulo dell'acqua calda sanitaria, rilevate rispettivamente dai sensori 38 e 37.

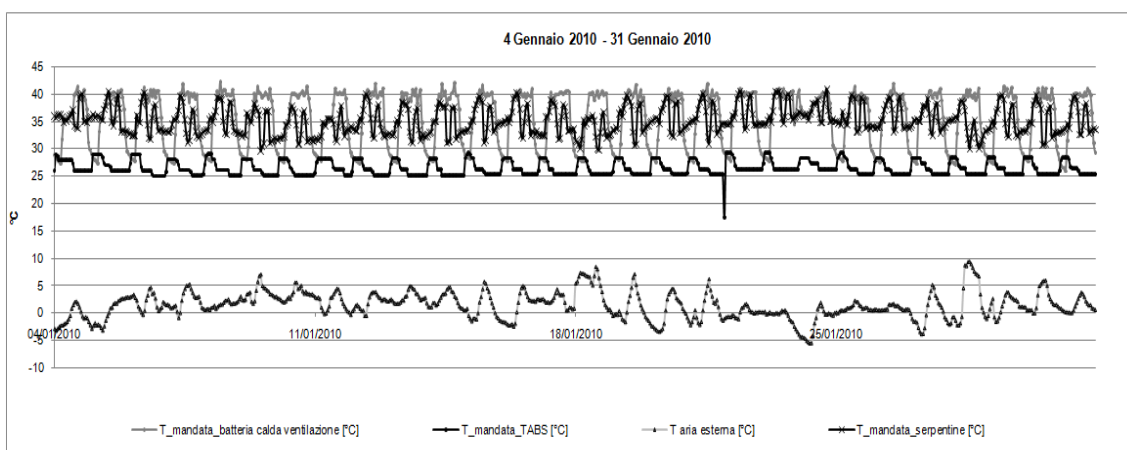


**Grafico 73 - Andamento delle temperature nella parte alta e bassa dell'accumulo dell'acqua calda sanitaria**

Dal momento che l'acqua da mandare all'utenza è prelevata nella parte alta dell'accumulo, si nota dal Grafico 73 che la temperatura nella parte alta dell'accumulo risulta ragionevolmente maggiore di quella misurata nella parte bassa di circa 10°C: la prima infatti raggiunge picchi di 55°C e si aggira mediamente intorno ai 50°C, mentre la seconda intorno ai 40°C.

### 7.2.5 Terminali impiantistici

Come per il periodo estivo, così anche nell'analisi invernale vengono valutate le temperature di mandata dal collettore caldo verso i terminali impiantistici:



**Grafico 74 - Andamento delle temperature di mandata dal collettore caldo al gruppo TABS, al gruppo serpentine ed al gruppo ventilazioni confrontate con la temperatura dell'aria esterna**

Dal Grafico 74 si osserva che la temperatura di mandata ai TABS oscilla con un andamento periodico e varia tra 25°C e 30°C, mentre la temperatura di mandata verso le batterie calde del gruppo ventilazioni presenta un minimo di 27°C e un massimo di 42°C.

Nell'analisi invernale è considerato anche il gruppo serpentine adibito al riscaldamento degli appartamenti, la cui temperatura di mandata varia da 30°C a 40°C.



## 8. Analisi delle temperature interne

Dopo aver analizzato nel dettaglio l'impianto, sono stati valutati gli andamenti delle temperature interne degli uffici registrate dai sensori riportati nelle seguenti figure. Per ogni locale preso in considerazione, sono state rilevate le temperature interne a due altezze differenti: un sensore è posto a 1 m dal piano di calpestio, l'altro è a 2 m dal piano di calpestio (nei grafici verrà denominato "Temperatura alta").

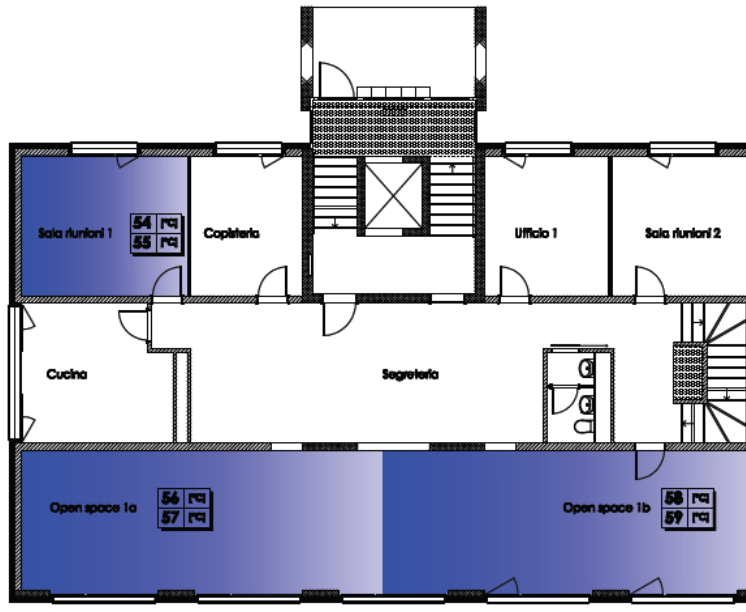


Figura 75 - Piano terra (P0): sensori di temperatura analizzati

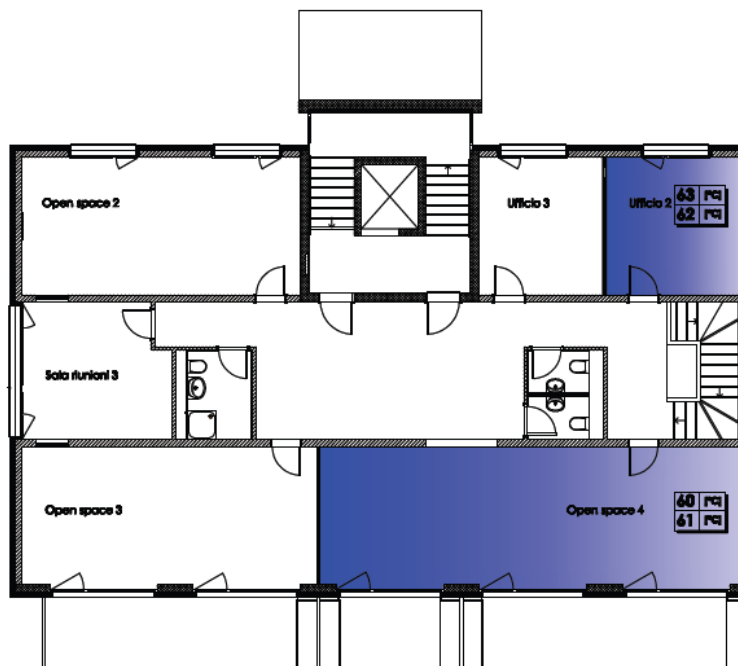
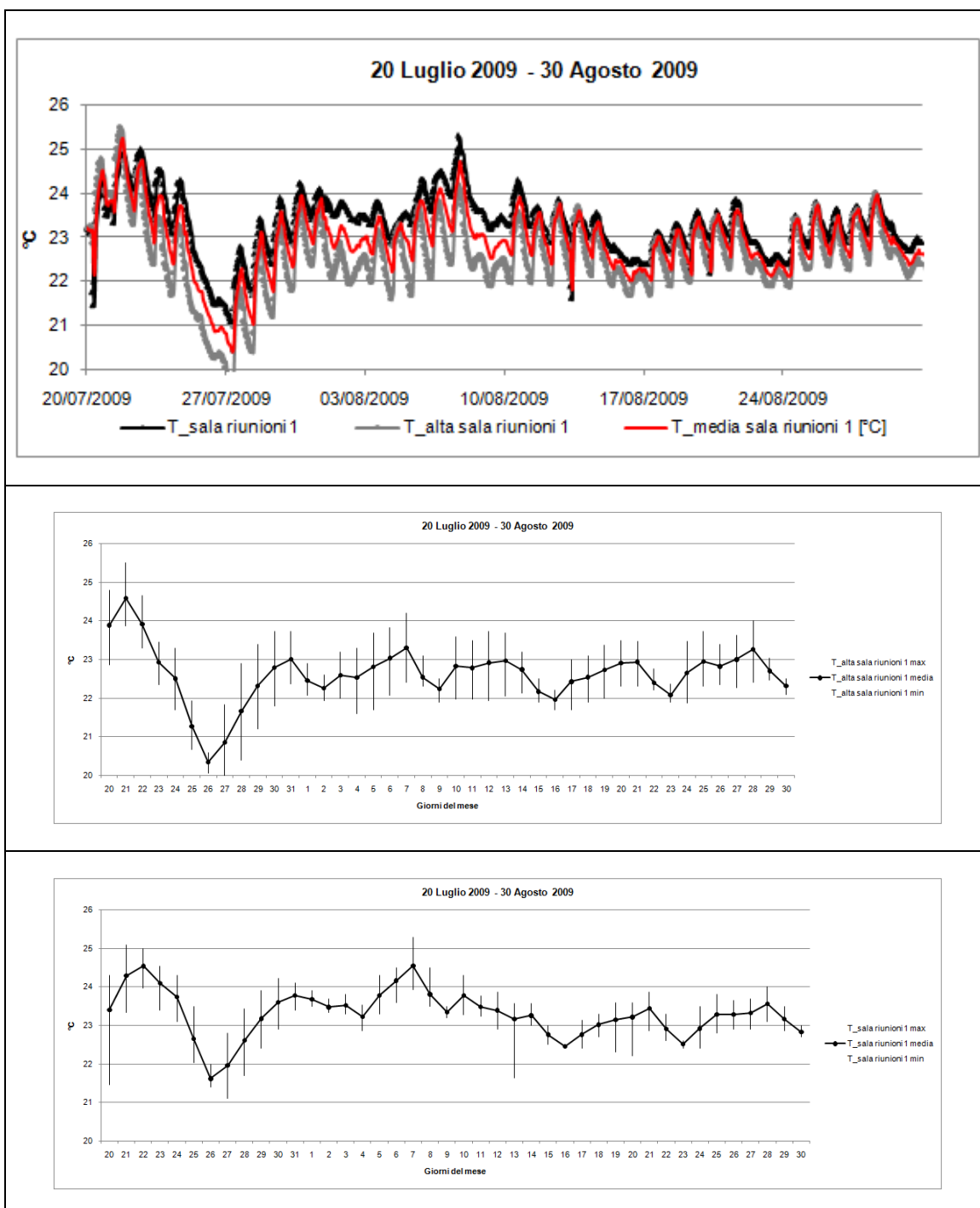
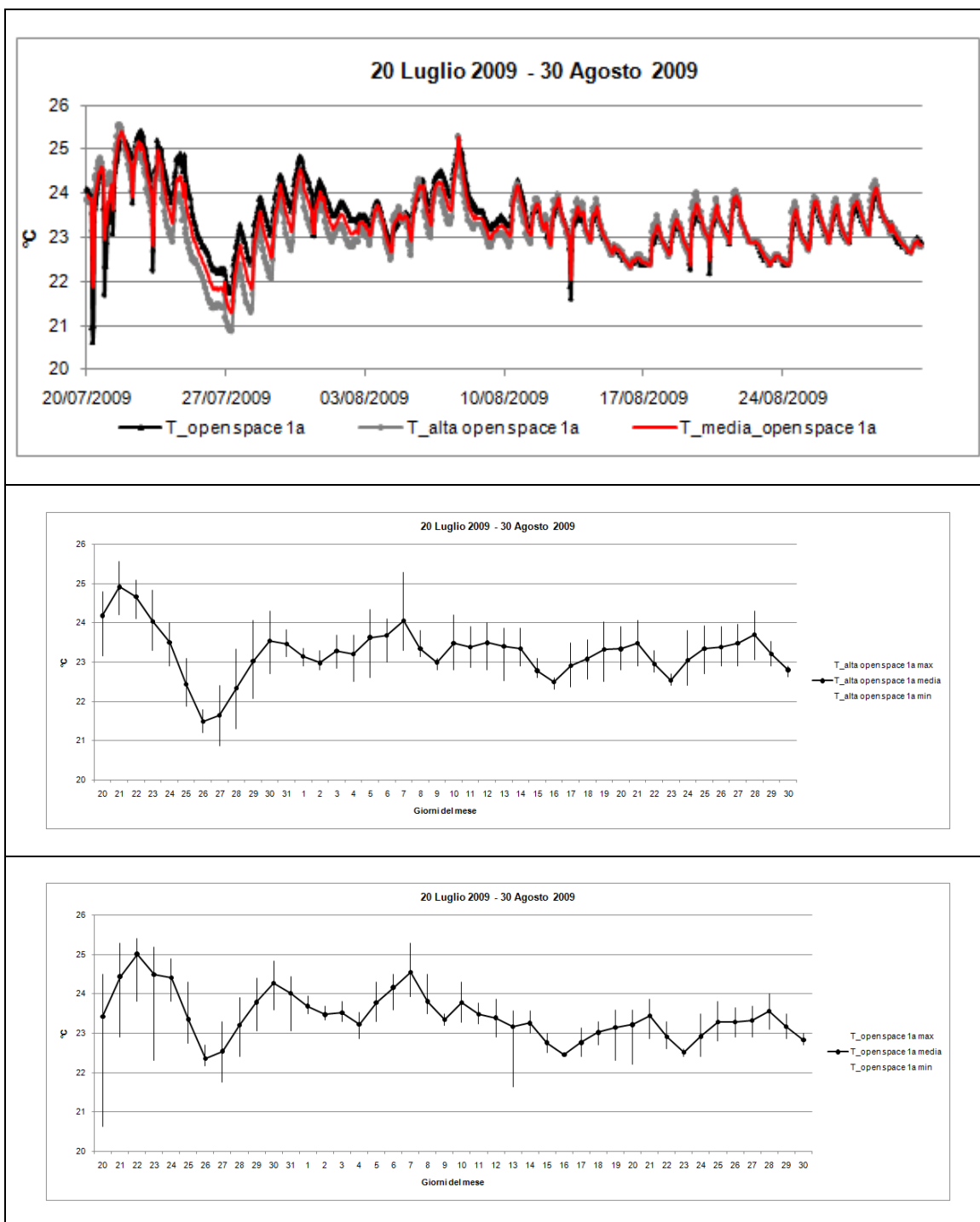


Figura 76 - Piano primo (P1): sensori di temperatura analizzati



**Tabella 70 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna della sala riunioni 1 nel periodo estivo misurata a due differenti altezze**

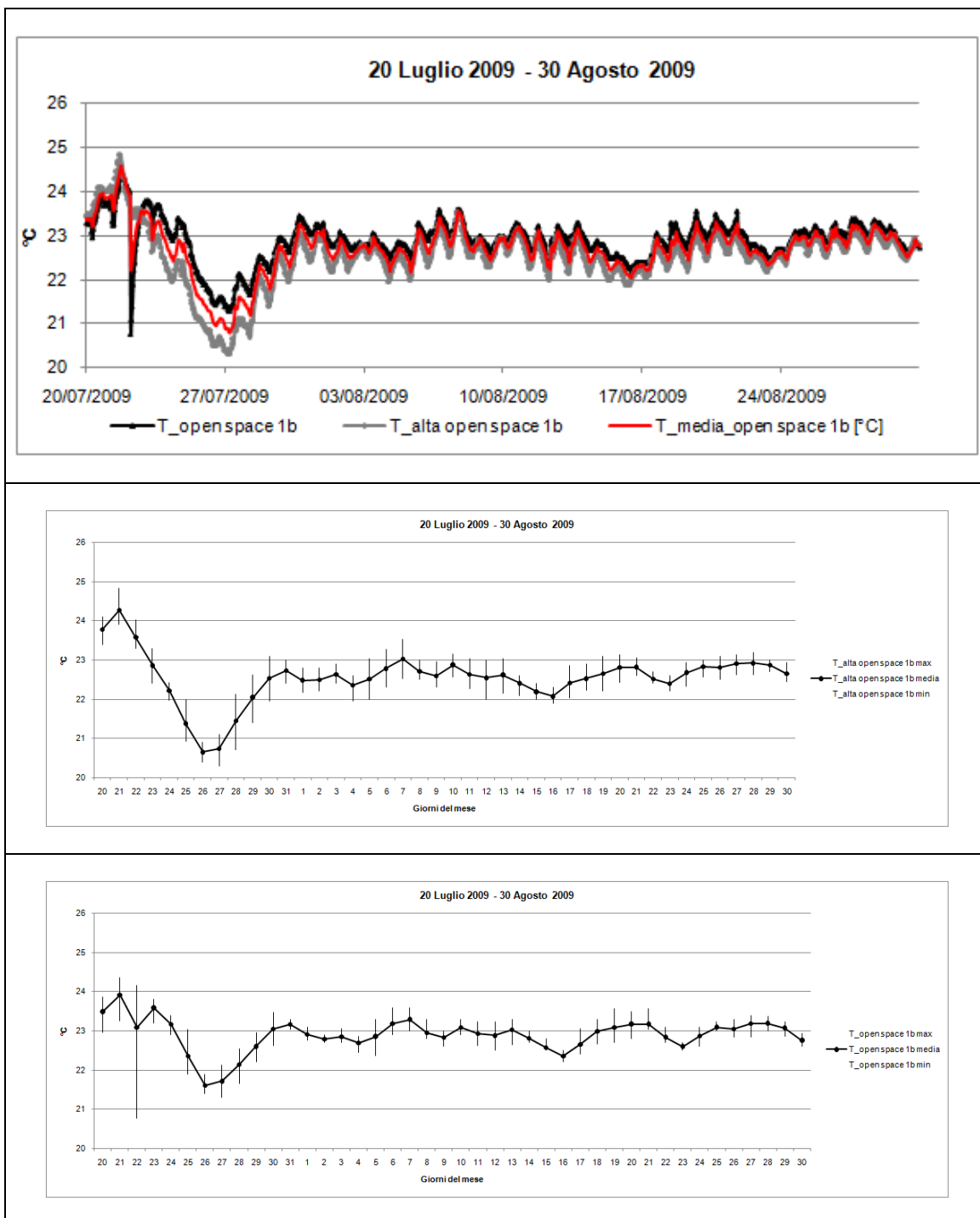
Nella sala riunioni 1, si nota che la temperatura rilevata nella parte alta della stanza risulta ragionevolmente minore di circa 1 °C rispetto a quella rilevata un metro sotto; ciò è dovuto al fatto che il sensore posto a 2 m di altezza è più vicino al solaio soprastante in cui i TABS fanno circolare acqua refrigerata. L'oscillazione varia da un minimo di 20 °C rilevato dal sensore posto in alto il 27 luglio a un massimo di 25.5 °C registrato il 21 luglio dal sensore basso.



**Tabella 71 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 1a nel periodo estivo misurata a due differenti altezze**

A causa della sua notevole estensione, è stato deciso di suddividere in due parti l'analisi dell'open space 1 (ripartito quindi in open space 1a e open space 1b). La temperatura media compresa tra le due diverse misurazioni, oscilla da un minimo di 21.5°C a un massimo di

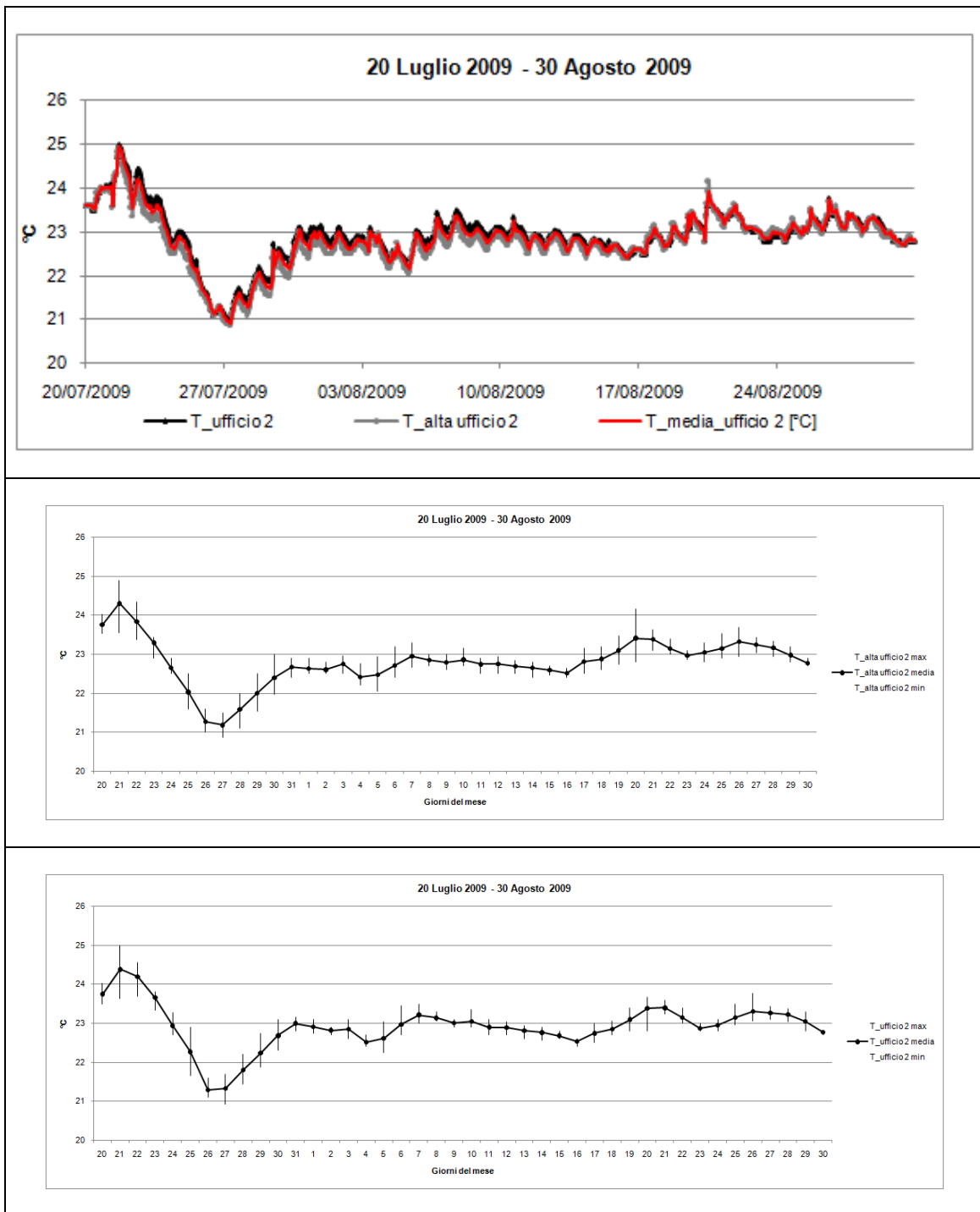
25.5°C. La temperatura rilevata a 2 metri di altezza anche in questo caso risulta minore rispetto a quella rilevata più in basso, e la variazione di temperatura è di circa mezzo grado centigrado.



**Tabella 72 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 1b nel periodo estivo misurata a due differenti altezze**

Nell'open space 1b, come anche nell'open space 1a, dal 20 al 27 luglio si è verificata un'oscillazione di temperatura interna media tra 21°C e 24.5°C, mentre dal 30 luglio al 30 agosto si è stabilizzata, variando tra i 22°C e i 23°C. Anche in questo caso la stratificazione

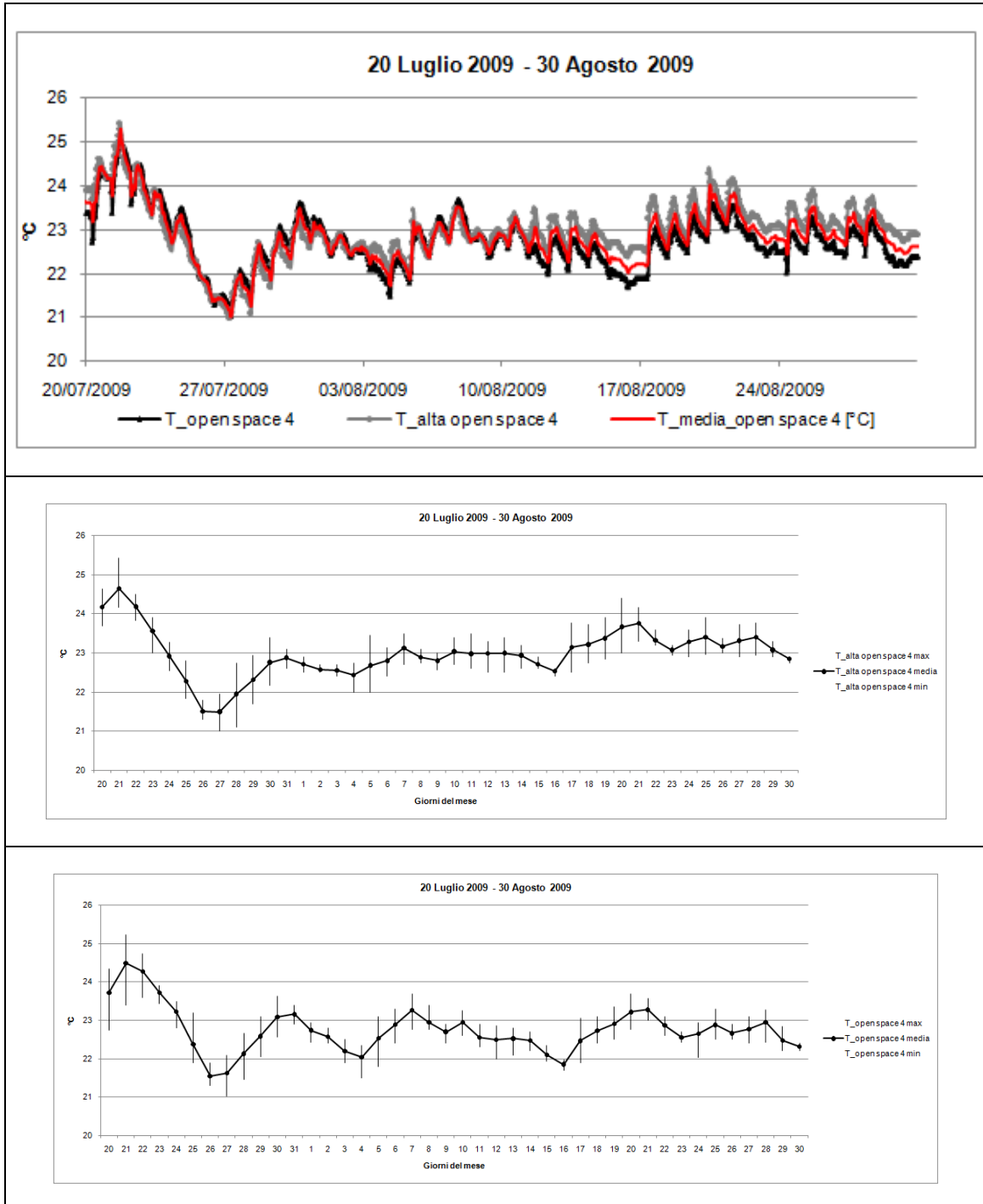
delle temperature è evidente: la temperatura rilevata in alto risulta inferiore di quella misurata a un metro di altezza di circa 1°C dal 20 al 27 luglio e di circa mezzo grado centigrado nei giorni successivi.



**Tabella 73 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'ufficio 2 nel periodo estivo misurata a due differenti altezze**

Dell'ufficio numero 2, che è invece posto al primo piano, si nota che la variazione di temperatura tra la sonda alta e la sonda bassa è decisamente minore rispetto ai locali valutati

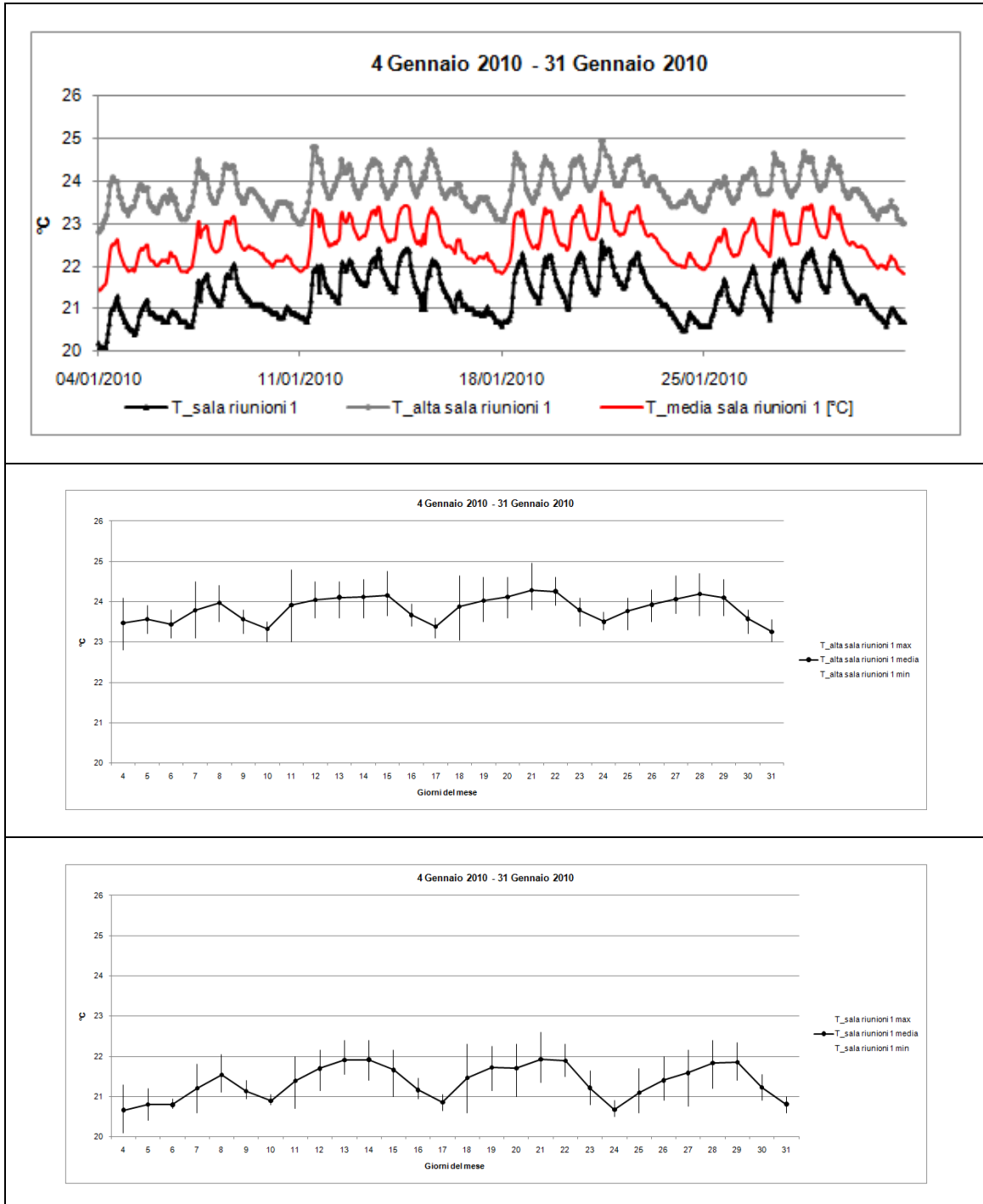
precedentemente: questo può essere dovuto al fatto che l'ufficio 2 è adiacente agli appartamenti non raffrescati del secondo piano, che potrebbero essere la causa dell'innalzamento della temperatura rilevata a 2 metri di altezza. L'intervallo di variazione è compreso tra 21 °C e 25 °C nella fine di luglio e tra 22 °C e 24 °C in agosto.



**Tabella 74 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 4 nel periodo estivo misurata a due differenti altezze**

Anche l'open space 4 è posto al primo piano, ma non si osserva una sostanziale diminuzione del gap che intercorre tra le temperature misurate alle due diverse altezze rispetto al piano

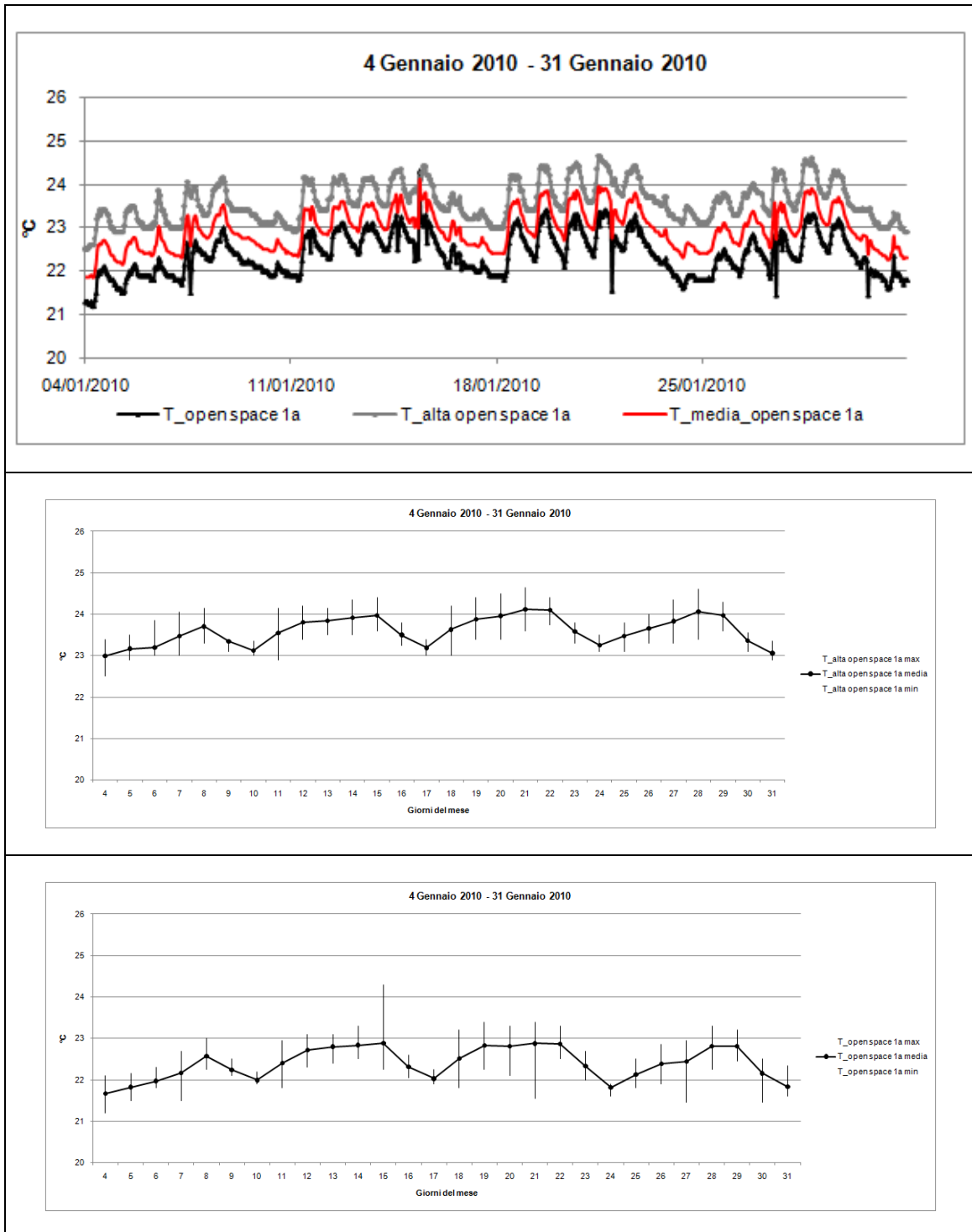
terra. in particolar modo, si nota che dalla fine di luglio a metà agosto i due sensori hanno rilevato temperature molto simili tra loro, mentre nella seconda metà di agosto discostavano di quasi 1 °C. Il valore minimo rilevato di 21 °C è stato raggiunto il 27 luglio, mentre il massimo di 25.5 °C il 21 luglio.



**Tabella 75 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna della sala riunioni 1 nel periodo invernale misurata a due differenti altezze**

Oltre alla stagione estiva, è stato analizzato anche il periodo di riferimento invernale: osservando i grafici in Tabella 75, si nota immediatamente che il fenomeno della stratificazione

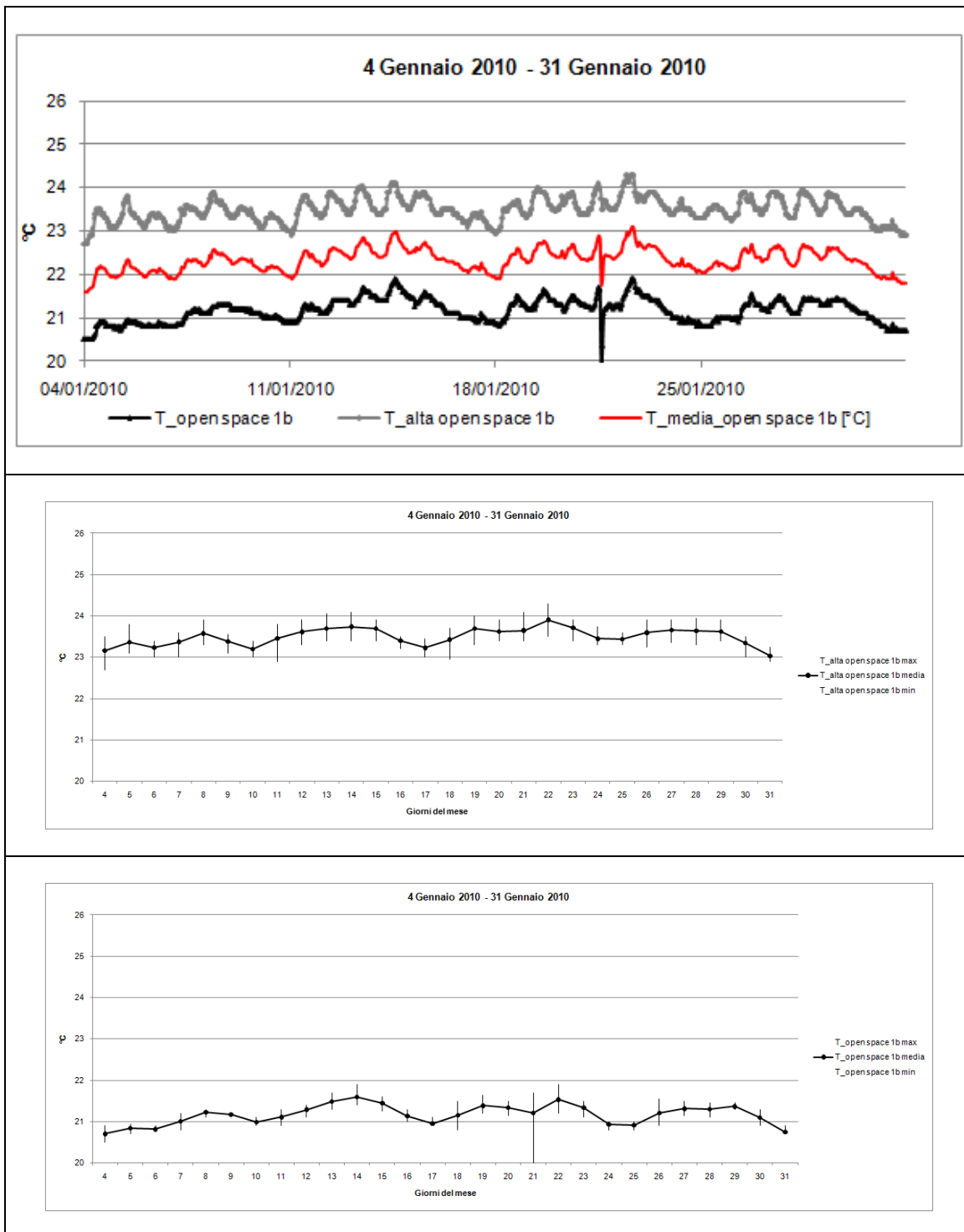
termica all'interno di uno stesso locale è decisamente più accentuato rispetto al periodo estivo. La temperatura rilevata in alto risulta infatti ragionevolmente maggiore di quella misurata un metro sotto e la variazione tra le due è di circa 3°C.



**Tabella 76 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 1a nel periodo invernale misurata a due differenti altezze**

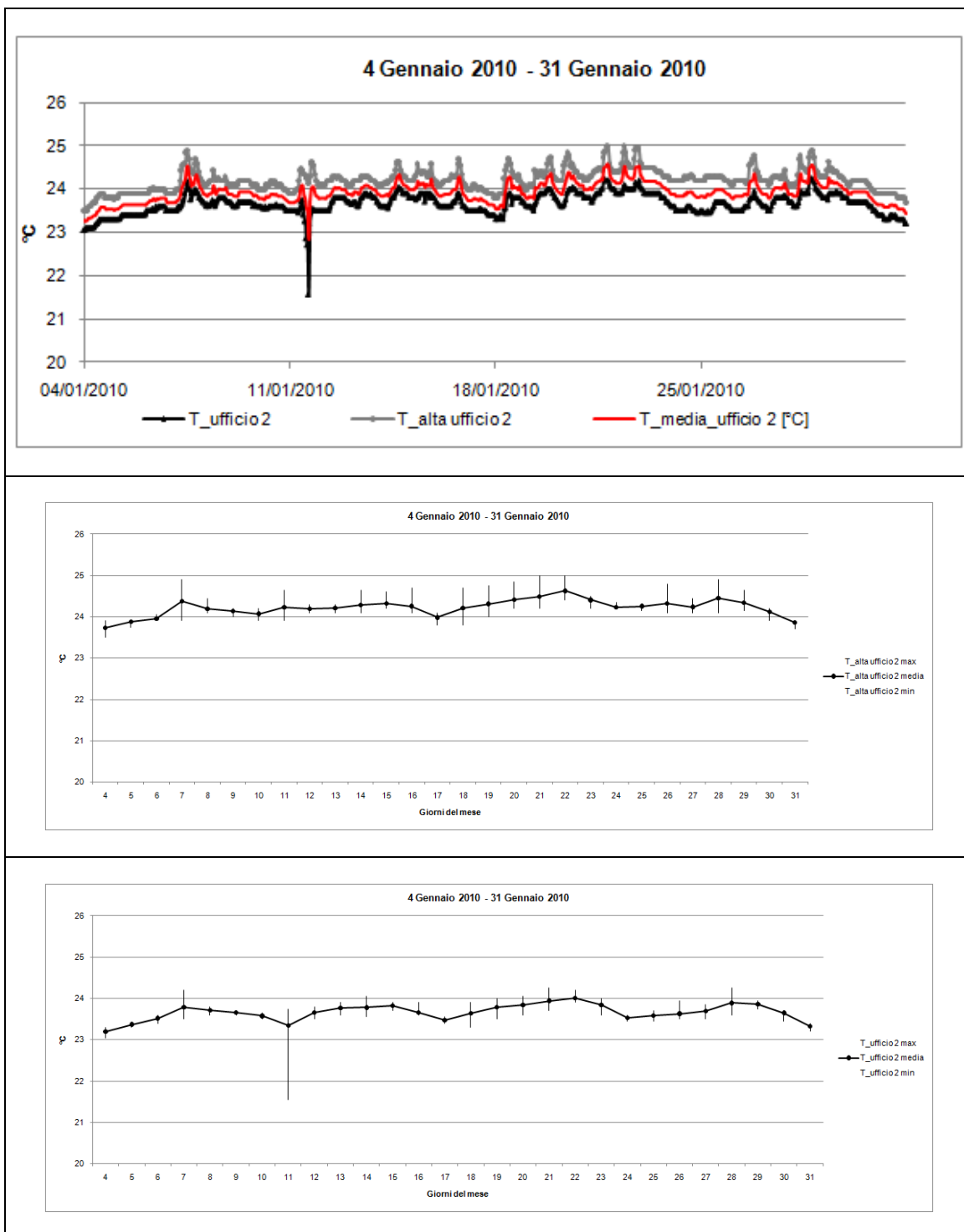


Anche nell'open space 1a è stata registrata una notevole stratificazione termica, ma la variazione tra le due temperature si aggira intorno a 1°C con picchi di scostamento di 1.5°C. La differenziazione tra le due temperature è dovuta al riscaldamento a soffitto da parte dei TABS. L'intervallo di variazione della temperatura media tra le due serie di temperature misurate va da un minimo di 22°C a un massimo di 24°C.



