



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici) applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani

*S. P. Corgnati, E. Fabrizio, F. Ariaudo, L. Rollino*

EDIFICI TIPO, INDICI DI BENCHMARK DI CONSUMO PER TIPOLOGIE DI EDIFICIO AD USO SCOLASTICO (MEDIE SUPERIORI E ISTITUTI TECNICI), APPLICABILITÀ DI TECNOLOGIE INNOVATIVE NEI DIVERSI CLIMI ITALIANI

ing. S. P. Corgnati, arch. E. Fabrizio, arch. F. Ariaudo, ing. arch. L. Rollino

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Usi finali

Tema: "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

Responsabile Tema: Gaetano Fasano - ENEA

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **INDICE**

### **OBIETTIVO**

### **PREMESSA**

### **ATTIVITA' DI MONITORAGGIO**

*DESCRIZIONE*

*PRESENTAZIONE E ANALISI DEI DATI*

*FOCUS SUGLI ISTITUTI TECNICO-PROFESSIONALI*

### **ATTIVITA' DI SIMULAZIONE DINAMICA**

*FABBISOGNI ENERGETICI PER LA CLIMATIZZAZIONE: ASPETTI LEGISLATIVI E  
NORMATIVI*

*FABBISOGNI ENERGETICI PER ILLUMINAZIONE E IL SOFTWARE DAYSIM*

*SIMULAZIONE ENERGETICA DINAMICA CON IL SOFTWARE “DESIGN BUILDER + E-  
PLUS”*

*BENCHMARK BUILDING MODELS E LORO CONTESTUALIZZAZIONE*

*IDENTIFICAZIONE DEGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO*

*RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DINAMICHE*

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **OBIETTIVO**

L'attività condotta ha come obiettivo la definizione di valori di **benchmark** di consumo energetico per edifici a destinazione **Scolastica**, con particolare riferimento alle **Scuole Secondarie Superiori**.

Una particolare focalizzazione nell'analisi dei risultati è stata dedicata agli **istituti tecnici e professionali**.

L'attività è stata condotta attraverso lo sviluppo di due indagini complementari:

- campagna di **monitoraggio** in campo dei consumi energetici (termici ed elettrici) su base annuale (ove possibile mensile) effettuata su un campione di edifici scolastici rappresentativo
- campagna di **simulazione** numerica dinamica per l'individuazione dei profili di domanda energetica (termica ed elettrica) effettuata su edifici tipo identificati nel corso delle campagne di monitoraggio.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **PREMESSA**

E' ormai di grande attualità il tema della certificazione energetica introdotto dalla Direttiva Europea 2002/91/CE e recepito per l'Italia dai Decreti Legislativi 192/2005 e 311/2006. Legate a questo tema e al tema della gestione energetica degli edifici sono quindi l'analisi e la previsione dei consumi energetici. La previsione dei consumi, inoltre, assume sempre più un ruolo centrale nelle analisi legate all'energy management degli edifici. Questa evoluzione è dovuta all'esigenza sempre più frequente di stabilire valori di riferimento (benchmark) per la valutazione delle prestazioni energetiche reali dei sistemi edificio-impianto analizzati, e di richiesta ancora più frequente di stima di costi energetici ed economici di consumo per la stesura di contratti di gestione del servizio energia. Per quanto riguarda i dati di benchmark, abitualmente si tende a confrontare il consumo energetico dell'oggetto edilizio posto sotto analisi con valori tratti dalla letteratura internazionale che difficilmente sono strettamente calzanti con le caratteristiche climatiche e edilizie italiane. Si ricorre quindi all'utilizzo di fattori per la correzione del valore di riferimento al fine di adattarlo al contesto in cui è inserito l'edificio oggetto dell'analisi.

Per quanto riguarda la necessità della valutazione dei consumi attesi, risulta evidente l'importanza che questa stima sia il più affidabile possibile. Per questo motivo è fondamentale tenere conto dell'influenza delle variabili maggiormente significative che possono determinare variazioni nei consumi energetici: si rende quindi necessaria un'analisi approfondita dei diversi parametri significativi e influenzanti i consumi, senza limitarsi alla sola analisi di parametri dimensionali e climatici. Il grande interesse della comunità scientifica per l'argomento è dimostrato dalla numerosità delle pubblicazioni su riviste internazionale di settore. I consumi reali di energia vengono infatti utilizzati per alimentare diversi modelli di calcolo, di tipo diretto (*forward*) o inverso (*data-driven*), con l'obiettivo comune di prevedere i consumi futuri in modo affidabile. Lo studio specifico dei consumi degli edifici a destinazione d'uso scolastica è una tematica affrontata diffusamente all'interno delle pubblicazioni scientifiche internazionali.

All'interno di questo panorama si inserisce l'attività condotta. Essa riguarda infatti lo studio dei consumi energetici reali attraverso un approccio cosiddetto "operativo" (*operational*) e indirizzato all'esame dei consumi di un ampio e rappresentativo patrimonio edilizio a destinazione d'uso scolastica.

Dopo aver caratterizzato il campione in esame, i dati raccolti vengono successivamente utilizzati per studi statistici finalizzati alla descrizione del campione, delle tendenze statistiche più significative e dei valori tipici di riferimento dei consumi esaminati, nonché alla previsione dell'andamento dei consumi.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

Questa parte è inoltre propedeutica a quella di simulazione. Sulla base delle risultanze di questa, vengono infatti individuati edifici tipo che alimentano simulazioni numeriche dinamiche finalizzate all'individuazione di profili tipo di domanda energetica.

Relativamente alla definizione dei fattori influenzanti i consumi, è di particolare interesse il l'approccio proposta dal progetto di ricerca Annex 53 – ECBCS dell'International Energy Agency. L'approccio prevede infatti di raggruppare i fattori di influenza dei consumi in 6 macro-categorie:

1. Clima esterno;
2. Caratteristiche geometriche e termo fisiche dell'edificio;
3. Sistemi energetici e impiantistici a servizio dell'edificio;
4. Aspetti gestionali e manutentivi del sistema “edificio-impianti”;
5. Richieste di qualità dell'ambiente interno.
6. Comportamento dell'utente

A queste, si aggiunge una settima macro-categoria “esterna” costituita dagli aspetti socio-economici di contorno.

Rispetto a questa suddivisione, l'attività di monitoraggio ha portato all'acquisizione di informazione riguardanti le prime 5 macro-categorie. Non è invece stato effettuato alcun recupero di dati specificamente dedicato al monitoraggio del comportamento dell'utente.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **ATTIVITA' DI MONITORAGGIO**

### **DESCRIZIONE**

L'attività di monitoraggio e di successiva analisi dei dati sviluppata sugli edifici a destinazione d'uso scolastica può essere suddivisa nelle seguenti fasi:

1. individuazione del campione di edifici rappresentativo
2. raccolta dei macro-dati caratterizzanti il sistema “edificio-impianti” (tipologici, geometrici, impiantistici, gestionali, etc.) e influenzanti i consumi
3. raccolta dei dati di consumo reale, sia di energia termica che elettrica (ove disponibili)
4. analisi statistica dei dati raccolti
5. individuazione delle correlazioni tra i dati di consumo e i fattori influenzati raccolti
6. proposta di valori di benchmark di consumo annuo di energia termica ed elettrica.

Il campione rappresentativo e oggetto di analisi è composto da 103 edifici a destinazione d'uso scolastica (istituti scolastici superiori pubblici), situati nella provincia di Torino. La maggior parte degli edifici è localizzata nel comune di Torino. Un particolare focus è dedicato, nella parte conclusiva della trattazione, all'analisi agli Istituti Tecnici e Professionali.

*L'obiettivo finale dell'attività di monitoraggio è di estrapolare dall'indagine condotta dei valori di riferimento (benchmark) relativi ai consumi di energia termica ed elettrica e di energia per edifici a destinazione d'uso scolastica superiore.*

Con riferimento all'attività svolta, per tutti i 103 edifici oggetto di analisi, sono stati raccolti i dati di consumo per il riscaldamento per tre stagioni consecutive: questo è il consumo energetico principale legato a questa specifica destinazione d'uso.

In particolare sono stati raccolti, su base mensile, i dati di energia primaria (attraverso la misura del combustibile consumato) e di energia utile erogata (misurata con contatori di calore) in ogni edificio.

L'attività di analisi si è focalizzata soltanto sui dati degli edifici che non presentavano anomalie di consumo registrato. La valutazione delle anomalie è stata effettuata calcolando i valori di rendimento di produzione dell'impianto di riscaldamento su base mensile, calcolato come rapporto fra energia utile e energia primaria.

Il valore di rendimento è stato ritenuto accettabile se ricadente all'interno di un intervallo variabile a seconda della tipologia di impianto installato (caldaia a condensazione o caldaia tradizionale).

Sono stati inoltre raccolti i dati di consumo reale di energia elettrica per lo stesso campione di edifici scolastici. La fonte dei dati è la bolletta mensile con dati rilevati realmente e dati previsti in

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

altri casi. Per le analisi è stato quindi utilizzato il dato annuale, in quanto il dato mensile non è stato considerato sufficientemente affidabile.

Per la caratterizzazione del campione, sono stati raccolti anche dati appartenenti alle macro-categorie di fattori influenzanti i consumi, già precedentemente introdotti, proposti nel progetto Annex 53 – ECBCS della IEA e qui richiamati tra parentesi:

- a. Gradi Giorno convenzionali della località (fattore influenzante: categoria1);
- b. Gradi Giorno reali della località per ogni stagione di riscaldamento analizzata (cat.1);
- c. Volume lordo riscaldato (cat.2);
- d. Superficie utile dell'edificio (cat.2);
- e. Trasmittanza termica globale media ponderata dell'involucro edilizio (cat.2);
- f. Trasmittanza termica media ponderata dei componenti opachi dell'involucro verticale, disperdenti verso l'esterno (cat.2);
- g. Trasmittanza termica media ponderata dei componenti trasparenti dell'involucro verticale, disperdenti verso l'esterno (cat.2);
- h. Trasmittanza termica media ponderata dei componenti opachi dell'involucro orizzontale, disperdenti verso l'esterno (cat.2);
- i. Grado di isolamento dei componenti opachi dell'involucro verticale, disperdenti verso l'esterno (cat.2);
- j. Grado di isolamento dei componenti trasparenti dell'involucro verticale, disperdenti verso l'esterno (cat.2);
- k. Grado di isolamento dei componenti opachi dell'involucro orizzontale, disperdenti verso l'esterno (cat.2);
- l. Rapporto fra superficie trasparente e superficie opaca dell'involucro verticale (cat.2);
- m. Potenza installata dell'impianto di riscaldamento (cat.3);
- n. Tipologia di combustibile utilizzato per l'alimentazione dell'impianto di riscaldamento (cat.3);
- o. Rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento (cat.3);
- p. Orario prevalente di utilizzo scolastico (cat.4);
- q. Presenza di attività durante l'orario extrascolastico (cat.4);
- r. Numero di classi attive (cat.4);
- s. Numero di alunni iscritti (cat.4)
- t. Livello di temperatura minimo e di benessere richiesti (cat. 5).

Per quanto riguarda le fasi relative all'attività prima elencate, la fase 1 si è conclusa con l'individuazione del campione di 103 edifici scolastici di istruzione secondaria; essi sono situati in località con caratteristiche climatiche affini, situate tutte nello stesso territorio provinciale.



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

Inoltre sono stati raccolti tutti i dati in grado di caratterizzare gli edifici del campione (fase 2) attraverso:

- l'analisi delle relazioni tecniche della ex Legge 10 dei singoli edifici per quanto riguarda i dati relativi ai punti c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n del precedente elenco;
- l'analisi del D.P.R. n. 412 del 1993 per il reperimento dei dati relativi al punto a;
- l'acquisizione dei dati dei Gradi Giorno reali forniti dall'azienda che ha gestito il servizio energia del patrimonio edilizio (è stato comunicato soltanto il dato relativo al capoluogo di Provincia, i dati relativi alle altre località limitrofe sono stati calcolati tramite una proporzione della differenza presente tra i Gradi Giorno convenzionali del capoluogo di Provincia e quelli della località);
- il calcolo mensile del rendimento medio dell'impianto come rapporto fra energia utile ed energia primaria consumata, per quanto riguarda i dati relativi al punto o;
- l'acquisizione del calendario scolastico standard annuale per ognuna delle scuole analizzate per i dati relativi al punto p;
- l'acquisizione del calendario delle attività extrascolastiche svolte nelle stagioni analizzate per i dati relativi al punto q;
- l'acquisizione del registro del numero medio di classi attive e di alunni iscritti per ogni scuola, per i dati relativi ai punti r ed s.

Come detto in precedenza, sono stati raccolti tutti i dati di consumo derivanti da monitoraggio (fase 3) per l'energia primaria del combustibile (consumo di combustibile) e per l'energia utile a valle del generatore di calore per il riscaldamento delle scuole del campione, a cadenza mensile, per le tre stagioni di interesse. Sono stati inoltre raccolti i dati di consumo di energia elettrica da bolletta di due anni per ognuna delle scuole del campione.

Per la fase 4 e 5 è stata effettuata nel dettaglio l'analisi della consistenza del campione, attività fondamentale per la definizione della qualità e della quantità degli output finali. Sono state inoltre effettuate le elaborazioni previste per la determinazione dei valori medi ponderati delle trasmittanze termiche dell'involucro edilizio ed è stata effettuata la verifica dell'affidabilità dei dati di consumo di energia termica (primaria ed utile) tramite il calcolo del rendimento medio mensile. E' stata infine verificata la completezza dei dati di consumo elettrico per i singoli edifici.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **PRESENTAZIONE E ANALISI DEI DATI**

### *Descrizione del campione*

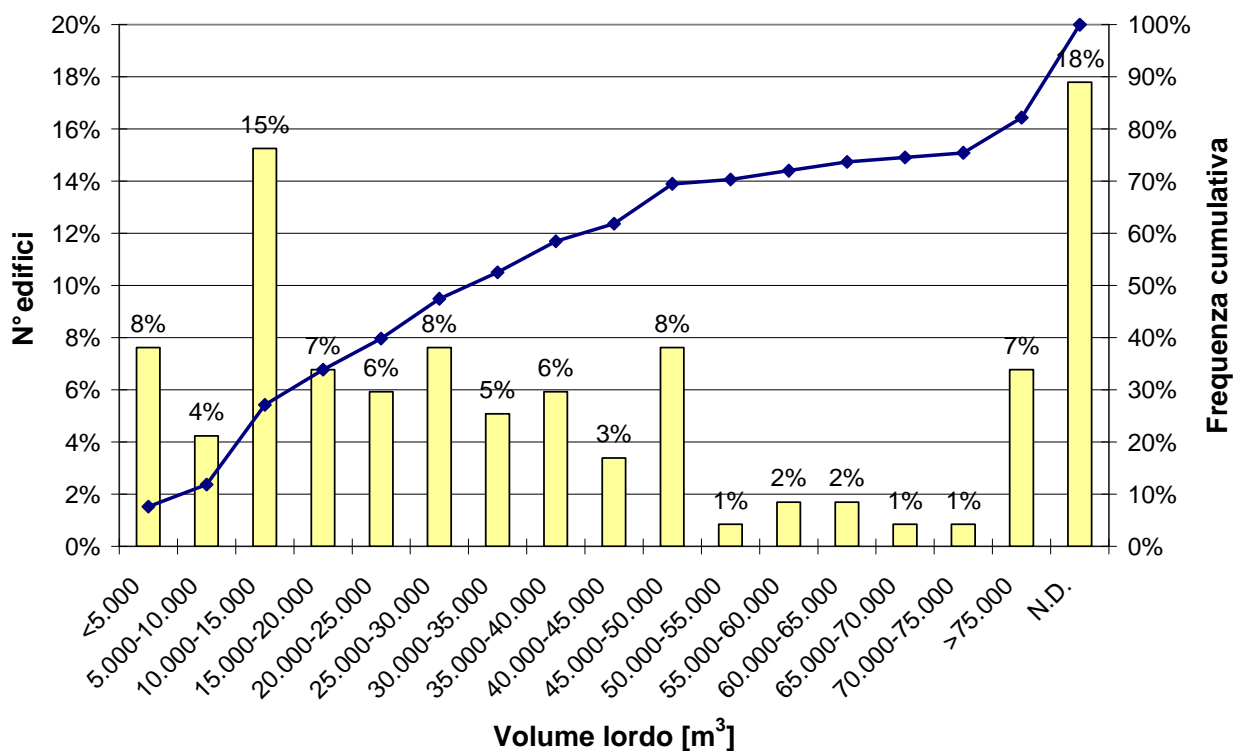
Per “descrizione del campione” si intende quell’attività volta alla caratterizzazione dell’oggetto dell’analisi (il campione di edifici) attraverso l’esame delle grandezze che maggiormente lo caratterizzano. L’attività relativa alla descrizione del campione ha infatti come obiettivo la presentazione dei parametri caratterizzanti l’oggetto dell’analisi, utili per una valutazione immediata della confrontabilità del campione con altri patrimoni edilizi.