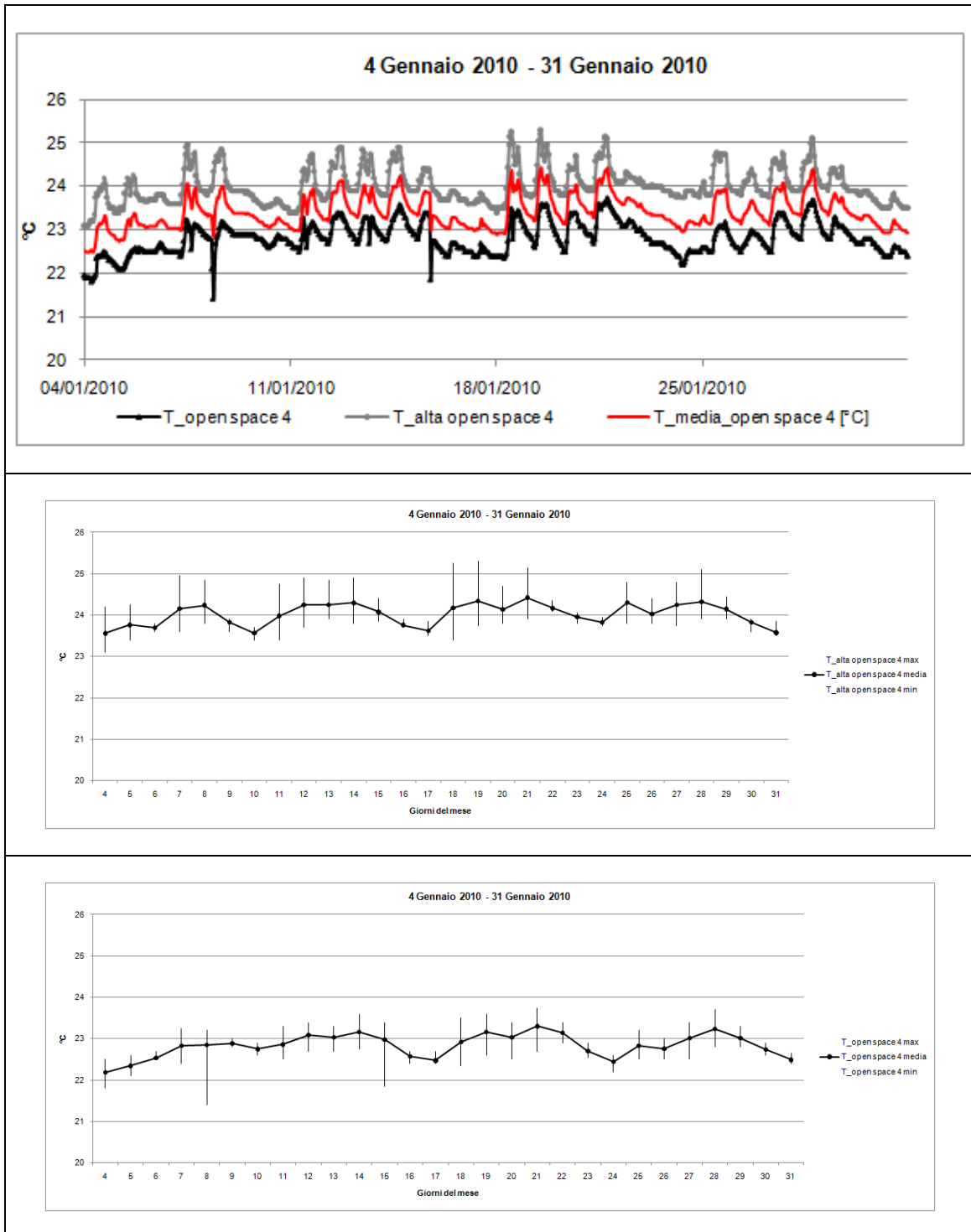
**Tabella 77 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 1b nel periodo invernale misurata a due differenti altezze**

Pur avendo la stessa esposizione, essendo sullo stesso piano ed adiacente all'open space 1a, l'open space 1b presenta una maggiore variazione tra la temperatura rilevata a due metri di altezza, che oscilla tra 23°C e 24°C, e quella misurata un metro sotto, che varia da 20.5°C a 21.5°C, registrando così uno scostamento di circa 2°C.



**Tabella 78 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'ufficio 2 nel periodo invernale misurata a due differenti altezze**

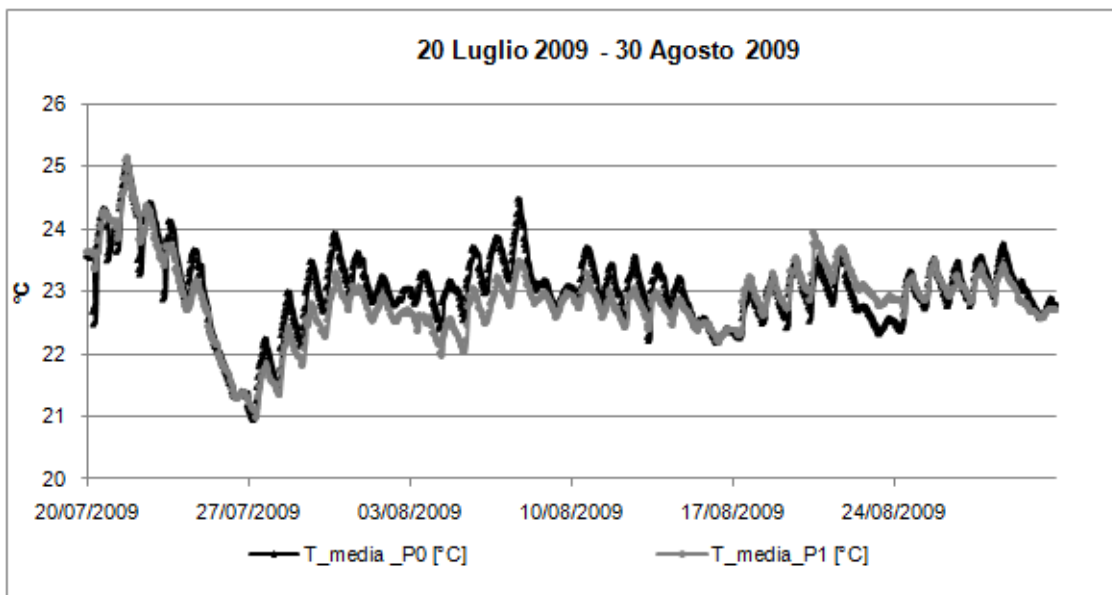
Dell'ufficio 2 si nota immediatamente che lo scostamento tra le due differenti serie di misure di temperatura è meno accentuato rispetto alle stanze del piano terra analizzate in precedenza e si aggira intorno a mezzo grado centigrado. La temperatura media calcolata oscilla tra un minimo di 23°C (il picco minimo di 21.5°C è trascurato perché in corrispondenza di un possibile mal funzionamento del dispositivo di controllo) e un massimo di 24.5°C.



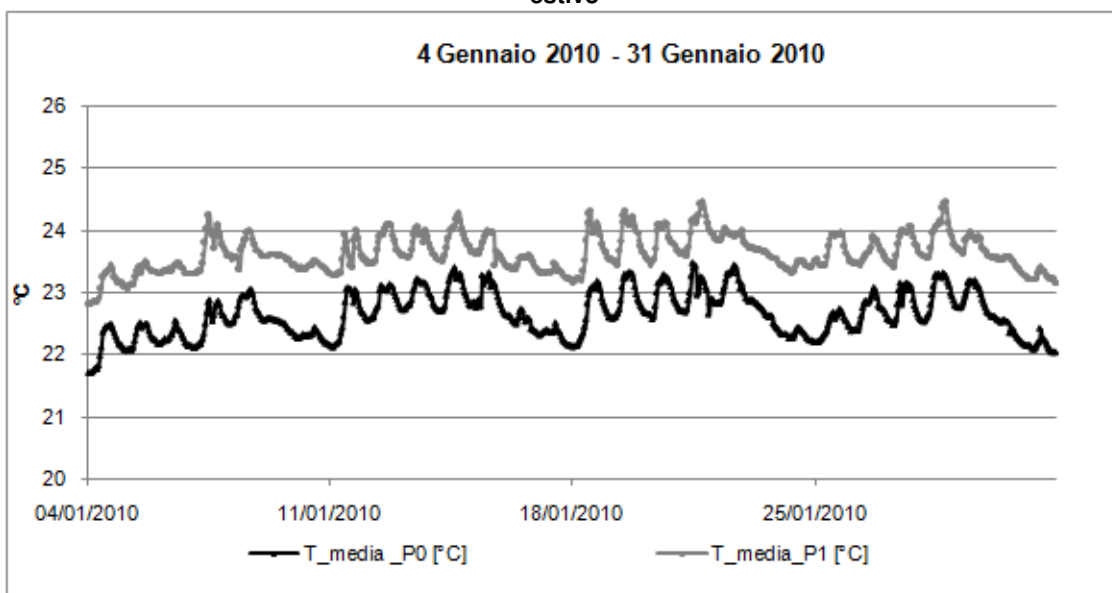
**Tabella 79 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 4 nel periodo invernale misurata a due differenti altezze**

L'open space 4, situato al primo piano, è caratterizzato da una variazione tra la temperatura misurata a 2 metri di altezza, che varia da un minimo di 23°C a un massimo di 25°C, e la temperatura misurata a un metro di altezza, che oscilla tra un minimo di 22°C a un massimo di 23.5°C, che si aggira mediamente intorno a 1°C.

Dopo aver considerato i singoli locali, sono state analizzate le temperature orarie medie effettuando una media pesata in base al volume delle stanze in cui sono stati fatti i rilievi, per poter determinare le temperature medie di piano, illustrate nei grafici seguenti:



**Grafico 75 - Andamento della temperatura media del piano terra e del primo piano nel periodo estivo**



**Grafico 76 - Andamento della temperatura media del piano terra e del primo piano nel periodo invernale**

Entrambe le temperature medie del piano terra P0 e del primo piano P1, dal 20 luglio al 30 agosto 2009 sono oscillate da un minimo di 21 °C a un massimo di 25 °C; la temperatura del piano terra è risultata maggiore di circa 0.5 °C fino al 17 agosto, data in cui è stata la temperatura del primo piano ad essere di poco superiore.

Nel periodo invernale considerato, invece, la differenziazione tra le temperature medie dei due piani risulta più netta: quella del piano terra varia da un minimo di 22 °C a un massimo di 23.5 °C, mentre quella del primo piano presenta lo stesso andamento ma è maggiore di 1 °C. questo può essere dovuto al fatto che il primo piano è adiacente, oltre che al piano terra, anche al secondo piano con destinazione residenziale, mentre il piano terra è posto sopra il piano interrato.

## 9. Confronto tra il funzionamento estivo dell'impianto nel 2009 e nel 2010

Nell'estate 2010, dal momento che la frequente ostruzione dei filtri dei pozzi per l'acqua di falda, non consentiva all'impianto di funzionare in maniera costante, si è optato per la loro sostituzione con sonde geotermiche.

Si è partiti dall'analisi del comportamento termico dell'edificio per poi risalire a come questo cambiamento potesse aver inciso sul funzionamento dell'impianto.

Si riassume ora brevemente il funzionamento "teorico" degli impianti dell'edificio nel periodo estivo. Il circuito freddo è utilizzato per la climatizzazione della sola zona uffici, mentre per gli appartamenti sono presenti dei semplici recuperatori a flussi incrociati. Gli impianti radianti, che mirano a bilanciare il solo carico sensibile, sono accoppiati a sistemi di ventilazione naturale o ibrida, che operano con portate d'aria limitate a quelle strettamente necessarie a garantire la qualità dell'aria interna, a ridurre il carico latente e ad evitare problemi di condensa. I pannelli radianti installati a soffitto negli uffici (TABS) sono caratterizzati da una risposta dilatata nel tempo, che consente di mantenere costante il comportamento termico dell'elemento per lunghi periodi. Il funzionamento è ad intermittenza e l'energia accumulata nelle ore di accensione viene gradualmente ceduta quando è spento. Non vi è contemporaneità tra i profili di funzionamento di questo impianto e le richieste termiche dell'ambiente e i carichi sono traslati verso le ore notturne, quando il carico è minore e le tariffe elettriche sono più convenienti.

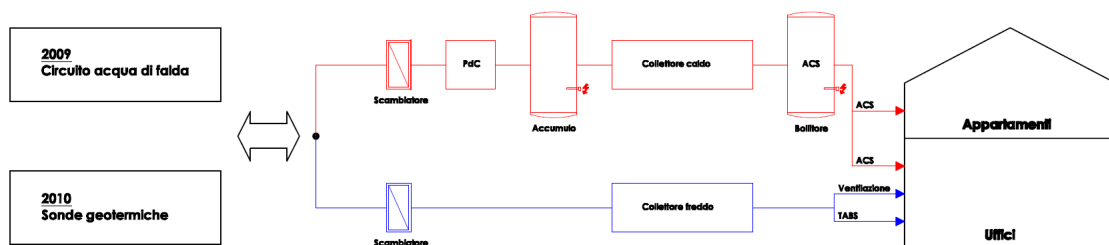


Figura 77 - Schema dell'impianto nelle estati del 2009 e 2010

Si sono analizzate similitudini e differenze tra i dati rilevati dal 15 agosto al 10 settembre del 2009 e del 2010. Nello specifico si sono indagate le condizioni climatiche esterne, interne ed i parametri caratterizzanti l'impianto. Per semplicità si indicheranno i due lassi di tempo in esame come "2009" e "2010".

I valori sono disponibili con una cadenza temporale di cinque minuti. Si riporta di seguito la tabella delle corrispondenze tra i sensori disponibili nei due anni.

		u.m.	2010		2009	
<b>Temperatura degli ambienti</b>	Sala riunioni PT A-2	°C	1	B'B'RPIt1'Trnd01	54	B'B'RPIt1'TR1
	Sala riunioni PT A-3	°C	2	B'B'RPIt1'Trnd02	55	B'B'RPIt1'TR2
	Fis. costr. PT C-1	°C	3	B'B'RPIt1'Trnd03	56	B'B'RPIt1'TR3
	Fis. costr. PT C-3	°C	4	B'B'RPIt1'Trnd04	57	B'B'RPIt1'TR4
	Acustica PT E-1	°C	5	B'B'RPIt1'Trnd05	58	B'B'RPIt1'TR5
	Acustica PT E-3	°C	6	B'B'RPIt1'Trnd06	59	B'B'RPIt1'TR6
	1° P F-1	°C	7	B'B'RPIt1'Trnd07	60	B'B'RPIt1'TR7
	1° P F-3	°C	8	B'B'RPIt1'Trnd08	61	B'B'RPIt1'TR8
	DB 1° P H-1	°C	9	B'B'RPIt1'Trnd09	62	B'B'RPIt1'TR9
	DB 1° P H-3	°C	10	B'B'RPIt1'Trnd10	63	B'B'RPIt1'TR10
	Ufficio ST	°C	20	B'B'RPIt2'Trnd10	73	B'B'RPIt2'TR1
	Fis. costr. C-2	°C	21	B'B'RPIt2'Trnd11	74	B'B'RPIt2'TR2
	Acustica E-2	°C	22	B'B'RPIt2'Trnd12	75	B'B'RPIt2'TR3
	F-2	°C	23	B'B'RPIt2'Trnd13	76	B'B'RPIt2'TR4
	DB H-2	°C	24	B'B'RPIt2'Trnd14	77	B'B'RPIt2'TR5
	APP1/Sogg. J1	°C	25	B'B'RPIt2'Trnd15	78	B'B'RPIt2'TR6
	APP2/Sogg. K1	°C	26	B'B'RPIt2'Trnd16	79	B'B'RPIt2'TR7
	APP3/Sogg. L1	°C	27	B'B'RPIt2'Trnd17	80	B'B'RPIt2'TR8
APP4/Sogg. M1	°C	28	B'B'RPIt2'Trnd18	81	B'B'RPIt2'TR9	
<b>Umidità degli ambienti</b>	Ufficio ST	%	11	B'B'RPIt2'Trnd01	64	B'B'RPIt2'Hu1
	Fis. costr. C-2	%	12	B'B'RPIt2'Trnd02	65	B'B'RPIt2'Hu2
	Acustica E-2	%	13	B'B'RPIt2'Trnd03	66	B'B'RPIt2'Hu3
	F-2	%	14	B'B'RPIt2'Trnd04	67	B'B'RPIt2'Hu4
	DB H-2	%	15	B'B'RPIt2'Trnd05	68	B'B'RPIt2'Hu5
	APP1/Sogg. J1	%	16	B'B'RPIt2'Trnd06	69	B'B'RPIt2'Hu6
	APP2/Sogg. K1	%	17	B'B'RPIt2'Trnd07	70	B'B'RPIt2'Hu7
	APP3/Sogg. L1	%	18	B'B'RPIt2'Trnd08	71	B'B'RPIt2'Hu8
	APP4/Sogg. M1	%	19	B'B'RPIt2'Trnd09	72	B'B'RPIt2'Hu9
<b>Temp. Superficiale Solette</b>	Sala riunioni PT B-1	°C	29	B'B'RPIt3'Trnd01	46	B'B'RPIt3'TWnd1
	Fis. costr. PT D-1	°C	30	B'B'RPIt3'Trnd02	47	B'B'RPIt3'TWnd2
	1° P G-1	°C	31	B'B'RPIt3'Trnd03	48	B'B'RPIt3'TWnd3
	DB 1° P I-1	°C	32	B'B'RPIt3'Trnd04	49	B'B'RPIt3'TWnd4
<b>Temp. Interna Solette</b>	Sala riunioni B-2	°C	33	B'B'RPIt5'Trnd01	50	B'B'RPIt5'TF1
	Fis. costr. D-2	°C	34	B'B'RPIt5'Trnd02	51	B'B'RPIt5'TF2
	G-2	°C	35	B'B'RPIt5'Trnd03	52	B'B'RPIt5'TF3
	DB I-2	°C	36	B'B'RPIt5'Trnd04	53	B'B'RPIt5'TF4
<b>Sonde geotermiche</b>	Temperatura mandata sec.	°C	37	B'C'CEXg'Trnd01	21	B'C'CEXg'TFI
	Temperatura ritorno sec.	°C	38	B'C'CEXg'Trnd02	22	B'C'CEXg'TRt
	Circuito di Miscela - Pompa - Comando	-	39	B'C'CEXg'Trnd03	19	B'C'CEXg'MxCrt'Pu'Cmd
	Circuito di Miscela - Valvola scambiatore	%	40	B'C'CEXg'Trnd04	20	:B'C'CEXg'MxCrt'
<b>Ventil.</b>	Circuito di Miscela - Pompa - Comando	-	41	B'C'CGrp1'Trnd01	23	B'C'CGrp1'MxCrt'Pu'Cmd
	Temperatura mandata	°C	42	B'C'CGrp1'Trnd02	24	B'C'CGrp1'TFI

		u.m.	2010		2009	
Sonde geot.	Flusso sonde geotermiche	m3/h	43	B'C'CwPu'Trnd01	25	B'C'CwPu'FI
	Temperatura mandata	°C	44	B'C'CwPu'Trnd02	28	B'C'CwPu'TFI
Contatori energia parte freddo	Evaporatore termopompa	MWh	45	B'E'MtrC'Trnd01	1	B'E'MtrC'MtrC1
	Gr. serpentine TABS	kWh	46	B'E'MtrC'Trnd02	2	B'E'MtrC'MtrC2
	Gr. raffr. ventilazioni	kWh	47	B'E'MtrC'Trnd03	3	B'E'MtrC'MtrC3
	Gr. collettore freddo	MWh	48	B'E'MtrC'Trnd04	4	B'E'MtrC'MtrC4
Contatori energia parte caldo	Gr. serpentine appartamenti	kWh	49	B'E'MtrH'Trnd01	5	B'E'MtrH'MtrH2
	Gr. risc. ventilazioni	kWh	50	B'E'MtrH'Trnd02	6	B'E'MtrH'MtrH3
	Gr. serpentine TABS	kWh	51	B'E'MtrH'Trnd03	7	B'E'MtrH'MtrH4
	Gr. bollitore	kWh	52	B'E'MtrH'Trnd04	8	B'E'MtrH'MtrH5
Stazione Meteorologica	Umidità Aria Esterna	%RH	53	B'E'WthStn'Trnd01	9	B'E'WthStn'HuOa
	Irraggiamento Solare	W/m2	54	B'E'WthStn'Trnd02	10	B'E'WthStn'SolRdn
	Temperatura Aria Esterna	°C	55	B'E'WthStn'Trnd03	11	B'E'WthStn'Toa
	Direzione Vento	degAng	56	B'E'WthStn'Trnd04	12	B'E'WthStn'WdDrct
	Velocità Vento	m/s	57	B'E'WthStn'Trnd05	14	B'E'WthStn'WdSpd
Gr. serpentine uffici (TABS)	Circuito di Miscela caldo - Temperatura mandata	°C	58	B'HCDisp'HCGrp11'Trnd10	18	B'HCDisp'HCGrp11'MxCrt1'TFI
	Circuito di Miscela freddo - Temperatura mandata	°C	59	B'HCDisp'HCGrp11'Trnd11	16	B'HCDisp'HCGrp11'MxCrt2'TFI
	Circuito di Miscela freddo - Pompa - Comando	-	60	B'HCDisp'HCGrp11'Trnd12	15	B'HCDisp'HCGrp11'MxCrt2'Pu'Cmd
	Circuito di Miscela freddo - Valvola	%	61	B'HCDisp'HCGrp11'Trnd13	17	B'HCDisp'HCGrp11'MxCrt2'Vlv
Acqua Sanitaria	Comando registro elettrico	-	62	B'H'Dhw1'Trnd01	36	B'H'Dhw1'Cmd
	Temp. bollitore in basso	°C	63	B'H'Dhw1'Trnd02	37	B'H'Dhw1'TTnkBtm
	Temp. bollitore in alto	°C	64	B'H'Dhw1'Trnd03	38	B'H'Dhw1'TTnkTop
Accum.	Temp. in basso	°C	65	B'H'HEqp1'Trnd02	39	B'H'HEqp1'TTnkBtm
	Temp. in alto	°C	66	B'H'HEqp1'Trnd03	40	B'H'HEqp1'TTnkTop
Termopompa	Condensatore - Temperatura ingresso	°C	67	B'H'HGen'Trnd02	41	B'H'HGen'Cds'Tin
	Condensatore - Temperatura uscita	°C	68	B'H'HGen'Trnd03	42	B'H'HGen'Cds'Tout
	Condensatore - Valvola Miscela	%	69	B'H'HGen'Trnd04	43	B'H'HGen'Cds'VlvMx
	Evaporatore - Temperatura ingresso	°C	70	B'H'HGen'Trnd05	33	B'H'HGen'Evp
	Evaporatore - Temperatura uscita	°C	71	B'H'HGen'Trnd06	34	B'H'HGen'Evp
	Compressore - Comando	-	72	B'H'HGen'Trnd07	35	B'H'HGen'RfMch'Cmd
	Temp. ingr. scamb. - geotermico	°C	73	B'H'HGen'Trnd08	30	B'H'HGen'Tin
	Ins. resist. bivalente con Test	°C	74	B'H'HGen'Trnd09	32	B'H'HGen'TOaHysH1
	Temp. uscita scamb. geotermico	°C	75	B'H'HGen'Trnd10	31	B'H'HGen'TOut
Gr. Serp. App.	Circuito di Miscela - Temperatura mandata	°C	76	B'H'HGrp1'Trnd10	44	B'H'HGrp1'MxCrt'TFI
	Circuito di Miscela - Temperatura mandata	°C	77	B'H'HGrp2'Trnd10	45	B'H'HGrp2'MxCrt'TFI

Tabella 80 - Tabella di correlazione tra sensori del 2009 e del 2010



I valori rilevati sono stati esaminati su due periodi: quello diurno, corrispondente alle ore lavorative, dalle 8:00 alle 17:00, e l'intera giornata. Da progetto la ventilazione avrebbe dovuto funzionare dalle 6:00 alle 22:00, cioè molto più a lungo della reale occupazione dei locali, e i TABS durante le ore di uffici liberi.

Per mezzo del grafico seguente si vuole premettere la notevole estensione del periodo giornaliero di progetto di accensione della ventilazione rispetto all'orario di effettiva occupazione degli uffici e la riduzione del tempo di accensione dei TABS tra il 2009 e il 2010. Si è cercato di comprendere in che modo questo possa aver influito sulla potenza e sull'energia richieste agli impianti.

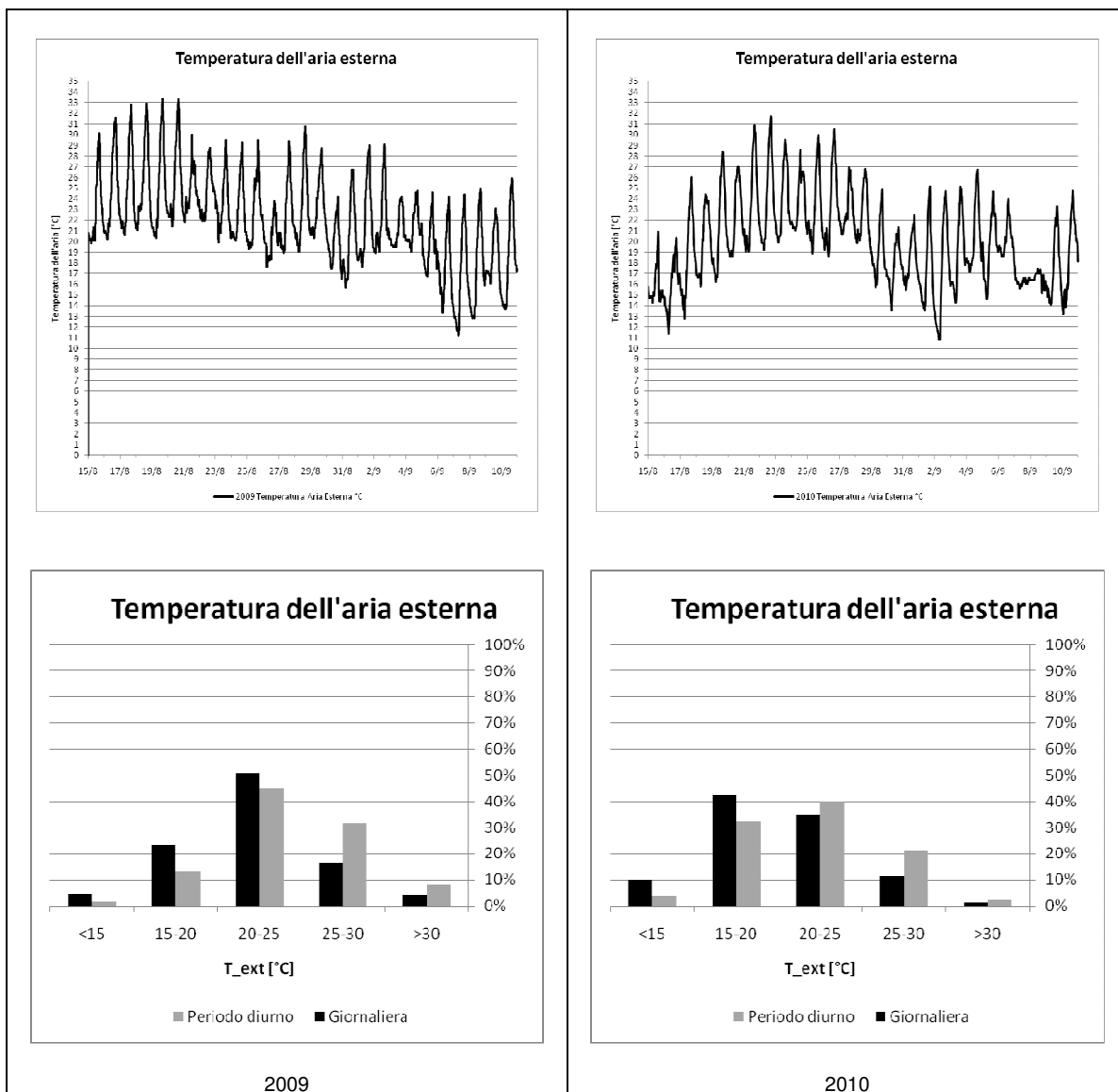
Ora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					
Orario ufficio									■																				
Ventilaz.	Progetto																												
	2009																												
	2010																												
TABS	Progetto	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■				
	2009	■	■	■	■	■	■	■														■	■	■	■				
	2010	■	■	■	■	■	■																						

**Grafico 77 - Confronto tra periodi di occupazione e di attivazione degli impianti**

Viste le numerose ore di funzionamento dell'impianto di ventilazione al di fuori dell'orario d'ufficio, si deduce che questa non è stata progettata con il solo scopo di garantire una buona qualità dell'aria, ma che deve esserle stato attribuito anche l'abbattimento di buona parte del carico termico. Per semplicità, verrà di seguito identificato come periodo diurno l'orario d'ufficio e come periodo notturno il resto della giornata.

## 9.1 Condizioni climatiche esterne

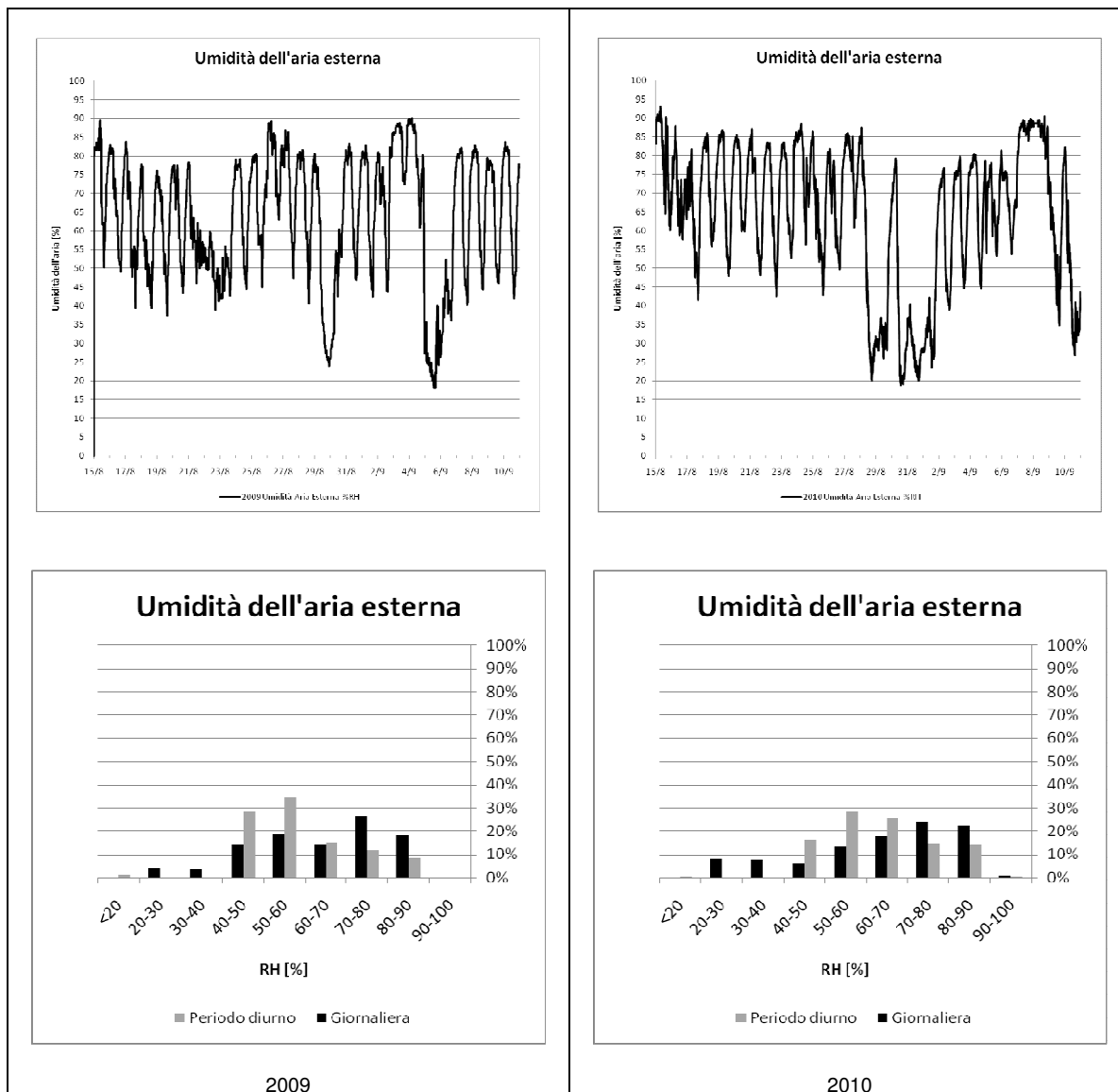
### 9.1.1 Temperatura dell'aria esterna



**Tabella 81 – Confronto tra la temperatura dell'aria esterna nel 2009 e nel 2010**

Per mezzo della Tabella 81 si sono confrontate le temperature esterne dei due periodi in esame. È evidente che il 2009 ha presentato valori più elevati. La temperatura dell'aria esterna durante il giorno si è mantenuta per lo più tra i 20 e i 25 °C in entrambi gli anni. Durante la notte, però è stato più fresco nel 2010; inoltre in orario d'ufficio nel 2009 si sono registrate temperature superiori ai 25 °C per quasi il 40% del tempo.

### 9.1.2 Umidità dell'aria esterna

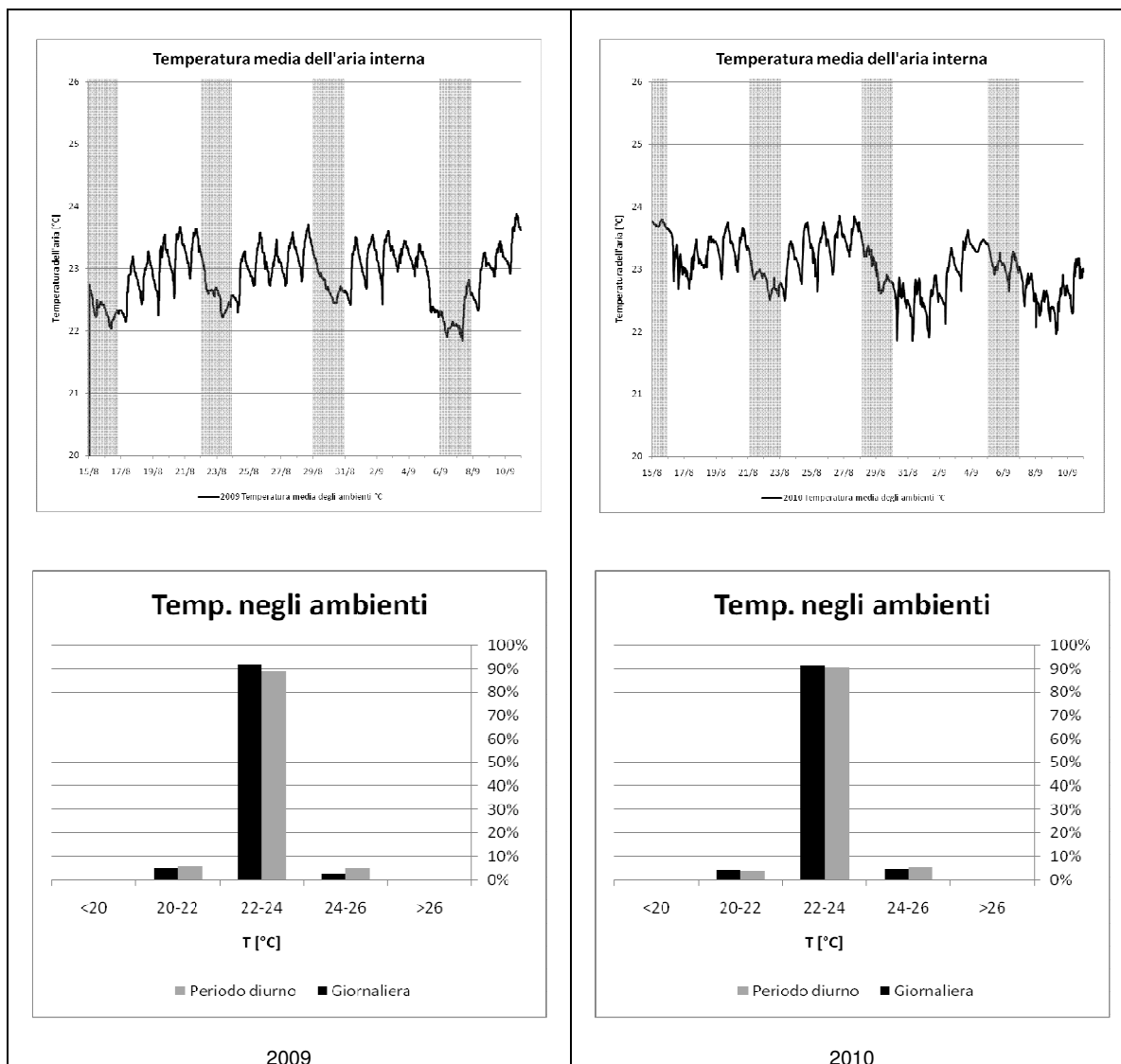


**Tabella 82 – Confronto tra l'umidità relativa dell'aria esterna nel 2009 e nel 2010**

L'umidità relativa esterna è stata riportata solo per completezza. Le variazioni di umidità, infatti, sono strettamente connesse a quelle di temperatura. Appare dunque sensato che nel 2010, anno più fresco, si siano rilevate umidità relative maggiori.

## 9.2 Condizioni climatiche interne

### 9.2.1 Temperatura dell'aria degli ambienti e delle solette

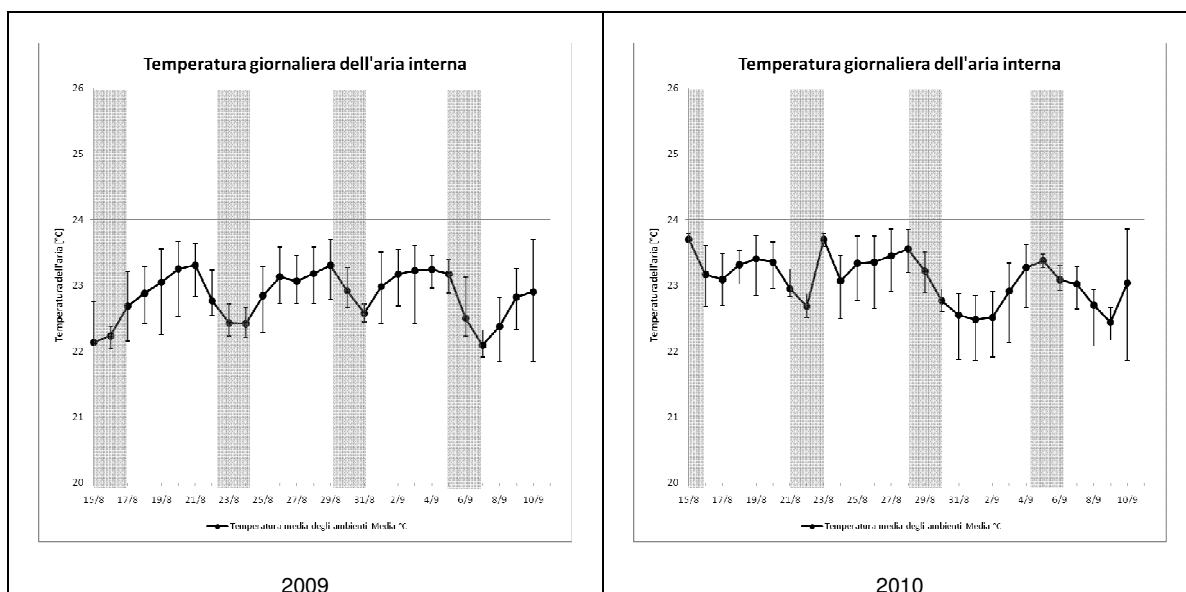


**Tabella 83 - Confronto tra la temperatura dell'aria interna nel 2009 e nel 2010**

Nella Tabella 83 si sono confrontate le temperature interne nei due periodi. Nei grafici a dispersione sono rappresentati gli andamenti dei valori rilevati ogni 5 minuti, mentre negli istogrammi sono indicate le frequenze cumulative dell'andamento della temperatura nei singoli ambienti. Dai grafici a dispersione si osserva che la temperatura media interna ha raggiunto i suoi picchi massimi a fine settimana, per poi cominciare a calare durante i week-end, evidenziati in grigio. In generale sono state mantenute temperature sostanzialmente analoghe nei due periodi, infatti circa il 90% dei valori cade tra i 22 ed i 24 °C sia nel 2009 sia nel 2010.

Dal momento che oltre il 90% delle temperature rilevate negli ambienti ricade all'interno dei 22-24 °C, si sono proseguite le analisi facendo riferimento alla temperatura media interna, calcolata come media delle temperature dei vari ambienti.

Per valutare se il carico termico fosse dipeso soprattutto dai carichi interni o da quelli solari, si è analizzata l'incidenza dell'assenza di carichi interni sull'andamento delle temperature interne. Si è calcolata la temperatura media degli ambienti, se ne è poi ricercato il valore minimo, medio e massimo giornaliero. Sui grafici ricavati si sono, infine, evidenziati nuovamente i fine settimana.

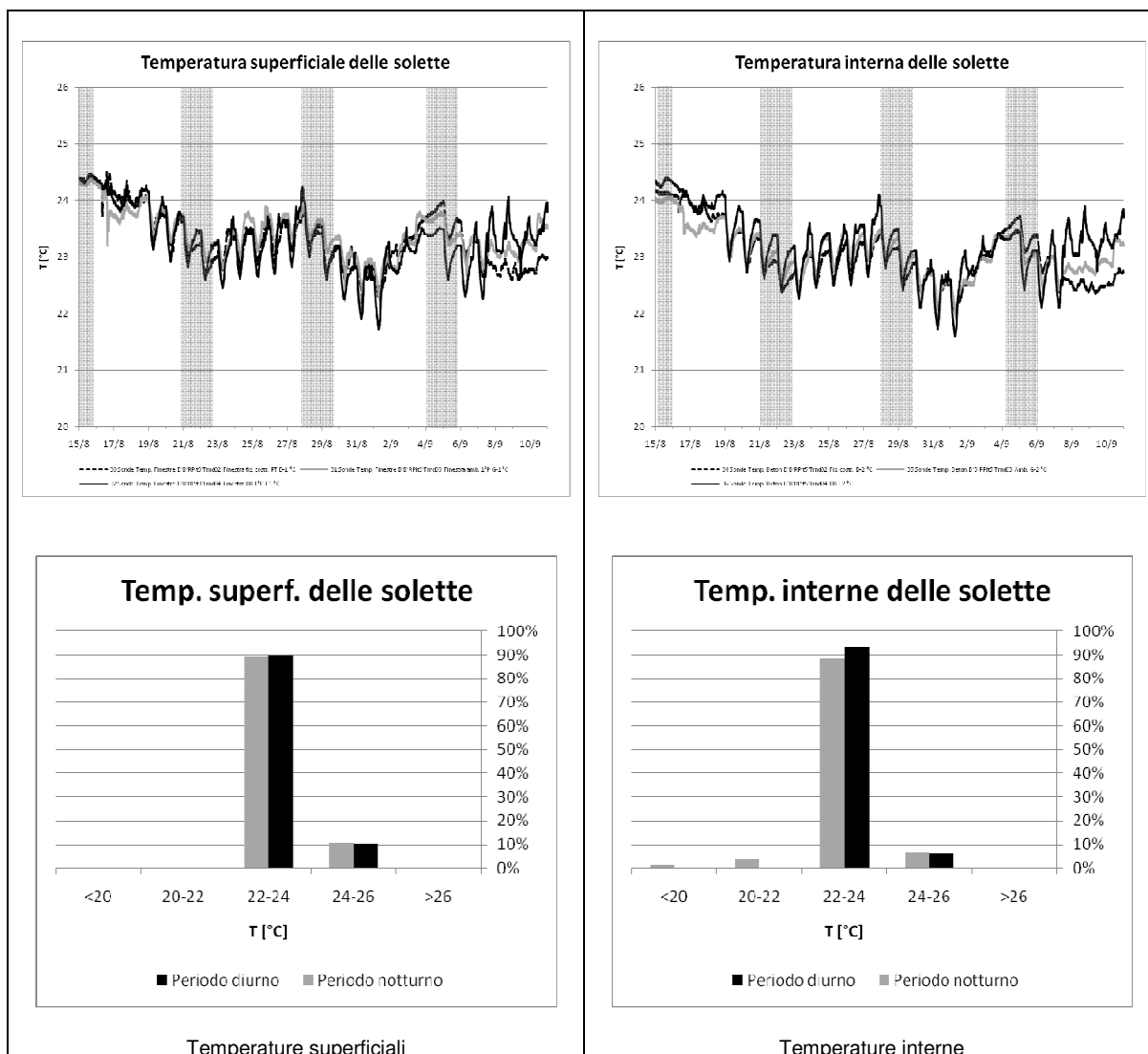


**Tabella 84 - Ricerca dell'andamento della temperatura media degli ambienti in funzione dei carichi interni nel 2009 e nel 2010**

In corrispondenza dei fine settimana la temperatura media interna si è abbassata e si è ridotto lo scostamento tra i valori minimi, medi e massimi giornalieri. Sono allora i carichi interni ad influire in modo rilevante sull'andamento delle temperature interne. Questa conclusione permette di tralasciare l'influenza dell'irraggiamento esterno sul clima interno.