Il campione analizzato, come già anticipato in precedenza, è composto da 103 edifici a destinazione d’uso scolastica superiore situati nella provincia di Torino. Di seguito viene presentata una serie di grafici che rappresentano la distribuzione in frequenza e frequenza cumulata del campione sulla base delle proprietà rilevate per i singoli edifici: un primo gruppo di grafici è finalizzato alla descrizione delle caratteristiche geometriche, climatiche e tipiche della destinazione d’uso scolastica (es. numero di classi, numero di alunni, etc.) che possono essere utili per una futura normalizzazione dei dati di consumo. Un secondo gruppo di grafici riporta la descrizione delle caratteristiche degli impianti di climatizzazione invernale presenti negli edifici del campione. Infine un ultimo gruppo di grafici riporta la descrizione delle caratteristiche dell’involucro edilizio.

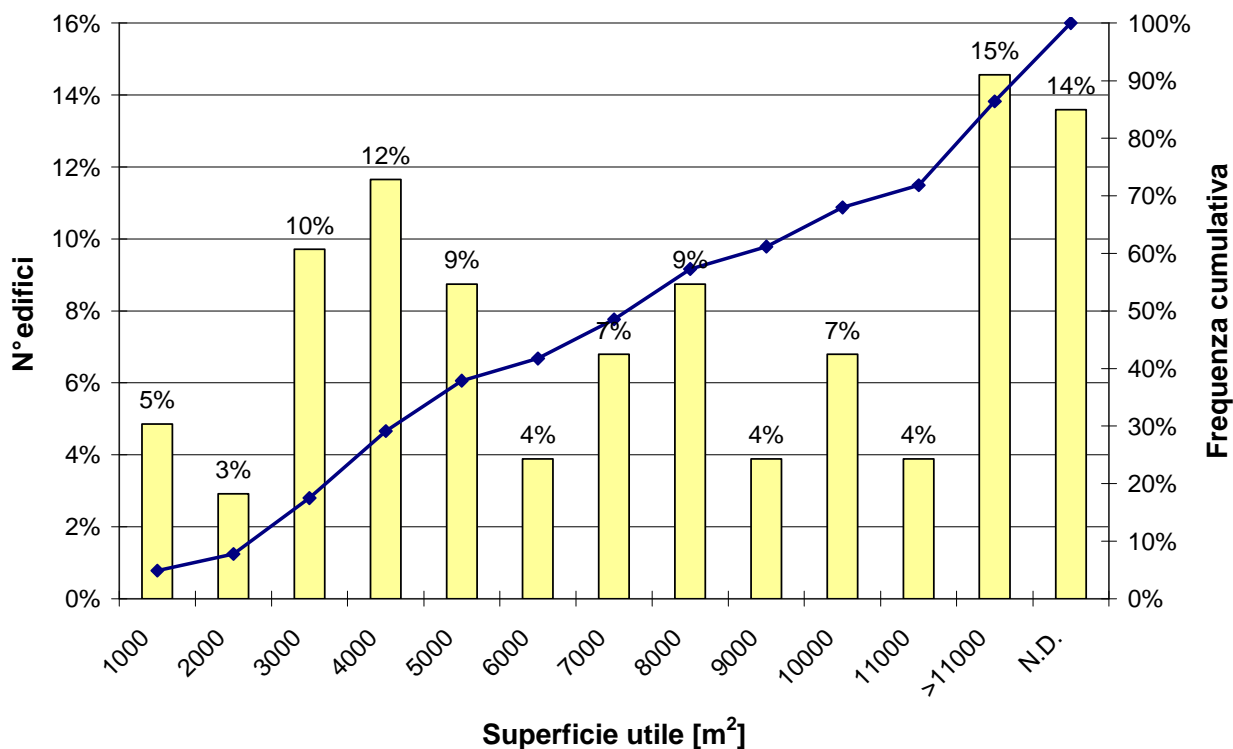
Nel grafico seguente il campione è stato suddiviso in base al volume lordo riscaldato di ogni edificio.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Il grafico seguente rappresenta la suddivisione del campione in base alla superficie utile di ogni edificio.



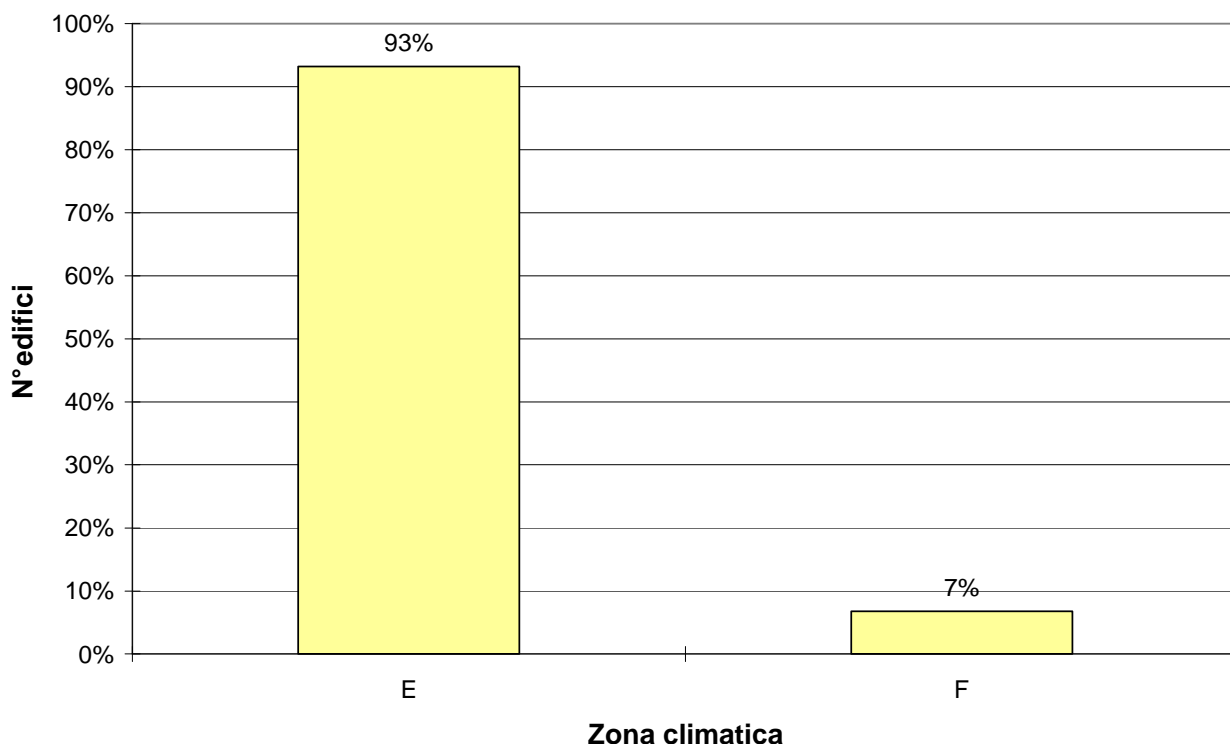
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

I precedenti diagrammi dimostrano che il campione è suddiviso in un intervallo dimensionale estremamente ampio, con volumetrie riscaldate che vanno da meno di 5.000 m<sup>3</sup> a più di 75.000 m<sup>3</sup>.