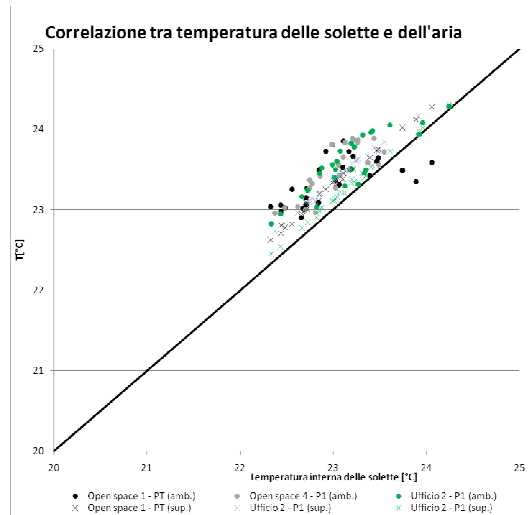
Dal momento che la variazione giornaliera della temperatura media degli ambienti si è sempre mantenuta all'interno del grado, è possibile affermare che il sistema edificio-impianto presenta una notevole inerzia termica.

Si sono inoltre rilevate le temperature delle solette in cui scorrono le serpentine dei TABS.



**Tabella 85 - Temperature delle solette**

Si osserva che le temperature superficiali ed interne delle solette non variano in maniera significativa tra il giorno e le notte e sono in buona parte comprese tra i 22 e i 24°C; inoltre i valori rilevati all'interno sono leggermente inferiori rispetto a quelli superficiali, a conferma del fatto che l'influenza del fluido freddo si riduce via via che ci si allontana dalle serpentine. Si sono allora messe in relazione le temperature medie giornaliere delle solette e dell'aria nei vari ambienti.

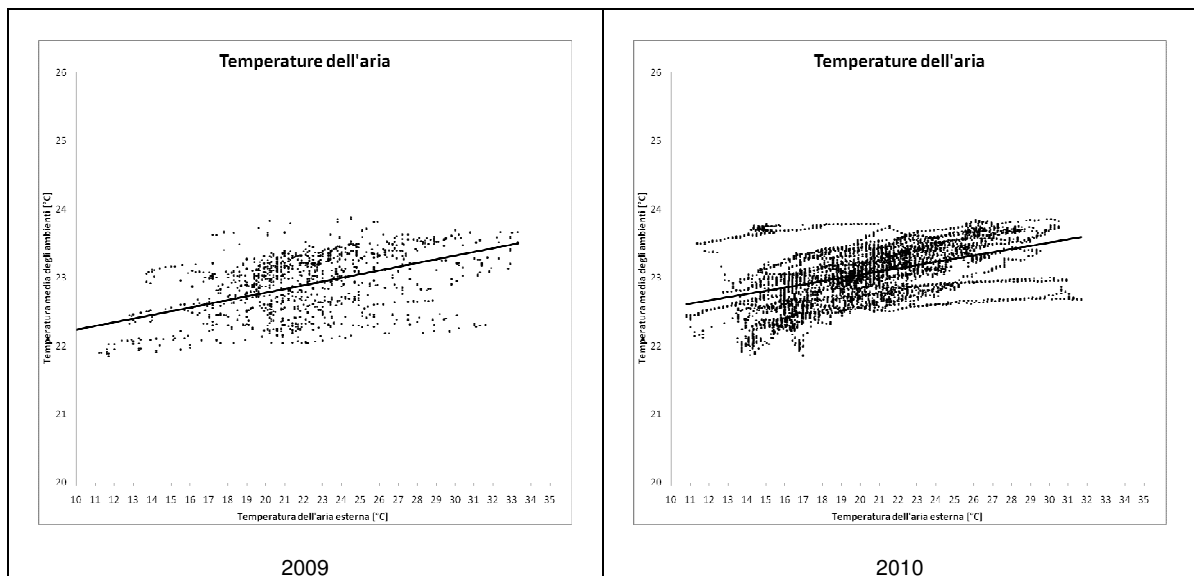


**Grafico 78 - Correlazione tra la temperatura del beton e quelle dell'aria nel medesimo ambiente**

Si osserva che la nuvola di dispersione della temperatura degli ambienti in funzione di quella delle superfici raffrescate si trova poco al di sopra della bisettrice, nello specifico la differenza di temperatura tra le due è inferiore a 1°C. Fa eccezione la serie di valori già individuata come anomala, appare quindi più plausibile l'ipotesi di un diverso posizionamento del sensore.

Anomalia a parte, dal momento che la temperatura di esercizio delle solette raffrescate è molto prossima a quelle degli ambienti da condizionare, ci si aspetta un significativo livello di autoregolazione.

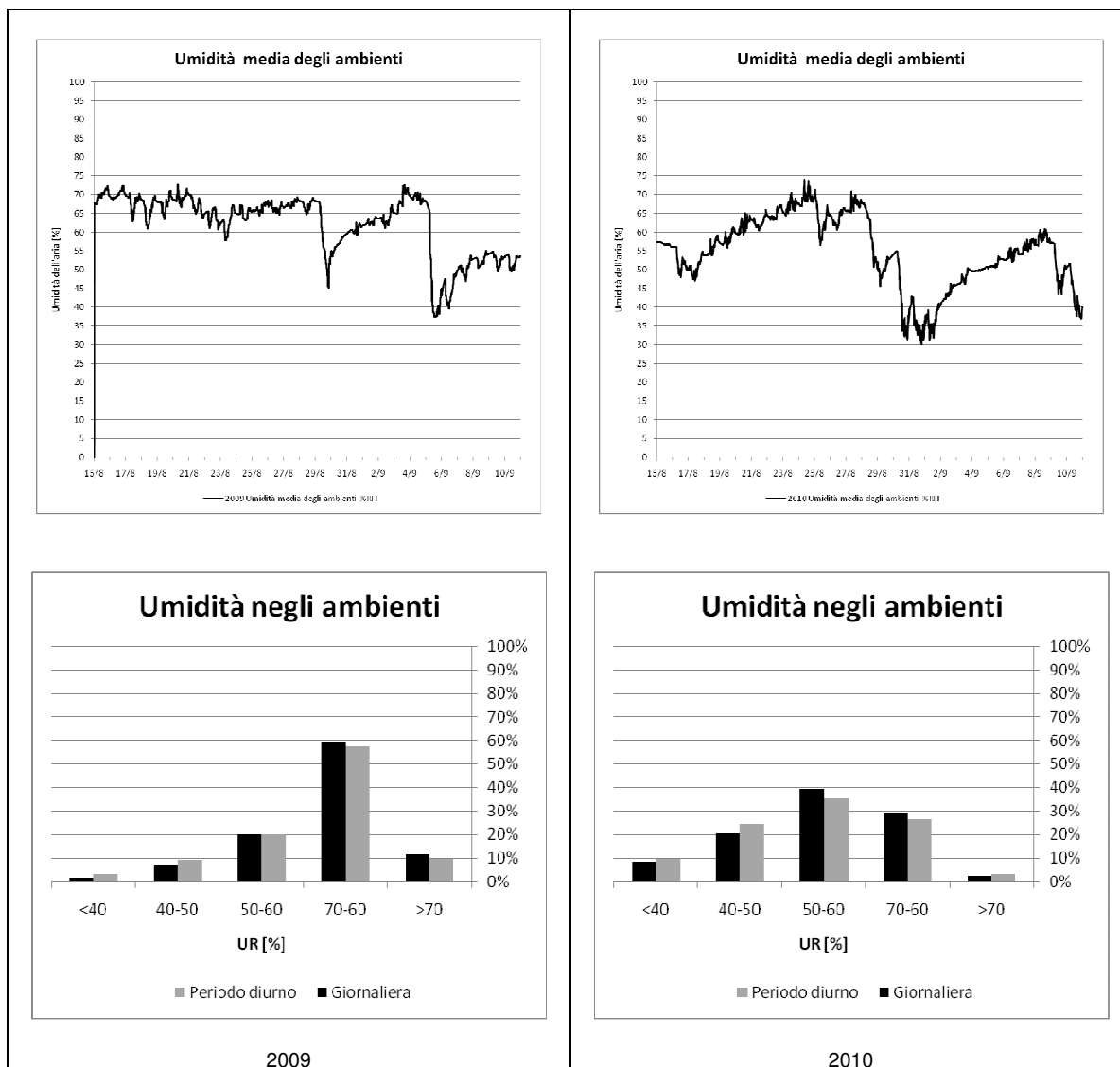
Si è poi ricercata una possibile correlazione tra la temperatura dell'aria interna ed esterna.



**Tabella 86 – Correlazione tra la temperatura dell'aria esterna ed interna**

Si osserva nuovamente che la temperatura dell'aria interna è stata mantenuta all'interno del medesimo intervallo mentre la temperatura esterna ha raggiunto valori maggiori nel 2009. Nel 2009 l'impianto di climatizzazione ha quindi dovuto abbattere carichi termici maggiori.

### 9.2.2 Umidità relativa negli ambienti



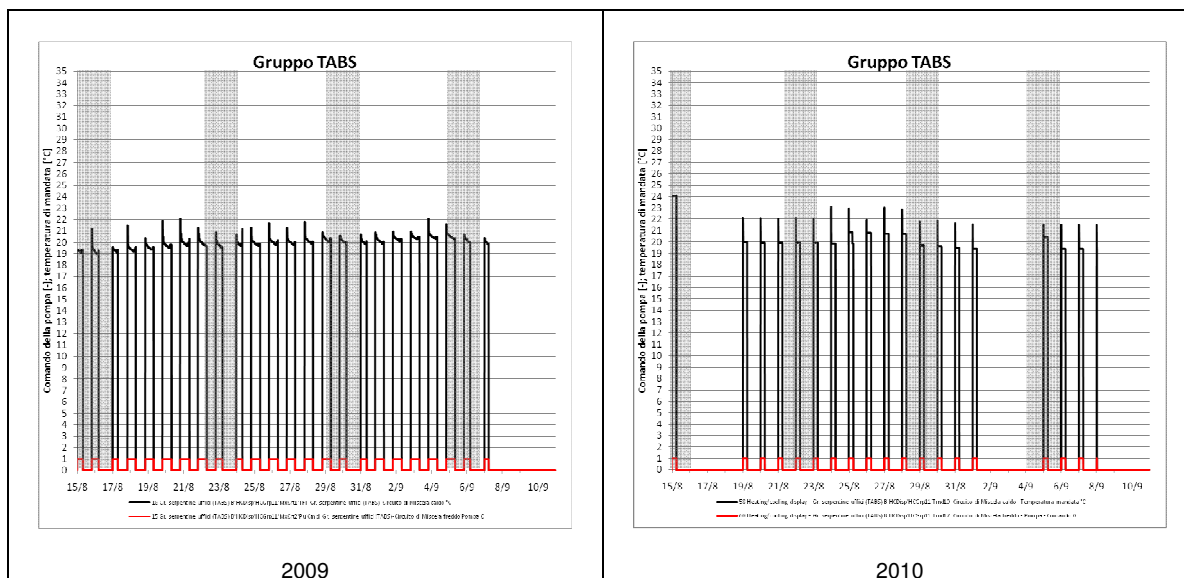
**Tabella 87 - Confronto tra l'umidità relativa degli ambienti nel 2009 e nel 2010**

I valori maggiori di umidità relativa interna nel 2009 erano prevedibili dal momento che nei due periodi in esame la temperatura degli ambienti e l'umidità relativa esterna hanno avuto andamenti simili, mentre le temperature esterne sono state più elevate nel 2009.



## 9.3 Condizioni di funzionamento dell'impianto di raffreddamento

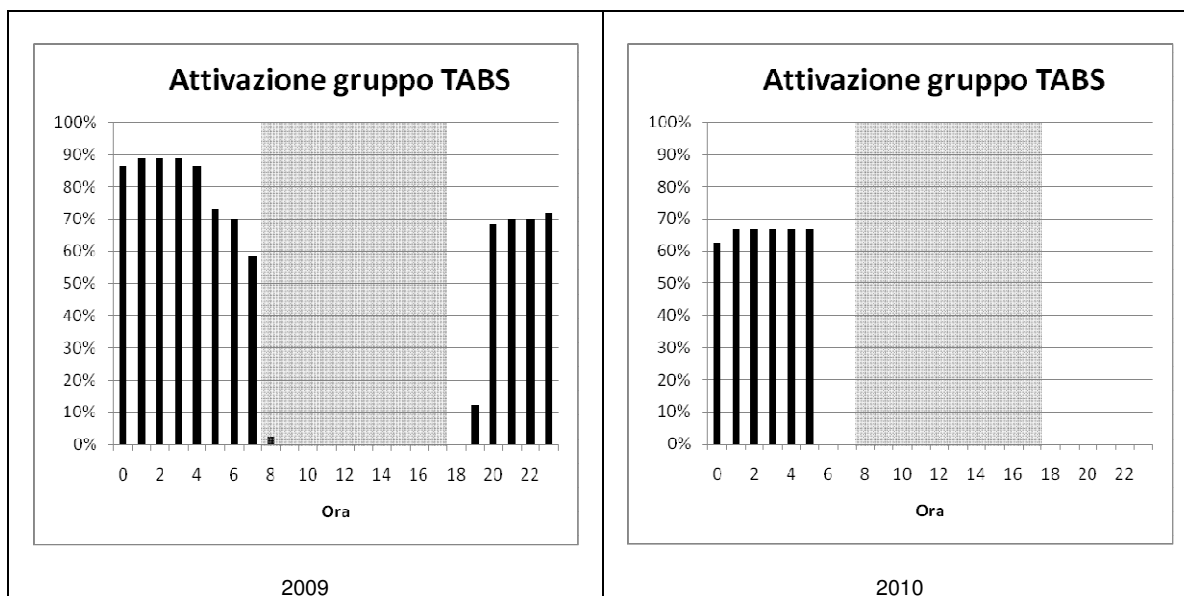
### 9.3.1 Gruppo TABS



**Tabella 88 - Confronto tra lo stato e la temperatura di mandata del gruppo dei TABS nel 2009 e nel 2010**

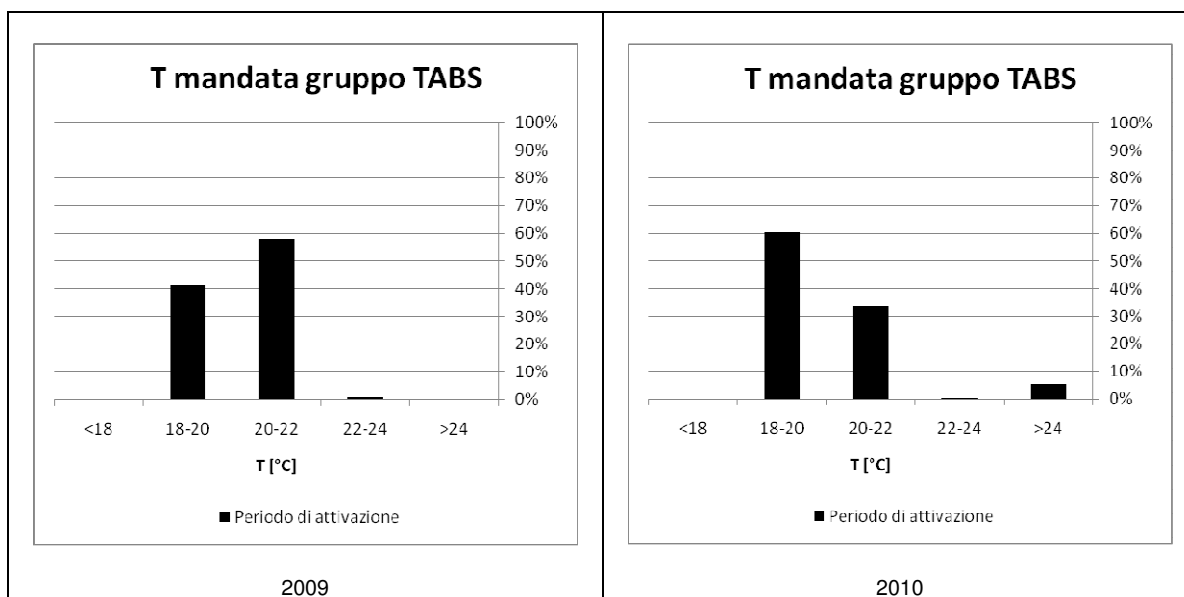
I grafici precedenti danno una visione d'insieme del funzionamento dell'impianto. Le temperature di mandata presentano dei picchi all'inizio di ogni periodo quando la valvola per la miscelazione del fluido freddo, proveniente dal collettore, viene riaperta. Le temperature superiori ai 23°C sono state rilevate in presenza di impianto non funzionante in maniera appropriata.

Si osserva che le temperature di mandata sono state simili nei due periodi e che nel 2009 l'impianto è stato attivato più a lungo. Le tabelle seguenti vogliono supportare queste osservazioni.



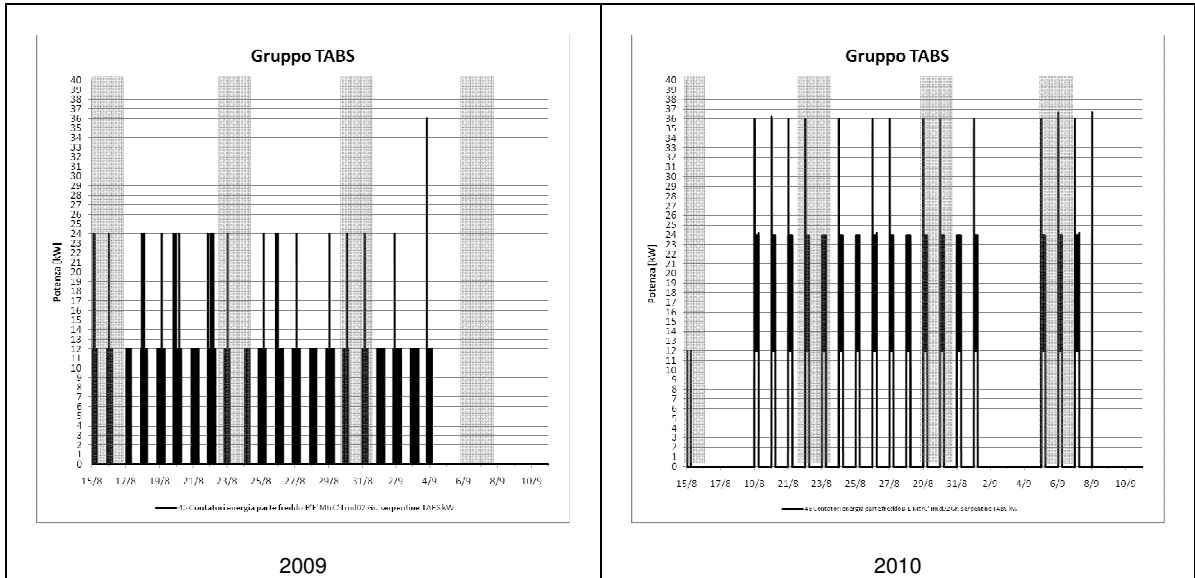
**Tabella 89 - Confronto tra l'attivazione del gruppo dei TABS nel 2009 e nel 2010**

La Tabella 89, in cui sono state evidenziate le ore lavorative, riconferma che i TABS hanno funzionato solamente di notte e che nel 2009 sono stati attivati per oltre il doppio del tempo.



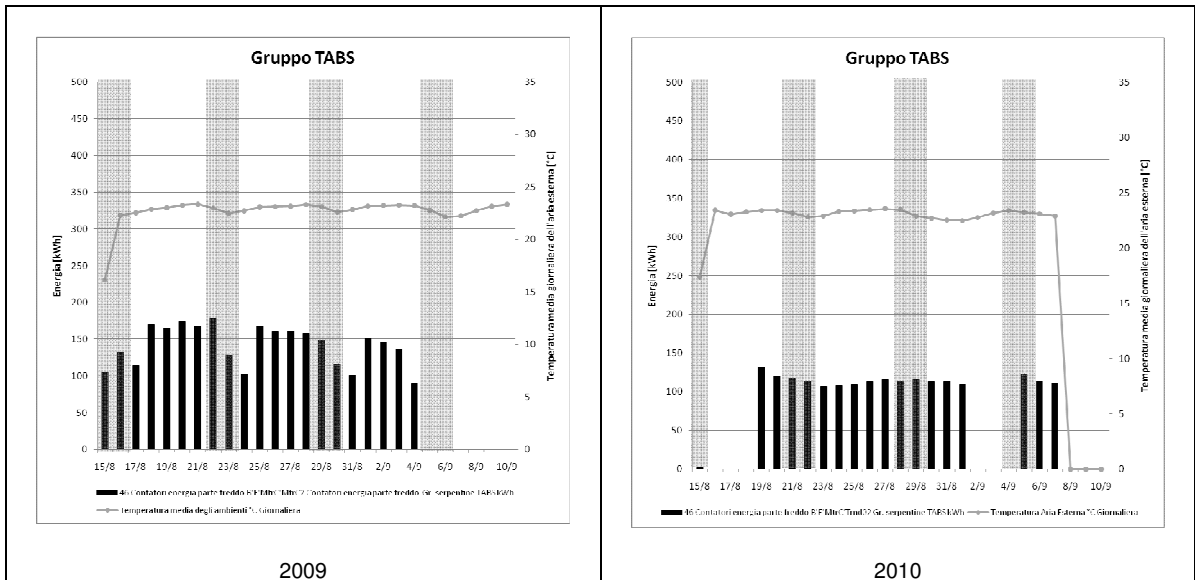
**Tabella 90 - Confronto tra la temperatura di mandata del gruppo dei TABS nel 2009 e nel 2010**

Anche in questo caso si riconferma quanto già ipotizzato osservando la Tabella 88, infatti i TABS hanno funzionato con temperature di mandata simili, anche se lievemente inferiori nel 2010. Questa riduzione potrebbe essere dovuta alla necessità di assorbire il carico termico in meno tempo.



**Tabella 91 - Confronto tra la potenza ceduta dal gruppo dei TABS nel 2009 e nel 2010**

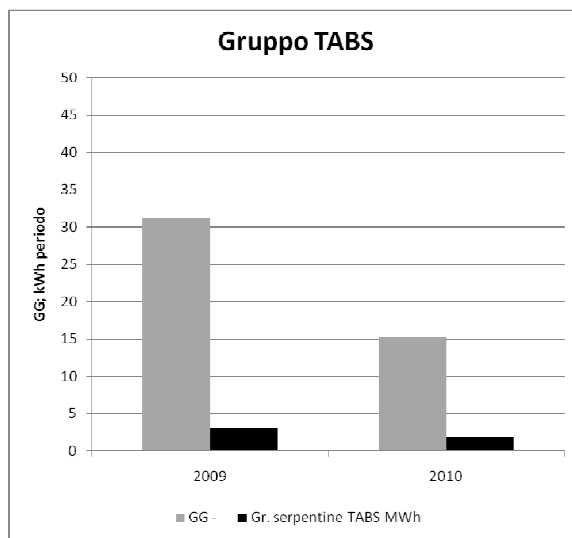
Il gruppo dei TABS, che come si già visto è stato attivo solo di notte, è stato caratterizzato da una diversa distribuzione oraria della potenza ceduta nei due periodi. Vi è la presenza di un picco di potenza per ciascuna notte di attivazione. Quest'ultimo si presenta sempre all'inizio del periodo di attivazione nel 2010 e nella prima metà di esso nel 2009. La potenza ceduta nel 2010 è doppia rispetto a quella del 2009 (24 contro 12 kW) e il valore dei picchi è di 36 kW nel 2010 contro 24 kW nel 2009. Dal momento che nel 2010 l'impianto è stato attivo per circa la metà del tempo, ma con una potenza doppia rispetto al 2009, ci si aspetta che l'energia scambiata durante la notte sia piuttosto simile.



**Tabella 92 - Confronto tra l'energia ceduta dal gruppo dei TABS e la temperatura media diurna nel 2009 e nel 2010**

Si osserva che nel 2009, quando le temperature esterne sono state più elevate, vi è stato un maggiore assorbimento di energia da parte del gruppo dei TABS. Si vede, inoltre, che non vi è una correlazione diretta tra energia scambiata e temperatura dell'aria esterna. L'energia scambiata ha un andamento più costante nel 2010 rispetto al 2009.

Date le differenze sia nelle sollecitazioni esterne sia nelle modalità di funzionamento degli impianti nei due periodi, si è voluto ricercare un parametro "univoco" per il confronto. Si sono quindi calcolati i Gradi Giorno rispetto alla temperatura interna effettivamente presente e li si sono messi in relazione con l'energia giornaliera assorbita dal gruppo dei TABS.



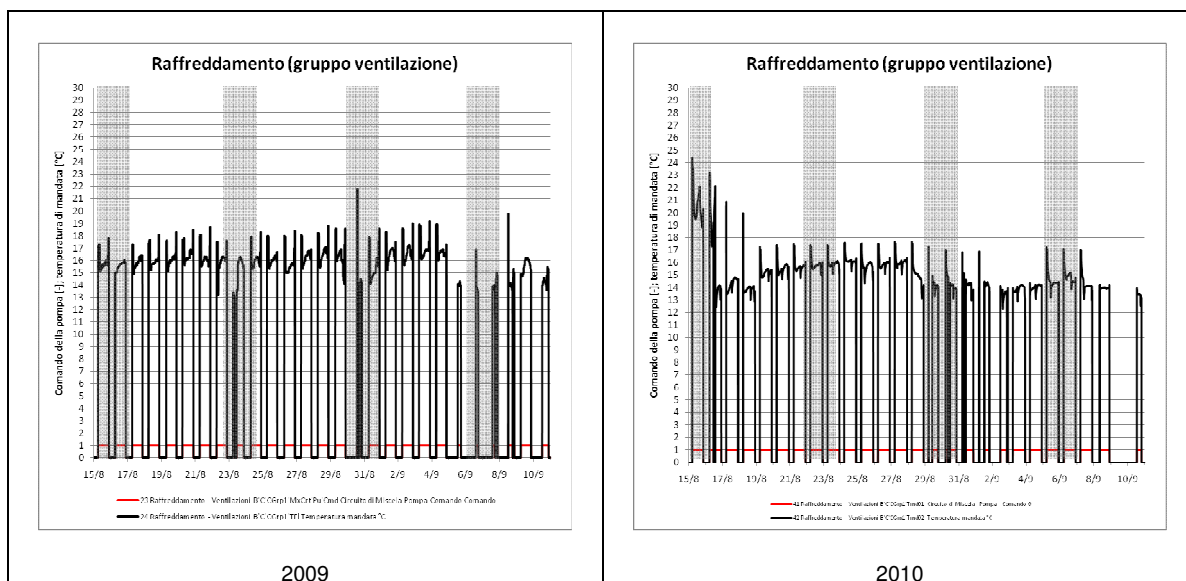
**Grafico 79 - Correlazione tra Gradi Giorno e energia assorbita dal gruppo dei TABS nel 2009 e 2010**

Il gruppo dei TABS ha scambiato:

	kWh/GG
2009	97
2010	129

Nel 2010 il gruppo dei TABS, che è stato attivo per meno tempo, ha scambiato il 65% dell'energia rispetto al 2009, ma ha incrementato del 33% l'energia scambiata rispetto ai Gradi Giorno.

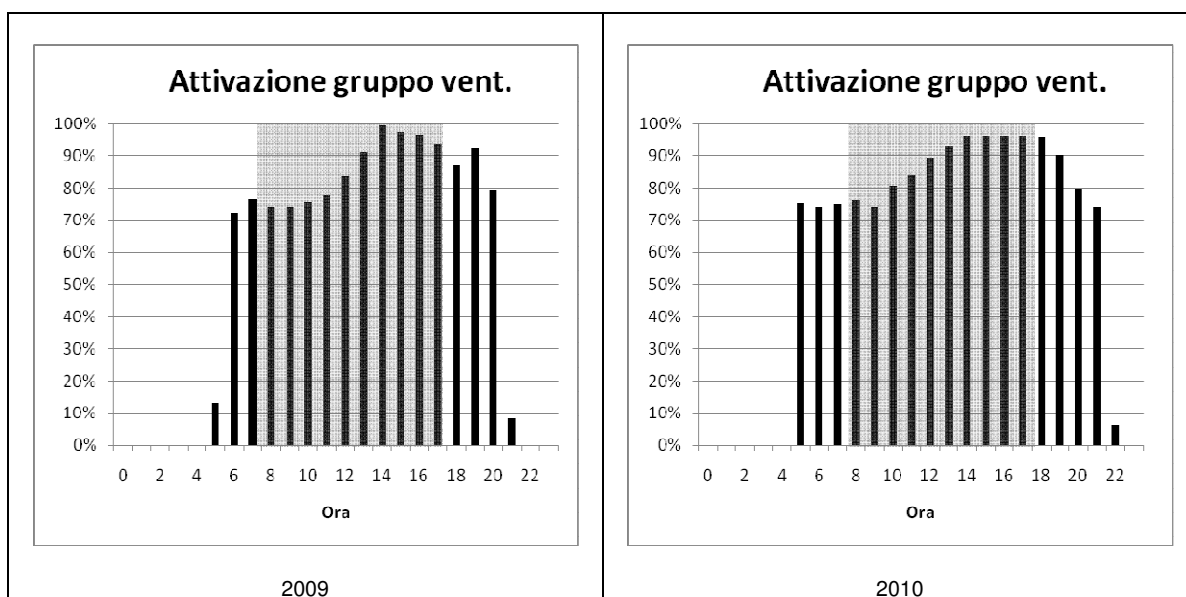
### 9.3.2 Batterie fredde della ventilazione



**Tabella 93 - Confronto tra lo stato e la temperatura di mandata delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010**

Anche in questo caso si sono riportati i grafici precedenti per fornire una visione d'insieme del funzionamento dell'impianto. Come nel caso dei TABS, le temperature di mandata presentano dei picchi all'inizio di ogni periodo, quando la valvola per la miscelazione del fluido freddo, proveniente dal collettore, viene riaperta. Le temperature superiori ai 20°C sono state rilevate in presenza di impianto non funzionante in maniera appropriata.

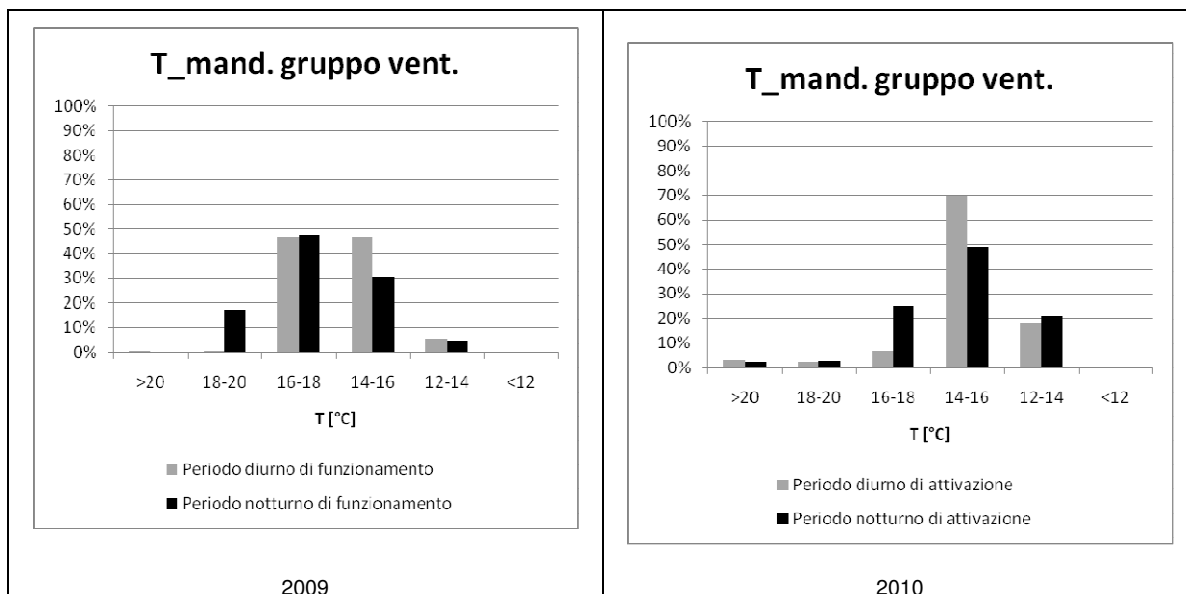
Si osserva che le temperature di mandata sono state simili nei due periodi e che nel 2010 l'impianto è stato attivato più a lungo.



**Tabella 94 - Confronto tra l'attivazione delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010**

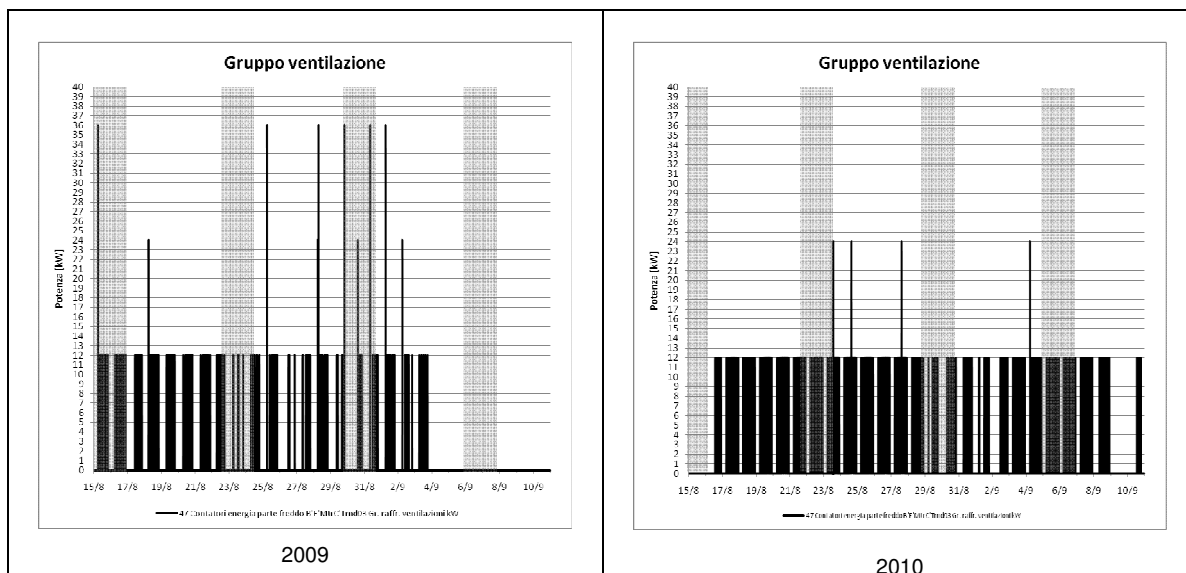
La Tabella 94 riconferma che la batteria fredda della ventilazione non ha funzionato solamente

durante l'orario di occupazione degli uffici e che nel 2010 è stata attivata più a lungo (17 ore contro 15).



**Tabella 95 - Confronto tra la temperatura di mandata delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010**

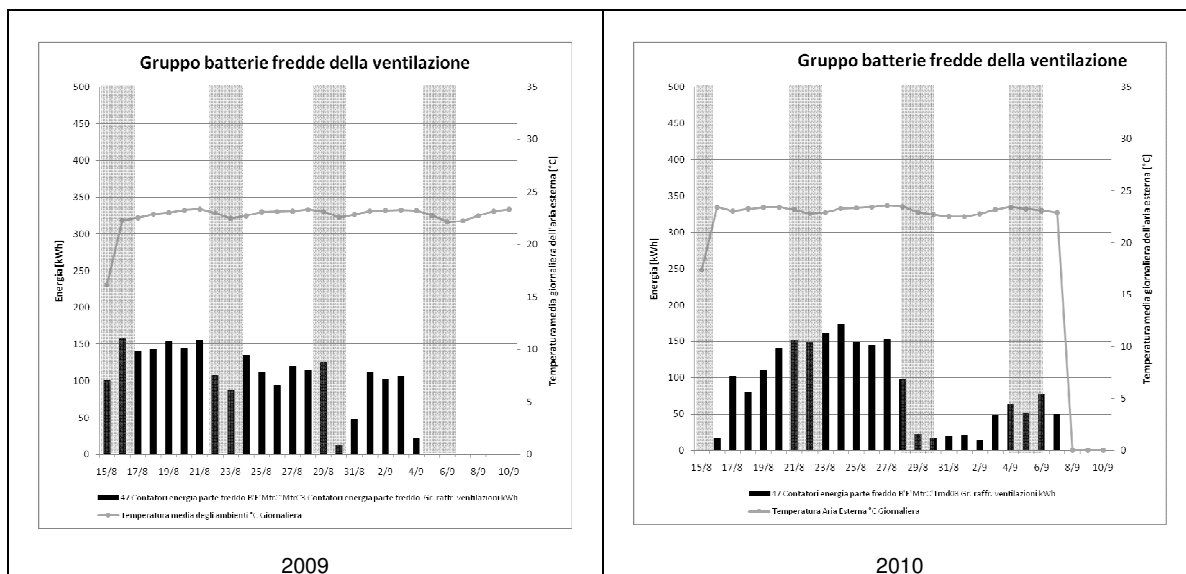
Anche in questo caso si riconferma quanto già ipotizzato osservando la Tabella 93, infatti le ventilazioni hanno funzionato con temperature di mandata simili, anche se lievemente inferiori nel 2010.



**Tabella 96 - Confronto tra la potenza ceduta dal gruppo delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010**

Il gruppo della batteria fredda della ventilazione, quando attivato, ha ceduto quasi sempre 12 kW di potenza in entrambi i periodi. In questo caso non si osservano picchi di potenza all'inizio dei periodi di attivazione. Dal momento che nel 2010 l'impianto è stato attivo per circa due ore

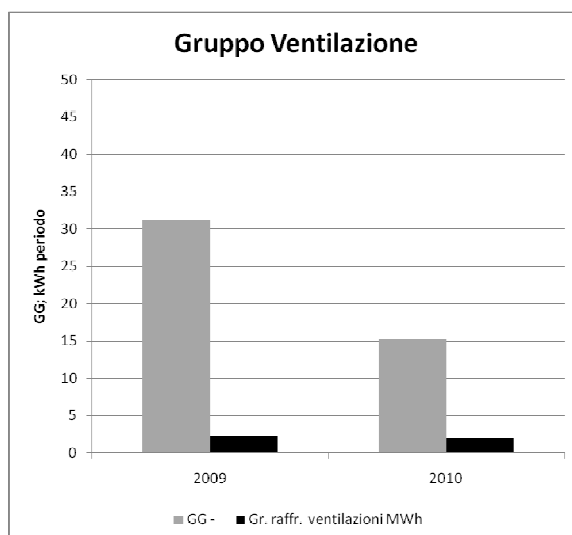
in più e con la stessa potenza del 2009, ci si aspetta che l'energia scambiata ogni giorno sia abbastanza simile, al più leggermente più alta nel 2010.



**Tabella 97 - Confronto tra l'energia ceduta dal gruppo delle batterie fredde della ventilazione e la temperatura media diurna nel 2009 e nel 2010**

Si osserva che nel 2009, quando le temperature esterne sono state più elevate, vi è stato un maggiore assorbimento di energia anche da parte del gruppo delle batterie fredde della ventilazione. Si vede che anche l'energia scambiata aumenta all'aumentare della temperatura media diurna dell'aria esterna.

Anche in questo caso si sono messi in relazione i Gradi Giorno con l'energia giornaliera scambiata dal gruppo delle batterie fredde della ventilazione.



**Grafico 80 - Correlazione tra Gradi Giorno e energia scambiata dal gruppo delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010**

Il gruppo delle batterie fredde della ventilazione ha scambiato:

	<b>kWh/GG</b>
<b>2009</b>	74
<b>2010</b>	136

Dal momento che il rapporto tra energia scambiata e Gradi Giorno è stato quasi doppio nel 2010 rispetto al 2009, l'energia scambiata dal gruppo delle batterie fredde della ventilazione non è proporzionale ai Gradi Giorno.

Nel 2010 il gruppo delle batterie fredde della ventilazione ha scambiato il 90% dell'energia rispetto al 2009, ma ha incrementato dell'85% l'energia scambiata rispetto ai Gradi Giorno.



## 9.4 Collettore freddo

Il collettore freddo, che serve il gruppo dei TABS e la batteria fredda della ventilazione, è alimentato dai pozzi nel 2009 e dalle sonde geotermiche nel 2010.

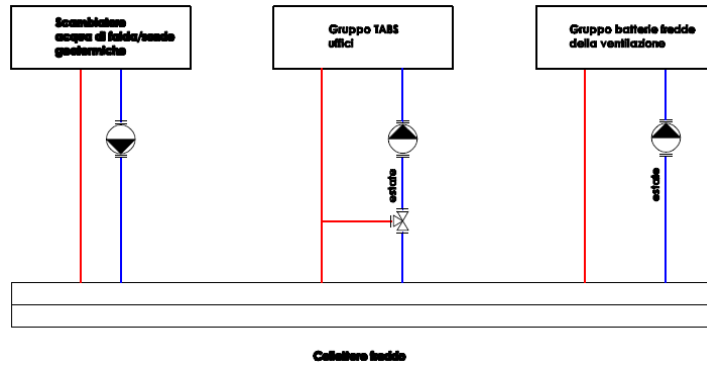


Figura 78- Scema collettore freddo

Si è calcolato quanto il collettore freddo scambia con l'edificio, cioè con i gruppi dei TABS e delle batterie fredde della ventilazione. La somma delle energie scambiate con i due gruppi permette di calcolare, a meno di perdite di distribuzione, la quantità di calore sottratta all'edificio.

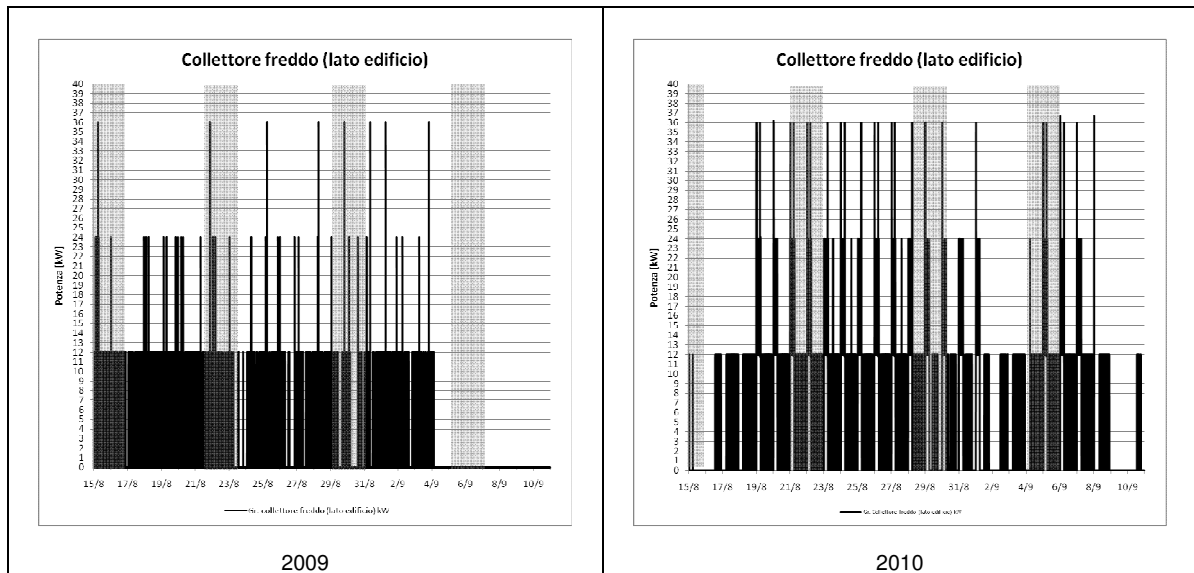
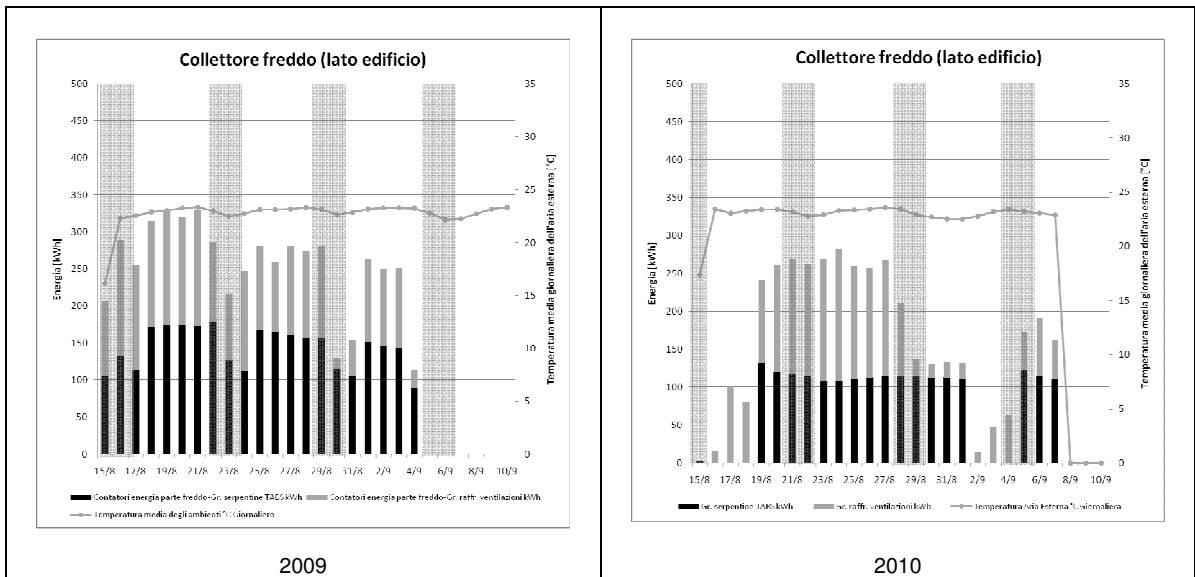


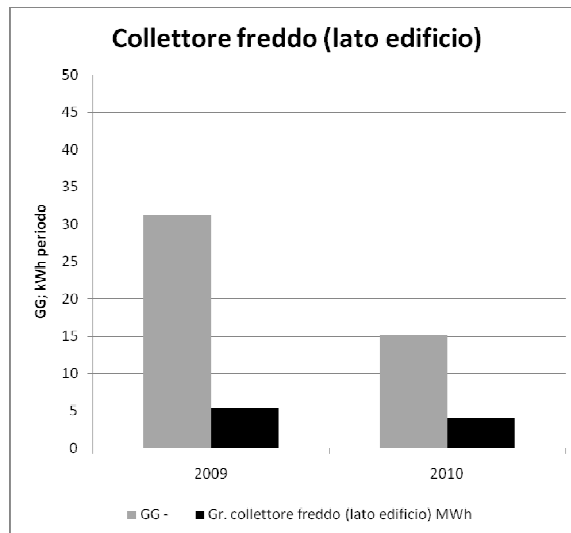
Tabella 98 - Confronto tra la potenza scambiata dal collettore freddo (lato edificio) nel 2009 e nel 2010



**Tabella 99 - Confronto tra l'energia scambiata dal collettore freddo (lato edificio) e la temperatura media diurna nel 2009 e nel 2010**

Si osserva che nel 2010, quando le temperature esterne sono state più elevate, c'è stato un maggiore assorbimento di energia da parte del collettore freddo, che ha quindi sottratto più calore all'edificio. Come nel caso del circuito delle batterie fredde della ventilazione, anche in questo caso l'energia scambiata aumenta all'aumentare della temperatura media diurna dell'aria esterna.

Anche in questo caso si sono messi in relazione i Gradi Giorno con l'energia quotidianamente scambiata dal collettore freddo.



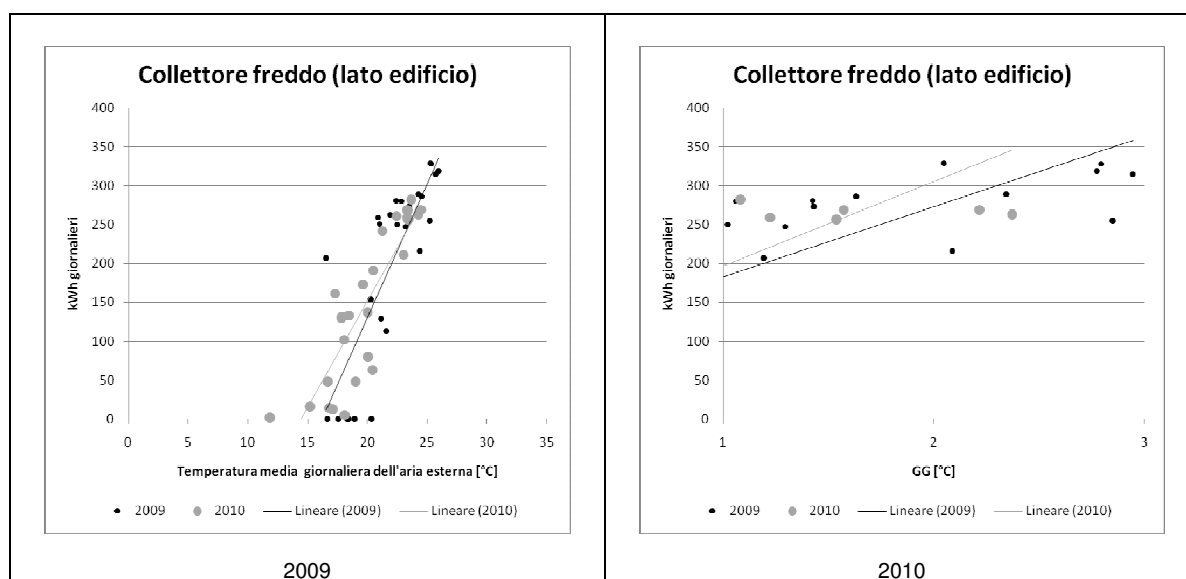
**Grafico 81 - Correlazione tra Gradi Giorno e energia scambiata dal collettore freddo (lato edificio) nel 2009 e nel 2010**

Il collettore freddo (lato edificio) ha complessivamente scambiato, tra TABS e ventilazione:

	kWh/GG
2009	171
2010	265

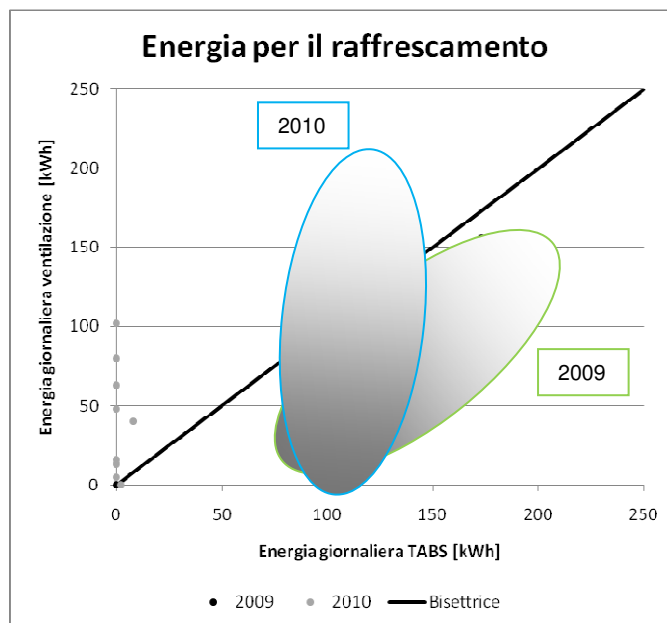
Nel 2010 il gruppo delle batterie fredde della ventilazione ha scambiato il 76% dell'energia rispetto al 2009, ma ha incrementato del 55% l'energia scambiata rispetto ai Gradi Giorno.

Si è poi cercata la correlazione tra l'energia complessivamente scambiata dal collettore freddo per raffrescare l'edificio e la temperatura media giornaliera dell'aria esterna e i Gradi Giorno.



**Tabella 100 - Correlazione tra energia scambiata dal collettore freddo (lato edificio) e temperatura media giornaliera dell'aria esterna e Gradi Giorno nel 2009 e nel 2010**

Le linee di tendenza delle due serie che mettono in relazione le temperature medie diurne dell'aria esterna con l'energia scambiata dal collettore freddo (lato edificio) nei due periodi hanno pendenze differenti. Nel 2009, a parità di temperatura media giornaliera dell'aria esterna, infatti, è stata scambiata più energia per temperature superiori ai 25°C, sotto tale soglia è stata maggiore l'energia scambiata nel 2010. Bisogna però tenere presente che i valori di temperatura media giornaliera dell'aria esterna sono stati inferiori nel 2010. Il confronto tra le linee di tendenza dell'energia in funzione dei Gradi Giorno ripresenta invece le conclusioni a cui si era già giunti. L'impianto di raffrescamento è cioè stato più attivo nel 2010 in relazione ai Gradi Giorno.



**Grafico 82 - Energia giornaliera per il raffrescamento nel 2009 e nel 2010**

Nel Grafico 82 si può osservare la ripartizione del carico di raffrescamento tra i TABS e ventilazione. Buona parte dei valori del 2010 vengono a trovarsi al di sopra della bisettrice. Dal momento che i TABS sono stati accesi per meno tempo, la ventilazione si è fatta carico di una porzione maggiore del carico termico. Nel 2009 è avvenuto il contrario. Il gruppo dei TABS, inoltre, nel 2010 o è stato spento o ha asportato giornalmente una quantità di calore compresa tra i 100 e i 125 kWh. La ventilazione e i TABS nel 2009 presentano invece una maggior dispersione di valori.

## 9.5 Bollitore per l'acqua calda sanitaria e collettore caldo

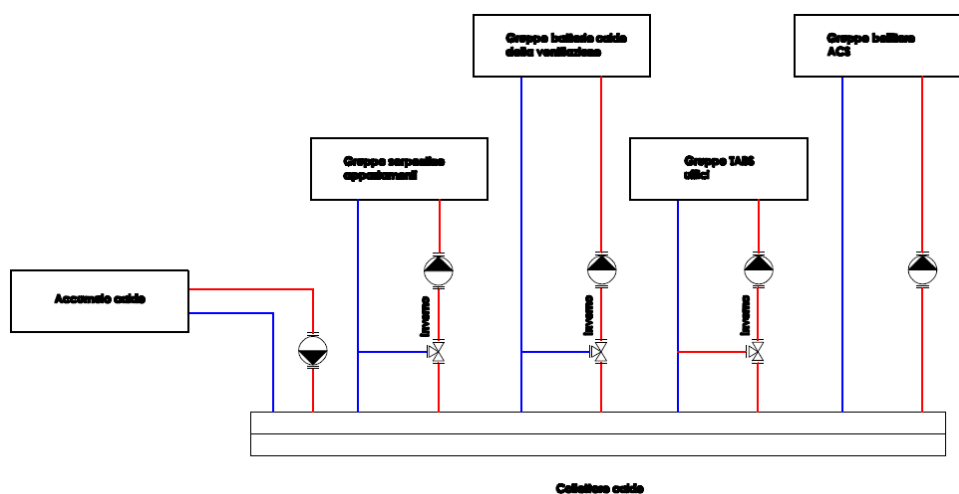


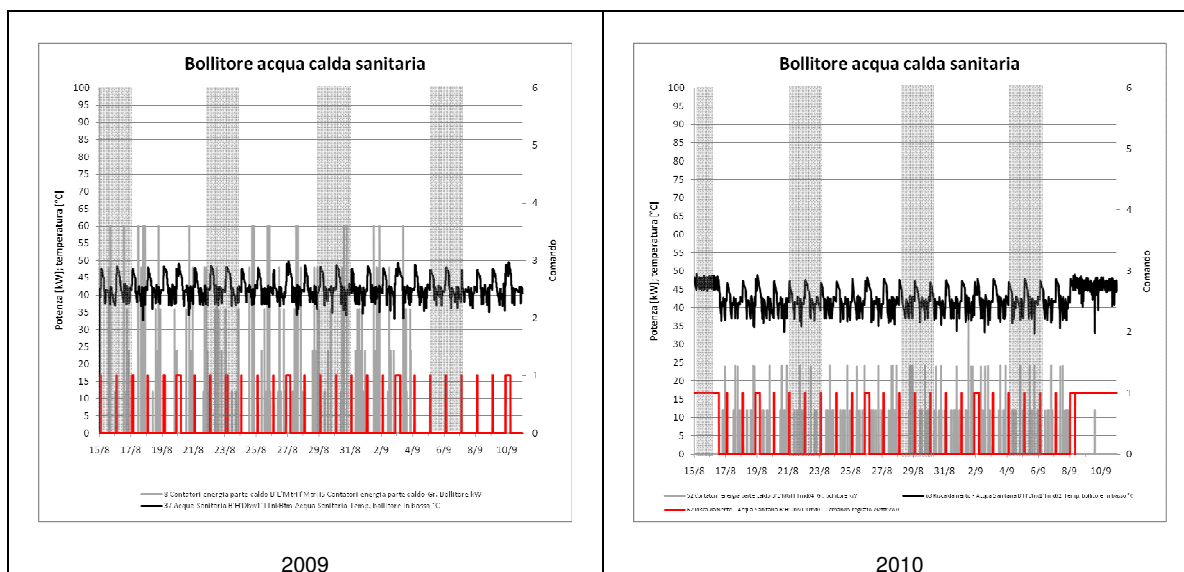
Figura 79 - Schema collettore caldo

Dal momento che non vi è post-riscaldamento nell'impianto di ventilazione, l'unico gruppo alimentato in estate dal collettore caldo è quello del bollitore dell'acqua calda sanitaria.

Questo è riscaldato in parte da uno scambiatore in cui scorre il fluido vettore proveniente dal collettore caldo ed in parte da una resistenza elettrica. A monte del collettore caldo vi è un accumulo caldo.

Da progetto, se la temperatura della sonda bassa del bollitore è minore di 40°C viene accesa la pompa di circolazione posta tra il collettore ed il bollitore; finché questa temperatura non raggiunge i 45°C, il circuito continua a caricare; alle 2 del mattino (anziché alle 4) la temperatura del bollitore viene portata a 50°C con l'ausilio della resistenza elettrica supplementare.

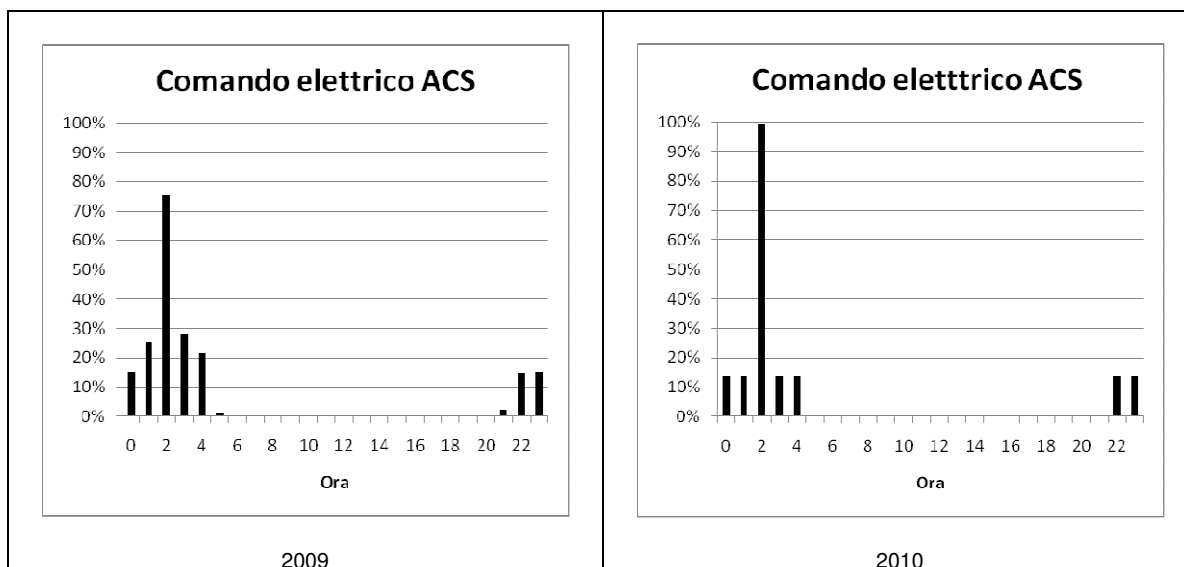
Poiché la richiesta di acqua calda sanitaria non dipende in maniera diretta dalle sollecitazioni climatiche esterne, ci si aspetta un comportamento sostanzialmente analogo nei due periodi.



**Tabella 101 - Confronto tra il funzionamento del bollitore nel 2009 e 2010**

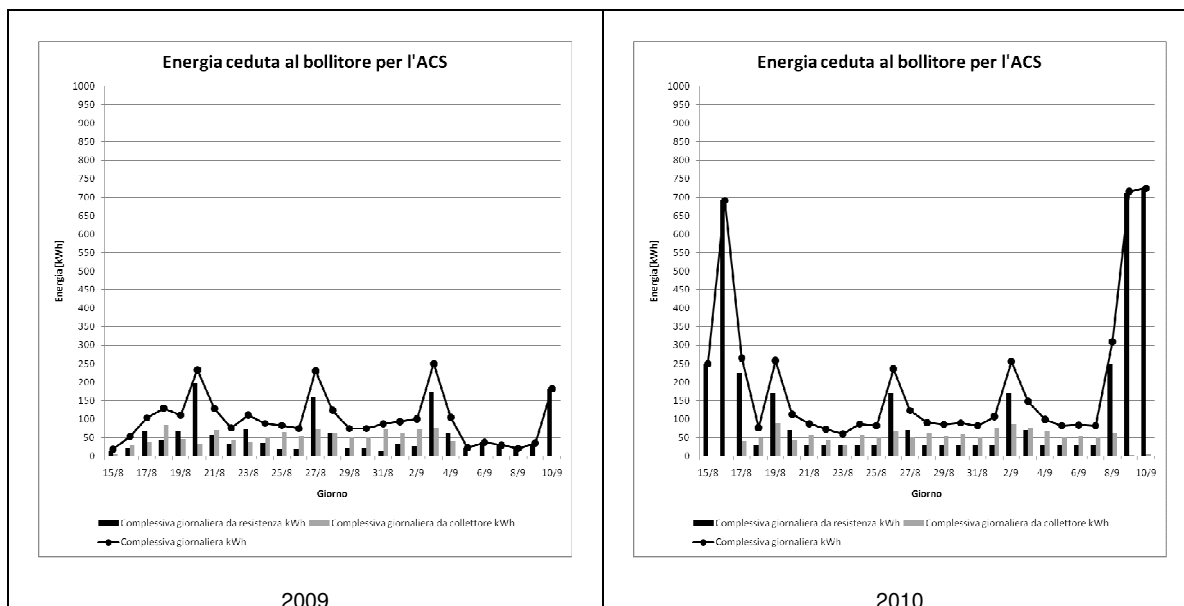
Nella Tabella 101 si osserva un'anomalia nell'andamento delle temperature dell'acqua nella parte bassa del bollitore nel 2010 all'inizio ed alla fine del periodo in esame; si nota inoltre che in corrispondenza di queste vi è l'assenza di potenza proveniente dal collettore caldo e l'unica fonte di calore risulta dunque essere la resistenza elettrica. I rilievi restanti restituiscono un andamento simile delle temperature nella parte bassa del bollitore, cioè quelle che comandano l'accensione e lo spegnimento della pompa di circolazione, e la potenza proveniente dal collettore raggiunge valori oltre che doppi nel 2009 rispetto al 2010 (picchi di 60 kW contro picchi di 24 kW). Purtroppo quest'ultima grandezza non è nota per gli interi periodi di monitoraggio.

Si è confrontato il funzionamento della resistenza elettrica del bollitore nei due periodi escludendo i giorni del 2010 in cui si sono riscontrate le anomalie.



**Tabella 102 - Confronto tra l'attivazione della resistenza elettrica del bollitore nel 2009 e nel 2010**

La resistenza elettrica interna al bollitore, che in teoria avrebbe dovuto funzionare per una sola ora alla settimana per il controllo della legionella, è stata in realtà accesa più a lungo. Questo è avvenuto in particolare nel 2009, anno in cui sono state rilevate anche potenze più elevate provenienti dall'accumulo. Si è ritenuto opportuno osservare anche l'andamento delle energie assorbite dal bollitore, poiché i valori rilevati dal monitoraggio hanno una cadenza di 5 minuti, che per questo tipo di analisi ha potuto portare ad erronee valutazioni delle potenze, che sono state valutate a partire dai valori noti dalle energie e degli intervalli di tempo.



**Tabella 103 - Confronto tra l'energia ceduta al bollitore nel 2009 e nel 2010**

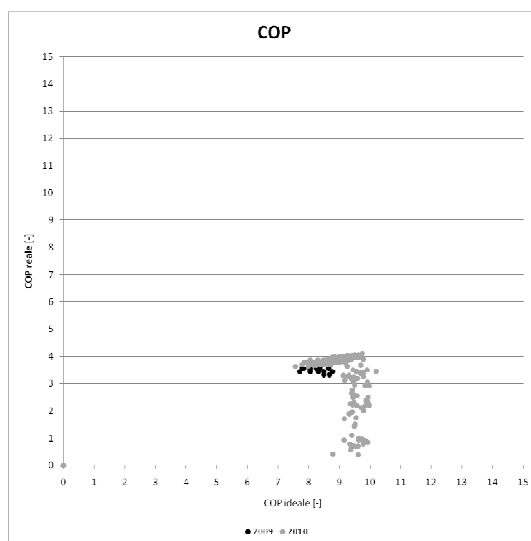
Il confronto precedente ha permesso di confermare che la resistenza elettrica è stata accesa per più tempo un solo giorno alla settimana per il controllo della legionella e che le energie cedute dal collettore e dalla resistenza hanno avuto un andamento simile nei due periodi, fatto salvo per la continua accensione della resistenza all'inizio e alla fine del monitoraggio del 2010.

## 9.6 Pompa di calore

La pompa di calore serve a riscaldare l'accumulo caldo collegato al rispettivo collettore. L'evaporatore assorbe energia dalla falda nel 2009 e dalle sonde geotermiche nel 2010. Sia nel 2009 sia nel 2010 il suo funzionamento è limitato a brevi istanti, per un totale di un'ora al giorno, ripartita tra circa 20 minuti durante il giorno e 40 durante la notte.

Si riassumono nel prospetto seguente le potenze rilevate con maggior frequenza nei due periodi in esame.

Potenza	2009	2010
Compressore [kW]	11.1	11.1
Evaporatore [kW]	20-30	30-40
Condensatore [kW]	30-40	40-50



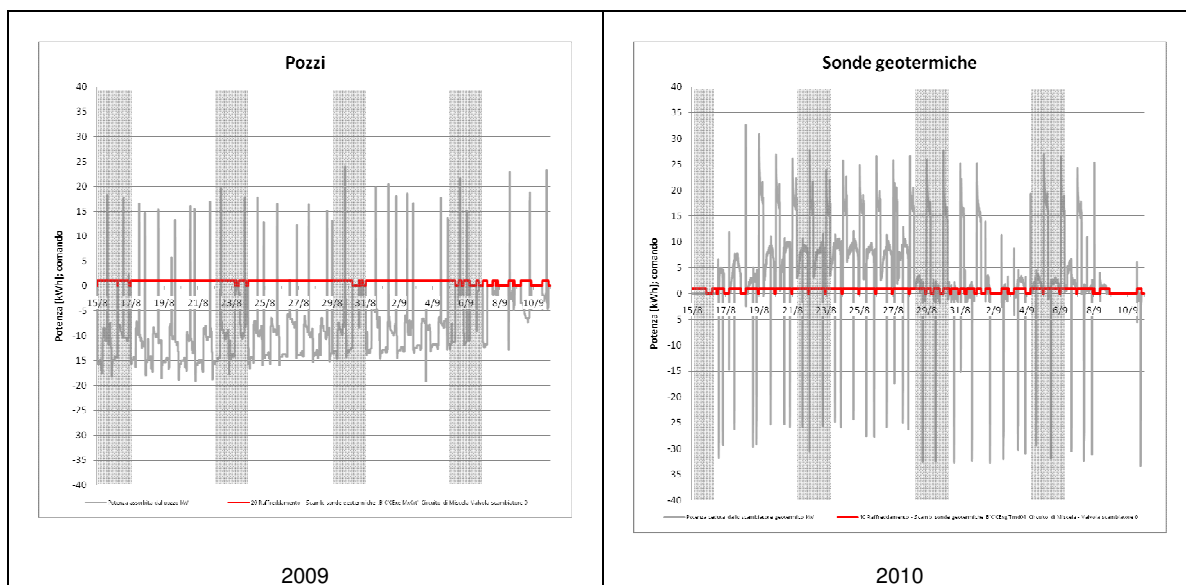
**Grafico 83 - COP della pompa di calore nel 2009 e nel 2010**

Per entrambi i periodi si sono calcolati COP reali generalmente compresi tra 3 e 4. Questi sono stati valutati come rapporto tra la potenza ceduta del condensatore e quella fornita al compressore nei momenti in cui sia il compressore sia l'evaporatore sia il condensatore erano attivi. Sotto le medesime condizioni si sono inoltre valutati i COP ideali, calcolati come  $T_{uscita\ condensatore} / (T_{uscita\ condensatore} - T_{ingresso\ evaporatore})$ . Dal grafico precedente si osserva che i COP reali sono meno della metà di quelli ideali per entrambi i periodi esaminati



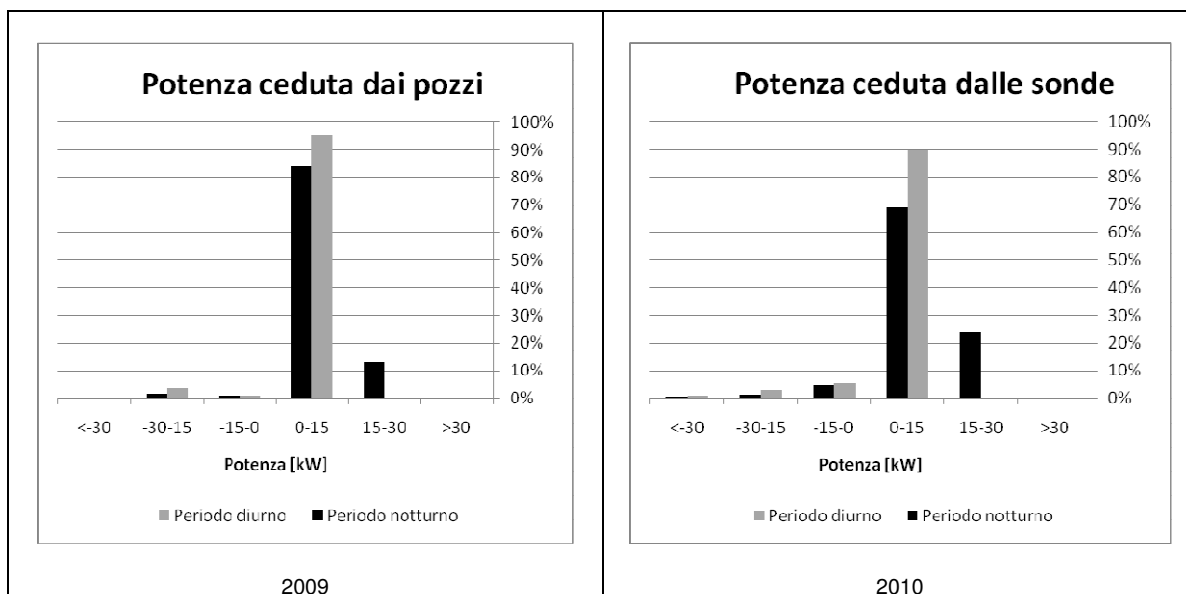
## 9.7 Pozzo e sonde geotermiche

I pozzi, nel 2009, e le sonde geotermiche, nel 2010, hanno scambiato energia con il collettore freddo e l'evaporatore della termopompa. Si riportano di seguito i grafici del funzionamento nei due periodi.



**Tabella 104 - Confronto tra il funzionamento dei pozzi nel 2009 e le sonde geotermiche nel 2010**

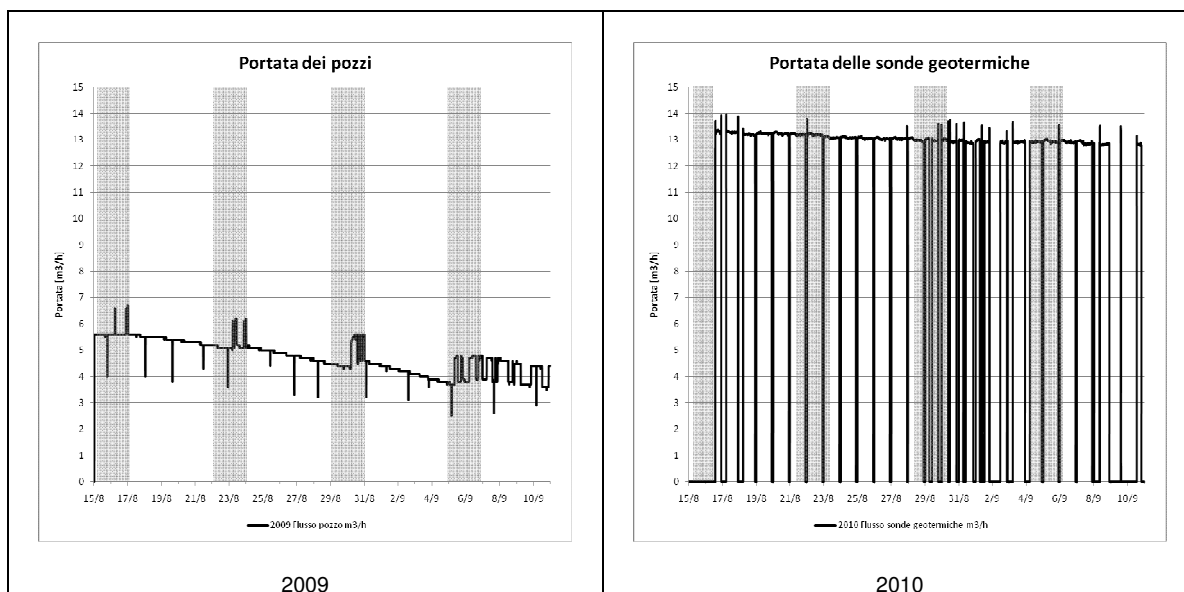
Nella tabella precedente si osserva lo stato dei pozzi e delle sonde e la potenza scambiata con il terreno. I valori di potenza positivi indicano che il terreno ha assorbito calore, quelli negativi che lo ha ceduto. Si nota immediatamente che le sonde possono raggiungere picchi di potenza maggiori (sia in positivo sia in negativo) rispetto ai pozzi.



**Tabella 105 - Confronto tra le potenze cedute dai pozzi nel 2009 e dalle sonde geotermiche nel 2010**

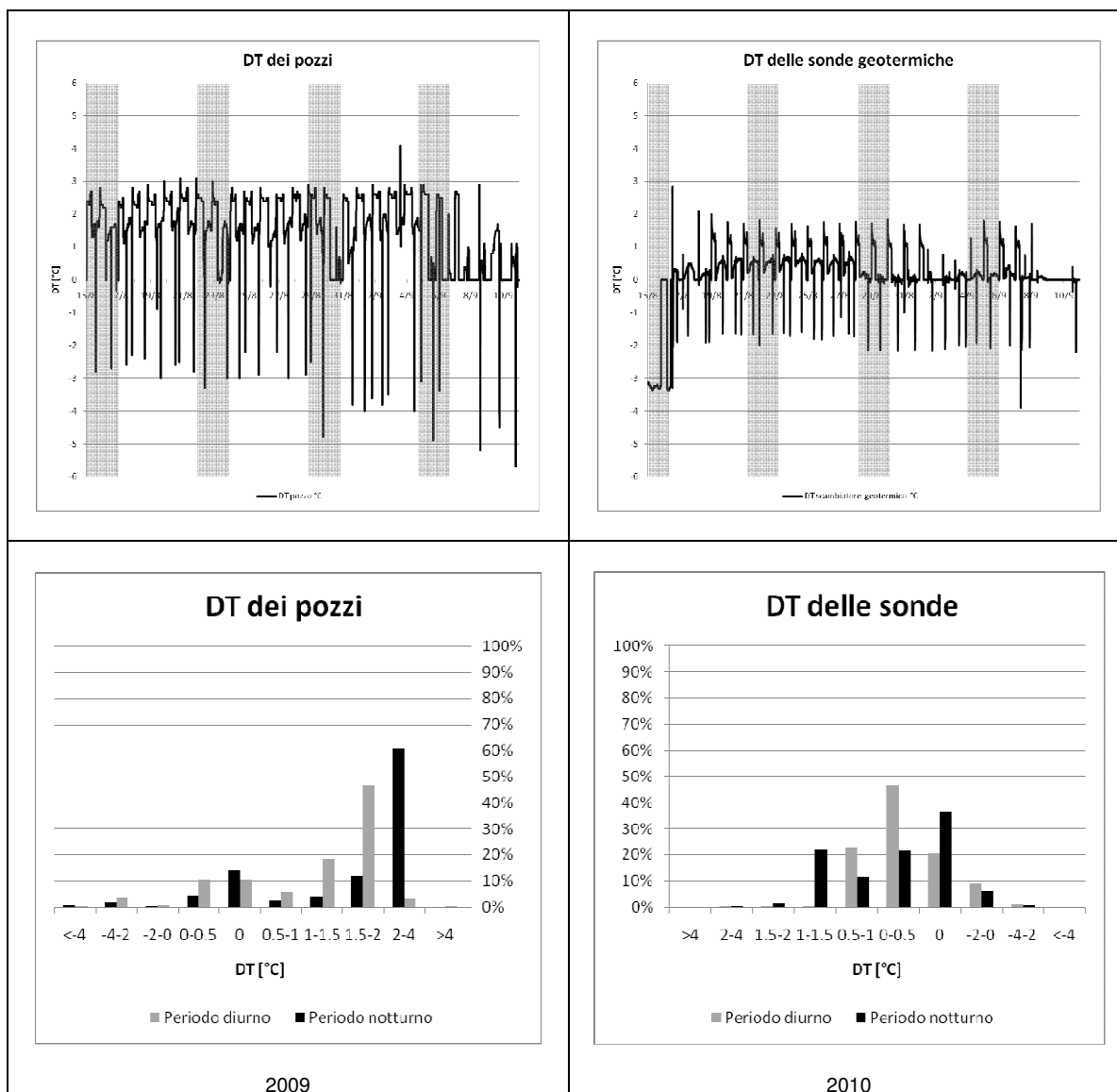
Sia i pozzi sia le sonde hanno ceduto per la maggior parte del tempo, sia durante il giorno sia durante la notte, una potenza compresa tra 0 e 15 kW. Nel periodo notturno hanno poi ceduto anche tra i 15 e i 30 kW e questi picchi sono stati raggiunti più spesso nel caso delle sonde. Queste ultime, tra l'altro, hanno raggiunto e superato i 35 kW mentre i pozzi si sono sempre tenuti al di sotto dei 20 kW.

Entrambe le soluzioni impiantistiche scambiano energia per mezzo di una massa fluente (acqua) che varia la sua temperatura. Si confrontano allora di seguito il calore specifico, il flusso e la variazione di temperatura delle due soluzioni impiantistiche.



**Tabella 106 - Confronto tra la portata dei pozzi nel 2009 e delle sonde nel 2010**

Vi è stato un notevole incremento del flusso di scambio, che è oltre che raddoppiato. Si è passati da un intervallo di lavoro compreso tra i 3 e i 7 m<sup>3</sup>/h per i pozzi ad uno di circa 13 m<sup>3</sup>/h per le sonde geotermiche. Le sonde sono state definitivamente attivate il 16 agosto 2010, per questo all'inizio del periodo esaminato la loro portata è nulla.

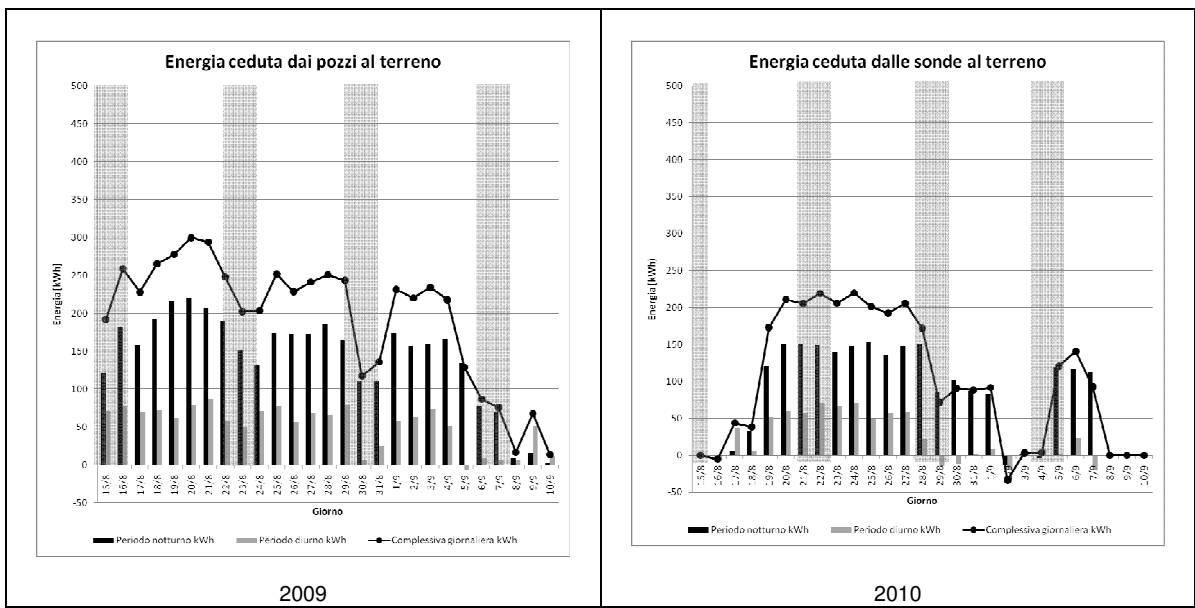


**Tabella 107 - Variazione di temperatura tra ritorno e mandata dei pozzi e delle sonde**

Dal grafico a dispersione si osserva che la variazione di temperatura nel caso dei pozzi è maggiore che in quello delle sonde. Negli istogrammi si nota poi che nel 2009, anno con pozzi e andamento prolungato dei TABS nel periodo notturno, la differenza è molto più alta nel periodo notturno, cioè quando sono in funzione i TABS.

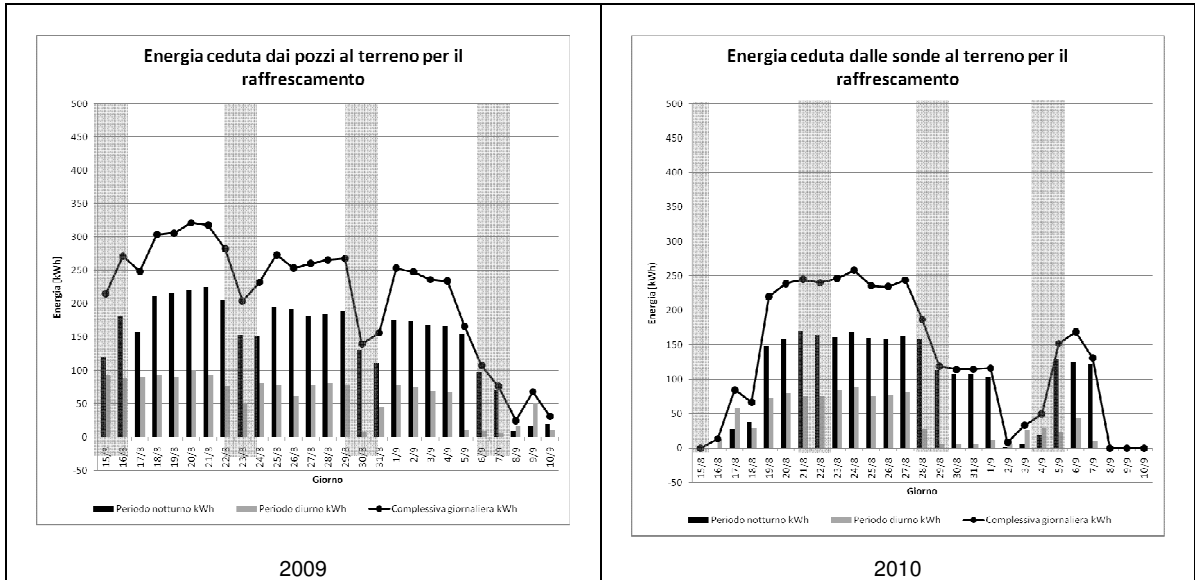
Le sonde geotermiche presentano variazioni di temperatura più contenute e anche per queste i valori maggiori si hanno durante l'attivazione dei TABS.

Si è calcolata poi l'energia ceduta al terreno dai pozzi nel 2009 e dalle sonde nel 2010.



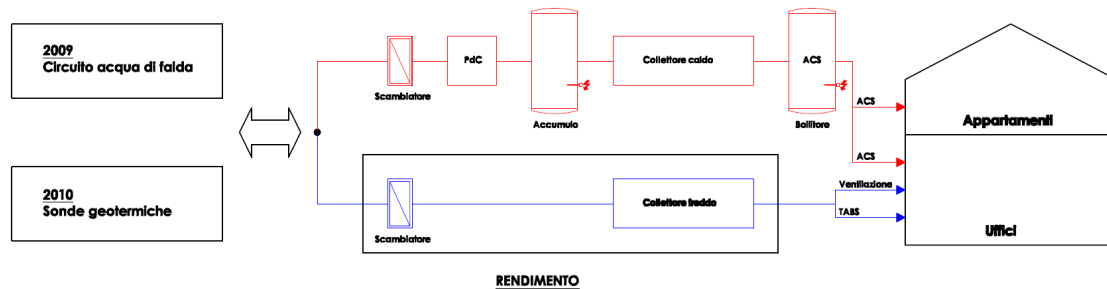
**Tabella 108 - Energia ceduta al terreno dai pozzi nel 2009 e dalle sonde nel 2010**

È evidente che i pozzi hanno ceduto al terreno molta più energia rispetto alle sonde. Si è calcolata anche l'energia ceduta al terreno per il solo raffrescamento.



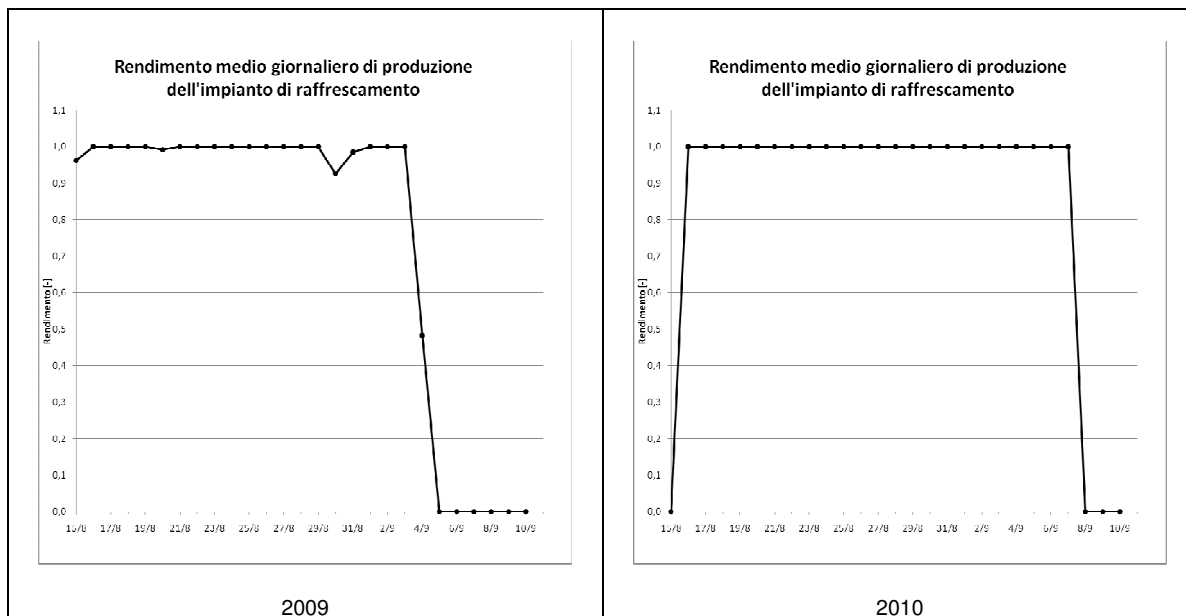
**Tabella 109 - Energia ceduta al terreno dai pozzi e dalle sonde per il raffrescamento**

L'energia ceduta al terreno per il solo raffrescamento è sostanzialmente analoga a quella complessiva, l'influenza della pompa di calore risulta quindi trascurabile in regime estivo.