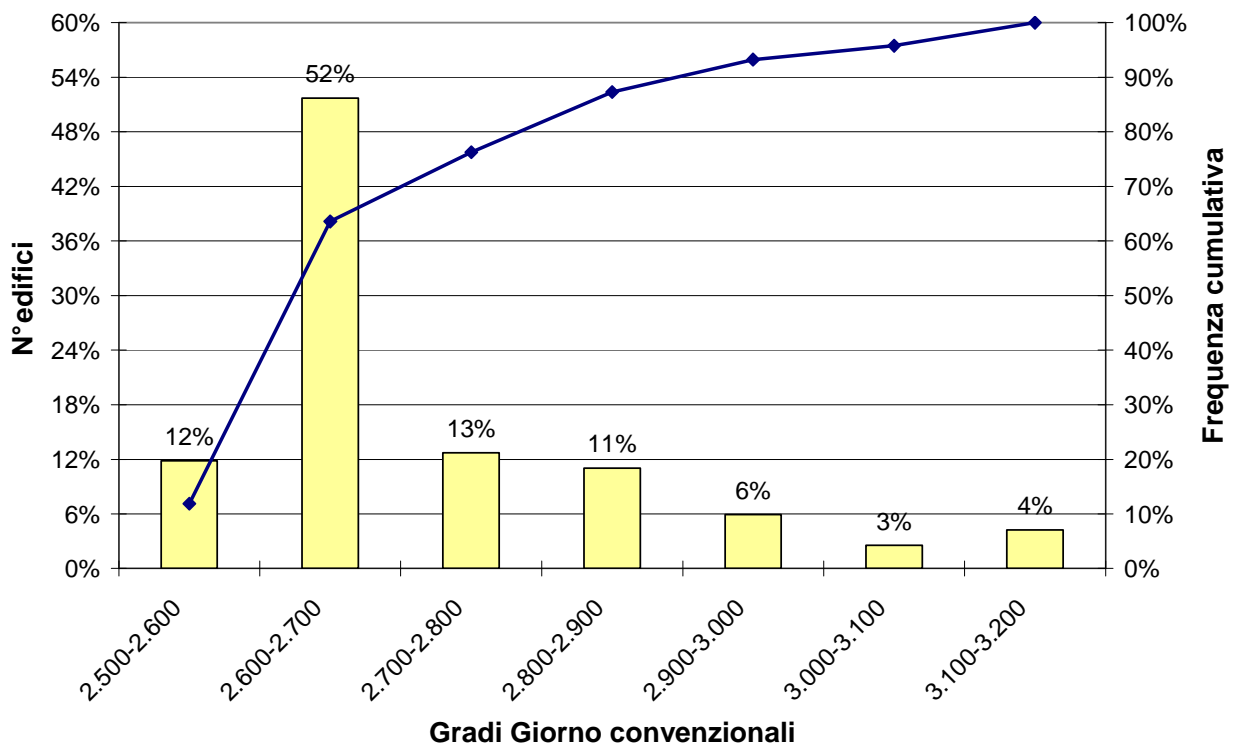
Passando alle grandezze climatiche, il seguente grafico rappresenta la percentuale di edifici rispetto al totale presente in ogni zona climatica (D.P.R. 412/93). Poiché tutti gli edifici si trovano nella Provincia di Torino, rientrano nelle zone climatiche E (zona climatiche prevalente con il 93% degli edifici) ed F (7% degli edifici).



Di seguito si riporta la distribuzione degli edifici del campione in base ai Gradi Giorno convenzionali (stabiliti dal D.P.R. 412/93) delle località in cui sono situati. Come detto in precedenza la maggior parte degli edifici del campione è situata in località della zona climatica E, in particolare con gradi giorno compresi tra 2600 e 2700: ciò è dovuto al fatto che molti degli edifici analizzati sorgono nella città di Torino.

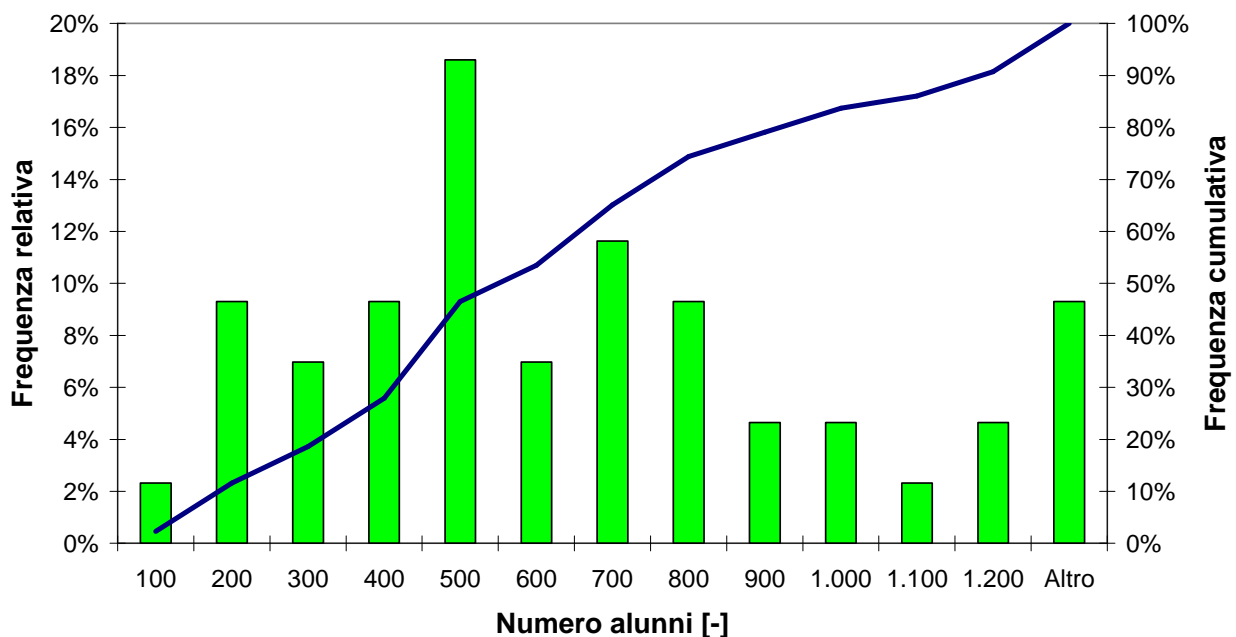
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Passando ora all’analisi di alcune grandezze tipiche della destinazione scolastica, nel grafico seguente viene presentata la distribuzione di frequenza del campione in base al numero di alunni iscritti.

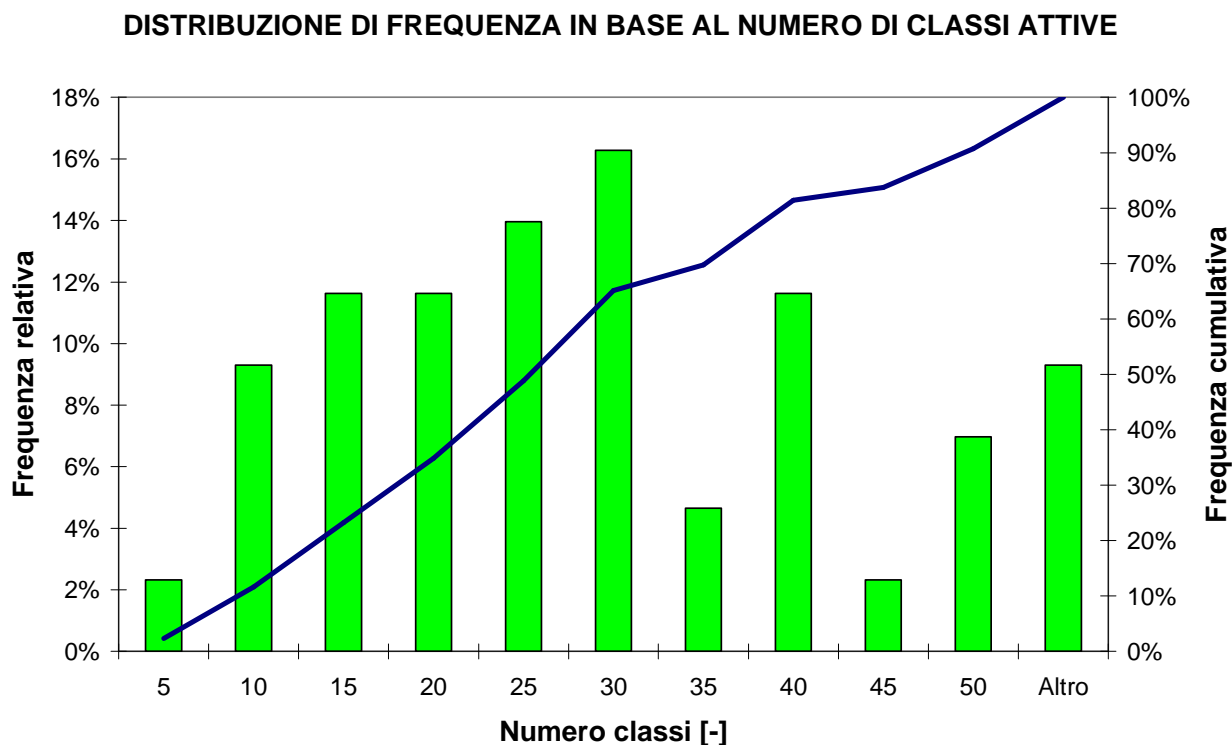
**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE AL NUMERO DI ALUNNI ISCRITTI**



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Nel grafico che segue è invece riportata la distribuzione di frequenza del campione in base al numero di classi attive.