**Figura 80 - Schema per il calcolo del rendimento di produzione dell'impianto di raffrescamento**

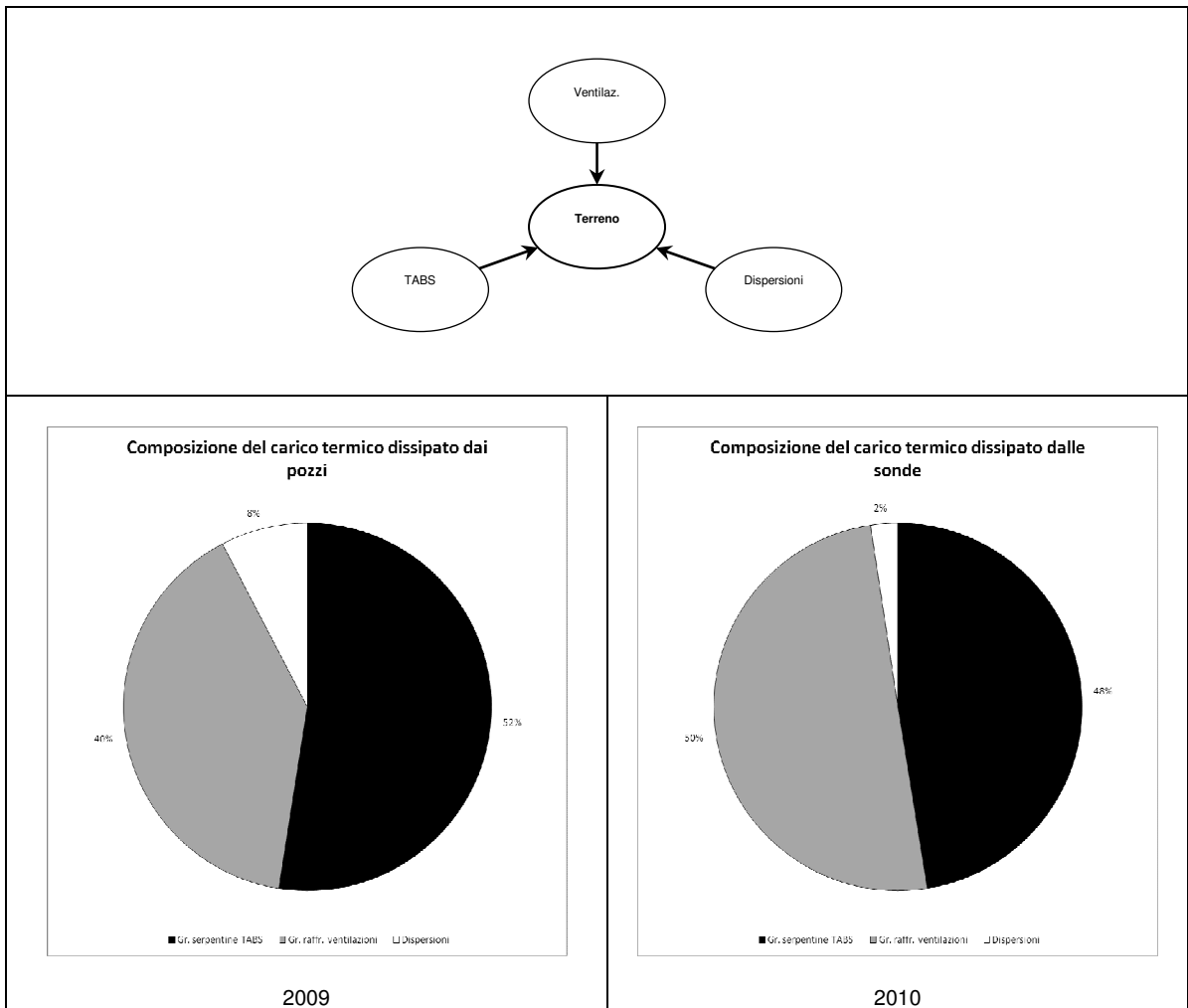
È stato infine calcolato il rendimento medio giornaliero di produzione dell'impianto di raffrescamento, valutato come rapporto tra l'energia assorbita dal collettore freddo e l'energia ceduta al terreno o all'acqua di falda. Non è stato possibile ragionare allo stesso modo per quanto riguarda il riscaldamento dell'acqua calda poiché, come si è già visto, nel riscaldamento entrano in gioco resistenze termiche aggiuntive.



**Tabella 110 - Rendimento medio giornaliero di produzione dell'impianto di raffrescamento**

Si è concluso che entrambe le configurazioni impiantistiche offrono un rendimento di produzione per il raffrescamento sostanzialmente unitario. Le sonde geotermiche, però, garantiscono una maggior costanza di funzionamento, infatti nel 2009 vi sono state delle giornate in cui il rendimento si è ridotto, mentre questo non è avvenuto nel 2010.

Il miglior rendimento dell'impianto con sonde geotermiche può essere visto anche dalle seguente tabella, in cui si nota la sostanziale riduzione delle dispersioni dal 2009 al 2010. Si precisa che l'entità di questa grandezza è stata dedotta a partire dalle energie note: quelle misurate dai contatori dei gruppi dei TABS, delle batterie fredde della ventilazione e quelle calcolate dei pozzi e delle sonde geotermiche.



**Tabella 111 – Confronto tra le composizioni dei carichi termici dissipati**

## **10. Conclusioni**

Si sono suddivise le osservazioni conclusive seguendo il percorso effettuato per l'analisi dello stabile.

### **10.1 Edificio**

Nel primo capitolo si è analizzato brevemente il contesto normativo secondo il quale è stato progettato l'edificio. Nel secondo capitolo si sono esaminati la geometria, i pacchetti costruttivi dell'involucro, i sistemi di protezione solare e gli scenari di occupazione. È la conoscenza di questi dati che permette la valutazione semplificata secondo normativa dei fabbisogni e dei carichi termici di progetto, che è stata sviluppata nel terzo capitolo ed è stata confrontata con i valori limite, verificando che l'edificio li rispetta. Nel quarto capitolo si sono infine descritte le tipologie impiantistiche ed il loro funzionamento. Quest'ultima premessa era necessaria per poter poi indagare i dati rilevati per mezzo del monitoraggio dell'impianto.

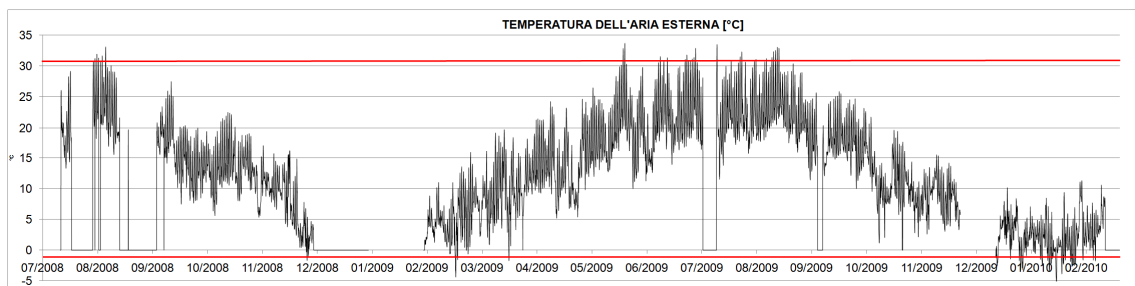
### **10.2 Sollecitazioni climatiche**

Nella seconda sezione dell'elaborato si è ripercorsa l'analisi dei dati a disposizione dal luglio 2008 al febbraio 2010.

Nel quinto capitolo si è descritto il sistema di monitoraggio, e si sono ricercati i periodi di calcolo significativi sulla base della frequenza dei dati disponibili dai vari sensori, che purtroppo non hanno funzionato in maniera continua.

Nel sesto capitolo si sono analizzate le sollecitazioni climatiche esterne registrate dalla stazione meteorologica posta sulla copertura dello stabile (temperatura e umidità relativa dell'aria esterna ed irradianza solare totale sul piano orizzontale )

Queste valutazioni sono state effettuate principalmente per illustrare il contesto climatico in cui è collocato l'edificio. Facendo riferimento al Grafico 84, che riporta in rosso le temperature di progetto di -1 °C e 31 °C, si nota che la temperatura dell'aria esterna oscilla tra un minimo di -5 °C rilevato nel mese di gennaio 2010, scelto apposta come periodo di riferimento per l'analisi invernale in quanto mese più freddo, e un massimo di 34 °C raggiunto in giugno, luglio e agosto 2009.



**Grafico 84 - Andamento della temperatura dell'aria esterna da luglio 2008 a febbraio 2010**

Per accertare l'affidabilità delle misure, l'andamento di ogni grandezza misurata in sito è stato inoltre confrontato con quello rilevato nella stazione meteorologica di Camignolo. Dal momento che gli scostamenti tra le due serie di rilievi sono risultati poco significativi, è stato possibile sostituire i dati mancanti delle misurazioni in situ con quelli registrati dalla stazione meteorologica.

Di rilevante importanza è stata anche la valutazione delle frequenze assolute e relative di raggiungimento e superamento delle condizioni di temperatura di progetto: in Tabella 112, Tabella 113 e Tabella 114 sono riportate, rispettivamente per gli anni 2008, 2009 e 2010, le frequenze relative delle ore in cui è avvenuto il campionamento rispetto alle ore totali del mese considerato e le frequenze assolute e relative indicanti le ore di campionamento in cui sono stati raggiunti e superati i valori di progetto ( $-1^{\circ}\text{C}$  e  $31^{\circ}\text{C}$ ). Si sono riportati solamente i mesi caratterizzati da frequenze di campionamento interessanti.

Frequenza relativa di campionamento 2008		Frequenza assoluta [h]				Frequenza relativa [%]			
		Text<-1°C	Text=- 1°C	Text=31°C	Text>31°C	Text<-1°C	Text=- 1°C	Text=31°C	Text>31°C
Lug	28%	0	0	0	4	0	0	0	2
Ago	36%	0	0	0	7	0	0	0	3

**Tabella 112 - Frequenza relativa di campionamento e frequenza assoluta e relativa di superamento dei valori di progetto dei mesi del 2008**

Frequenza relativa di campionamento 2009		Frequenza assoluta [h]				Frequenza relativa [%]			
		Text<-1°C	Text=- 1°C	Text=31°C	Text>31°C	Text<-1°C	Text=- 1°C	Text=31°C	Text>31°C
Feb	73%	13	0	0	0	3	0	0	0
Giu	100%	0	0	0	7	0	0	0	1
Lug	75%	0	0	0	13	0	0	0	2
Ago	100%	0	0	1	17	0	0	0	2
Set	90%	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov	100%	0	0	0	0	0	0	0	0
Dic	35%	19	2	0	0	7	1	0	0

**Tabella 113 - Frequenza relativa di campionamento e frequenza assoluta e relativa di superamento dei valori di progetto dei mesi del 2009**



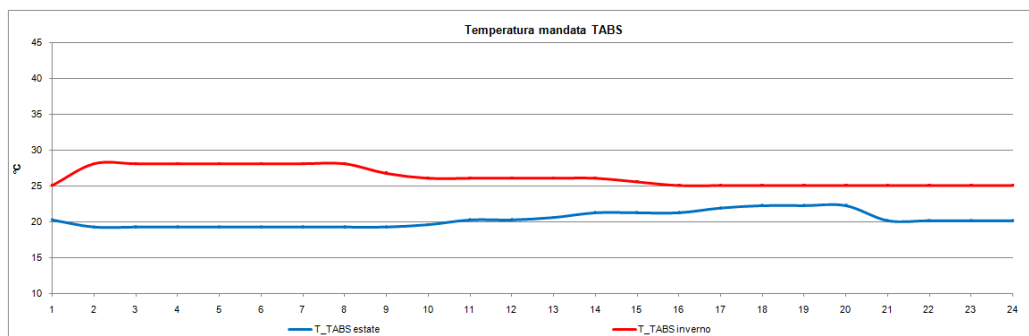
Frequenza relativa di campionamento 2010		Frequenza assoluta [h]				Frequenza relativa [%]			
		Text<-1°C	Text=- 1°C	Text=31°C	Text>31°C	Text<-1°C	Text=- 1°C	Text=31°C	Text>31°C
Gen	100%	101	5	0	0	14	1	0	0
Feb	71%	39	1	0	0	8	0	0	0

**Tabella 114 - Frequenza relativa di campionamento e frequenza assoluta e relativa di superamento dei valori di progetto dei mesi del 2010**

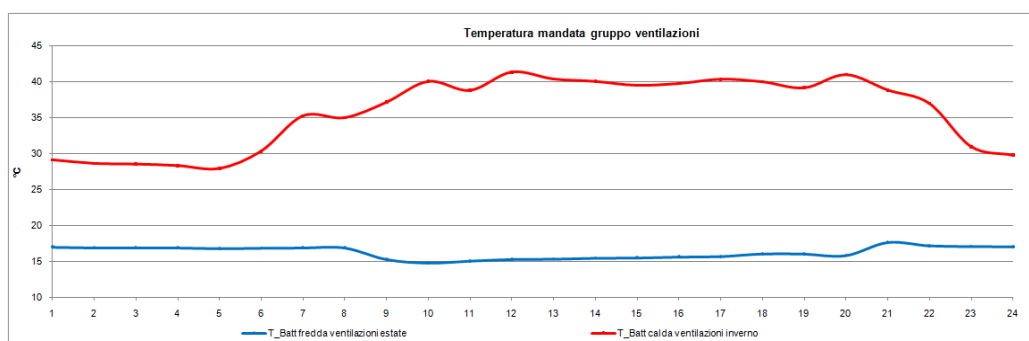
Si nota che nel mese di gennaio 2010, ritenuto il più freddo nell'intero periodo considerato, la temperatura ha raggiunto valori inferiori a -1°C per il 14% delle ore in cui sono stati effettuati i rilievi. Nei mesi di luglio ed agosto 2009, invece, solamente il 2% delle misurazioni ha assunto un valore superiore a 31°C.

### 10.3 Impianto e condizioni climatiche esterne

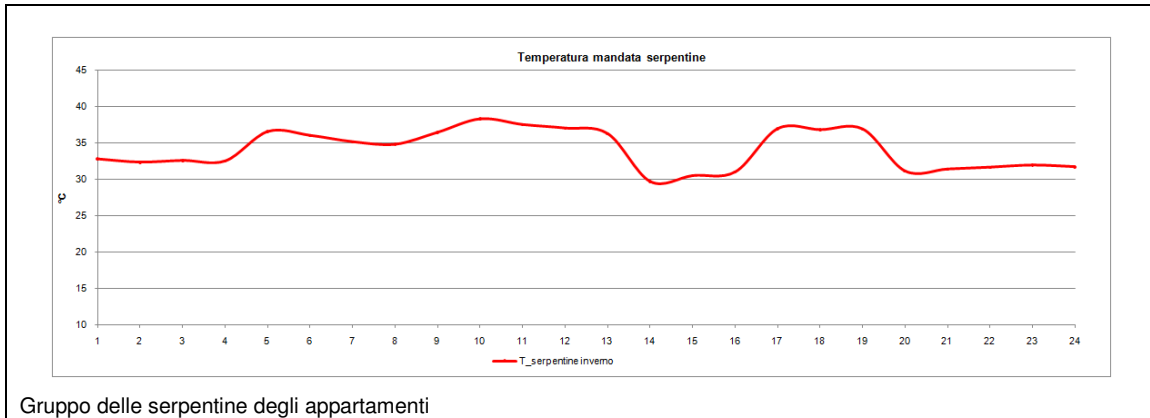
Si sono riportati gli andamenti giornalieri estivi ed invernali delle temperature di mandata del gruppo dei TABS, delle ventilazioni e delle serpentine degli appartamenti. Da essi è stato possibile dedurre anche gli orari di attivazione dei vari impianti.



Gruppo dei TABS



Gruppo delle ventilazioni



**Tabella 115 - Andamento giornaliero della temperatura di mandata dei gruppi**

Il gruppo TABS è stato attivato di notte, sia d'estate sia d'inverno, con una temperatura di mandata estiva intorno ai 20°C ed invernale di circa 27°C. Il gruppo della batteria fredda delle ventilazioni ha funzionato in estate di giorno con una temperatura prossima a 15°C e quello della batteria calda in inverno con acqua a una temperatura che arriva fino a 40°C. Il gruppo serpentine, adibito al solo riscaldamento degli appartamenti, ha registrato temperature di mandata di 35° - 38°C di giorno.

Come premesso, si sono potuti dedurre gli orari di funzionamento dei terminali di impianto in modalità estiva e invernale.

Ora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Orario ufficio																								
TABS																								
Ventilazione																								
Serpentile																								

**Grafico 85 - Programmazione operativa degli impianti nel periodo considerato**

Nel periodo invernale di riferimento il gruppo dei TABS è stato attivo per 9 ore, da mezzanotte alle 9:00 con picchi di potenza compresi tra i 40 e i 50 kW. Il gruppo delle ventilazioni è stato attivo per 18 ore, dalle 5:00 alle 23:00, ed ha raggiunto picchi di potenza compresi tra i 10 e i 15 kW. Le serpentine sono state accese per 14 ore, dalle 4:00 alle 14:00 e dalle 16:00 alle 20:00 e hanno registrato picchi di potenza compresi tra i 30 e i 40 kW. La potenza per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, infine, non ha mai superato i 10 kW. Il collettore caldo è quindi risultato attivo durante tutte le ore del giorno con picchi di potenza di 50-60 kW.

Nel periodo estivo di riferimento il gruppo dei TABS ha funzionato dalle 21:00 alle 9:00 per 12 ore, cioè 3 ore in più rispetto all'inverno con picchi di potenza compresi tra i 25 e i 30 kW. Il gruppo delle batterie fredde della ventilazione è invece stato attivo per 13 ore, 5 ore in meno rispetto al periodo invernale, dalle 8:00 alle 21:00 ed ha raggiunto picchi di potenza compresi

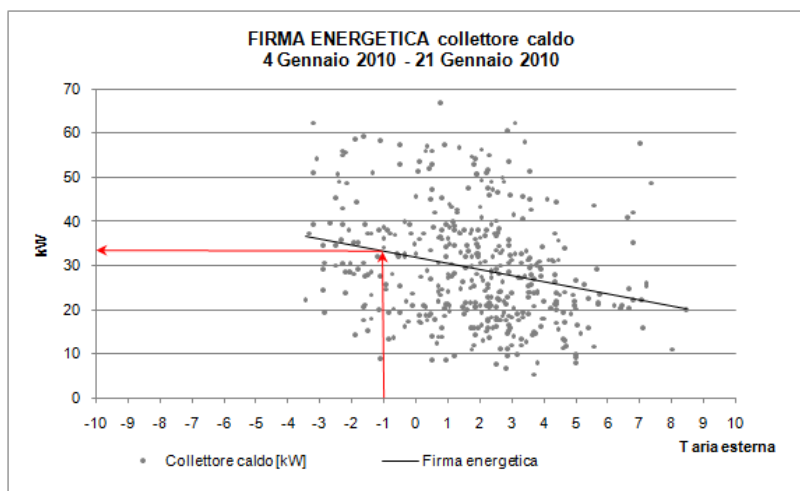
tra i 15 e i 20 kW. Anche il collettore freddo è quindi risultato attivo durante tutte le ore del giorno con picchi di potenza compresi tra i 25 ed i 30 kW.

Le potenze precedentemente indicate sono state lette sui grafici del paragrafo 7.1.3 e 7.1.4

Nell'approfondimento svolto da Caterina Gadda, la valutazione delle misure effettuate sul campo ha permesso di calcolare le effettive potenze richieste per raggiungere le condizioni di comfort interne impostate ed è stato quindi possibile ottenere la "firma energetica", che è una rappresentazione grafica di un consumo, come ad esempio il consumo di calore richiesto dal collettore caldo, in funzione di un parametro esterno, solitamente la temperatura [30]. Per mezzo della firma energetica è possibile controllare i consumi energetici, individuare eventuali disfunzioni e valutare l'incidenza dei cambiamenti nella gestione di un impianto al fine di ottimizzarne il funzionamento.

Solitamente le valutazioni sono basate su dati rilevati con intervalli mensili, settimanali o quotidiani e la durata del periodo di osservazione dipende dal grado di precisione desiderato e dalla disponibilità dei dati.

In questo caso si è deciso di effettuare, per l'analisi invernale, una valutazione oraria dal 4 gennaio al 21 gennaio 2010, ed è stata costruita una firma energetica considerando la richiesta di potenza del collettore caldo.

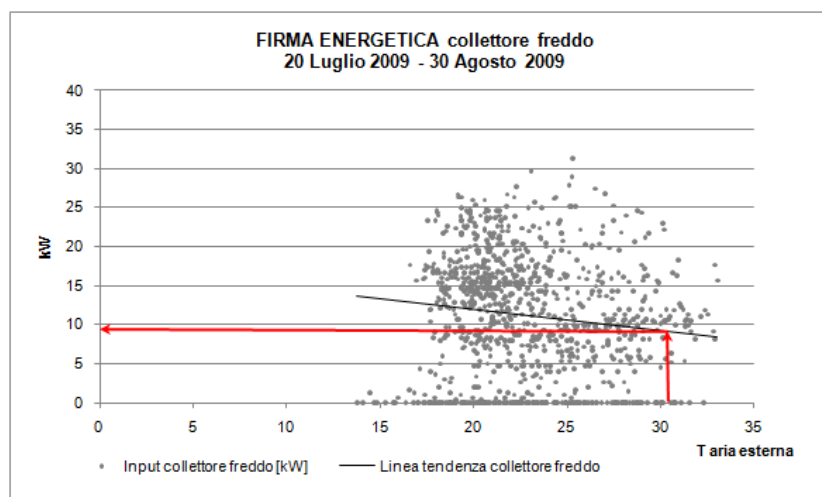


**Grafico 86 - Firma energetica del periodo invernale valutata in corrispondenza del collettore caldo**

Il Grafico 86 illustra la firma energetica del periodo invernale considerato valutata in corrispondenza del collettore caldo. Essa infatti presenta in ascissa la temperatura dell'aria esterna ed in ordinata la potenza richiesta dal collettore caldo. È possibile innanzi tutto osservare che la linea di tendenza del diagramma a dispersione ha un'inclinazione tale per cui, all'aumentare della temperatura esterna, è stata rilevata una ragionevole diminuzione della richiesta di potenza da parte del collettore caldo. Si nota inoltre che in corrispondenza della temperatura esterna di progetto utilizzata nel calcolo del carico invernale secondo la SIA 384-201:2003, pari quindi a  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la potenza effettiva rilevata risulta circa 35 kW mentre da progetto

erano stati previsti 60 kW con il metodo della SIA 384. Dalla rappresentazione grafica del consumo del collettore caldo in funzione della temperatura esterna si nota inoltre che vengono raggiunti picchi di potenza per il riscaldamento compresi tra 60 kW e 65 kW e si è potuto, quindi, constatare che i consumi reali dell'edificio ricadono nel campo della normativa.

Per quanto riguarda l'analisi del funzionamento estivo, è di seguito riportata la firma energetica valutata in corrispondenza del collettore freddo relativa al periodo che va dal 20 luglio 2009 al 30 agosto 2009:



**Grafico 87 - Firma energetica del periodo estivo valutata in corrispondenza del collettore freddo**

Osservando il Grafico 87 si nota immediatamente che la linea di tendenza del collettore freddo assume un'inclinazione insolita, tale per cui all'aumentare della temperatura esterna si assiste alla diminuzione della richiesta di potenza da parte del collettore destinato all'erogazione del freddo. Questo è dovuto al fatto che il gruppo TABS, il terminale impiantistico che richiede una maggiore quota parte di potenza per il raffrescamento degli uffici, è attivato nelle ore notturne quando la temperatura dell'aria esterna è minore rispetto ai valori raggiunti durante il dì.

Si osserva che in corrispondenza della temperatura esterna di progetto utilizzata nel calcolo del carico estivo secondo la SIA 70 e il metodo Carrier, pari quindi a 31 °C, la potenza effettiva rilevata risulta di circa 10 kW, mentre da progetto erano stati previsti 28 kW con il metodo Carrier e 31 kW con il metodo della SIA 70. Inoltre, bisogna notare che il picco di potenza massima rilevata raggiunge il valore di 30 kW [18].

Dopo aver analizzato i consumi invernali ed estivi effettivamente registrati, risulta quindi possibile effettuare un confronto con le potenze calcolate attraverso i metodi di calcolo normativi e con le potenze installate.

Per "potenza installata" per il riscaldamento si intende la taglia della pompa di calore, mentre per il raffrescamento si intende la potenza ottenuta sotto le ipotesi nominali di flusso e temperatura di prelievo dell'acqua di falda ed efficienza dello scambiatore SC1.

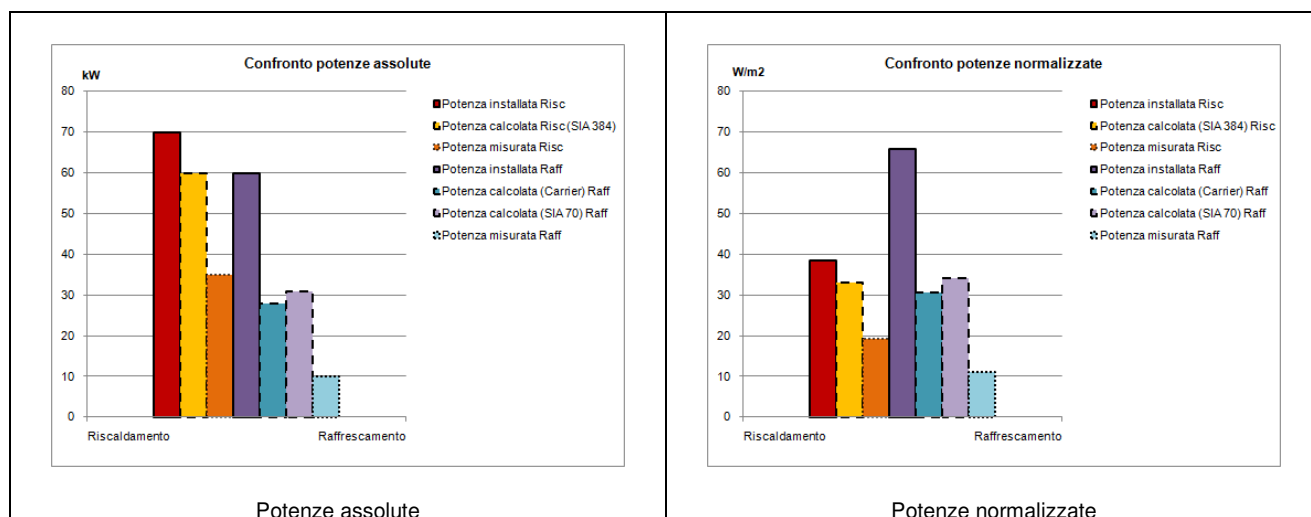
Per “potenza calcolata” ci si riferisce ai valori ottenuti in seguito all’applicazione delle norme descritte in precedenza: per il riscaldamento la SIA 384-201 e per il raffrescamento il metodo Carrier e la procedura della SIA 70.

Per “potenza misurata” si fa riferimento al valore di potenza ottenuto entrando nel grafico della firma energetica invernale ed estiva con le temperature esterne di progetto; non è quindi il massimo valore registrato dalle misure, ma un valore appartenente all’andamento medio dell’intero sistema.

Nella Tabella 116 per ogni grandezza è riportato il valore assoluto di potenza ed il valore normalizzato rispetto alla superficie netta.

	Area netta	Potenza installata		Potenza calcolata		Potenza misurata	
	[m <sup>2</sup> ]	[kW]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kW]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kW]	[W/m <sup>2</sup> ]
Riscaldamento (uffici e appartamenti)	912+904	70	39	60 (SIA384-201)	33 (SIA384-201)	35	20
Raffrescamento (uffici)	912	60	66	28 (Carrier) 31 (SIA70)	31 (Carrier) 34 (SIA70)	10	11

**Tabella 116 - Confronto tra potenze installate, potenze calcolate e potenze misurate assolute e normalizzate per il riscaldamento ed il raffrescamento**



**Tabella 117 - Confronto tra potenze installate, potenze calcolate e potenze misurate per il riscaldamento ed il raffrescamento**

Nella Tabella 117 sono riproposti i valori della Tabella 116 in istogrammi per avere un’idea immediata del confronto tra le potenze rispettivamente assolute e normalizzate rispetto alla superficie netta. Prendendo come valore di riferimento per il riscaldamento la potenza calcolata dalla SIA 384-201 e per il raffrescamento la media tra il valore ottenuto con il metodo Carrier e con la SIA 70, si può notare che la potenza installata per il riscaldamento è superiore a quella calcolata del 17%, mentre la potenza effettivamente misurata per il riscaldamento risulta pari al 60% di quella calcolata; per quanto riguarda il raffrescamento, invece, la potenza installata

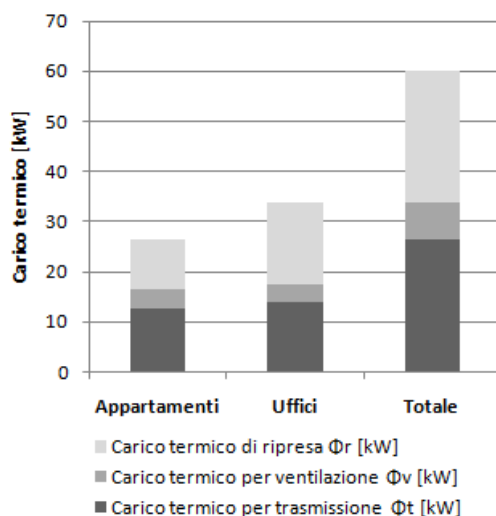
risulta il doppio di quella calcolata mentre la potenza rilevata in situ dal monitoraggio corrisponde al 35% della potenza calcolata.

Bisogna precisare che l'accostamento tra le potenze calcolate e quelle misurate non è un confronto diretto, poiché nelle misure non si considera un momento di picco ma un valore appartenente alla linea di tendenza.

Risulta necessario, quindi, fornire delle delucidazioni a riguardo delle condizioni al contorno applicate nelle metodologie di calcolo e dei componenti più influenti nella valutazione delle potenze.

Per quanto riguarda il calcolo della potenza per il riscaldamento, si ripropone di seguito il

**Grafico 4 - Carico termico di riscaldamento.**

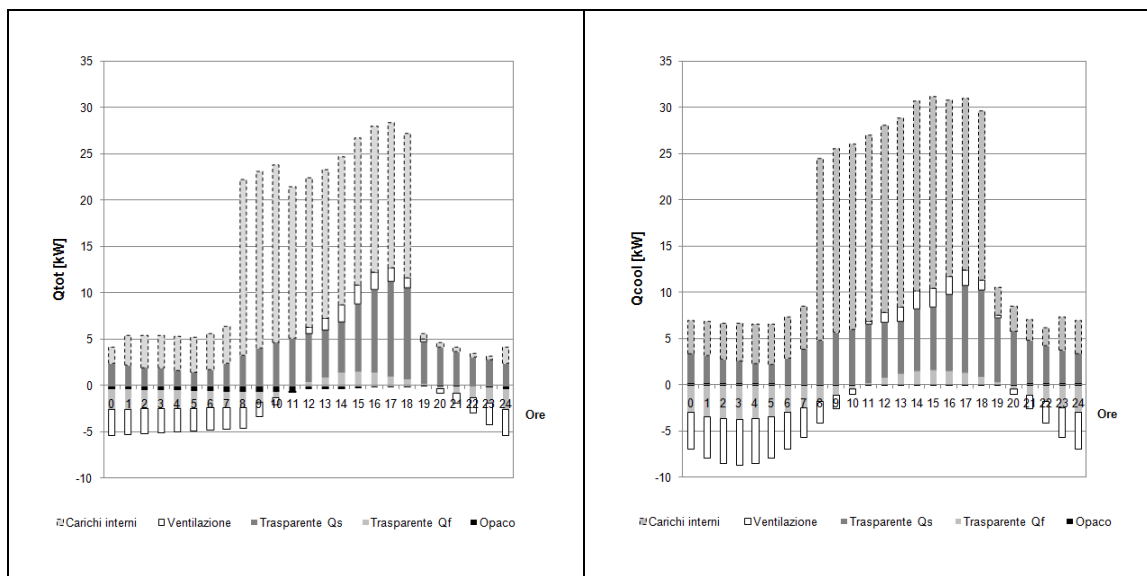


È evidente che la componente relativa alla ventilazione è quella meno influente sul carico termico totale, mentre le componenti di trasmissione (degli elementi opachi, trasparenti e dei ponti termici) e di ripresa (legata alla destinazione d'uso ed alla superficie netta considerata) sono più significative.

Questo significa che il calcolo del carico termico totale per il riscaldamento risulta strettamente collegato alle superfici disperdenti, alle loro proprietà (trasmittanza degli elementi opachi, trasparenti e risoluzione dei ponti termici) ed alla differenza di temperatura tra l'ambiente interno e quello esterno.

Il confronto tra il valore di potenza misurato nella firma energetica invernale in corrispondenza della temperatura esterna di progetto e il valore calcolato è quindi significativo.

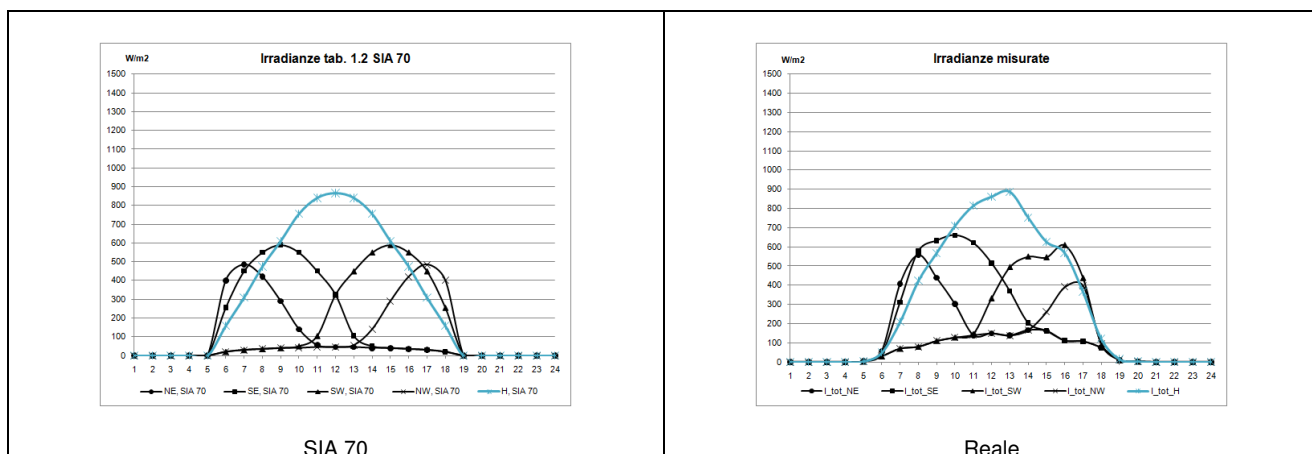
Per quanto riguarda invece il confronto estivo si fa riferimento alla **Tabella 23 - Confronto tra Qcool [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70** sotto riportata.



Le componenti più incidenti nel calcolo del carico termico ottenuto da entrambi i metodi sono i carichi interni  $Q_i$  (legati al numero di utenti, di apparecchiature ed all'illuminazione) ed il carico solare interno  $Q_s$  (connesso al fattore solare e alle superfici degli elementi vetrati, alla tipologia di schermatura dei serramenti, al fattore di accumulo e all'irradianza solare totale per ogni esposizione).

Dal momento che i carichi interni nel calcolo normativo sono stati supposti seguendo le reali condizioni di utilizzo (numero di utenti e di apparecchiature degli uffici) e ipotizzando una verosimile potenza al metro quadrato relativa all'illuminazione, risulta quindi di sostanziale importanza confrontare l'irradianza solare applicata nella normativa e quella effettivamente misurata in situ.

Per il calcolo della potenza di raffrescamento con la SIA 70 e con il metodo Carrier sono stati utilizzati come input i valori di trasmittanza medi orari delle superfici vetrate riportati nella tabella 1.2 della SIA 70 stessa e riprodotti nella tabella seguente, dove vengono confrontati con quelli misurati.



**Tabella 118 - Confronto tra l'andamento dell'irradianza [W/m<sup>2</sup>] riportata nella tabella 1.2 della SIA 70 e quella misurata in situ per ogni esposizione considerata**

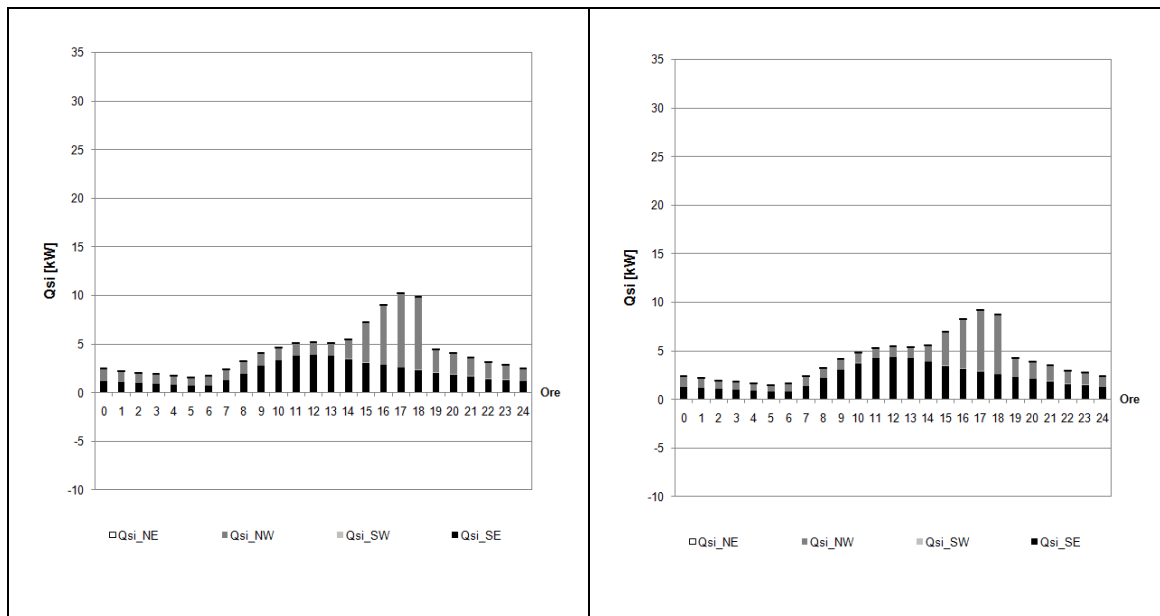
Si osserva che per la SIA 70 l'irradianza solare totale sul piano orizzontale raggiunge un valore massimo di 865 W/m<sup>2</sup> alle ore 12:00, mentre gli andamenti dell'irradianza solare relativa alle altre esposizioni risultano speculari rispetto alle ore 12:00 e raggiungono il proprio picco in serata, se relativi ad un'esposizione verso Ovest, e in mattinata, se verso Est. Si è deciso di prendere in considerazione il giorno appartenente al periodo estivo considerato (dal 20 luglio 2009 al 30 agosto 2009), caratterizzato dalla massima irradianza solare totale sul piano orizzontale: nelle ore in cui il rilievo in situ non è stato registrato, sono stati inseriti i valori misurati dalla stazione meteorologica di Camignolo. Dal valore massimo di irradianza solare totale sul piano orizzontale (pari a 896 W/m<sup>2</sup> e registrata alle ore 12:00 del 28 luglio 2009) sono stati poi ricavati i valori delle irradianze solari totali, relative alle esposizioni considerate.

A differenza dell'andamento delle irradianze della SIA 70, si nota che l'andamento reale non risulta né regolare né simmetrico rispetto alle ore 12:00; i valori massimi raggiunti dalle irradianze relative alle esposizioni SE e SW, rispettivamente di 660 W/m<sup>2</sup> e 600 W/m<sup>2</sup>, risultano confrontabili con i valori della SIA. Dal momento che l'edificio in esame presenta la maggior parte delle aperture sui lati SudEst e NordOvest, è rilevante effettuare un confronto tra le irradianze relative a queste esposizioni: il picco dell'irradianza solare totale a SudEst rilevata in situ risulta di poco superiore a quello riportato nella norma, mentre l'irradianza totale a NordOvest misurata sul posto, raggiungendo un picco di 400 W/m<sup>2</sup>, presenta un andamento molto simile a quello della normativa che arriva fino a 500 W/m<sup>2</sup>.

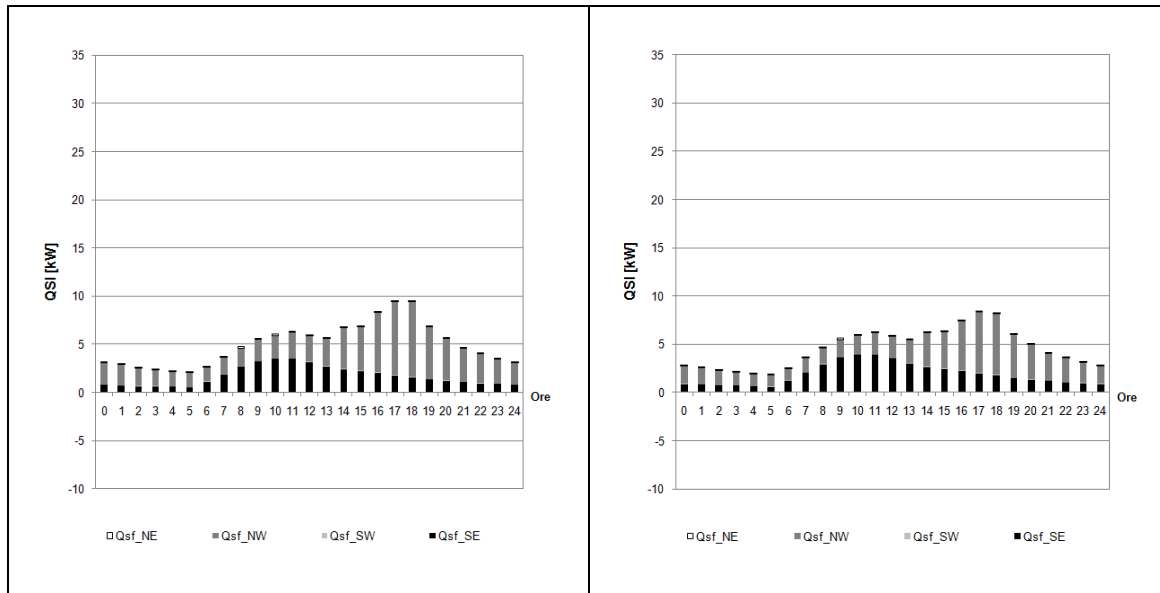
Sulla base di questo confronto tra le irradianze fornite dalla norma SIA 70 e le irradianze misurate in situ, si è deciso di effettuare nuovamente il calcolo del carico termico estivo attraverso la procedura della SIA 70 e del metodo Carrier, utilizzando come input le irradianze solari totali per le varie esposizioni effettivamente rilevate sul posto, con l'obiettivo di valutare l'incidenza delle irradianze reali sul carico termico estivo rispetto a quelle della normativa.



Vengono di seguito riportate le tabelle che illustrano il confronto tra i  $Q_s$  calcolati tramite il metodo Carrier e per mezzo della procedura della SIA 70 utilizzando le irradianze da normativa e le irradianze reali:



**Tabella 119 - Confronto tra  $Q_s$  [kW] calcolato attraverso il metodo Carrier con le irradianze da normativa e con le irradianze reali**



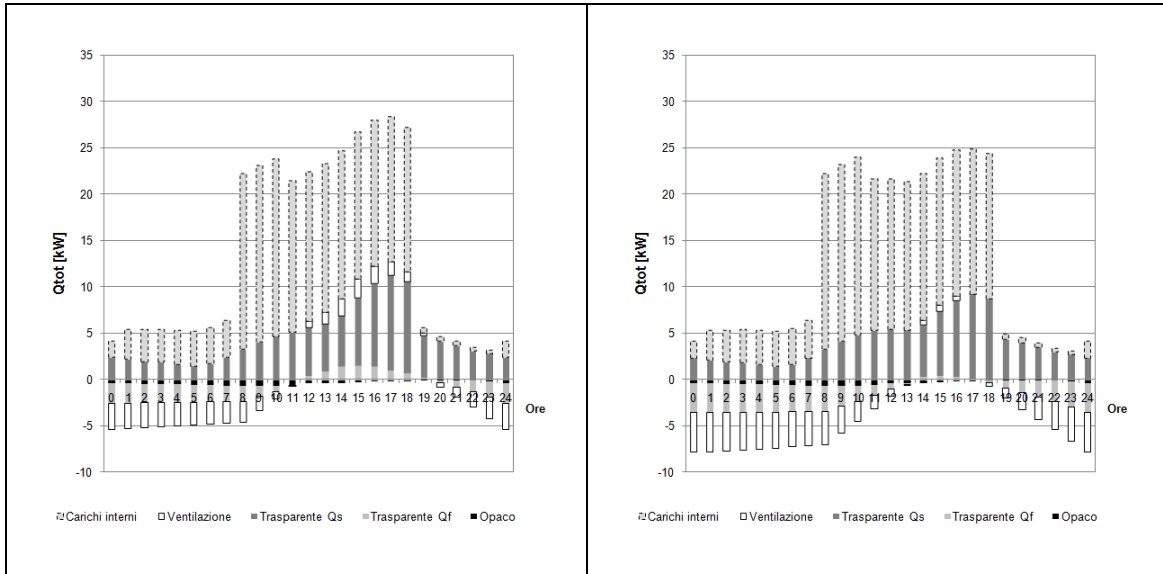
**Tabella 120 - Confronto tra  $Q_s$  [kW] calcolato attraverso la procedura della SIA 70 con le irradianze da normativa e con le irradianze reali**

Dalla Tabella 120 e dalla Tabella 121 si osserva, in primo luogo, che le componenti più influenti riguardano le esposizioni SudEst e NordOvest in quanto caratterizzate da un numero maggiore di aperture. Dato che l'irradianza solare totale a NordOvest misurata in situ risulta minore

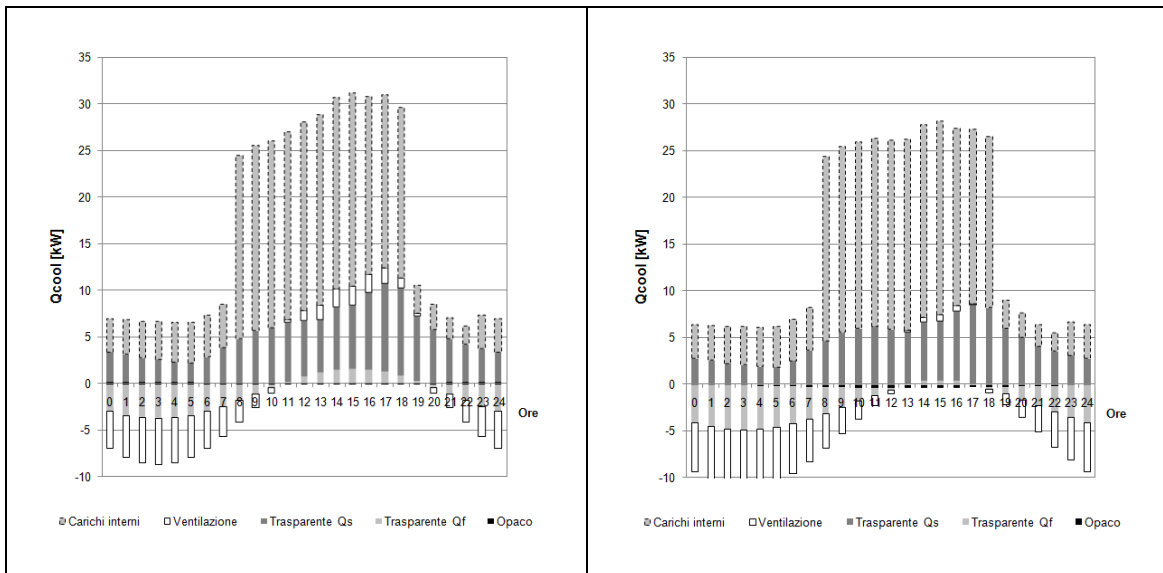
rispetto alla normativa di circa  $100 \text{ W/m}^2$ , si nota che, in entrambi i metodi, nelle ore serali tra le 16:00 e le 19:00 il carico solare è ragionevolmente diminuito.

Essendo lo scostamento tra l'irradianza solare totale a SudEst misurata e quella da normativa sostanzialmente nullo, si osserva che il contributo relativo all'irradianza solare totale di questa esposizione, riportata in nero, è pressoché analogo in entrambi i casi.

Di seguito è riportato lo stesso confronto ma relativo al  $Q_{\text{cool}}$ :



**Tabella 121 - Confronto tra  $Q_{\text{cool}}$  [kW] calcolato attraverso il metodo Carrier con le irradianze da normativa e con le irradianze reali**



**Tabella 122 - Confronto tra  $Q_{\text{cool}}$  [kW] calcolato attraverso la procedura della SIA 70 con le irradianze da normativa e con le irradianze reali**

Dalla Tabella 121 e dalla Tabella 122, in cui sono riportati i grafici di confronto relativi a  $Q_{cool}$ , ottenuti attraverso il metodo Carrier e la procedura della SIA 70, si nota che il cambiamento dell'input delle irradianze solari, in entrambi i casi, ha fatto diminuire il contributo di  $Q_s$ , relativo al carico solare interno, in particolar modo tra le 12:00 e le 18:00. Il carico estivo totale di picco tuttavia risulta leggermente diminuito e vale infatti 25 kW secondo il metodo Carrier e 28 kW secondo la procedura della SIA 70.

	Input: irradianze secondo la SIA 70	Input: irradianze rilevate in situ
	[kW]	[kW]
Carrier	28	25
SIA 70	31	28

	Input: irradianze secondo la SIA 70	Input: irradianze rilevate in situ
	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]
Carrier	31	27
SIA 70	34	31

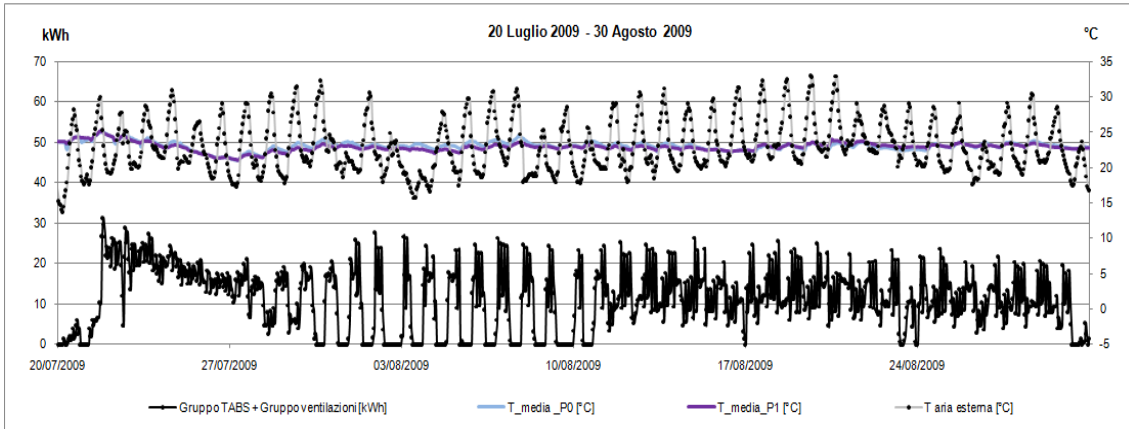
**Tabella 123 - Confronto tra il carico termico estivo calcolato attraverso il metodo Carrier e la procedura della SIA 70 con le irradianze da normativa e con le irradianze reali**

Dalla tabella precedente si nota che il carico termico estivo calcolato utilizzando come input le irradianze reali risulta inferiore a quello ottenuto avvalendosi delle irradianze fornite dalla normativa poiché, come descritto in precedenza, l'irradianza solare totale misurata a NordOvest, essendo inferiore rispetto a quella normativa, ha inciso soprattutto nelle ore serali, diminuendo il carico termico totale raggiunto tra le ore 15:00 e le ore 17:00 in entrambi i metodi.

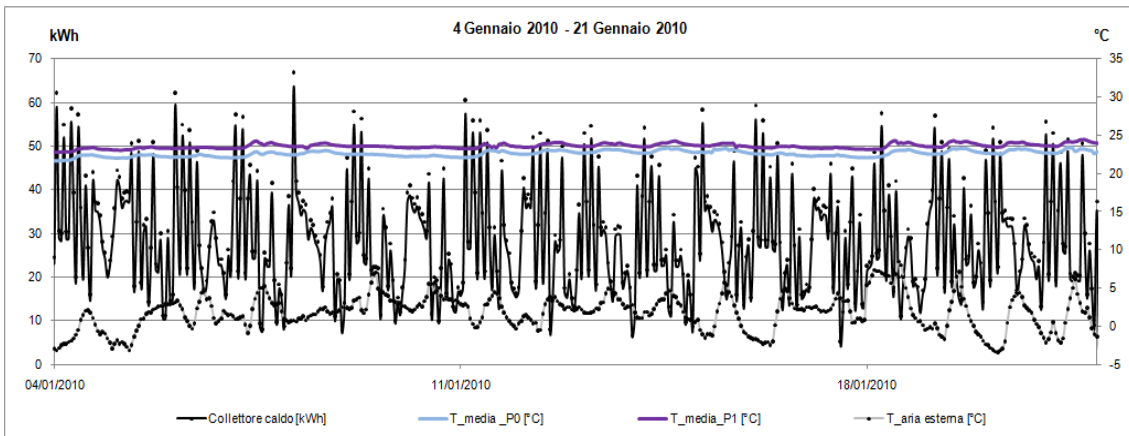
Utilizzando sia le irradianze da normativa sia le irradianze reali, si osserva che la potenza calcolata risulta superiore rispetto a quella rilevata nella firma energetica: come già esposto in precedenza, si ricorda che l'accostamento tra la potenza calcolata e la potenza misurata appartenente alla linea di tendenza media dell'intero sistema (firma energetica estiva) in corrispondenza della temperatura esterna di progetto, non è un confronto diretto poiché nelle misure non si considera un momento di picco, ma una potenza mediamente erogata da un impianto che non si basa sulla copertura di un valore massimo di potenza ma che agisce in maniera sfasata rispetto ad esso.

Sulla base di queste fondamentali premesse, è possibile osservare che i metodi di calcolo utilizzati in questo elaborato per la valutazione del carico termico estivo, vale a dire il metodo Carrier e la procedura della SIA 70, non sono del tutto adattabili ad edifici particolarmente performanti come lo stabile in esame, caratterizzati da una particolare tipologia impiantistica per il raffrescamento, e si corre il rischio di sovradimensionare eccessivamente l'impianto.

Come riportato nei grafici seguenti, nonostante le richieste di potenza per il raffrescamento e per il riscaldamento misurate siano risultate minori rispetto a quelle previste dal calcolo normativo, nell'ambiente interno sono state raggiunte le condizioni di temperatura di comfort desiderate sia al piano terra (indicato con P0) sia al primo piano (indicato con P1).



**Grafico 88 - Correlazione tra energia richiesta dal collettore freddo [kWh], temperatura dell'aria esterna [°C] e temperatura interna media al piano terra e al primo piano [°C] nel periodo estivo**



**Grafico 89 - Correlazione tra energia richiesta dal collettore caldo [kWh], temperatura dell'aria esterna [°C] e temperatura interna media al piano terra e al primo piano [°C] nel periodo invernale**

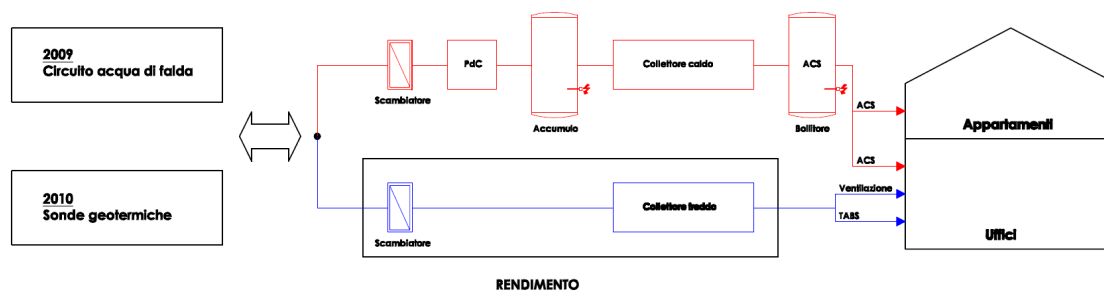
Dal Grafico 88 e dal Grafico 89 si nota infatti che la temperatura interna nel periodo estivo si aggira intorno a 25°C e nel periodo invernale intorno a 24°C per entrambi i piani di uffici, ottimizzando così le condizioni di comfort normativo che prevedono una temperatura interna di 26°C in estate e 20°C in inverno.

In conclusione è possibile affermare che le analisi fin qui effettuate a partire dalle misure a disposizione possono essere considerate come un punto di partenza per effettuare valutazioni più generali riguardo i consumi di edifici con standard energetici di questo tipo e come base per svolgere anche simulazioni in regime dinamico.

### 10.3 Impianto e condizioni climatiche esterne

Il confronto tra le due estati del 2009 e del 2010, caratterizzate da un diverso scambio termico con il terreno, ha permesso di confrontare il funzionamento dell'impianto, l'energia scambiata ed

i picchi di potenza disponibili nei due casi per poi valutare il rendimento delle due sorgenti (o pozzi) di energia: due pozzi con acqua di falda nel 2009 e quattro sonde geotermiche nel 2010. Si è partiti allora dall'analisi del comportamento termico dell'edificio per poi risalire a come questo cambiamento potesse aver inciso sul funzionamento dell'impianto. Si riporta di seguito la **Figura 80 - Schema per il calcolo del rendimento di produzione dell'impianto di raffrescamento.**



Dalle analisi è emerso che la ventilazione ha funzionato molto più a lungo dell'orario di effettiva occupazione degli uffici e che il tempo di accensione dei TABS è stato dimezzato nel 2010. Si è cercato di comprendere in che modo questo possa aver influito sulla potenza e l'energia richieste agli impianti. Si riporta di seguito il **Grafico 77 - Confronto tra periodi di occupazione e di attivazione degli impianti.**

Ora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Orario ufficio																								
Ventilaz.	Progetto																							
	2009																							
	2010																							
TABS	Progetto																							
	2009																							
	2010																							

Le numerose ore di funzionamento dell'impianto di ventilazione al di fuori dell'orario d'ufficio indicano che questa non è stata progettata con il solo scopo di garantire una buona qualità dell'aria, ma che deve esserle stato attribuito anche il compito di abbattere buona parte del carico termico.

Dal momento che la temperatura dell'aria interna è stata mantenuta tra i 22 e i 24 °C mentre la temperatura esterna ha raggiunto valori maggiori nel 2009, in questo periodo l'impianto di climatizzazione ha dovuto abbattere carichi termici maggiori.

La temperatura dell'aria esterna durante il giorno si è mantenuta per lo più tra i 20 e i 25 °C in entrambi gli anni. Durante la notte, però è stato più fresco nel 2010; inoltre in orario d'ufficio nel 2009 si sono registrate spesso temperature superiori ai 25 °C.

Analizzando l'andamento delle temperature giornaliere durante la settimana e nei week-end, si è dimostrato che sono i carichi interni ad influire maggiormente sull'andamento delle

temperature interne e si è quindi trascurata l'analisi dell'influenza dell'irraggiamento esterno sul clima interno.

Si è inoltre osservato che la temperatura delle solette non varia in maniera significativa tra il giorno e le notte ed è in buona parte compresa tra i 22 e i 25°C e che la temperatura dell'aria degli ambienti raffrescati è molto vicina a quella delle solette. Quindi ci si aspetta un significativo livello di autoregolazione.

Per quanto riguarda il gruppo dei TABS, la potenza ceduta nel 2010 è doppia rispetto a quella del 2009 (24 contro 12 kW) ed il valore dei picchi è di 36 kW nel 2010 contro 24 kW nel 2009. Nel 2010 l'impianto è stato quindi attivo per circa la metà del tempo, ma con una potenza doppia rispetto al 2009.

Il gruppo della batteria fredda della ventilazione, invece, quando attivato ha ceduto quasi sempre 12 kW di potenza in entrambi i periodi.

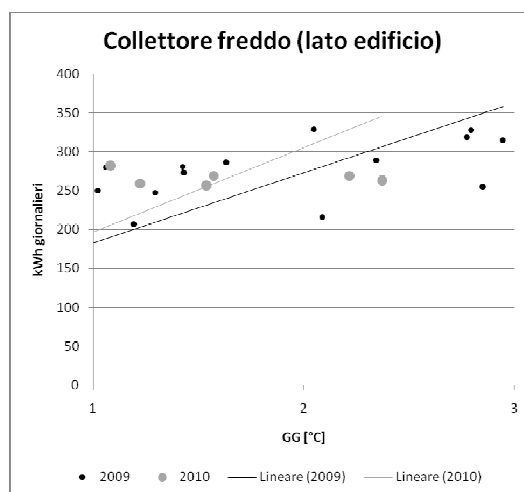
Si è poi calcolato quanto il collettore freddo scambia complessivamente con l'edificio, cioè con i gruppi dei TABS e delle batterie fredde della ventilazione.

Date le differenze, sia nelle sollecitazioni esterne sia nelle modalità di funzionamento degli impianti nei due periodi, si è voluto ricercare un parametro "univoco" per il confronto. Si sono quindi calcolati i Gradi Giorno rispetto alla temperatura interna effettivamente presente e si è calcolata l'energia per il raffrescamento scambiata da ciascun gruppo, in funzione dei Gradi Giorno nei due periodi esaminati.

kWh/GG	TABS	Ventilazione	Collettore freddo
2009	97	74	171
2010	129	136	265

**Tabella 124- Correlazione tra energia per il raffrescamento e Gradi Giorno**

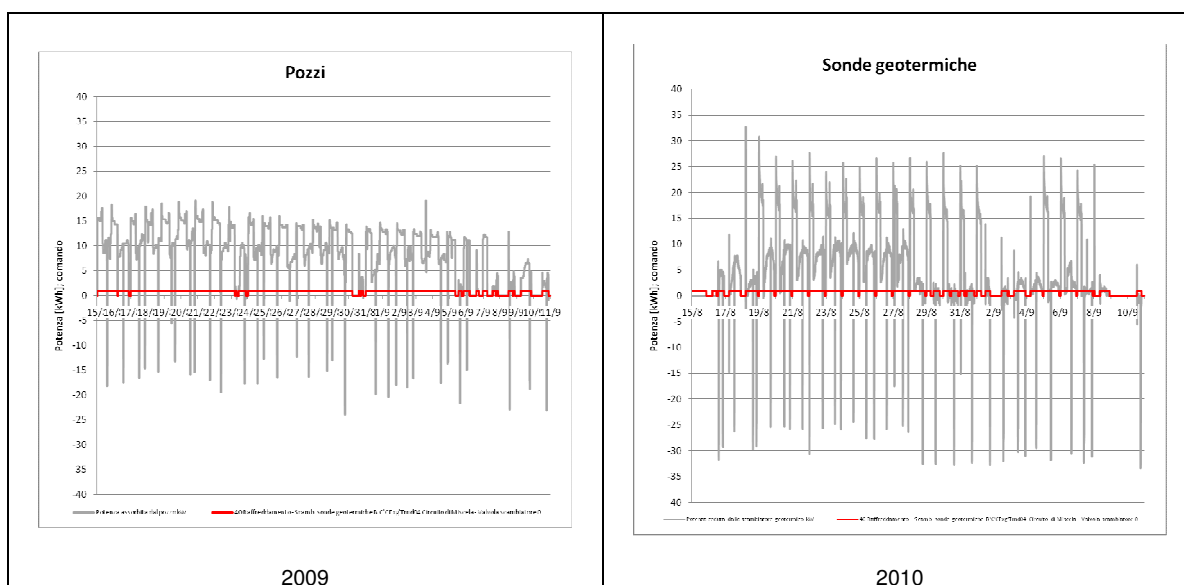
Si riporta di seguito la **Tabella 100 - Correlazione tra energia scambiata dal collettore freddo (lato edificio) e temperatura media giornaliera dell'aria esterna e Gradi Giorno nel 2009 e nel 2010** da cui si è osservato che nel 2010 l'impianto è stato maggiormente attivo rispetto alla sollecitazione termica.



Nel **Grafico 82 - Energia giornaliera per il raffrescamento nel 2009 e nel 2010** si è poi esaminata la ripartizione tra il carico di raffrescamento dei TABS e della ventilazione. Nel 2010, quando i TABS sono stati accesi per meno tempo, la ventilazione si è fatta carico di una porzione maggiore del carico termico. Il raffrescamento tramite TABS e ventilazione si sono allora compensati a vicenda.

Non si sono rilevate sostanziali differenze nel COP della pompa di calore nei due periodi, che si è mantenuto tra 3 e 4. Tuttavia con le sonde geotermiche la potenza dell'evaporatore è passata da 20-30 a 30-40 kW e, di conseguenza, è aumentata anche quella ceduta dal condensatore all'accumulo caldo, che è passata da 30-40 a 40-50 kW.

L'aumento della potenza disponibile sul lato del condensatore dipende dalla presenza delle sonde geotermiche. Si riporta di seguito la **Tabella 104 - Confronto tra il funzionamento dei pozzi nel 2009 e le sonde geotermiche nel 2010**.



I pozzi hanno ceduto per la maggior parte del tempo, sia durante il giorno sia durante la notte, una potenza compresa tra 10 e 15 kW, con picchi inferiori ai 20 kW. Le sonde tra 5 e 10 kW con picchi superiori ai 25 kW.

È stato infine calcolato il rendimento medio giornaliero di produzione dell'impianto di raffrescamento, valutato come rapporto tra l'energia assorbita dal collettore freddo e l'energia ceduta al terreno o all'acqua di falda. Non è stato possibile ragionare allo stesso modo per il riscaldamento dell'acqua calda, poiché nel riscaldamento entrano in gioco resistenze termiche aggiuntive.

Entrambe le configurazioni impiantistiche hanno un rendimento pressochè unitario, ma l'installazione delle sonde geotermiche garantisce una maggior costanza di funzionamento e si riducono le perdite.

## 10.4 Considerazioni finali

Per concludere si riporta un confronto tra le potenze assolute e specifiche di raffrescamento che sono state installate, calcolate e misurate. È opportuno precisare che la potenza per il raffrescamento dell'edificio non varia al variare della tipologia di pozzo di calore utilizzata, ma in funzione delle sollecitazioni termiche e delle condizioni interne che si desiderano mantenere.

	Potenza specifica [W/m <sup>2</sup> ]		
	Installata	Calcolata	Misurata
Raffrescamento (uffici)	66	31	26 (a regime)
			39 (di picco)

Rispetto alla misura	Calcolata		Installata
	Carrier	SIA 70	
A regime	+17 %	+17 %	+150 %
Di picco	-22 %	-22 %	+67 %

Sia il gruppo dei TABS sia quello delle ventilazioni hanno assorbito generalmente una potenza di 12 kW, i pozzi ne hanno forniti, sempre generalmente, una quindicina e le sonde geotermiche 25. I pozzi hanno avuto dei problemi di funzionamento e non sono stati in grado di garantire la continuità di servizio e le sonde geotermiche hanno garantito un maggior scambio di potenza. Questa caratteristica apre allora una serie di quesiti. Il primo di questi è se installando i TABS è possibile abbassare i picchi di potenza richiesti e quindi ridurre il numero di sonde geotermiche necessarie. Sicuramente i TABS permettono di ridurre il carico termico gravante sulla ventilazione, bisogna però precisare che i picchi massimi sono stati raggiunti durante la contemporanea attivazione di entrambi gli impianti. Non basterebbe allora forse ventilare più a lungo, magari riducendo il più possibile la temperatura di mandata durante le ore notturne? Durante il giorno, poi, tale impianto è comunque funzionante per garantire la IAQ, quindi pompe e ventilatori andrebbero installati in ogni caso e sarebbero comunque funzionanti. Non sarebbe allora possibile ridurre al minimo la temperatura dell'aria di mandata senza che questo causi discomfort locali e senza che vi sia bisogno di raffreddare "artificialmente" il fluido vettore per le batterie della ventilazione? Non sarebbe possibile aumentare la portata di ventilazione durante l'orario d'ufficio per asportare una maggior quantità di carichi interni non appena si generano? Tutte le analisi energetiche su cui si basa questo elaborato fanno riferimento solo alla componente termica (di riscaldamento o raffrescamento) di cui necessita un edificio. Sarebbe in realtà necessario esaminare anche gli assorbimenti elettrici dei vari componenti dell'impianto nonché la spesa economica necessaria per l'installazione, la manutenzione e il funzionamento di ogni possibile opzione tecnica.



## Bibliografia

- [1] Olgyay, Victor - traduzione di Mancuso, Girolamo. Progettare con il clima. Padova : Franco Muzzio & c.editore, 1962; 1981, 1990.
- [2] Scudo, Gianni. Tecnologie termoedilizie: principi e tecniche innovative per la climatizzazione in edilizia. Milano : Città Studi s.c.r.l., 1993, 1994, 1995, 1996, 1997.
- [3] Messana, Roberto. Capire il confort: elementi di climatizzazione radiante. Milano : Tecniche nuove, 2004.
- [4] Absinta, Angelo e Comi, Daniele. Radiant cooling & ventilazione naturale: potenzialità e limiti per il raffrescamento degli edifici. s.l. : Politecnico di Milano, VI Facoltà di Ingegneria Edile – Architettura, 2005 - 2006.
- [5] Babiak, Jan, Olesen, Bjaren W. e Petras, Dusan. Raffrescamento e riscaldamento mediante superfici radianti. Palermo : Dario Flaccovio Editore, 2008.
- [6] Doninelli, Mario, Doninelli, Marco e Ardizzioia, Claudio. Gli impianti a pannelli. Novara : Caleffi - Poligrafica Moderna S.p.A., 2001.
- [7] Banhidi, Laszlo J. Radiant heating systems: design and applications. Oxford : Pergamon Press, 1991.
- [8] Angelotti, Adriana. Summer cooling by thermal. s.l. : Politecnico di Milano, Dipartimento di Energetica, 2003-2004.
- [9] Riva, Francesco. Pannelli radianti: riscaldamento - raffrescamento. Milano : Editoriale PEG S.p.a., 1992.
- [10] Todli, Jurg, et al. Control of thermally-activated building systems (TABS). s.l. : Elsevier, 2007.
- [11] Todli, Jurg, et al. Integrated design of Thermally Activated Building Systems and of their control. Helsinki : 9th REHVA World Congress for Building Technologies - CLIMA 2007, 2007.
- [12] Todtli, Jurg, et al. Control of thermally activated building systems (TABS) in intermittent operation with pulse width modulation. s.l. : Elsevier, 2009.
- [13] Todtli, Jurg, et al. TABS Control. Zurigo : Faktor Verlag, 2009.
- [14] Lehmann, Beat, Dorer, Viktor e Koschenz, Markus. Application range of thermally activated building systems tabs. s.l. : Elsevier, 2006.
- [15] Doninelli, Mario. Gli impianti a pannelli radianti. s.l. : Caleffi.
- [16] Pizzetti, Carlo. Condizionamento dell'aria e refrigerazione Teoria e calcolo degli impianti: Masson, 1989.
- [17] I. Bertini, F. Ceravolo, M. De Felice, B. Di Pietra, F. Margiotta, S. Pizzuti, G. Puglisi. Sviluppo dell'ambiente di progettazione Optimal DESign for Smart Energy – ODESSE: Report RSE/2009/188
- [18] Gadda, Caterina. Misure e calcolo delle prestazioni energetiche di un edificio MINERGIE – Consumi energetici e criteri di gestione dell'impianto sulla base degli esiti di un monitoraggio di dettaglio. s.l. : Politecnico di Milano, VI Facoltà di Ingegneria Edile – Architettura, 2008 - 2009.

- [19] [www.geothermie.ch](http://www.geothermie.ch)
- [20] [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)
- [21] [www.hoval.ch](http://www.hoval.ch)
- [22] [www.haeny.com](http://www.haeny.com)
- [23] [www.pneumatex.com](http://www.pneumatex.com)
- [24] [www.wt-sa.ch](http://www.wt-sa.ch)
- [25] [www.oventrop.it](http://www.oventrop.it)
- [26] [www.veltaitalia.it](http://www.veltaitalia.it)
- [27] [www.cece.ch](http://www.cece.ch)
- [28] [www.meteosvizzera.ch](http://www.meteosvizzera.ch)
- [29] [http://www.ti.ch/DFE/DE/SBC/SIT-TI/dati\\_cartografici.asp](http://www.ti.ch/DFE/DE/SBC/SIT-TI/dati_cartografici.asp)
- [30] <http://www.ti.ch/dt/da/spaa/temi/oasi/>
- [31] <http://www.isaac.supsi.ch>

## Indice delle figure

Figura 1: Raffigurazione dettagliata del bilancio energetico di un edificio non climatizzato .....	7
Figura 2: Regioni climatiche e stazioni di misura di riferimento per la SIA 2028:2008 .....	8
Figura 3 – Fonte [28] .....	13
Figura 4 – Piano interrato P1 .....	14
Figura 5 – Piano terra P0 .....	14
Figura 6 – Piano primo P1 .....	15
Figura 7 – Piani secondo P2 e terzo P3.....	15
Figura 8 - Facciata NordOvest .....	15
Figura 9 - Facciata SudEst.....	16
Figura 10 - Facciata NordEst .....	16
Figura 11 - Facciata NordOvest .....	16
Figura 12 - Sezione trasversale .....	17
Figura 13 - Sezione longitudinale.....	17
Figura 14 – Sezione trasversale indicante le destinazioni d’uso .....	22
Figura 15 – Pianta del piano tipo indicante le tipologie di chiusura opaca e trasparente a seconda delle esposizioni .....	22
Figura 16 - Comportamento della radiazione solare incidente [16] .....	29
Figura 17 – Sezione schematica dell’edificio in cui sono indicati i diversi terminali impiantistici presenti in ogni solaio.....	49
Figura 18 – Pianta del primo piano indicante la disposizione dei TABS.....	51
Figura 19 – Particolare del solaio SOL-1 tra piano terra e primo piano indicante i terminali del sistema di climatizzazione e ventilazione.....	51
Figura 20 - Pianta del terzo piano indicante la disposizione dei TABS.....	52
Figura 21 - Particolare del solaio SOL-3 tra il secondo e il terzo piano indicante i terminali del sistema di climatizzazione e ventilazione.....	52
Figura 22 – Sezione del locale tecnico nel piano interrato in cui è posta l’unità di trattamento dell’aria .....	55
Figura 23 – Pianta del piano terra (P0) indicante le bocchette di mandata e di ripresa .....	56
Figura 24 – Pianta del piano primo (P1) indicante le bocchette di mandata e di ripresa.....	57
Figura 25 – Dettaglio delle tubazioni di ripresa dell’aria poste nel bagno.....	57
Figura 26 – Schema di funzionamento della ventilazione negli appartamenti.....	58
Figura 27 – Schema generale dell’impianto.....	58
Figura 28 – Schema di funzionamento del circuito caldo .....	62
Figura 29 – Curve di regolazione del circuito serpentine radianti degli appartamenti .....	64
Figura 30 – Curve di regolazione del circuito TABS .....	64
Figura 31 – Schema di funzionamento del circuito di falda .....	65
Figura 32 – Dettaglio del solaio SOL-1 tra piano terra e piano primo.....	66
Figura 33 – Solaio 1, fase di costruzione 1 .....	67
Figura 34 – Solaio 1, fase di costruzione 2 .....	67
Figura 35 – Solaio 1, fase di costruzione 3 .....	68
Figura 36 – Solaio 1, fase di costruzione 4 .....	68
Figura 37 – Solaio 1, fase di costruzione 5 .....	68
Figura 38 - Dettaglio del solaio SOL-3 tra il secondo piano e il terzo piano .....	69
Figura 39 - Solaio 3, fase di costruzione 1 .....	70
Figura 40 - Solaio 3, fase di costruzione 2 .....	70
Figura 41- Solaio 3, fase di costruzione 3.....	71
Figura 42 - Solaio 3, fase di costruzione 4.....	72
Figura 43 - Solaio 3, fase di costruzione 5.....	72
Figura 44 - Esecuzione dello scavo .....	72
Figura 45 – Posizionamento del pozzo .....	72
Figura 46 - Posizionamento tubazioni orizzontali 1.....	73
Figura 47 - Posizionamento tubazioni orizzontali 2.....	73
Figura 48 - Posizionamento tubazioni orizzontali 3.....	73
Figura 49 - Posizionamento tubazioni orizzontali 4.....	73
Figura 50 - Posizionamento tubazioni orizzontali 5.....	73
Figura 51 - Posizionamento tubazioni orizzontali 6.....	73

Figura 52 - Collegamento tra il pozzo e la centrale termica 1 .....	74
Figura 53 - Collegamento tra il pozzo e la centrale termica 2 .....	74
Figura 54 - Connessione tra i pozzi di emungimento 1 .....	74
Figura 55 - Connessione tra i pozzi di emungimento 2 .....	74
Figura 56 - Connessione tra i pozzi di emungimento 3 .....	74
Figura 57 - Connessione tra i pozzi di emungimento 4 .....	74
Figura 58 - Connessione tra i pozzi di emungimento 7 .....	75
Figura 59 - Connessione tra i pozzi di emungimento 8 .....	75
Figura 60 - Scambiatori a piastre 1 .....	75
Figura 61 - Scambiatori a piastre 2 .....	75
Figura 62 - Pompa di calore .....	75
Figura 63 - Serbatoi di accumulo .....	75
Figura 64 - Vaso d'espansione .....	76
Figura 65 - Valvola tra SC1 e SC2 .....	76
Figura 66 - Collettore freddo di distribuzione .....	76
Figura 67 - Collettore caldo di distribuzione .....	76
Figura 68 - Il sistema di automazione e controllo Desigo con l'unità operatore .....	81
Figura 69 - Interfaccia grafica 1 del sistema di automazione e controllo .....	82
Figura 70 - Interfaccia grafica 2 del sistema di automazione e controllo .....	82
Figura 71 - Sensore del vento e corretto posizionamento del sensore di irradianza solare .....	88
Figura 72 - Stazione meteorologica posta sul tetto .....	89
Figura 73 - Sensore di temperatura esterna posto sulla facciata NW .....	89
Figura 74 - Fonte: Google Earth .....	90
Figura 75 - Piano terra (P0): sensori di temperatura analizzati .....	165
Figura 76 - Piano primo (P1): sensori di temperatura analizzati .....	165
Figura 77 - Schema dell'impianto nelle estati del 2009 e 2010 .....	178
Figura 78- Schema collettore freddo .....	197
Figura 79 - Schema collettore caldo .....	201
Figura 80 - Schema per il calcolo del rendimento di produzione dell'impianto di raffrescamento .....	209

## Indice delle tabelle

Tabella 1: Dati forniti dalla norma SIA 2028:2008 .....	9
Tabella 2 - Caratteristiche degli elementi opachi .....	18
Tabella 3 - Caratteristiche dei serramenti .....	18
Tabella 4 - Caratteristiche ponti termici .....	18
Tabella 5 - Parametri di utilizzo standard secondo la norma SIA 380-1:2009 .....	20
Tabella 6 - Tasso di occupazione .....	20
Tabella 7 - Valori costanti e mensili della stagione di riscaldamento .....	23
Tabella 8 - Prospetto dispersioni termiche .....	24
Tabella 9 - Prospetto fabbisogno termico invernale .....	24
Tabella 10 - Fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria .....	26
Tabella 11 - Fabbisogno energetico per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria .....	26
Tabella 12 - Componenti del carico termico invernale di progetto [W] .....	27
Tabella 13 - Carico termico totale invernale di progetto [kW] .....	27
Tabella 14 - Riassunto del carico termico invernale di progetto e normalizzato per le diverse destinazioni d'uso .....	28
Tabella 15 - Dati carichi interni .....	34
Tabella 16 - Confronto metodo Carrier e metodo SIA 70 .....	42
Tabella 17- Grandezze caratteristiche del metodo Carrier e della SIA 70 .....	43
Tabella 18 - Confronto tra $Q_f$ [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70 .....	44
Tabella 19 - Confronto tra $Q_v$ [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70 .....	44
Tabella 20 - Confronto tra $Q_s$ [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70 .....	45
Tabella 21 - Confronto tra $Q_{AW}$ [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70 .....	45
Tabella 22 - Confronto tra $Q_i$ [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70 .....	46
Tabella 23 - Confronto tra $Q_{cool}$ [kW] calcolato secondo il metodo Carrier e il metodo SIA 70 .....	46
Tabella 24 - Elenco dei sensori di rilevamento dati .....	84

Tabella 25 – Periodi di rilevamento .....	85
Tabella 26 - Frequenze % delle ore rilevate rispetto alle ore mensili .....	87
Tabella 27 - Coordinate geografiche del comune di Rivera .....	88
Tabella 28 - Disponibilità dei dati climatici esterni nel 2008, nel 2009 e nel 2010 .....	89
Tabella 29 - Caratteristiche delle stazioni di rilevamento.....	90
Tabella 30 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di luglio 2008.....	91
Tabella 31 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di agosto 2008 .....	92
Tabella 32 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di settembre 2008 .....	93
Tabella 33 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di ottobre 2008 .....	94
Tabella 34 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di novembre 2008 .....	95
Tabella 35 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di febbraio 2009 .....	96
Tabella 36 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di marzo 2009 .....	97
Tabella 37 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di aprile 2009 .....	98
Tabella 38 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di maggio 2009 .....	99
Tabella 39 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di giugno 2009 .....	100
Tabella 40 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di luglio 2009.....	101
Tabella 41 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di agosto 2009 .....	102
Tabella 42 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di settembre 2009 .....	103
Tabella 43 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di ottobre 2009 .....	104
Tabella 44 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di novembre 2009 .....	105
Tabella 45 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di dicembre 2009 .....	106
Tabella 46 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di gennaio 2010 .....	107
Tabella 47 - Grafici relativi alla temperatura dell'aria esterna del mese di febbraio 2010 .....	108
Tabella 48 - Grafici a dispersione che mettono in relazione la temperatura dell'aria esterna misurata da Desigo con quella misurata dalla stazione di Camignolo negli anni 2008, 2009 e 2010.....	109
Tabella 49 - Superamento dei limiti di temperatura nel 2008 .....	112
Tabella 50 - Superamento dei limiti di temperatura nel 2009 .....	113
Tabella 51 - Superamento dei limiti di temperatura nel 2010 .....	114
Tabella 52 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di luglio 2009 .....	117
Tabella 53 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di agosto 2009.....	118
Tabella 54 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di settembre 2009... ..	119
Tabella 55 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di ottobre 2009 .....	120
Tabella 56 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di novembre 2009... ..	121
Tabella 57 - Grafici relativi all'umidità relativa dell'aria esterna del mese di gennaio 2010.....	122
Tabella 58 - Grafici a dispersione che mettono in relazione l'umidità relativa dell'aria esterna misurata da Desigo con quella misurata dalla stazione di Camignolo negli anni 2008, 2009 e 2010.....	123
Tabella 59 - Grafici relativi all'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di settembre 2009.....	127
Tabella 60 - Grafici relativi all'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di ottobre 2009.....	128
Tabella 61 - Grafici relativi all'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di dicembre 2009.....	129
Tabella 62 - Grafici relativi all'irradianza solare totale sul piano orizzontale del mese di gennaio 2010.....	130
Tabella 63 - Grafici a dispersione che mettono in relazione l'irradianza solare totale sul piano orizzontale misurata da Desigo con quella misurata dalla stazione di Camignolo negli anni 2008, 2009 e 2010 .....	131
Tabella 64 - Sensori relativi all'emungimento dell'acqua di falda.....	135
Tabella 65 - Sensori relativi allo scambiatore SC1 .....	139
Tabella 66 - Sensori relativi allo scambiatore SC2 .....	142
Tabella 67 - Correlazione tra potenza richiesta per il raffreddamento del gruppo TABS, del gruppo ventilazioni e del collettore freddo e la temperatura dell'aria esterna.....	149
Tabella 68 - Correlazione tra potenza richiesta per il riscaldamento del gruppo serpentine, del gruppo ventilazioni e la temperatura dell'aria esterna.....	161
Tabella 69 - Correlazione tra potenza richiesta per il riscaldamento del gruppo TABS, del collettore caldo e la temperatura dell'aria esterna .....	162

Tabella 70 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna della sala riunioni 1 nel periodo estivo misurata a due differenti altezze.....	166
Tabella 71 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 1a nel periodo estivo misurata a due differenti altezze.....	167
Tabella 72 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 1b nel periodo estivo misurata a due differenti altezze.....	168
Tabella 73 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'ufficio 2 nel periodo estivo misurata a due differenti altezze.....	169
Tabella 74 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 4 nel periodo estivo misurata a due differenti altezze.....	170
Tabella 75 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna della sala riunioni 1 nel periodo invernale misurata a due differenti altezze.....	171
Tabella 76 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 1a nel periodo invernale misurata a due differenti altezze.....	172
Tabella 77 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 1b nel periodo invernale misurata a due differenti altezze.....	173
Tabella 78 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'ufficio 2 nel periodo invernale misurata a due differenti altezze.....	174
Tabella 79 - Grafici relativi all'andamento della temperatura interna dell'open space 4 nel periodo invernale misurata a due differenti altezze.....	175
Tabella 80 - Tabella di correlazione tra sensori del 2009 e del 2010 .....	180
Tabella 81 – Confronto tra la temperatura dell'aria esterna nel 2009 e nel 2010 .....	182
Tabella 82 – Confronto tra l'umidità relativa dell'aria esterna nel 2009 e nel 2010 .....	183
Tabella 83 - Confronto tra la temperatura dell'aria interna nel 2009 e nel 2010.....	184
Tabella 84 - Ricerca dell'andamento della temperatura media degli ambienti in funzione dei carichi interni nel 2009 e nel 2010.....	185
Tabella 85 - Temperature delle solette .....	186
Tabella 86 – Correlazione tra la temperatura dell'aria esterna ed interna.....	187
Tabella 87 - Confronto tra l'umidità relativa degli ambienti nel 2009 e nel 2010 .....	188
Tabella 88 - Confronto tra lo stato e la temperatura di mandata del gruppo dei TABS nel 2009 e nel 2010.....	189
Tabella 89 - Confronto tra l'attivazione del gruppo dei TABS nel 2009 e nel 2010 .....	190
Tabella 90 - Confronto tra la temperatura di mandata del gruppo dei TABS nel 2009 e nel 2010 .....	190
Tabella 91 - Confronto tra la potenza ceduta dal gruppo dei TABS nel 2009 e nel 2010.....	191
Tabella 92 - Confronto tra l'energia ceduta dal gruppo dei TABS e la temperatura media diurna nel 2009 e nel 2010 .....	191
Tabella 93 - Confronto tra lo stato e la temperatura di mandata delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010.....	193
Tabella 94 - Confronto tra l'attivazione delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010.....	193
Tabella 95 - Confronto tra la temperatura di mandata delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010.....	194
Tabella 96 - Confronto tra la potenza ceduta dal gruppo delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010 .....	194
Tabella 97 - Confronto tra l'energia ceduta dal gruppo delle batterie fredde della ventilazione e la temperatura media diurna nel 2009 e nel 2010.....	195
Tabella 98 - Confronto tra la potenza scambiata dal collettore freddo (lato edificio) nel 2009 e nel 2010.....	197
Tabella 99 - Confronto tra l'energia scambiata dal collettore freddo (lato edificio) e la temperatura media diurna nel 2009 e nel 2010 .....	198
Tabella 100 - Correlazione tra energia scambiata dal collettore freddo (lato edificio) e temperatura media giornaliera dell'aria esterna e Gradi Giorno nel 2009 e nel 2010 .....	199
Tabella 101 - Confronto tra il funzionamento del bollitore nel 2009 e 2010 .....	202
Tabella 102 - Confronto tra l'attivazione della resistenza elettrica del bollitore nel 2009 e nel 2010.....	203
Tabella 103 - Confronto tra l'energia ceduta al bollitore nel 2009 e nel 2010 .....	203

Tabella 104 - Confronto tra il funzionamento dei pozzi nel 2009 e le sonde geotermiche nel 2010.....	205
Tabella 105 - Confronto tra le potenze cedute dai pozzi nel 2009 e dalle sonde geotermiche nel 2010.....	205
Tabella 106 - Confronto tra la portata dei pozzi nel 2009 e delle sonde nel 2010.....	206
Tabella 107 - Variazione di temperatura tra ritorno e mandata dei pozzi e delle sonde.....	207
Tabella 108 - Energia ceduta al terreno dai pozzi nel 2009 e dalle sonde nel 2010 .....	208
Tabella 109 - Energia ceduta al terreno dai pozzi e dalle sonde per il raffrescamento .....	208
Tabella 110 - Rendimento medio giornaliero di produzione dell'impianto di raffrescamento ...	209
Tabella 111 – Confronto tra le composizioni dei carichi termici dissipati.....	210
Tabella 112 - Frequenza relativa di campionamento e frequenza assoluta e relativa di superamento dei valori di progetto dei mesi del 2008 .....	212
Tabella 113 - Frequenza relativa di campionamento e frequenza assoluta e relativa di superamento dei valori di progetto dei mesi del 2009 .....	212
Tabella 114 - Frequenza relativa di campionamento e frequenza assoluta e relativa di superamento dei valori di progetto dei mesi del 2010 .....	213
Tabella 115 - Andamento giornaliero della temperatura di mandata dei gruppi .....	214
Tabella 116 - Confronto tra potenze installate, potenze calcolate e potenze misurate assolute e normalizzate per il riscaldamento ed il raffrescamento .....	217
Tabella 117 - Confronto tra potenze installate, potenze calcolate e potenze misurate per il riscaldamento ed il raffrescamento .....	217
Tabella 118 - Confronto tra l'andamento dell'irradianza [ $W/m^2$ ] riportata nella tabella 1.2 della SIA 70 e quella misurata in situ per ogni esposizione considerata.....	220
Tabella 119 - Confronto tra $Q_s$ [kW] calcolato attraverso il metodo Carrier con le irradianze da normativa e con le irradianze reali .....	221
Tabella 120 - Confronto tra $Q_s$ [kW] calcolato attraverso la procedura della SIA 70 con le irradianze da normativa e con le irradianze reali .....	221
Tabella 121 - Confronto tra $Q_{cool}$ [kW] calcolato attraverso il metodo Carrier con le irradianze da normativa e con le irradianze reali .....	222
Tabella 122 - Confronto tra $Q_{cool}$ [kW] calcolato attraverso la procedura della SIA 70 con le irradianze da normativa e con le irradianze reali .....	222
Tabella 123 - Confronto tra il carico termico estivo calcolato attraverso il metodo Carrier e la procedura della SIA 70 con le irradianze da normativa e con le irradianze reali.....	223
Tabella 124- Correlazione tra energia per il raffrescamento e Gradi Giorno .....	226
Tabella 125 - Costanti per la definizione del grado di sfruttamento degli apporti termici .....	241
Tabella 126 - Superficie di riferimento energetico AE e volume riscaldato V .....	249
Tabella 127 - Elementi opachi e serramenti interni.....	249
Tabella 128 - Tipologie elementi opachi .....	250
Tabella 129 - Tipologie ponti termici .....	250
Tabella 130 - Tipologie elementi traslucidi.....	250
Tabella 131 - Perdite termiche per trasmissione attraverso le pareti opache.....	251
Tabella 132 - Perdite termiche per trasmissione attraverso i ponti termici .....	252
Tabella 133 - Perdite termiche per trasmissione attraverso le finestre.....	253
Tabella 134 - Perdite termiche per ventilazione.....	253