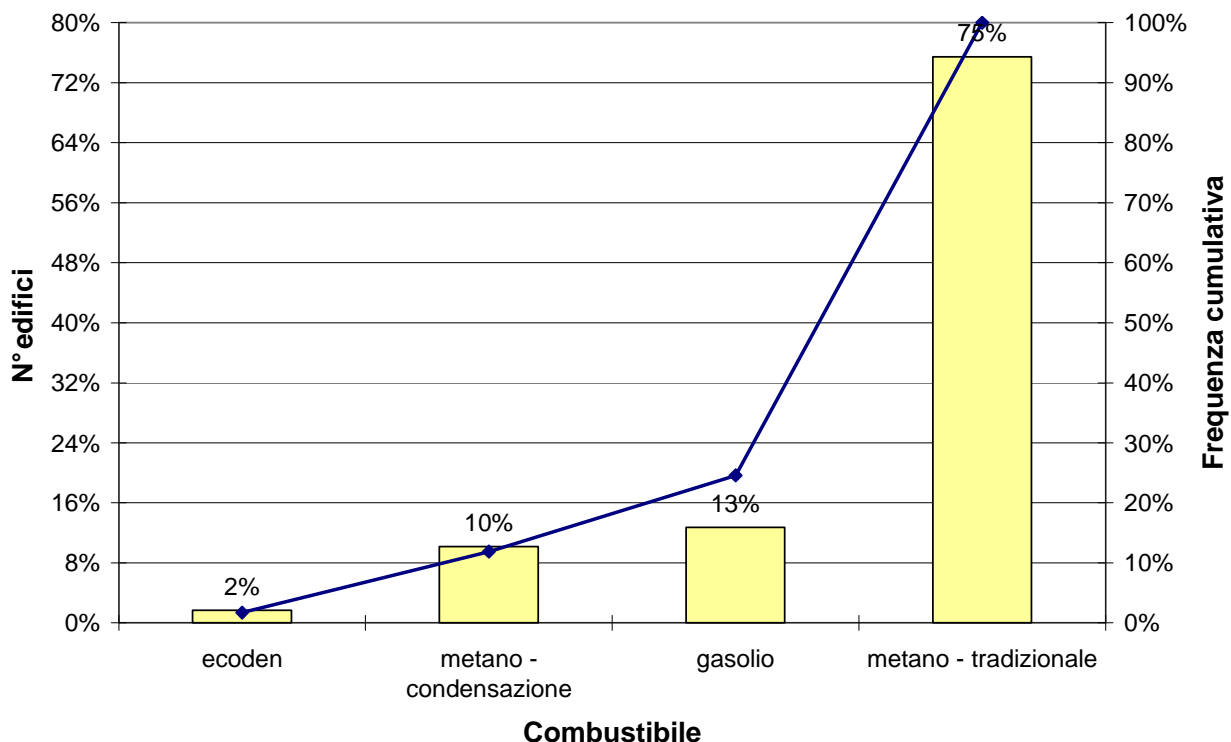


Si passa ora all'analisi del campione con riferimento alle caratteristiche dell'impianto di riscaldamento.

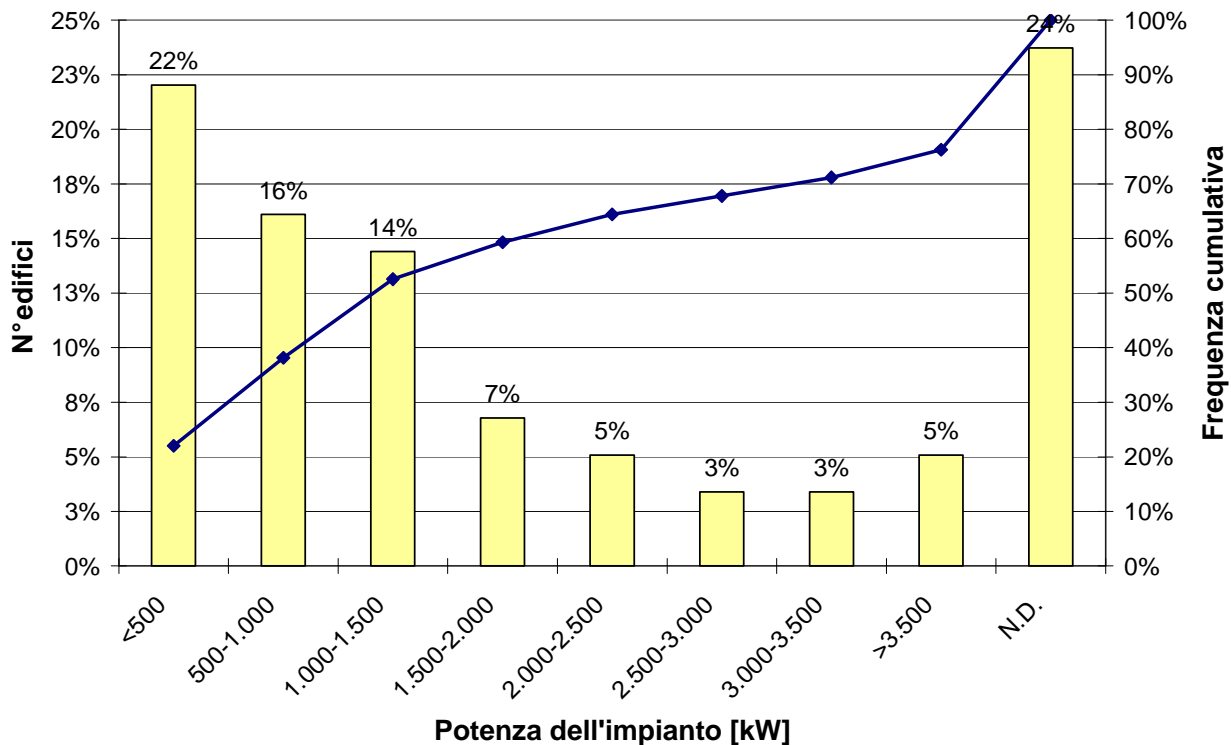
Nel seguente grafico il campione è suddiviso in base alla tipologia di combustibile per l'alimentazione dell'impianto di riscaldamento (nel caso di combustibile metano si è effettuata l'ulteriore suddivisione relativa al fatto che esso vada ad alimentare caldaie tradizionali o a condensazione).

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



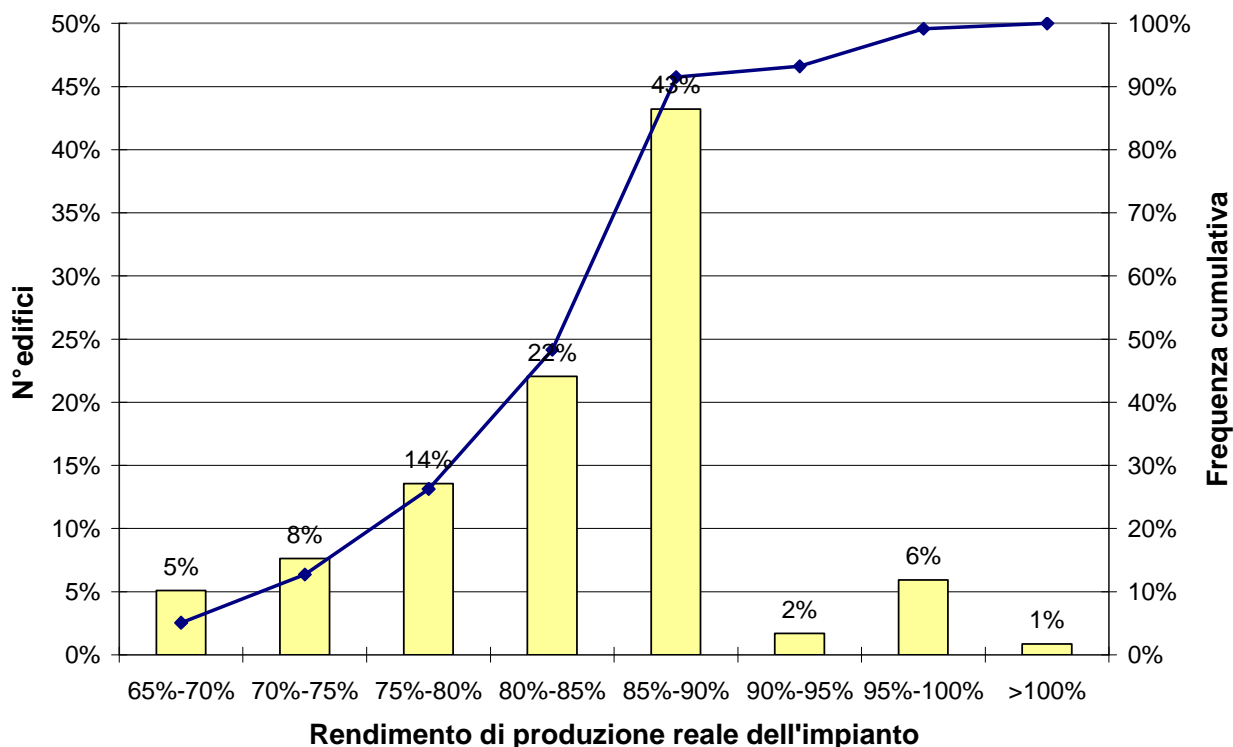
Di seguito il campione è stato suddiviso in base alla potenza installata dell'impianto di riscaldamento.