## Indice dei grafici

Grafico 1 - Apporti e perdite termiche [ $MJ/(m^2\text{anno})$ ].....	24
Grafico 2 - Apporti gratuiti effettivamente sfruttati e perdite termiche [ $MJ/(m^2\text{anno})$ ] .....	25
Grafico 3 - Confronto tra il fabbisogno termico per il riscaldamento invernale ricavato e i limiti imposti dalla SIA 380/1.....	25
Grafico 4 - Carico termico di riscaldamento .....	28
Grafico 5 – $Q_{aw}$ [kW] Prospetto globale parti opache, metodo Carrier .....	32
Grafico 6 - $Q_f$ [kW] Potenza di trasmissione attraverso i serramenti, metodo Carrier .....	32
Grafico 7- $Q_{si}$ [kW] Carico solare interno, metodo Carrier .....	33
Grafico 8 - $Q_v$ [kW] Carico di ventilazione, metodo Carrier.....	34
Grafico 9 - $Q_i$ [kW] Carichi interni, metodo Carrier .....	35
Grafico 10 - $Q_{cool}$ [kW] Carico termico estivo, metodo Carrier .....	35

Grafico 11 - $Q_{AW}$ [kW] Prospetto globale parti opache, metodo SIA 70.....	37
Grafico 12 - $Q_t$ [kW] Potenza di trasmissione attraverso i serramenti, metodo SIA 70.....	38
Grafico 13 - $Q_{fs}$ [kW] Carico solare interno, metodo SIA 70 .....	39
Grafico 14 - $Q_v$ [kW] Carico di ventilazione, metodo SIA 70 .....	40
Grafico 15 - $Q_i$ [kW] Prospetto globale carichi interni, metodo SIA 70.....	40
Grafico 16 - $Q_{cool}$ [kW] Carico termico estivo, metodo SIA 70.....	41
Grafico 17 - Confronto temperature esterne calcolate tramite metodo Carrier e metodo SIA 70 .....	43
Grafico 18- Frequenza relativa [%] di rilevamento della temperatura esterna nel 2008.....	110
Grafico 19- Frequenza relativa [%] di rilevamento della temperatura esterna nel 2009.....	111
Grafico 20 - Frequenza relativa [%] di rilevamento della temperatura esterna nel 2010.....	112
Grafico 21 - Frequenza assoluta di ore che superano i valori di progetto della temperatura esterna nei mesi di rilevamento del 2008.....	113
Grafico 22 - Frequenza assoluta di ore che superano i valori di progetto della temperatura esterna nei mesi di rilevamento del 2009.....	114
Grafico 23 - Frequenza assoluta di ore che superano i valori di progetto della temperatura esterna nei mesi di rilevamento del 2010.....	115
Grafico 24 - Andamento medio orario mensile della temperatura esterna nei periodi di riferimento.....	116
Grafico 25 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'umidità esterna nel 2008.....	124
Grafico 26 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'umidità esterna nel 2009.....	125
Grafico 27 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'umidità esterna nel 2010.....	125
Grafico 28 - Andamento medio orario mensile dell'umidità relativa esterna nei periodi di riferimento.....	126
Grafico 29 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'irradianza totale nel 2008.....	132
Grafico 30 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'irradianza totale nel 2009.....	133
Grafico 31 - Frequenza relativa [%] di rilevamento dell'irradianza totale nel 2010.....	133
Grafico 32 - Andamento medio orario mensile dell'irradianza solare totale sul piano orizzontale nei periodi di riferimento .....	134
Grafico 33 - Valvola intercettazione filtro [%] nel periodo di riferimento .....	136
Grafico 34 - Flusso di acqua di falda [ $m^3/h$ ] nel periodo di riferimento .....	136
Grafico 35 - Andamento del flusso di acqua di falda [ $m^3/h$ ], della temperatura di prelievo [ $^{\circ}C$ ] e della temperatura dell'aria esterna [ $^{\circ}C$ ] nel periodo estivo di riferimento.....	137
Grafico 36 - Valvola posta tra i due scambiatori [comando] nel periodo di riferimento.....	138
Grafico 37 - Temperature in ingresso e in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC1	139
Grafico 38 - Attivazione della pompa di circolazione di SC1 [Comando] nel periodo di riferimento .....	140
Grafico 39 - Temperatura di mandata e di ritorno del circuito secondario dello scambiatore SC1 .....	140
Grafico 40 - Energia del circuito primario e secondario dello scambiatore SC1.....	141
Grafico 41 - Efficienza dello scambiatore SC1.....	141
Grafico 42 - Temperature in ingresso e in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC2	142
Grafico 43 - Comando del compressore .....	143
Grafico 44 - Assorbimento di energia elettrica da parte del compressore della pompa di calore .....	143
Grafico 45 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dall'evaporatore .....	144
Grafico 46 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dal condensatore .....	144
Grafico 47 - Andamento delle temperature in alto e in basso dell'accumulo posto a valle della pompa di calore .....	145
Grafico 48 - Energia richiesta per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria.....	146
Grafico 49 – Somma dell'energia richiesta per il raffreddamento dell'acqua circolante nel gruppo TABS e nelle batterie di ventilazione .....	147
Grafico 50 - Energia richiesta per il raffreddamento dell'acqua circolante nel gruppo TABS e nelle batterie di ventilazione .....	147
Grafico 51 - Andamento delle temperature nella parte alta e bassa dell'accumulo dell'acqua calda sanitaria .....	149
Grafico 52 - Andamento delle temperature di mandata dal collettore freddo al gruppo TABS e al gruppo ventilazioni confrontate con la temperatura dell'aria esterna.....	150



Grafico 53 - Andamento della portata [m <sup>3</sup> /h], della temperatura di prelievo dell'acqua di falda [°C] e della temperatura dell'aria esterna [°C] nel periodo invernale considerato .....	151
Grafico 54 - Andamento della temperatura di prelievo della falda e della temperatura in ingresso nello scambiatore SC2 [°C] .....	151
Grafico 55 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dal circuito primario dello scambiatore SC2 .....	152
Grafico 56 - Andamento delle temperature di mandata e ritorno relative al circuito secondario dello scambiatore SC2 .....	153
Grafico 57 - Energia relativa al circuito primario e al circuito secondario dello scambiatore SC2 .....	153
Grafico 58 - Efficienza dello scambiatore SC2 .....	153
Grafico 59 - Andamento del comando del compressore della pompa di calore nel periodo di riferimento invernale .....	154
Grafico 60 - Assorbimento di energia elettrica da parte del compressore della pompa di calore .....	154
Grafico 61 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dall'evaporatore .....	155
Grafico 62 - Energia relativa all'evaporatore della pompa di calore [kWh] .....	155
Grafico 63 - Andamento delle temperature in ingresso e in uscita dal condensatore della pompa di calore .....	156
Grafico 64 - Energia relativa al condensatore della pompa di calore [kWh] .....	156
Grafico 65 - Confronto tra l'energia richiesta dal collettore caldo e quella in uscita dal condensatore .....	157
Grafico 66 - Andamento del coefficiente di prestazione della pompa di calore nel periodo di riferimento invernale .....	157
Grafico 67 - Andamento della temperatura alta e bassa dell'accumulo posto a valle della pompa di calore .....	158
Grafico 68 - Andamento della richiesta di energia da parte del collettore caldo nel periodo invernale di riferimento .....	158
Grafico 69 - Andamento della richiesta di energia da parte del gruppo serpentine nel periodo invernale di riferimento .....	159
Grafico 70 - Andamento della richiesta di energia da parte del gruppo ventilazioni nel periodo invernale di riferimento .....	159
Grafico 71 - Andamento della richiesta di energia da parte del gruppo TABS nel periodo invernale di riferimento .....	160
Grafico 72 - Andamento della richiesta di energia da parte del gruppo acqua calda sanitaria nel periodo invernale di riferimento .....	160
Grafico 73 - Andamento delle temperature nella parte alta e bassa dell'accumulo dell'acqua calda sanitaria .....	163
Grafico 74 - Andamento delle temperature di mandata dal collettore caldo al gruppo TABS, al gruppo serpentine ed al gruppo ventilazioni confrontate con la temperatura dell'aria esterna	163
Grafico 75 - Andamento della temperatura media del piano terra e del primo piano nel periodo estivo .....	176
Grafico 76 - Andamento della temperatura media del piano terra e del primo piano nel periodo invernale .....	176
Grafico 77 - Confronto tra periodi di occupazione e di attivazione degli impianti .....	181
Grafico 78 - Correlazione tra la temperatura del beton e quelle dell'aria nel medesimo ambiente .....	187
Grafico 79 - Correlazione tra Gradi Giorno e energia assorbita dal gruppo dei TABS nel 2009 e 2010 .....	192
Grafico 80 - Correlazione tra Gradi Giorno e energia scambiata dal gruppo delle batterie fredde della ventilazione nel 2009 e nel 2010 .....	195
Grafico 81 - Correlazione tra Gradi Giorno e energia scambiata dal collettore freddo (lato edificio) nel 2009 e nel 2010 .....	198
Grafico 82 - Energia giornaliera per il raffrescamento nel 2009 e nel 2010 .....	200
Grafico 83 - COP della pompa di calore nel 2009 e nel 2010 .....	204
Grafico 84 - Andamento della temperatura dell'aria esterna da luglio 2008 a febbraio 2010 ...	212
Grafico 85 - Programmazione operativa degli impianti nel periodo considerato .....	214

<i>Grafico 86 - Firma energetica del periodo invernale valutata in corrispondenza del collettore caldo</i> .....	215
<i>Grafico 87 - Firma energetica del periodo estivo valutata in corrispondenza del collettore freddo</i> .....	216
Grafico 88 - Correlazione tra energia richiesta dal collettore freddo [kWh], temperatura dell'aria esterna [°C] e temperatura interna media al piano terra e al primo piano [°C] nel periodo estivo.....	224
Grafico 89 - Correlazione tra energia richiesta dal collettore caldo [kWh], temperatura dell'aria esterna [°C] e temperatura interna media al piano terra e al primo piano [°C] nel periodo invernale.....	224

## **Indice delle tavole**

Tavola 1 – Cap. 7. Sensori relativi al circuito falda (2009)
Tavola 2 – Cap. 7. Sensori relativi a pompa di calore e accumulo (2009)
Tavola 3 – Cap. 7. Sensori relativi ai collettori caldo e freddo (2009)
Tavola 4 – Cap. 7. Sensori relativi al gruppo ventilazione (2009)
Tavola 5 – Cap. 8. Sensori relativi al piano terra e piano primo (2009)
Tavola 6 – Cap. 8. Sensori relativi al piano secondo e piano terzo (2009)
Tavola 7 – Cap. 9. Sensori relativi al circuito delle sonde geotermiche (2010)
Tavola 8 – Cap. 9. Sensori relativi a pompa di calore e accumulo (2010)
Tavola 9 – Cap. 9. Sensori relativi ai collettori caldo e freddo (2010)
Tavola 10 – Cap. 9. Sensori relativi al piano terra e piano primo (2010)
Tavola 11 – Cap. 9. Sensori relativi al piano secondo e piano terzo (2010)

## Allegati

### Allegato 1 (cap. 1.1): Procedura di calcolo SIA 380/1:2009

Si riporta di seguito lo schema normativo per il calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento  $Q_h$  nominando di volta in volta le diverse voci che entrano in gioco.

$$Q_h = \Sigma [Q_T + Q_V - \eta_g \cdot (Q_i + Q_s)]$$

#### Equazione 1: Fabbisogno termico per il riscaldamento

Perdite termiche per trasmissione:

$$Q_T = (Q_{T\_tetto} + Q_{T\_pareti} + Q_{T\_finestre} + Q_{T\_solaio}) + \Sigma Q_{T\_pontitermici}$$

#### Equazione 2

$$Q_{T,i} = A_i \cdot U_i \cdot (T_{amb} - T_{ext}) \cdot t_c$$

#### Equazione 3

$$Q_{T\_Pontitermici,i} = l_i \cdot \Psi_i \cdot (T_{amb} - T_{ext}) \cdot t_c$$

#### Equazione 4

Perdite termiche per ventilazione:

$$Q_V = (\rho_a \cdot c_a) \cdot \left( \frac{\dot{V}}{A_E} \right) \cdot (T_{amb} - T_{ext}) \cdot t_c$$

#### Equazione 5

Perdite termiche globali:

$$Q_{TOT} = Q_T + Q_V$$

#### Equazione 6: Perdite termiche globali

Apporti termici interni:

$$Q_i = Q_{i,EL} + Q_{i,P}$$

#### Equazione 7

$$Q_{i,EL} = Q_{EL} \cdot f_{EL} \cdot \frac{t_c}{365}$$

**Equazione 8**

$$Q_{i,P} = \frac{Q_P \cdot t_P \cdot t_c}{A_p}$$

**Equazione 9**

Apporti solari:

$$Q_S = \sum Q_{S,i} = \frac{I_{GLOB,i} \cdot A_{w,i} \cdot g_{\perp} \cdot F_F \cdot F_{S,i}}{A_E}$$

**Equazione 10: Apporti solari**

Totale apporti termici:

$$Q_g = Q_i + Q_s$$

**Equazione 11: Apporti termici totali**

Poiché questi apporti sono utilizzati solo parzialmente, è necessario introdurre un fattore correttivo che esprime il grado di sfruttamento di questi guadagni.

Tale parametro, che dipende dall'inerzia termica dell'edificio e dal rapporto tra gli apporti termici totali e le perdite termiche totali, è calcolato per via empirica.

$$\tau = \frac{(C / A_E) \cdot A_E}{H}$$

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$$

$$\gamma = \frac{Q_G}{Q_{TOT}}$$

$$\eta_G = \begin{cases} \gamma \neq 1 \rightarrow \eta_g = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \\ \gamma = 1 \rightarrow \eta_g = \frac{a}{a + 1} \end{cases}$$

**Equazione 12 - Grado di sfruttamento degli apporti termici**

Dove:

Utilizzo giornaliero dell'edificio	a <sub>0</sub> [-]	τ <sub>0</sub> [h]
24h/24h (es. categoria I)	1	15
Utilizzo parziale (es. categoria III)	0.8	70

**Tabella 125 - Costanti per la definizione del grado di sfruttamento degli apporti termici**

Il fabbisogno termico per il riscaldamento è dato quindi dalla differenza tra le dispersioni e gli apporti termici effettivamente sfruttati:

$$Q_h = Q_{TOT} - \eta_g \cdot Q_g$$

**Equazione 13 - Fabbisogno termico per il riscaldamento**

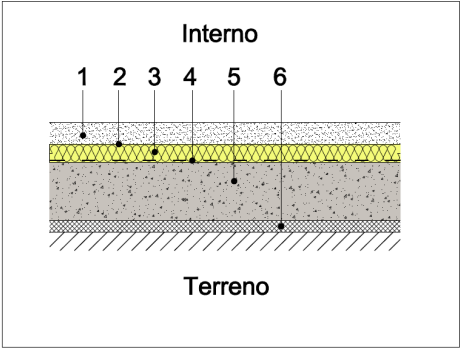
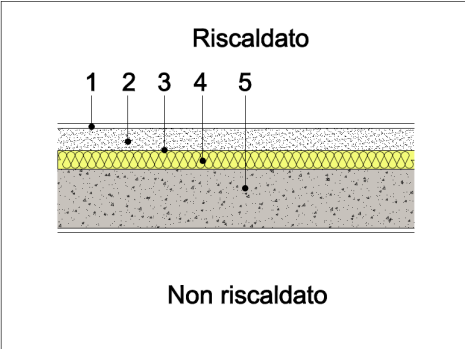
La SIA 380/1 fornisce anche indicazioni per quanto riguarda il calcolo del fabbisogno termico per l'acqua calda, che è calcolato in base alla quantità di acqua calda richiesta e dipende dalla differenza di temperatura tra l'acqua fredda e l'acqua calda all'uscita.

$$Q_{ww} = \frac{\rho_w \cdot c_w \cdot V_{ww} \cdot (\theta_{ww} - \theta_{ww0})}{A_E}$$

**Equazione 14: Fabbisogno termico per l'acqua calda**

## Allegato 2 (Cap. 2.3): Calcolo delle caratteristiche termiche degli elementi dell'involucro edilizio

Viene di seguito illustrata la descrizione degli elementi costruttivi principali, riportando per ogni elemento il codice di riferimento, la trasmittanza termica [ $W/m^2$ ] e la stratigrafia dell'intero pacchetto elencando i materiali e specificando spessore [cm], conducibilità termica [ $kJ/hmK$ ], capacità termica [ $kJ/kgK$ ] e densità [ $kg/m^3$ ].

		<p><b>CHIUSURA ORIZZONTALE INFERIORE PA1</b>            Pavimento verso il terreno  <b>TRASMITTANZA = <math>0.6 W/m^2K \leq 0.6 W/m^2K</math> SIA 380-1</b></p>			
Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [ $kJ/hmK$ ]	Capacità termica [ $kJ/kgK$ ]	Densità [ $kg/m^3$ ]
1	Betoncino in malta di cemento	8	1.8	1.05	1200
2	Foglio di separazione				
3	Isolamento termico - EPS20	4	0.129	1.47	20
4	Impermeabilizzazione contro l'umidità ascendente – Cartone bitumato	0.5	0.612	1.2	1200
5	Platea in calcestruzzo armato	30	7.56	0.96	2500
6	Magrone	5	7.56	1.152	2000
<b>Totale</b>		<b>47.5</b>			
		<p><b>PARTIZIONE ORIZZONTALE PA2_CARPET</b>            Pavimento tra zone termiche differenti e verso locali non riscaldati  <b>TRASMITTANZA = <math>0.58 W/m^2K &gt; 0.5 W/m^2K</math> tra zone termiche differenti e <math>0.6 W/m^2K</math> verso locali non riscaldati SIA 380-1</b></p>			
Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [ $kJ/hmK$ ]	Capacità termica [ $kJ/kgK$ ]	Densità [ $kg/m^3$ ]
1	Carpet	1	0.22	1.3	200
2	Betoncino in malta di cemento	8	1.8	1.05	1200
3	Foglio di separazione				

4	Isolamento termico - EPS20	4	0.129	1.47	20
5	Platea in calcestruzzo armato	30	7.56	0.96	2500
<b>Totale</b>		<b>43</b>			

Riscaldato

1 2 3 4 5

Non riscaldato

**PARTIZIONE ORIZZONTALE PA2\_PIASTRELLE**  
Pavimento tra zone termiche differenti  
**TRASMITTANZA = 0.63 W/m<sup>2</sup>K > 0.5 W/m<sup>2</sup>K** tra zone termiche differenti e 0.6 W/m<sup>2</sup>K verso locali non riscaldati SIA 380-1

Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Piastrelle	1	4.32	1	2000
2	Betoncino in malta di cemento	8	1.8	1.05	1200
3	Foglio di separazione				
4	Isolamento termico - EPS20	4	0.129	1.47	20
5	Platea in calcestruzzo armato	30	7.56	0.96	2500
<b>Totale</b>		<b>43</b>			

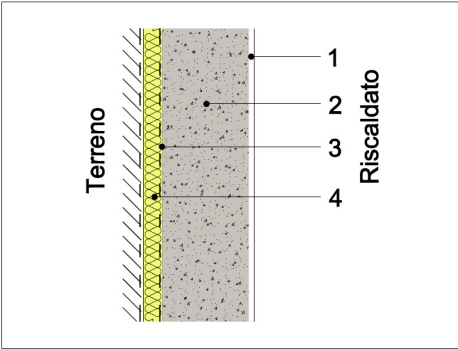
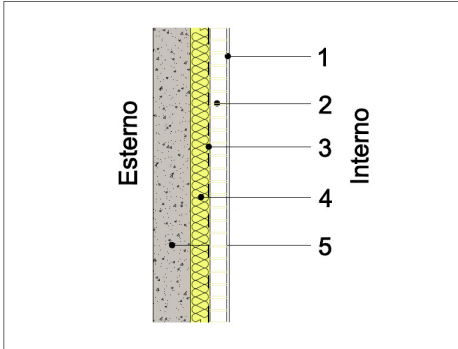
Esterno

1 2 3 4 5 6 7

Riscaldato

**CHIUSURA ORIZZONTALE SUPERIORE TETTO**  
**TRASMITTANZA = 0.17 W/m<sup>2</sup>K ≤ 0.4 W/m<sup>2</sup>K** SIA 380-1

Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Intonaco interno	1	3.132	0.96	1800
2	Soletta in calcestruzzo armato	22	7.56	0.96	2500
3	Betoncino di pendenza	8	1.8	1.05	1200
4	Barriera al vapore - PVC	0.1	0.576	0.9	1390
5	Isolamento termico – EPS30	18	0.122	1.47	30
6	Impermeabilizzazione – Cartone bitumato	1	0.612	1.2	1200
7	Ghiaia	5	7.2	1	1800
<b>Totale</b>		<b>55.1</b>			

		<p><b>CHIUSURA VERTICALE MU1</b>  Parete contro terra  <b>TRASMITTANZA = 0.48 W/m<sup>2</sup>K &gt;0.4 W/m<sup>2</sup>K SIA 380-1</b></p>			
Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Intonaco interno	1	3.132	0.96	1800
2	Muratura in calcestruzzo armato	25	7.56	0.96	2500
3	Impermeabilizzazione – Cartone bitumato	2	0.612	1.2	1200
4	Isolamento termico – EPS20	6	0.129	1.47	20
<b>Totale</b>		<b>38</b>			
		<p><b>CHIUSURA VERTICALE MU2</b>  Parete in muratura doppia verso l'esterno (facciata SE)  <b>TRASMITTANZA = 0.27 W/m<sup>2</sup>K ≤ 0.4 W/m<sup>2</sup>K SIA 380-1</b></p>			
Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Intonaco interno	1	3.132	0.96	1800
2	Muratura in cotto	5.5	4.68	0.84	2000
3	Barriera al vapore - PVC	0.1	0.576	0.9	1390
4	Isolamento termico – EPS20	12	0.129	1.47	20
5	Calcestruzzo armato faccia a vista	15	7.56	0.96	2500
<b>Totale</b>		<b>33.6</b>			





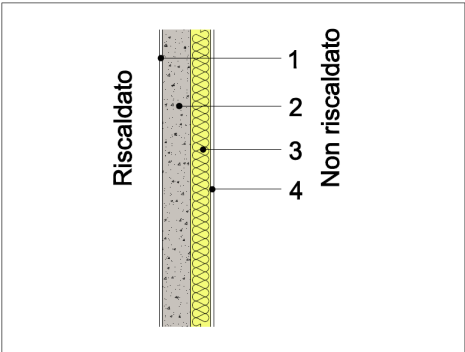
**CHIUSURA VERTICALE MU3**  
 Parete verso l'esterno rivestimento a cappotto  
**TRASMITTANZA = 0.24 W/m<sup>2</sup>K ≤ 0.4 W/m<sup>2</sup>K SIA 380-1**

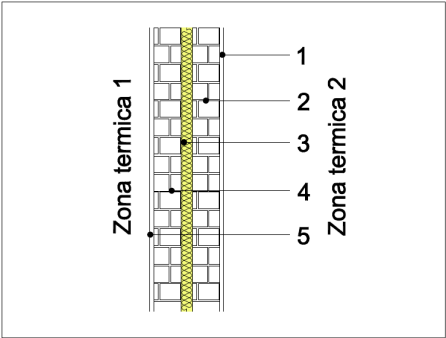
Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Intonaco interno	1	3.132	0.96	1800
2	Muratura in cotto	17.5	4.68	0.84	2000
3	Isolamento termico – EPS20	14	0.129	1.47	20
4	Intonaco esterno	1	3.132	0.96	1800
<b>Totale</b>		<b>33.5</b>			



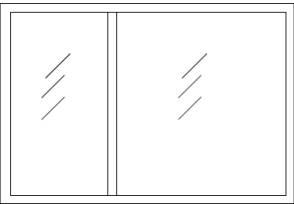
**CHIUSURA VERTICALE MU4**  
 Parete verso l'esterno corpo scale  
**TRASMITTANZA = 0.32 W/m<sup>2</sup>K ≤ 0.4 W/m<sup>2</sup>K SIA 380-1**

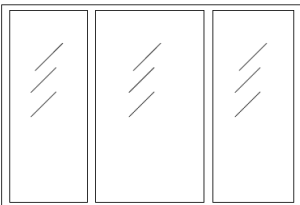
Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Intonaco interno	1	3.132	0.96	1800
2	Isolamento termico – EPS20	10	0.129	1.47	20
3	Calcestruzzo armato faccia a vista	23	7.56	0.96	2500
<b>Totale</b>		<b>34</b>			

		<p><b>PARTIZIONE VERTICALE MU5</b>  Parete verso locali non riscaldati  <b>TRASMITTANZA = 0.46 W/m<sup>2</sup>K ≤ 0.6 W/m<sup>2</sup>K SIA 380-1</b></p>			
Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Intonaco interno	1	3.132	0.96	1800
2	Calcestruzzo armato	25	7.56	0.96	2500
3	Isolamento termico – EPS15	7.5	0.144	1.47	15
4	Intonaco esterno	0.5	3.132	0.96	1800
<b>Totale</b>		<b>34</b>			


		<p><b>PARTIZIONE VERTICALE MU6</b>  Parete tra due zone termiche differenti  <b>TRASMITTANZA = 0.6 W/m<sup>2</sup>K ≤ 0.6 W/m<sup>2</sup>K SIA 380-1</b></p>			
Strato (int-ext)		Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Intonaco interno	1	3.132	0.96	1800
2	Muratura in cotto	12	1.8	0.84	1250
3	Isolamento fonico – EPS20	3	0.129	1.47	20
4	Muratura in cotto	15	1.8	0.84	1250
5	Intonaco esterno	1	3.132	0.96	1800
<b>Totale</b>		<b>32</b>			

<b>PORTONCINO INGRESSO - TRASMITTANZA = 1.72 W/m<sup>2</sup>K</b>				
Strato (int-ext)	Spessore [cm]	Conducibilità termica [kJ/hmK]	Capacità termica [kJ/kgK]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
Vetro	3.5	0.306	0.75	2500
<b>Totale</b>	<b>3.5</b>			

	<b>INFISSO ESTERNO VERTICALE F1</b> <b>Lato Sud-Est, piani P1, P2, P3</b> <b>TRASMITTANZA SERRAMENTO = 1.30 W/m<sup>2</sup>K</b>			
		<b>Superficie A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Trasmittanza U [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Fattore solare g [-]</b>
	Vetro (V)	6.11	1.10	0.61
	Telaio (T)	0.75	1.80	
	Serramento (S)	6.86	1.30	
Superficie coperta dal telaio rispetto a quella dell'intera finestra (AT/AS)	0.11			

	<b>INFISSO ESTERNO VERTICALE F2</b> <b>Lato Sud-Est, piano P0</b> <b>TRASMITTANZA SERRAMENTO = 1.37 W/m<sup>2</sup>K</b>			
		<b>Superficie A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Trasmittanza U [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Fattore solare g [-]</b>
	Vetro (V)	4.99	1.10	0.61
	Telaio (T)	0.75	1.80	
	Serramento (S)	5.74	1.37	
Superficie coperta dal telaio rispetto a quella dell'intera finestra (AT/AS)	0.13			

	<b>INFISSO ESTERNO VERTICALE F3</b> <b>Lato Nord-Ovest, vano scala, piani P0, P1, P2, P3</b> <b>TRASMITTANZA SERRAMENTO = 1.50 W/m<sup>2</sup>K</b>			
		<b>Superficie A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Trasmittanza U [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Fattore solare g [-]</b>
	Vetro (V)	1.43	1.10	0.61
	Telaio (T)	0.49	1.80	
	Serramento (S)	1.92	1.50	
Superficie coperta dal telaio rispetto a quella dell'intera finestra (AT/AS)	0.26			

	<b>INFISSO ESTERNO VERTICALE F4</b> <b>Lato Sud-Ovest, piani P0, P1, P2, P3</b> <b>TRASMITTANZA SERRAMENTO = 1.58 W/m<sup>2</sup>K</b>		
	<b>Superficie A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Trasmittanza U [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Fattore solare g [-]</b>
Vetro (V)	1.5	1.10	0.61
Telaio (T)	0.73	1.80	
Serramento (S)	2.22	1.58	
Superficie coperta dal telaio rispetto a quella dell'intera finestra (AT/AS)	0.33		

### **Allegato 3 (Cap. 3.1.1): Applicazione della SIA 380/1**

Nelle seguenti tabelle vengono riportate le caratteristiche dell'edificio in esame: le superfici di riferimento energetico e i volumi riscaldati, le tipologie e le proprietà degli elementi opachi, degli elementi trasparenti e dei ponti termici.

Facendo riferimento alle tavole 5 e 6, si osserva che il suffisso "a" è riferito alla metà di edificio rappresentata nelle tavole mentre con il suffisso "b" ci si riferisce all'altra metà simmetrica dell'edificio non riportata nelle tavole.

Zona termica	Categ. edificio	Descrizione settore	Osservazione supplementare	Sup. riferimento energetico	Altezza del piano lorda	Vol lordo
				$A_E [m^2]$	$H_p [m]$	$V [m^3]$
1	I	Appartamenti	App. 1a, 2° piano	124	2.8	347.2
1	I	Appartamenti	App. 2a, 2° piano	102	2.8	285.6
1	I	Appartamenti	App. 1b, 2° piano	124	2.8	347.2
1	I	Appartamenti	App. 2b, 2° piano	102	2.8	285.6
1	I	Appartamenti	App. 1a, 3° piano	124	2.8	347.2
1	I	Appartamenti	App. 2a, 3° piano	102	2.8	285.6
1	I	Appartamenti	App. 1b, 3° piano	124	2.8	347.2
1	I	Appartamenti	App. 2b, 3° piano	102	2.8	285.6
3	III	Uffici	Ufficio a, pianterreno	228	2.8	638.4
3	III	Uffici	Ufficio b, pianterreno	228	2.8	638.4
3	III	Uffici	Ufficio a, 1° piano	228	2.8	638.4
3	III	Uffici	Ufficio b, 1° piano	228	2.8	638.4

**Tabella 126 - Superficie di riferimento energetico AE e volume riscaldato V**

Sigla	Elemento costruttivo	Coeff.	Spessore isolante	Tipologia e orientamento
		$U [W/m^2K]$	[cm]	
Pa1	Pavimento verso terreno (piano interrato)	0.60	4.0	C1 Pavimento → terreno profondità < 2m
Pa2	Pavimento verso locali non riscaldati	0.58	4.0	C2 Pavimento → Loc non risc
Mu1	Pareti verso terreno (piano interrato)	0.48	6.0	B2 Parete → terreno profondità > 2m
Mu2	Pareti verso esterno, muratura doppia (SE)	0.27	12.0	B1 Parete esterna
Mu3	Pareti verso esterno, cappotto (NW-SW)	0.24	14.0	B1 Parete esterna
Mu4	Pareti corpo scale verso esterno (SW)	0.32	10.0	B1 Parete esterna
Mu5	Pareti verso parte edificio B	0.46	7.5	B1 Parete esterna
Te	Tetto piano	0.17	18.0	A1 Tetto esterno
Pa2_carpet	Pavimento tra appartamenti e uffici	0.63	4.0	Elemento verso altre zone termiche
Mu6	Pareti tra due zone termiche differenti	0.60	3.0	Elemento verso altre zone termiche

**Tabella 127 - Elementi opachi e serramenti interni**

	Sigla	Descrizione
Verso l'esterno	Mu2	Pareti verso esterno, muratura doppia (SE)
	Mu3	Pareti verso esterno, cappotto (NW-NE-SW)
	Te	Tetto piano
Verso locali non riscaldati	Mu4	Pareti corpo scale verso esterno
	Mu5	Pareti verso parte edificio B
	Pa2	Pavimento verso locali non riscaldati
Verso locali riscaldati	Pa2_carpet	Pavimento tra appartamenti e uffici

**Tabella 128 - Tipologie elementi opachi**

	Sigla	Descrizione
Verso l'esterno	PT1	Raccordo balconi
	PT3	Raccordo parete-serramenti
	PT5	Raccordo pensilina sopra balconi
	PT6	Raccordo tetto-vano scale
Verso locali non riscaldati	PT4	Raccordo pareti-zone non riscaldate

**Tabella 129 - Tipologie ponti termici**

	Sigla	Descrizione
Verso l'esterno	F1	Finestre SE, piani 1°-2°-3°
	F2	Finestre SE, pianterreno
	F3	Finestre NW, piani terra-1°-2°-3° e scale
	F4	Finestre SW e NE, piani terra-1°-2°-3°

**Tabella 130 - Tipologie elementi traslucidi**

## **Allegato 4 (Cap. 3.1.2): Procedura di calcolo della SIA 384-201:2003**

Si considerano le perdite termiche per trasmissione (attraverso superfici opache, ponti termici e superfici vetrate), le perdite per ventilazione e il carico termico di ripresa del riscaldamento.

$$\Phi_{HL} = (\Phi_{T,op} + \Phi_{T,tb} + \Phi_{T,w}) + \Phi_V + \Phi_r$$

### **Equazione 15 - Calcolo della potenza di progetto**

Vengono dapprima calcolate le perdite termiche per trasmissione attraverso le superfici opache, con la formula:

$$\Phi_{T,op} = A \cdot U \cdot (T_{int} - T_{ext}) \cdot e_k$$

### **Equazione 16 - Perdite termiche per trasmissione attraverso superfici opache**

	Zona termica	Categ. edificio	Elemento costruttivo	Sup.	Coeff.	T int	T locale adiacente riscaldato	Fatt riduz	Perdite termiche
				A [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	θh [°C]	θi [°C]	e <sub>k</sub> [-]	Φ <sub>op</sub> [W]
Verso esterno	1	I	Mu2 SE (Piano 2)	52.9	0.27	20		1	300
	1	I	Mu2 SE (Piano 3)	52.9	0.27	20		1	300
	3	III	Mu2 SE (Piano 0)	58.5	0.27	20		1	332
	3	III	Mu2 SE (Piano 1)	58.5	0.27	20		1	332
	1	I	Mu3 SW (Piano 2)	103.6	0.24	20		1	522
	1	I	Mu3 SW (Piano 3)	103.6	0.24	20		1	522
	3	III	Mu3 SW (Piano 0)	134.3	0.24	20		1	677
	3	III	Mu3 SW (Piano 1)	134.3	0.24	20		1	677
	1	I	Te Tetto piano a	230.1	0.17	20		1	821
1	I	Te Tetto piano b	230.1	0.17	20		1	821	
Verso locali non riscald.	1	I	Mu4 Pareti vano scale, parte a	69.3	0.32	20		0.4	186
	3	III	Mu4 Pareti vano scale, parte b	69.3	0.32	20		0.4	186
Verso locali riscaldati	1	I	Mu5 Pareti vs parte edificio B	74.5	0.46	20	20		0
	3	III	Mu5 Pareti vs parte edificio B	74.5	0.46	20	20		0
Verso locali non riscald.	3	III	Pa2 Pavim su interrato, parte a	230.1	0.58	20		0.8	2'242
	3	III	Pa2 Pavim su interrato, parte b	230.1	0.58	20		0.8	2'242
Verso locali riscaldati	1	I	Pa2_c Pavim. app - uff, parte a	230.1	0.63	20	20		0
	1	I	Pa2_c Pavim. app - uff, parte b	230.1	0.63	20	20		0

**Tabella 131 - Perdite termiche per trasmissione attraverso le pareti opache**

Si considerano poi le perdite termiche per trasmissione attraverso i ponti termici:

$$\Phi_{T,ib} = L \cdot \psi \cdot (T_{int} - T_{ext}) \cdot e_k$$

**Equazione 17 - Perdite per trasmissione attraverso i ponti termici**

	Zona termica	Categ. edificio	Elemento costruttivo	Lungh.	Coeff. Trasmiss lineica	T int	Fatt riduz	Perdite Termiche
				L [m]	Ψ [W/mK]	θh [°C]	e <sub>k</sub> [-]	Φ <sub>ib</sub> [W]
Verso esterno	3	III	PT3 Raccordo parete-serramenti	220	0.10	20		463
	3	III	PT3 Raccordo parete-serramenti	220	0.10	20		463
	3	III	PT1 Raccordo balconi	20	0.50	20		216
	3	III	PT1 Raccordo balconi	20	0.50	20		216
	1	I	PT3 Raccordo parete-serramenti	327	0.10	20		687
	1	I	PT3 Raccordo parete-serramenti	327	0.10	20		687
	1	I	PT1 Raccordo balconi	41	0.50	20		433
	1	I	PT1 Raccordo balconi	41	0.50	20		433
	1	I	PT5 Racc. pensilina sopra balconi	53	0.28	20		317
	1	I	PT5 Racc. pensilina sopra balconi	53	0.28	20		317
	1	I	PT6 Racc. tetto-vano scale	14	0.38	20		118
	1	I	PT6 Racc. tetto-vano scale	14	0.38	20		118
Verso locali non riscald.	3	III	PT4 Racc. pareti-zone non risc	15	0.20	20	0.4	25
	3	III	PT4 Racc. pareti-zone non risc	15	0.20	20	0.4	25
	3	III	PT4 Racc. pareti-zone non risc	15	0.20	20	0.4	25
	3	III	PT4 Racc. pareti-zone non risc	15	0.20	20	0.4	25
	1	I	PT4 Racc. pareti-zone non risc	15	0.20	20	0.4	25
	1	I	PT4 Racc. pareti-zone non risc	15	0.20	20	0.4	25
	1	I	PT4 Racc. pareti-zone non risc	15	0.20	20	0.4	25
	1	I	PT4 Racc. pareti-zone non risc	15	0.20	20	0.4	25

**Tabella 132 - Perdite termiche per trasmissione attraverso i ponti termici**

Vengono calcolate quindi le perdite per trasmissione attraverso le finestre:

$$\Phi_{T,w} = A \cdot U \cdot (T_{int} - T_{ext}) \cdot e_k$$

**Equazione 18 - Perdite per trasmissione attraverso le finestre**



	Zona termica	Categ. edificio	Elemento costruttivo	Sup.	Coeff.	T int	Perdite termiche
				A [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	θh [°C]	Φ <sub>w</sub> [W]
Verso esterno	1	I	F1 Finestre SE, piano 2°	68.6	0.61	20	879
	1	I	F1 Finestre SE, piano 3°	68.6	0.61	20	879
	3	III	F1 Finestre SE, piano 1°	34.3	0.61	20	439
	3	III	F1 Finestre SE, piano 2°	34.3	0.61	20	439
	3	III	F2 Finestre SE, pianterreno	28.7	0.61	20	368
	3	III	F2 Finestre SE, pianterreno	28.7	0.61	20	368
	1	I	F3 Finestre NW, piani 2° e scale	30.7	0.61	20	394
	1	I	F3 Finestre NW, piani 3° e scale	30.7	0.61	20	394
	3	III	F3 Finestre NW, piani terra e scale	30.7	0.61	20	394
	3	III	F3 Finestre NW, piani 1° e scale	30.7	0.61	20	394
	1	I	F4 Finestre SW, piani 2°-3°	4.4	0.61	20	57
	1	I	F4 Finestre NE, piani 2°-3°	4.4	0.61	20	57
	3	III	F4 Finestre SW, piani terra-1°	4.4	0.61	20	57
	3	III	F4 Finestre NE, piani terra-1°	4.4	0.61	20	57

**Tabella 133 - Perdite termiche per trasmissione attraverso le finestre**

Il calcolo delle perdite per ventilazione avviene attraverso la seguente formula:

$$\Phi_V = 0.34 \cdot V \cdot n \cdot (T_{int} - T_{ext}) \cdot RC$$

**Equazione 19 - Perdite per ventilazione**

Zona termica	Categ. edificio	Area netta	Altezza netta	Vol riscaldato netto	Portata ventilazione	T int	rendim	Perdite termiche
		A [m <sup>2</sup> ]	h [m]	V [m <sup>3</sup> ]	q [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	θh [°C]	RC [-]	Φ [W]
1	I	124	2.5	310	0.7	20	0.84	521
1	I	102	2.5	255	0.7	20	0.84	428
1	I	124	2.5	310	0.7	20	0.84	521
1	I	102	2.5	255	0.7	20	0.84	428
1	I	124	2.5	310	0.7	20	0.84	521
1	I	102	2.5	255	0.7	20	0.84	428
1	I	124	2.5	310	0.7	20	0.84	521
1	I	102	2.5	255	0.7	20	0.84	428
3	III	228	2.5	570	0.7	20	0.76	866
3	III	228	2.5	570	0.7	20	0.76	866
3	III	228	2.5	570	0.7	20	0.76	866
3	III	228	2.5	570	0.7	20	0.76	866

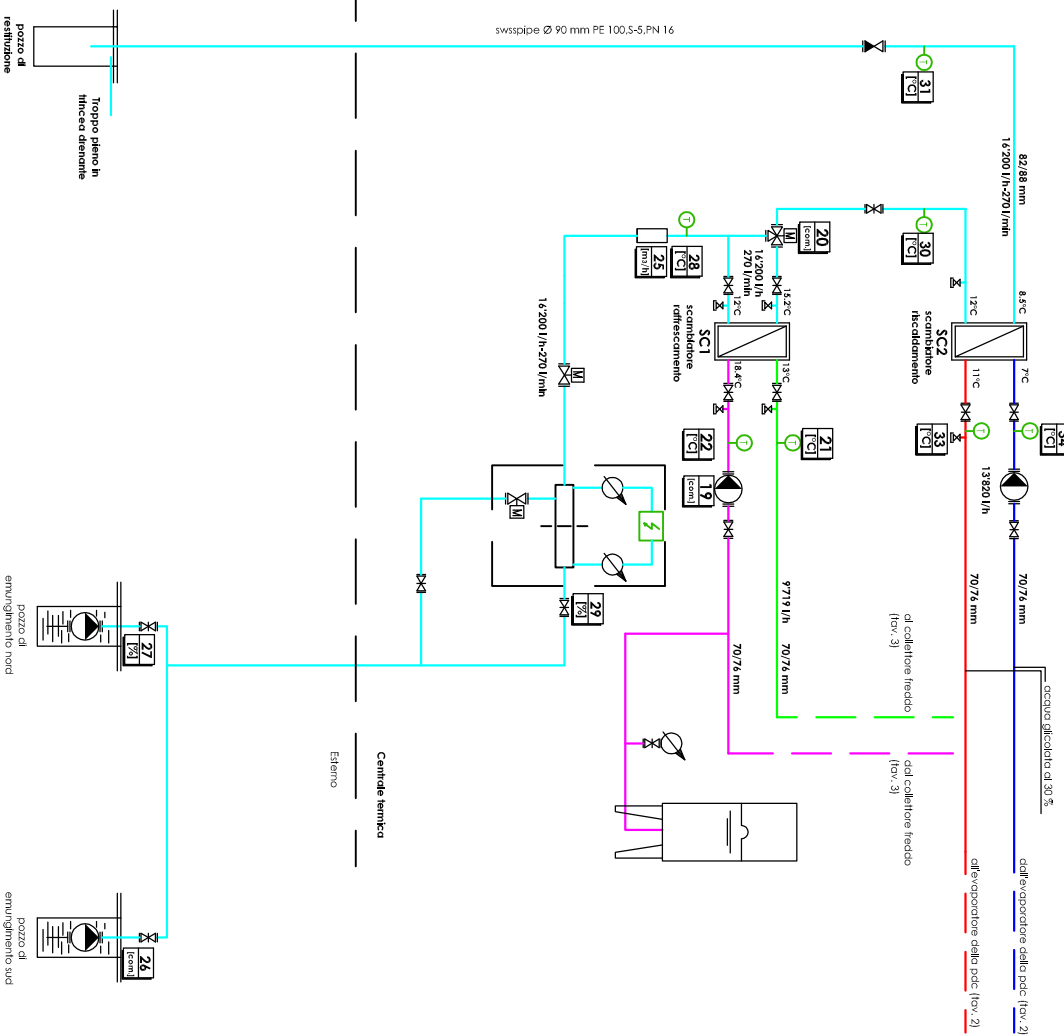
**Tabella 134 - Perdite termiche per ventilazione**

Si considera infine il carico termico di ripresa per ciascun ambiente legato alla capacità di preriscaldamento:

$$\Phi_r = A_{netta} \cdot f_{rh}$$

**Equazione 20 - Calcolo della potenza di ripresa**





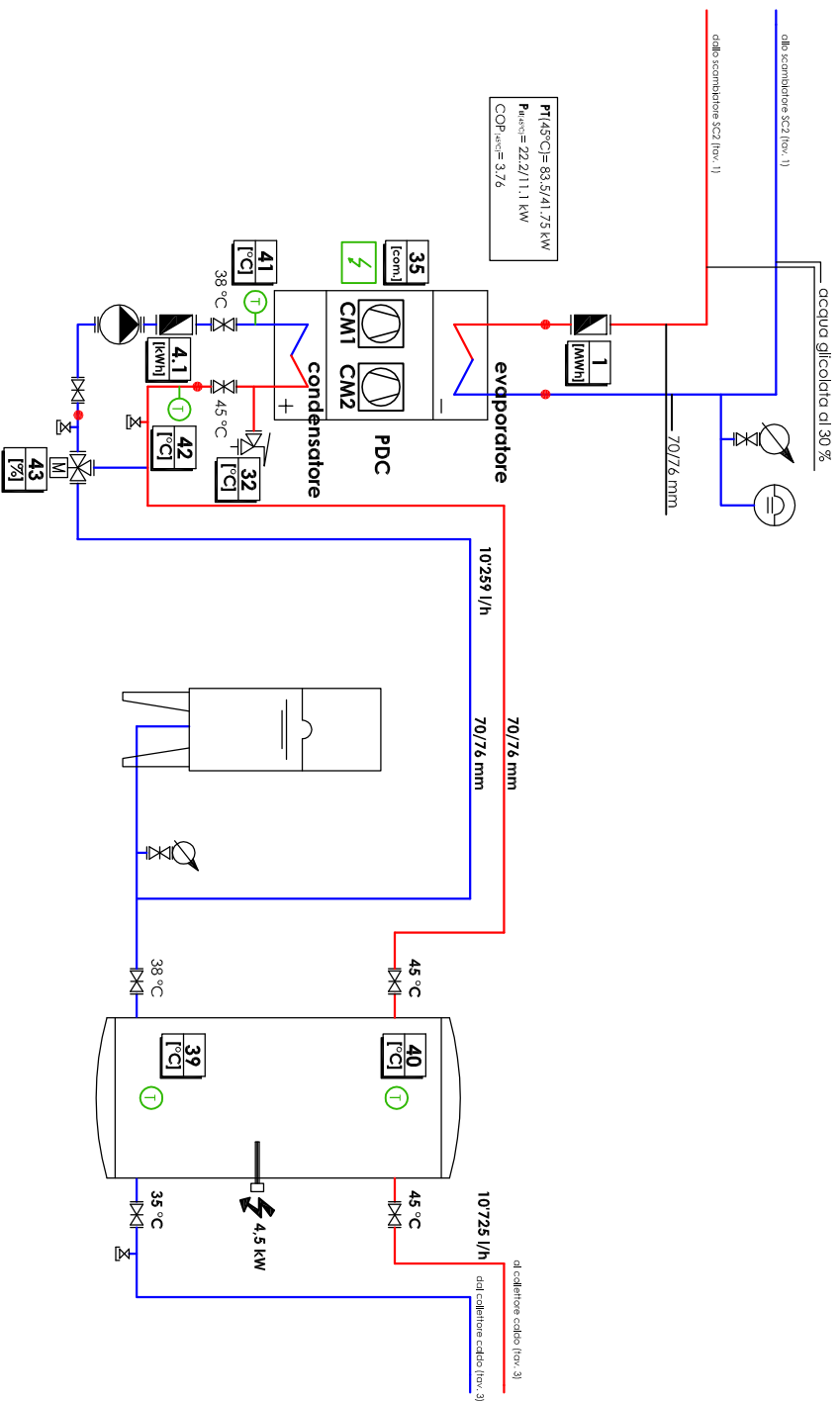
LEGENDA

	Numero del sensore		Unità di misura del sensore
	Sistema di raffreddamento/deumidificazione a circolazione forzata		Pompa di circolazione a portata fissa
	Separatore di gocce		Pompa di circolazione a portata variabile
	Sezione di umidificazione		Valvola a due vie motorizzata
	Recuperatore a flussi incrociati		Valvola a tre vie motorizzata
	Recuperatore rotativo		Valvola a farfalla
	Silenziatore a canale		Valvola di regolaggio
	Ventilatore centrifugo		Valvola di regolaggio a farfalla
	Scarico convogliato		Valvola di stoppo
	Rate di protezione ventilatore		Riluttore di scarico
	Compressore		Ammortizzatore
	Sonda temperatura e umidità da ambiente		Manometro
	Sonda temperatura da ambiente		Scambiatore di calore a passere
	Attuatore motorizzato		Sonda di temperatura
	Attuatore		Sonda di umidità
	Serranda az. attive con terminali		
	Altra a pannelli con indicata la classe di efficienza		
	Filtro a grande superficie con indicata la classe di efficienza		
	Galvania di riscaldamento a circolazione forzata		

Tav. 1 - Cap. 7

Sensori relativi al circuito acqua di falda (2009)

Scala: --



28 Numero del sensore  
 76/1 Unità di misura del sensore

LEGENDA

	Condensazione di calore		Pompa di circolazione a portata fissa
	Pompa di circolazione a portata variabile		Valvola a cuore vite motorizzata
	Valvola a tre vie motorizzata		Valvola a tre vie motorizzata
	Valvola a sfera		Valvola a sfera
	Valvola di regolaggio		Valvola di regolaggio a sfera
	Valvola di regolaggio a sfera		Valvola di regolaggio a sfera
	Valvola di ritegno		Valvola di ritegno
	Rubinetto di scarico		Rubinetto di scarico
	Ammortizzatore		Ammortizzatore
	Miscelatore		Miscelatore
	Sensatore di calore a piastre		Sensatore di calore a piastre
	Sonda di temperatura		Sonda di temperatura
	Sonda di umidità		Sonda di umidità

Serranda ad alture convenzionali  
 Filtro ai pannelli (con indicata la classe di efficienza)  
 Filtro a grande superficie con indicata la classe di efficienza  
 Batteria di riscaldamento a circolazione forzata

Tav. 2 - Cap. 7

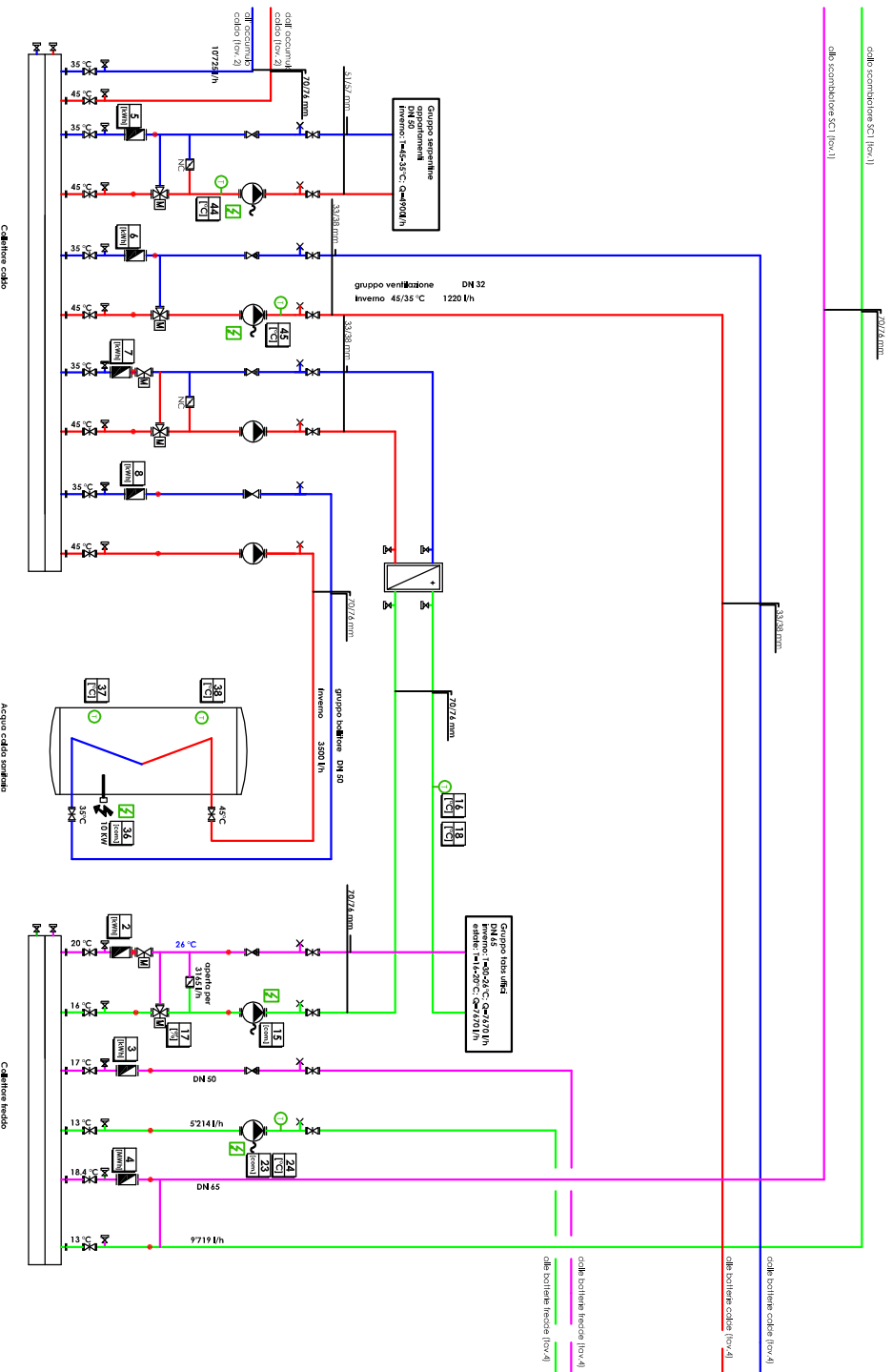
Sensori relativi a pompa di calore e accumulo (2009)

Scala: --

**29** Numero del sensore  
**29/1** Unità di misura del sensore

**LEGENDA**

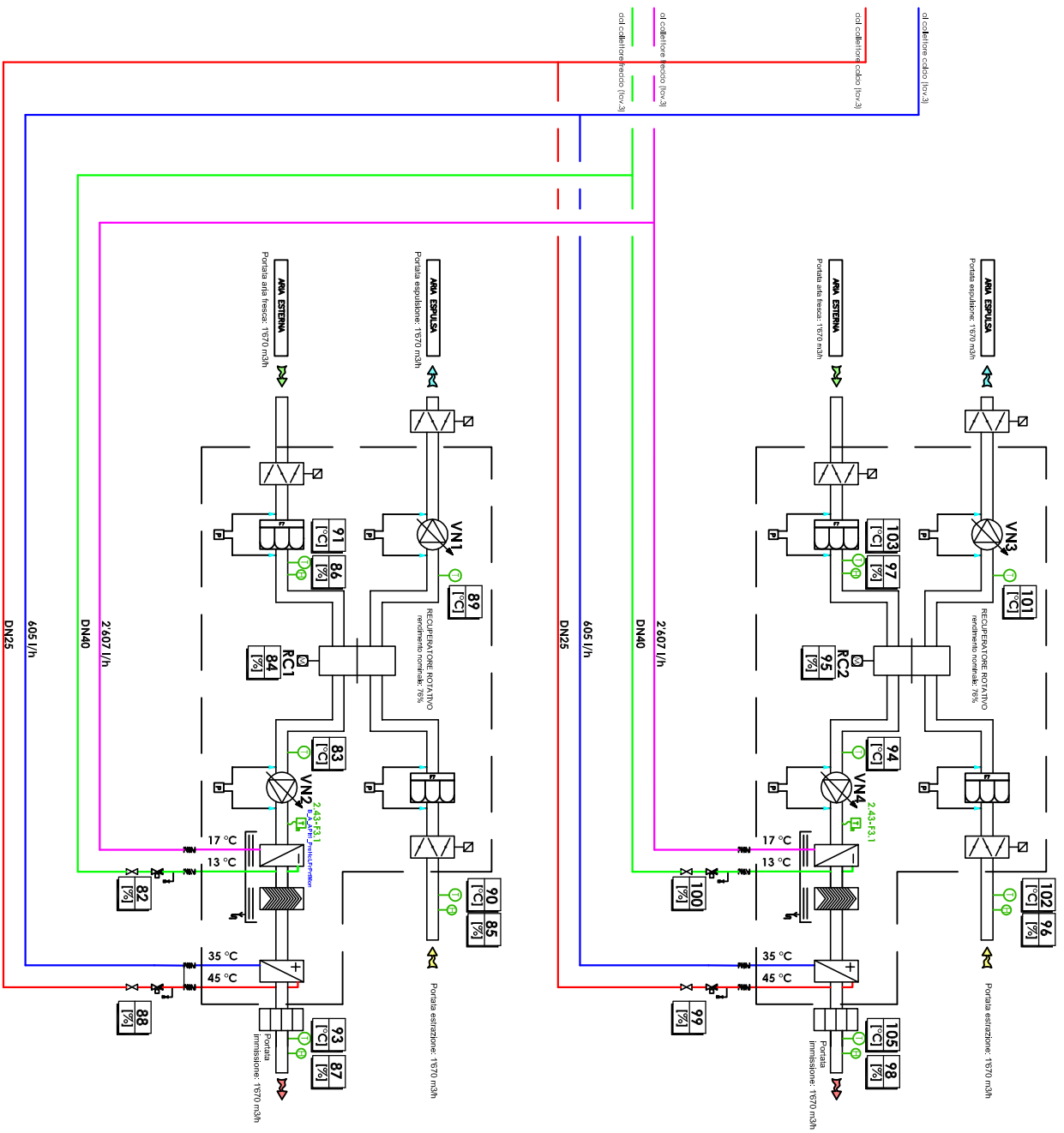
	Condizionatore di calore		Pompa di circolazione a portata fissa
	Pompa di circolazione a portata variabile		Valvola a cuore, vie motorizzata
	Valvola a tre vie motorizzata		Valvola a tre vie motorizzata
	Valvola a sfera		Valvola a sfera
	Valvola di regolaggio		Valvola di regolaggio
	Valvola di regolaggio a sfera		Valvola di regolaggio a sfera
	Valvola di ritegno		Valvola di ritegno
	Valvola di scarico		Valvola di scarico
	Ritorno di scarico		Ritorno di scarico
	Ammortizzatore		Ammortizzatore
	Miscelatore		Miscelatore
	Scambiatore di calore a piastre		Scambiatore di calore a piastre
	Sonda di temperatura		Sonda di temperatura
	Sonda di umidità		Sonda di umidità
	Serranda ad azione convenzionata		Serranda ad azione convenzionata
	Filtro ai pannelli (con indicata la classe di filtrazione)		Filtro ai pannelli (con indicata la classe di filtrazione)
	Filtro a grande superficie con indicata la classe di filtrazione		Filtro a grande superficie con indicata la classe di filtrazione
	Batteria di riscaldamento a circolazione forzata		Batteria di riscaldamento a circolazione forzata



**Tav. 3 - Cap. 7**

**Sensori relativi ai collettori caldo e freddo (2009)**

Scala: --



LEGENDA

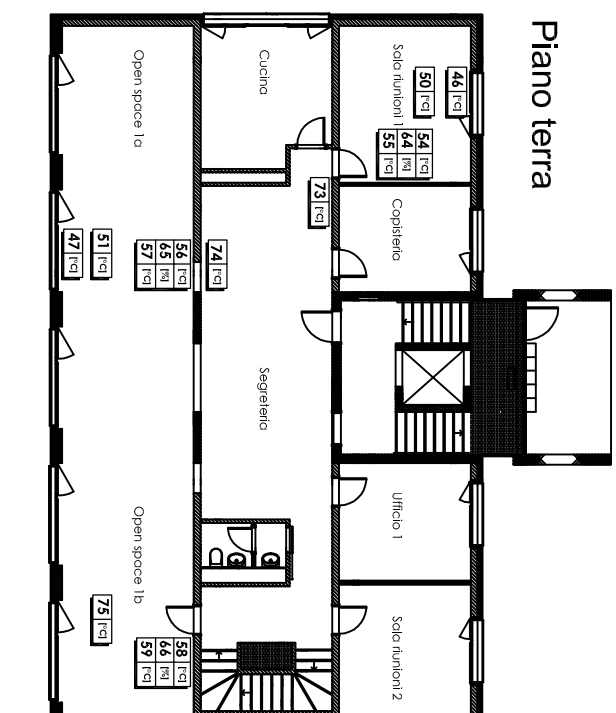
	29 Numero del sensore Unità di misura del sensore		Corrizzatore di calore
			Pompa di circolazione a portata fissa
			Pompa di circolazione a portata variabile
			Valvola a due vie motorizzata
			Valvola a tre vie motorizzata
			Valvola a sterello
			Valvola di regolaggio
			Valvola di spegnimento a sterello
			Valvola di stoppo
			Valvola di scarico
			Riluttore di scarico
			Ammortizzatore
			Mancornio
			Scambiatore di calore a passivo
			Sonda di temperatura
			Sonda di umidità
			Sonda di temperatura
			Sonda di umidità

Tav. 4 - Cap. 7

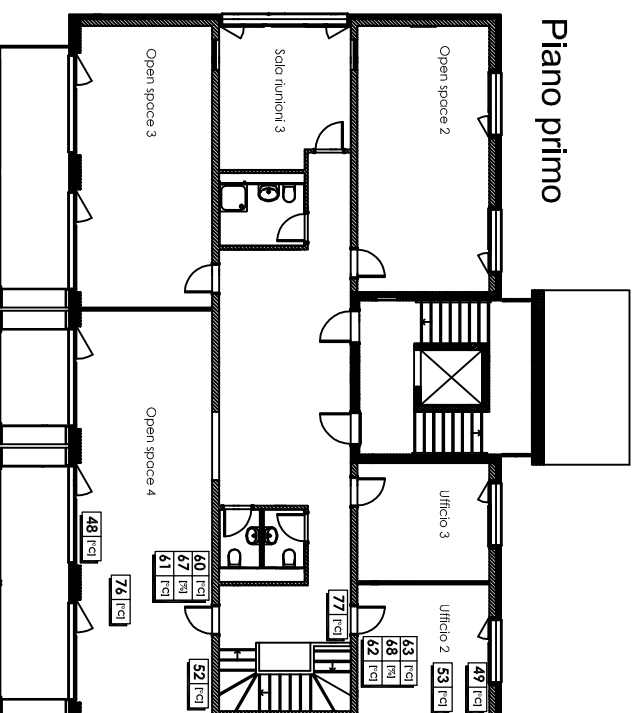
Sensori relativi al gruppo ventilazione uffici (2009)

Scala: --

## Piano terra



## Piano primo



### LEGENDA

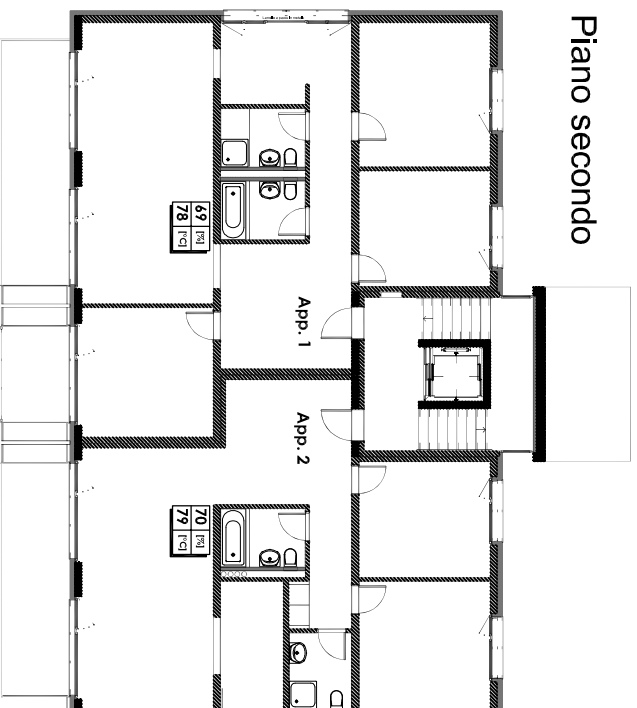
<b>54</b>	[°C]	Numero del sensore posto a 2 m di altezza	Unità di misura del sensore posto a 2 m di altezza
<b>64</b>	[%]	Numero del sensore posto a 1 m di altezza	Unità di misura del sensore posto a 1 m di altezza
<b>55</b>	[°C]	Numero del sensore posto a 1 m di altezza	Unità di misura del sensore posto a 1 m di altezza

## Tav. 5 - Cap. 8

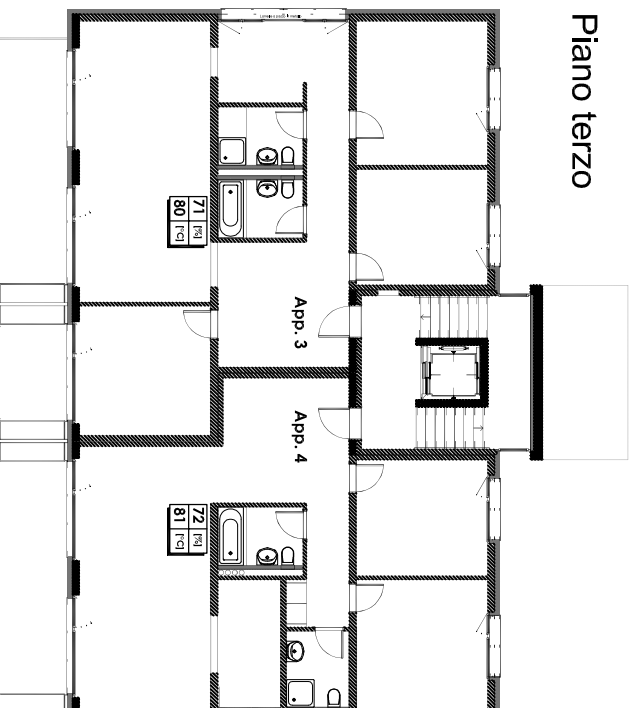
Sensori relativi al piano terra e piano primo (2009)

Scala: --

## Piano secondo



## Piano terzo



### LEGENDA

69	[%]
78	[°C]

Numero del sensore posto a 1 m di altezza  
 Unità di misura del sensore posto a 1 m di altezza

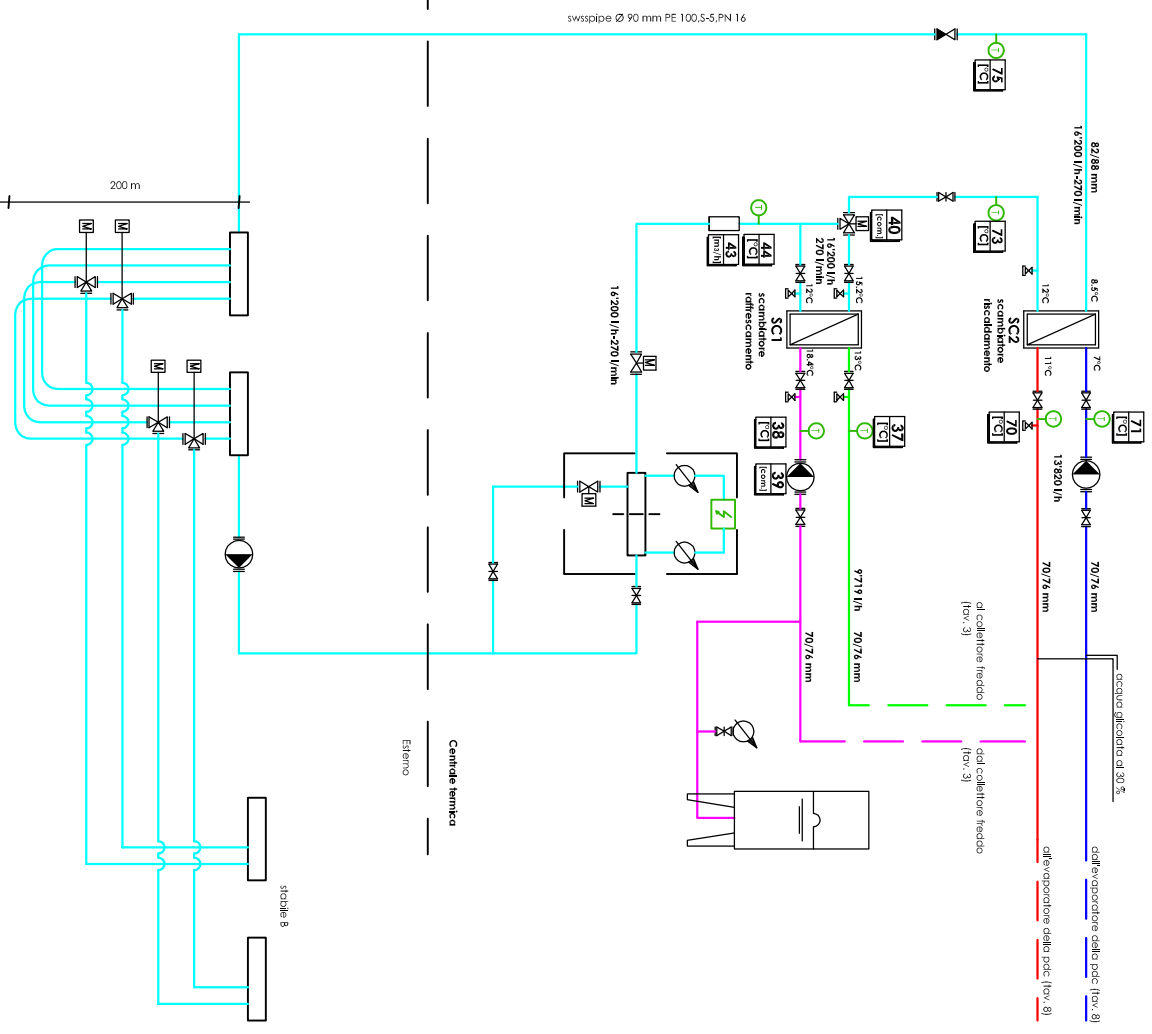
Numero del sensore posto a 1 m di altezza  
 Unità di misura del sensore posto a 1 m di altezza

## Tav. 6 - Cap. 8

Sensori relativi al piano secondo e piano terzo (2009)

Scala: --





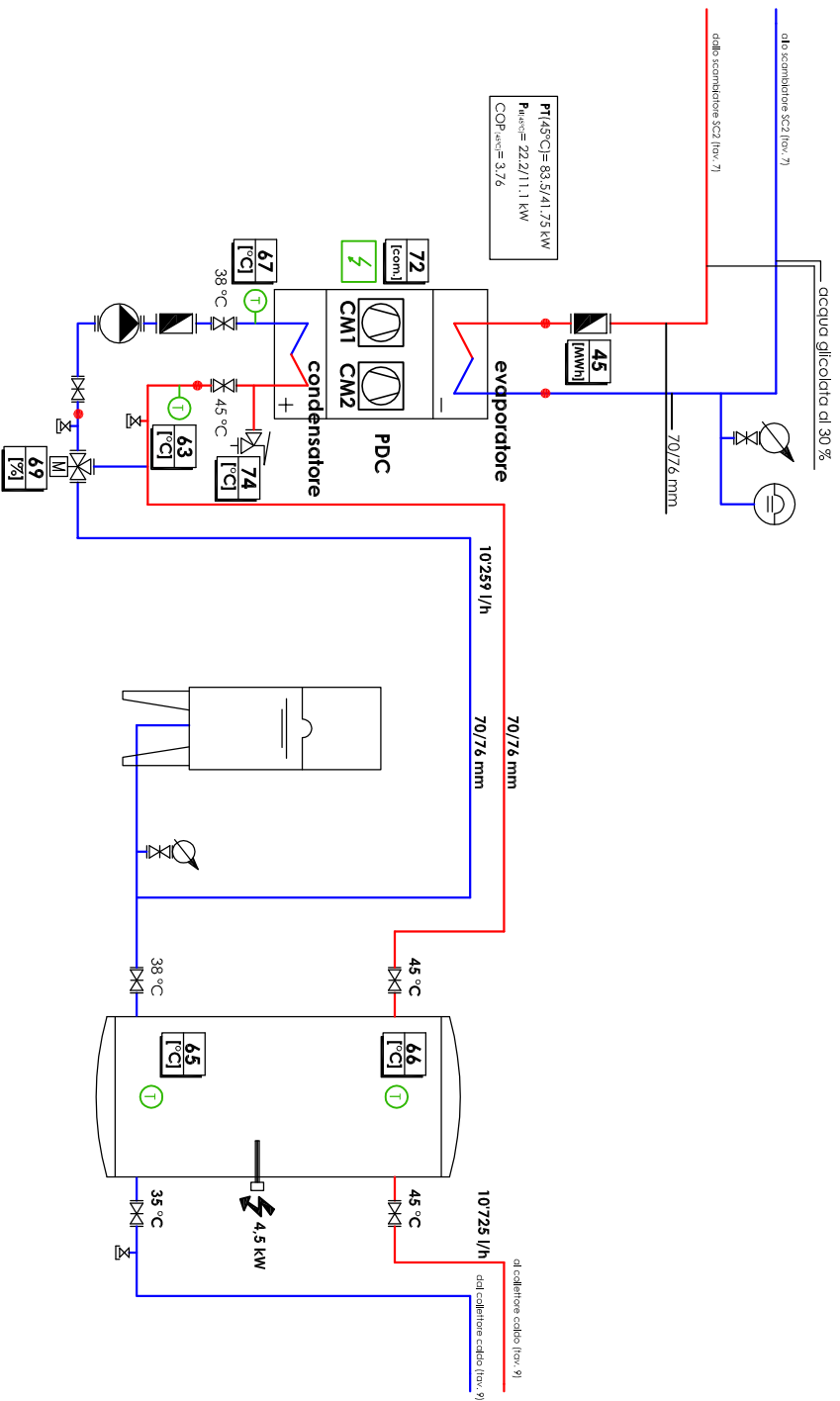
LEGENDA

	Numero del sensore		Correlazionatore di calore
	Unità di misura del sensore		Pompa di circolazione a portata fissa
			Pompa di circolazione a portata variabile
			Valvola a due vie motorizzata
			Valvola a tre vie motorizzata
			Valvola a farfalla
			Valvola di regolaggio
			Valvola di spegnimento a farfalla
			Valvola di stoppo
			Valvola di scarico
			Rullinetto di scarico
			Ammortizzatore
			Manometro
			Scambiatore di calore a piastre
			Sonda di temperatura
			Sonda di umidità
			Sonda di temperatura
			Attuatore motorizzato
			Attuatore
			Serranda az. attive con motorini
			Ring a pannelli con indicata la classe di resistenza
			Filtro a grande superficie con indicata la classe di efficienza
			Battente di riscaldamento a circolazione forzata

Tav. 7 - Cap. 9

Sensori relativi al circuito delle sonde geotermiche (2010)

Scala: --



29 Numero del sensore  
67/74 Unità di misura del sensore

LEGENDA

	Esistente di raffreddamento/ventilazione		Cornibilizzatore di calore
	Separatore di gocce		Pompa di circolazione a portata fissa
	Sezione di umidificazione		Pompa di circolazione a portata variabile
	Recuperatore a flussi incrociati		Valvola a due vie motorizzata
	Recuperatore rotativo		Valvola a tre vie motorizzata
	Silenziatore a canale		Valvola a sfera
	Ventilatore centrifugo		Valvola di ritegno
	Ventilatore centrifugo a portata variabile		Valvola di ritegno a sfera
	Scarico convogliato		Ammortizzatore
	Rate di protezione ventilatore		Ritardetto di scarico
	Compressore		Mancamento
	Sonda temperatura e umidità da ambiente		Scambiatore di calore a parete
	Sonda temperatura da ambiente		Sonda di temperatura
	Attuatore motorizzato		Sonda di umidità
	Attuatore		
	Serranda ad aliti comoranti		
	Pinne a papaveri con indicata la classe di efficienza		
	Filtro a grande superficie con indicata la classe di efficienza		
	Esistenza di riscaldamento a circolazione		

Tav. 8 - Cap. 9

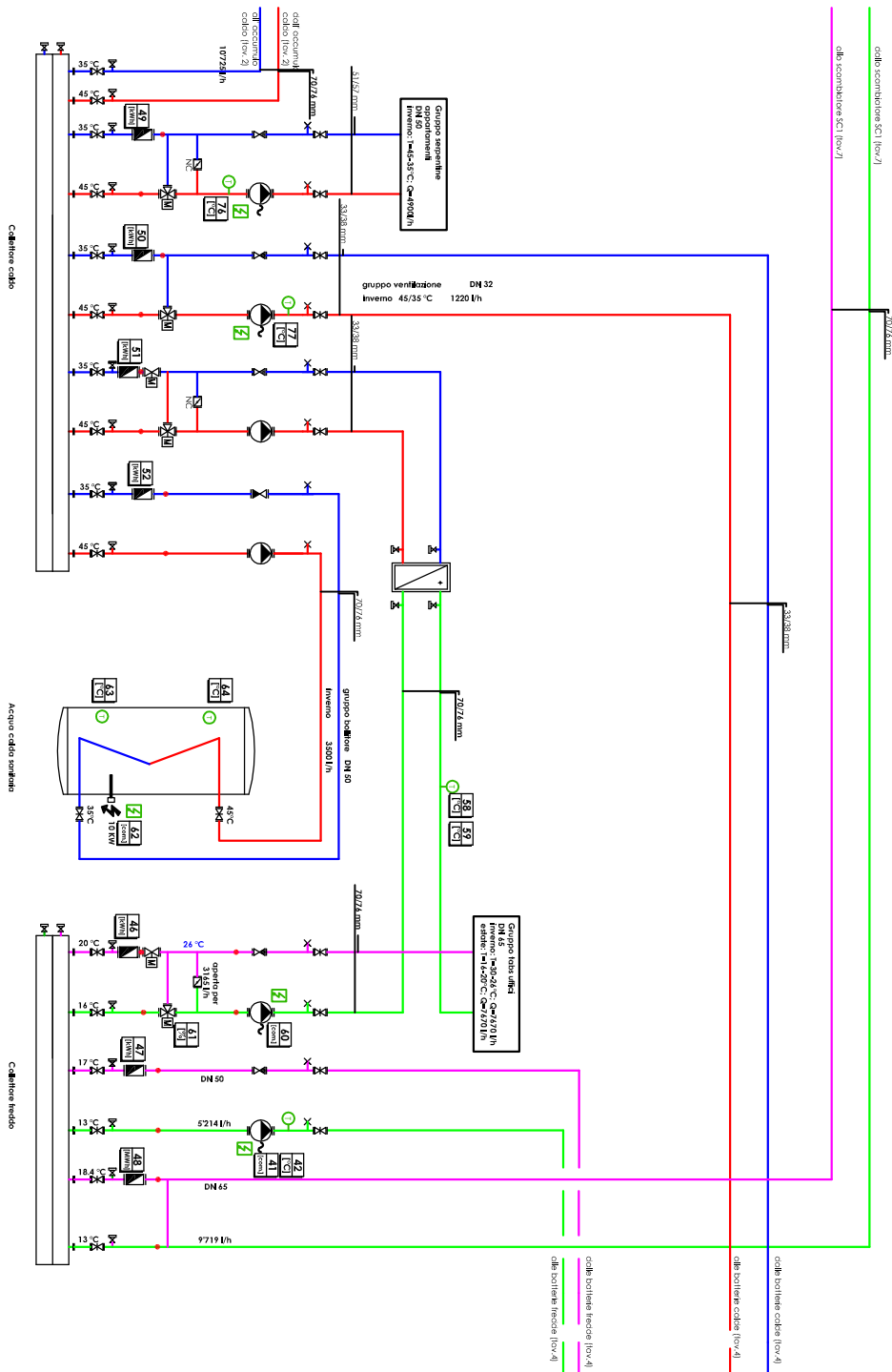
Sensori relativi a pompa di calore e accumulo (2010)

Scala: --

29  
 1/31  
 Numero del sensore  
 Unità di misura del sensore

LEGENDA

	Sistema di raffreddamento/deumidificazione a circolazione forzata		Comballizzatore di calore
	Separatore di gocce		Pompa di circolazione a portata fissa
	Sezione di umidificazione		Pompa di circolazione a portata variabile
	Recuperatore a flussi incrociati		Valvola a due vie motorizzata
	Recuperatore rotativo		Valvola a tre vie motorizzata
	Stanziatore a canale		Valvola a farfalla
	Ventilatore centrifugo		Valvola di regolaggio
	Ventilatore centrifugo a portata variabile		Valvola di spegnimento a farfalla
	Scarico conoigliolo		Valvola di stoppo
	Rate di protezione ventilatore		Ritornello di scarico
	Compressore		Ammortizzatore
	Sonda temperatura e umidità da ambiente		Martinetto
	Sonda temperatura da ambiente		Scambiatore di calore a passere
	Attuatore motorizzato		Sonda di temperatura
	Attuatore		Sonda di umidità
	Serranda ad aliti comorotari		
	Altra a pannelli con pedicella la classe di resistenza		
	Filtro a grande superficie con indicata la classe di efficienza		
	Battente di riscaldamento a circolazione forzata		

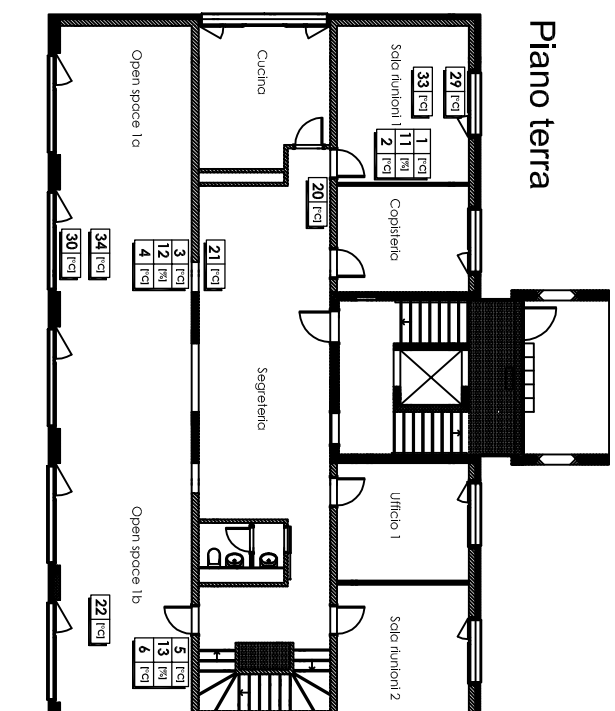


Tav. 9 - Cap. 9

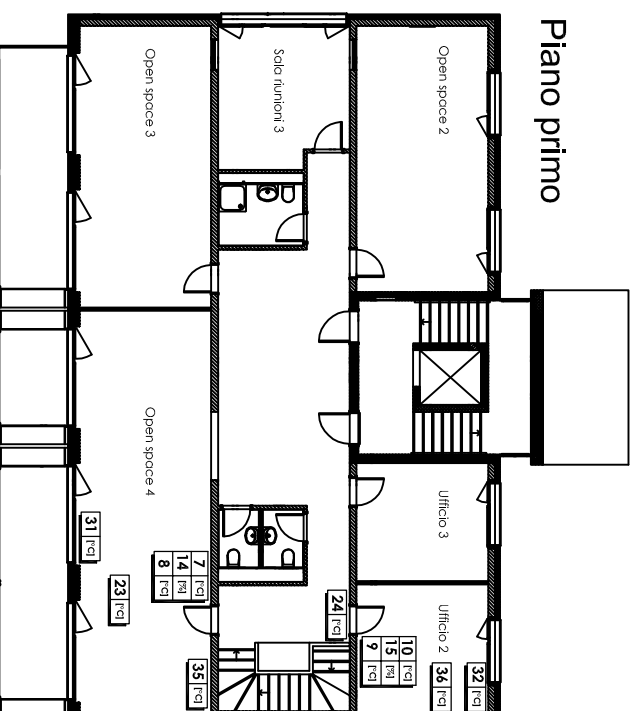
Sensori relativi ai collettori caldo e freddo (2010)

Scala: --

## Piano terra



## Piano primo



### LEGENDA

<b>7</b>	[°C]	<b>7</b>	[°C]
<b>14</b>	[%]	<b>14</b>	[°C]
<b>8</b>	[°C]	<b>8</b>	[°C]

Numero del sensore posto a 2 m di altezza      Unità di misura del sensore posto a 2 m di altezza

Numero del sensore posto a 1 m di altezza      Unità di misura del sensore posto a 1 m di altezza

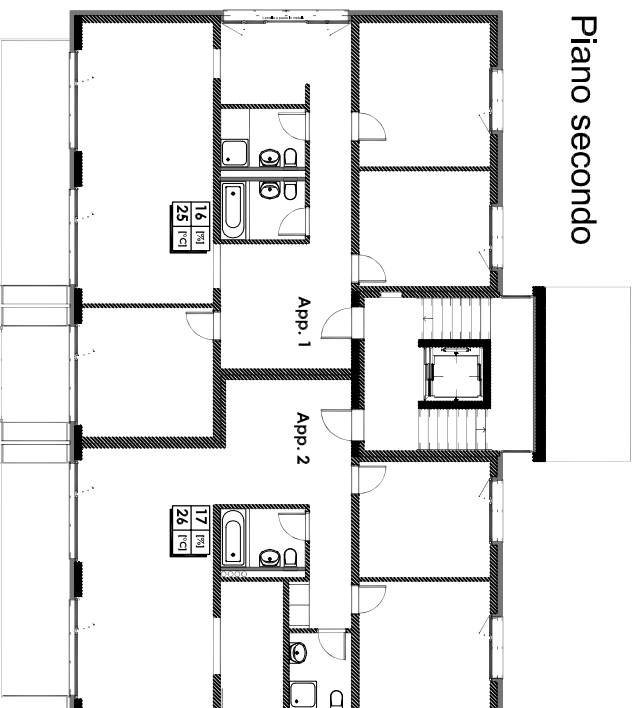
Numero del sensore posto a 1 m di altezza      Unità di misura del sensore posto a 1 m di altezza

## Tav. 10 - Cap. 9

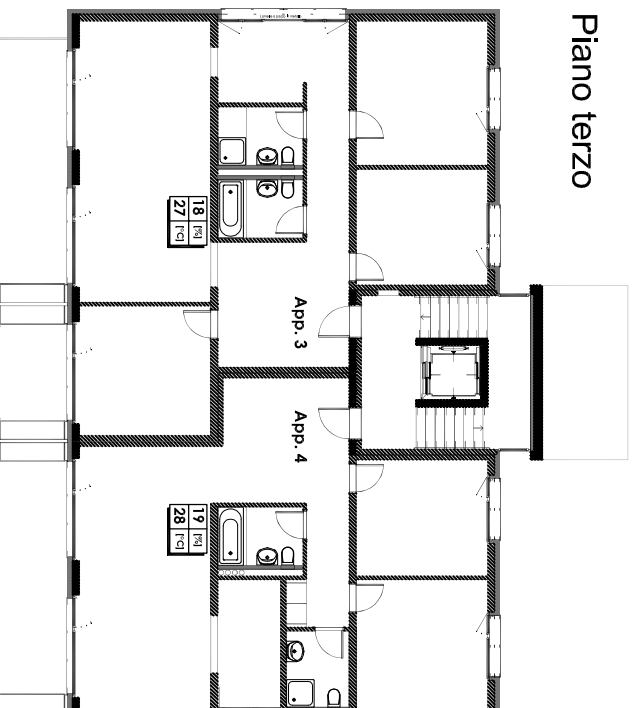
Sensori relativi al piano terra e piano primo (2010)

Scala: --

## Piano secondo



## Piano terzo



### LEGENDA

16	[%]
25	[Pci]

Numero del sensore posto a 1 m di altezza  
 Unità di misura del sensore posto a 1 m di altezza

Numero del sensore posto a 1 m di altezza  
 Unità di misura del sensore posto a 1 m di altezza

## Tav. 11 - Cap. 9

Sensori relativi al piano secondo e piano terzo (2010)

Scala: --