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Nel grafico seguente sono stati infine riportati i valori di rendimento di produzione medio stagionale reale degli impianti di riscaldamento. Tale rendimento è stato calcolato come rapporto fra l'energia utile e l'energia associata al combustibile consumato per la climatizzazione invernale.



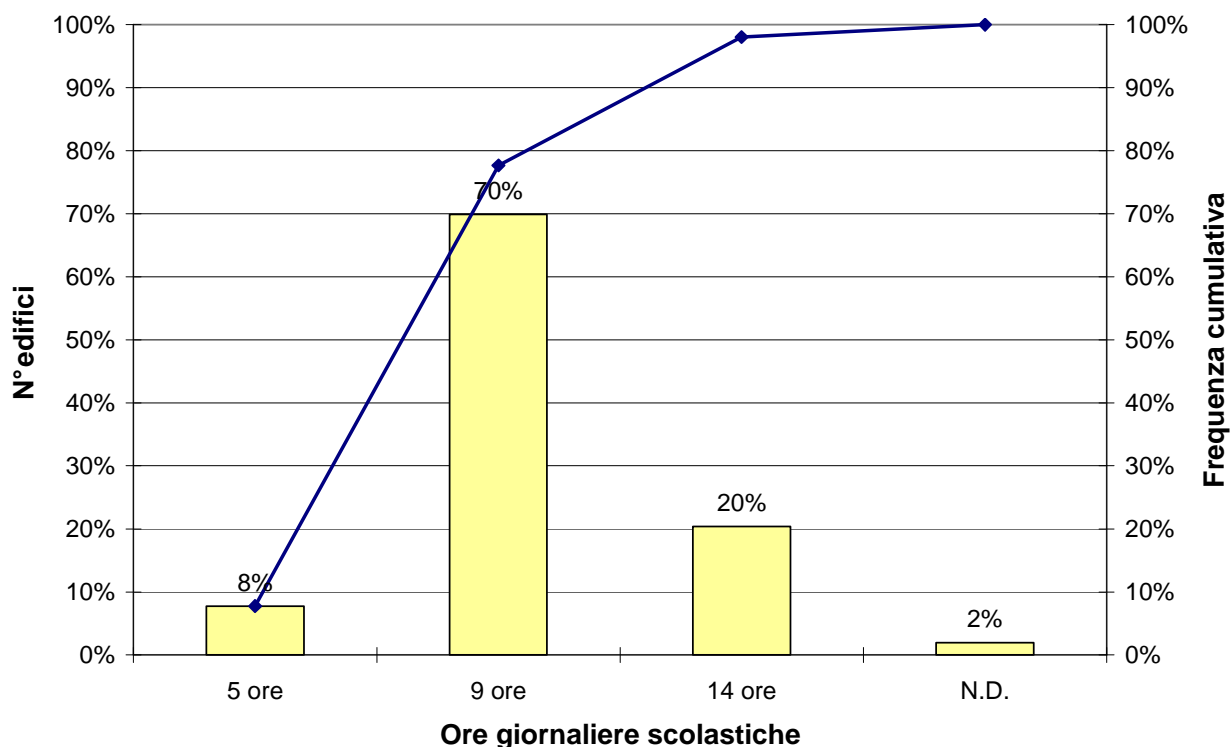
Come emerge dal grafico, la maggior parte degli impianti risulta essere piuttosto efficiente, con un rendimento di produzione medio stagionale reale compreso fra 80% e 90%. Esiste però una piccola percentuale (circa 13%) di impianti poco efficienti, che presentano infatti rendimenti inferiori al 75%.

Relativamente ai parametri legati alla gestione degli ambienti e quindi anche impiantistica, si esamina prima di tutto il periodo di utilizzo degli edifici. Nel seguente grafico è riportato il numero di edifici scolastici utilizzato rispettivamente per corsi mattutini (5 ore di occupazione al giorno), corsi mattutini e pomeridiani (9 ore al giorno), corsi mattutini, pomeridiani e serali (14 ore al giorno). Questa suddivisione è rappresentativa di tutte le stagioni poiché gli orari di occupazione di questi edifici scolastici raramente subiscono variazioni significative durante l'anno. Come si può notare dal grafico la maggior parte delle scuole è utilizzata per corsi mattutini e pomeridiani. In questi orari non sono compresi possibili usi extrascolastici degli edifici.

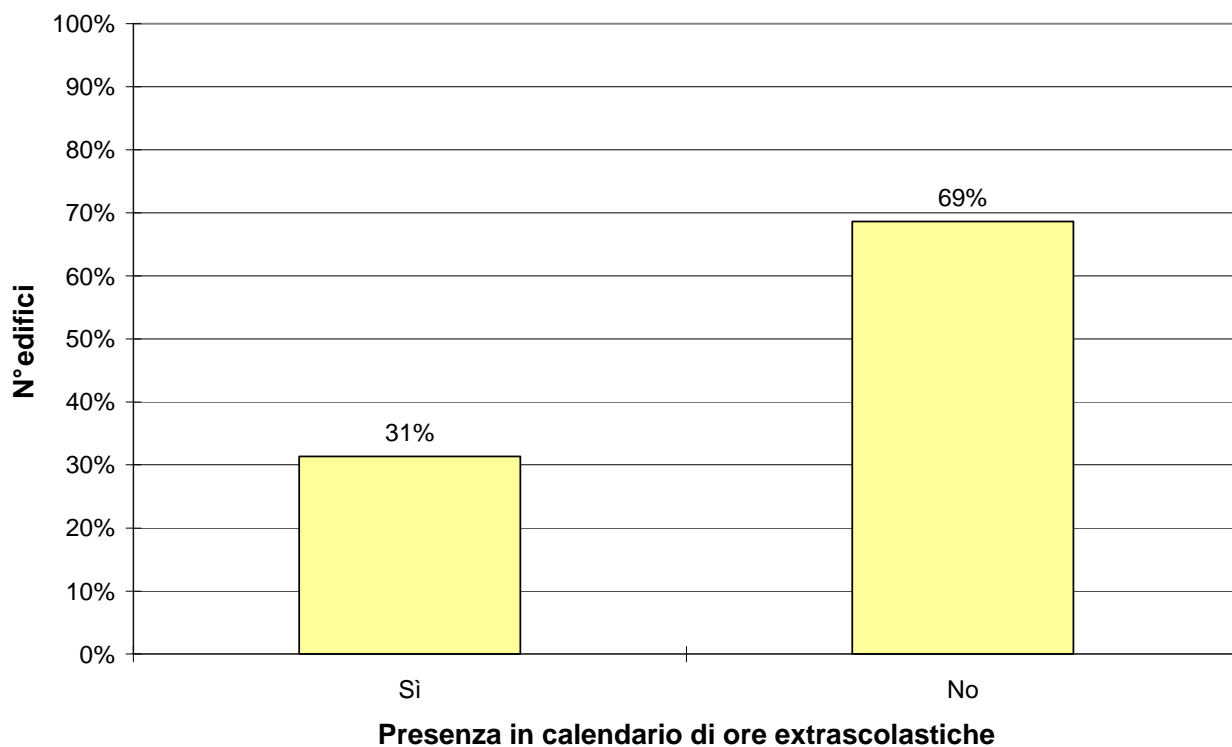


Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



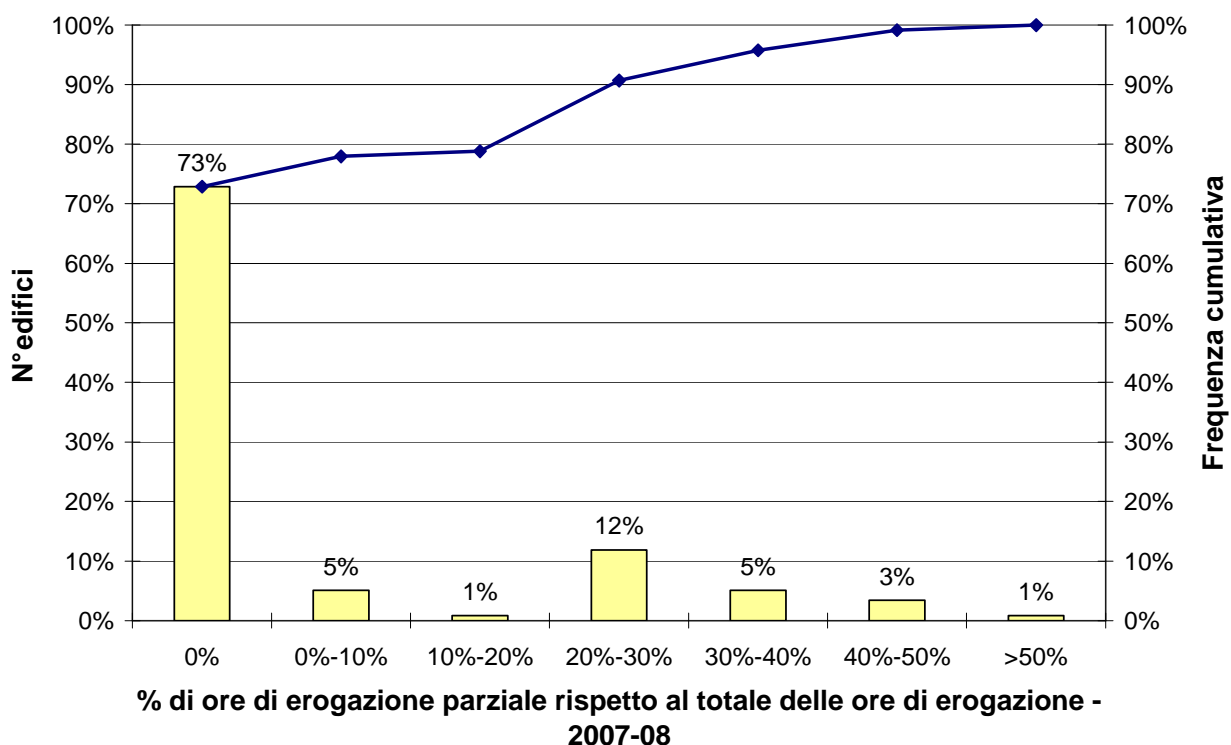
Nel seguente grafico è stata riportata la percentuale di edifici che presenta un utilizzo extrascolastico: è evidente che gli edifici scolastici vengono comunemente utilizzati anche per altre funzioni (es. riunioni di associazioni, attività seminariali, etc.).



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Nel grafico seguente è stata riportata la suddivisione del campione in base alla percentuale di ore di riscaldamento parziali dell'edificio rispetto al monte ore totale di funzionamento dell'impianto durante una delle stagioni analizzate. Per ore di riscaldamento parziali si intendono quelle ore in cui è stata riscaldata soltanto una porzione dell'intero volume dell'edificio. Questa situazione si presenta sovente negli edifici scolastici in cui sono presenti palestre, le quali presentano un circuito di distribuzione del fluido termovettore per la climatizzazione invernale dedicato.



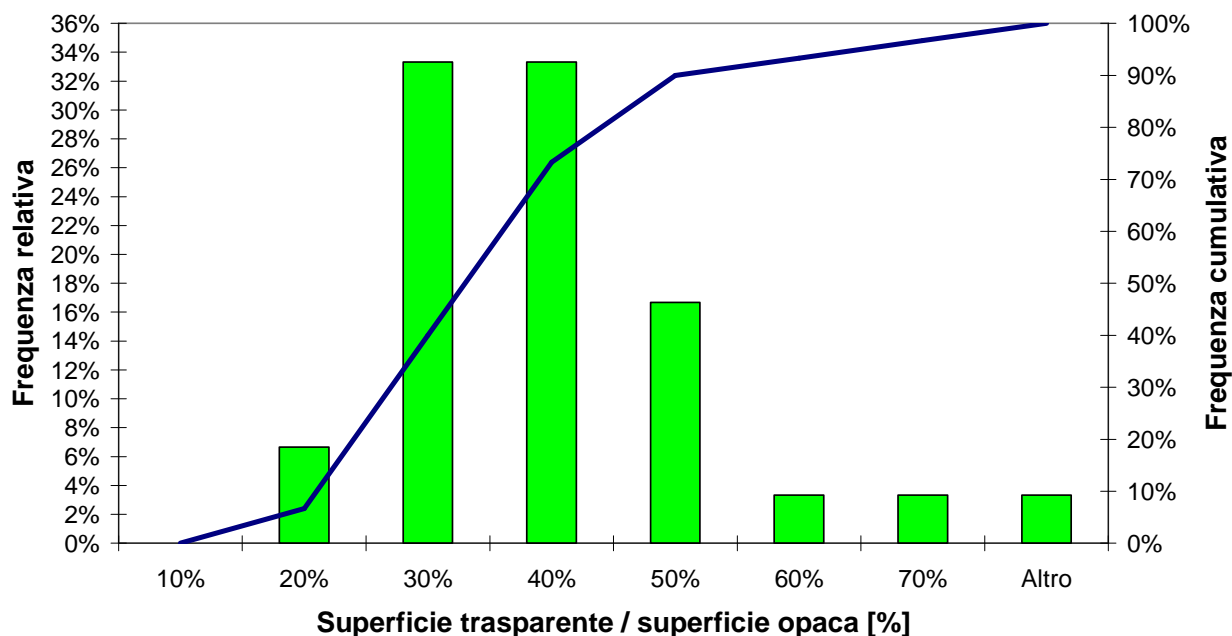
Come si può notare dal grafico la maggior parte degli edifici non è caratterizzata dalla presenza di ore di riscaldamento parziale dell'edificio: comunque una non trascurabile percentuale di edifici del campione (27%) presenta questa tipologia di uso.

Passando ora alle caratteristiche dell'involucro edilizio, il grafico seguente riporta la distribuzione di frequenza del campione in base alla percentuale di involucro trasparente verticale rispetto all'involucro opaco verticale.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE ALLA PERCENTUALE DI INVOLUCRO TRASPARENTE RISPETTO ALL'OPACO**

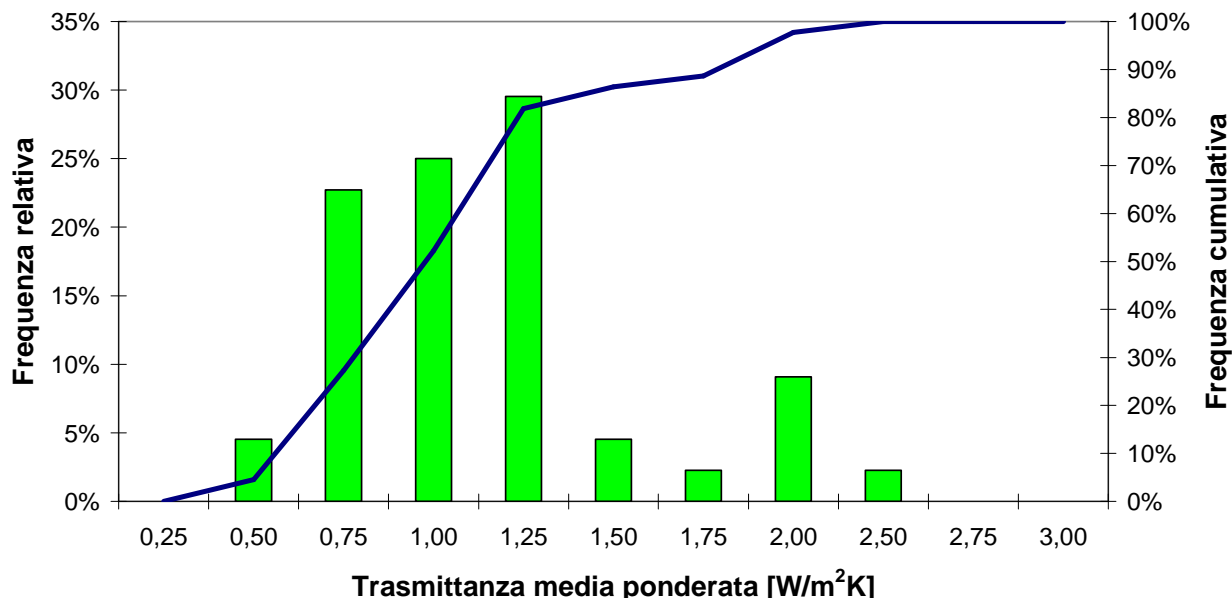


Il seguente grafico riporta invece la distribuzione di frequenza del campione in base alla trasmittanza media ponderata sulle rispettive aree degli elementi di involucro opachi verticali, disperdenti verso l'esterno. Dall'analisi di tale grafico emerge come il patrimonio edilizio analizzato presenti caratteristiche prestazionali di involucro opaco piuttosto scadenti: solo poco più del 50% del campione di edifici analizzato presenta un valore di trasmittanza media ponderata dei componenti opachi inferiore a 1 W/m<sup>2</sup>K.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE ALLA TRASMITTANZA MEDIA PONDERATA DEGLI ELEMENTI D'INVOLUCRO OPACHI VERTICALI, DISPERDENTI VERSO L'ESTERNO**

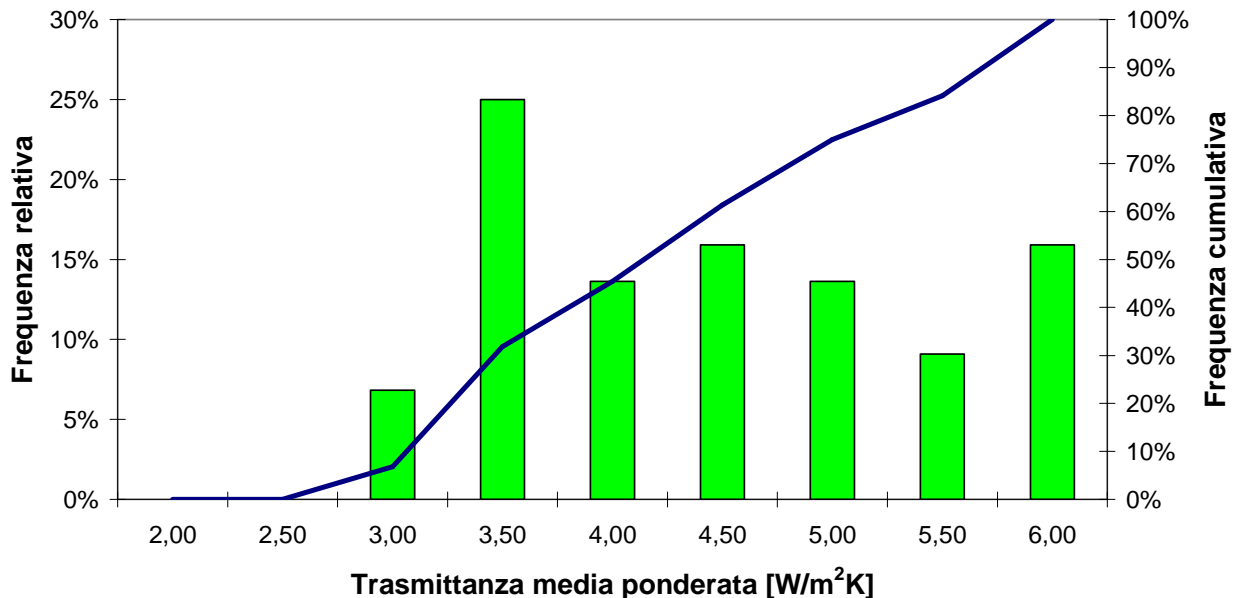


Il grafico successivo riporta la distribuzione di frequenza del campione in base alla trasmittanza media ponderata sulle aree degli elementi di involucro trasparente verticali, disperdenti verso l'esterno. Anche in questo caso dal grafico emerge la qualità scadente di tali elementi da un punto di vista della prestazione energetica. La trasmittanza media ponderata assume infatti prevalentemente valori superiori a 3,5 W/m²K e una buona percentuale di edifici presenta valori di trasmittanza media ponderata degli elementi trasparenti di involucro compresi fra 5,5 e 6,0 W/m²K. Questi valori confermano la presenza prevalente di serramenti con vetri singoli negli edifici scolastici analizzati, pur essendo in zona climatica E e F.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE ALLA TRASMITTANZA MEDIA Ponderata DEGLI ELEMENTI D'INVOLUCRO TRASPARENTI VERTICALI, DISPERDENTI VERSO L'ESTERNO**

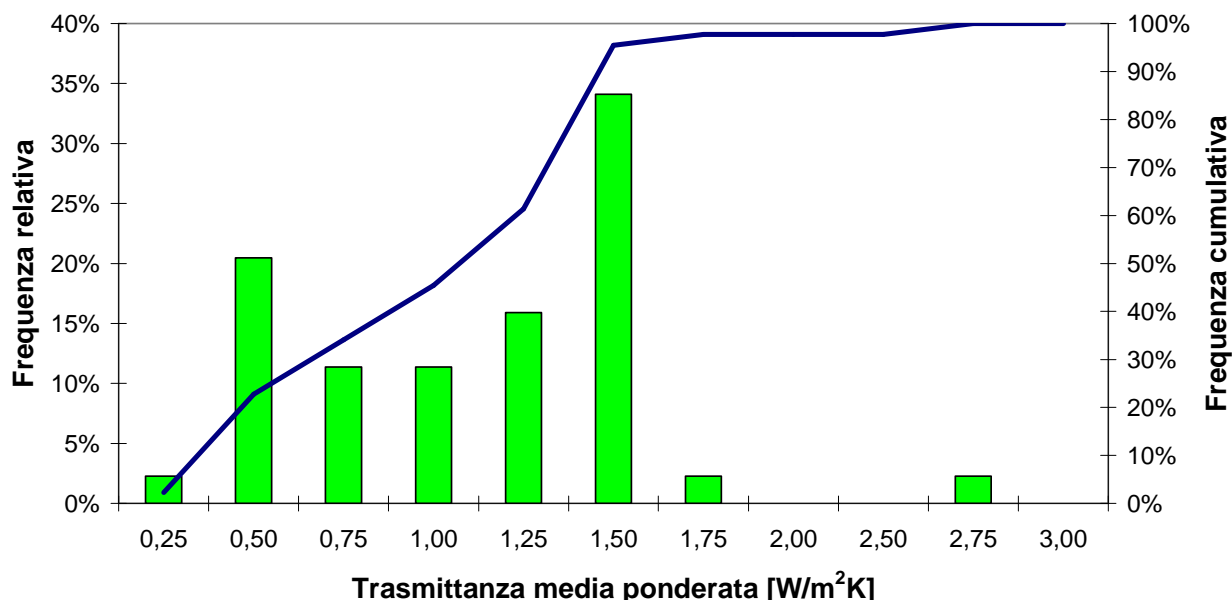


Dall'analisi della distribuzione di frequenza del campione in base alla trasmittanza media ponderata sulle aree degli elementi di involucro opachi orizzontali, riportata nel grafico seguente, emerge come la qualità di tali elementi sia dello stesso ordine di grandezza di quella degli elementi verticali precedentemente analizzati. Nella maggior parte dei casi (più del 90%) il valore della trasmittanza media ponderata è inferiore a 1,5 W/m²K. Una buona percentuale di edifici (20%) presenta un valore di trasmittanza compreso fra 0,25 e 0,50 W/m²K: questa migliore qualità dell'involucro è legata al fatto che su alcuni edifici sono stati effettuati interventi di riqualificazione energetica con isolamento delle coperture.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE ALLA TRASMITTANZA MEDIA PONDERATA DEGLI ELEMENTI D'INVOLUCRO OPACHI ORIZZONTALI, DISPERDENTI VERSO L'ESTERNO**



Il seguente grafico, che riporta la distribuzione di frequenza del campione in base al grado di isolamento degli elementi verticali opachi dell'involucro.

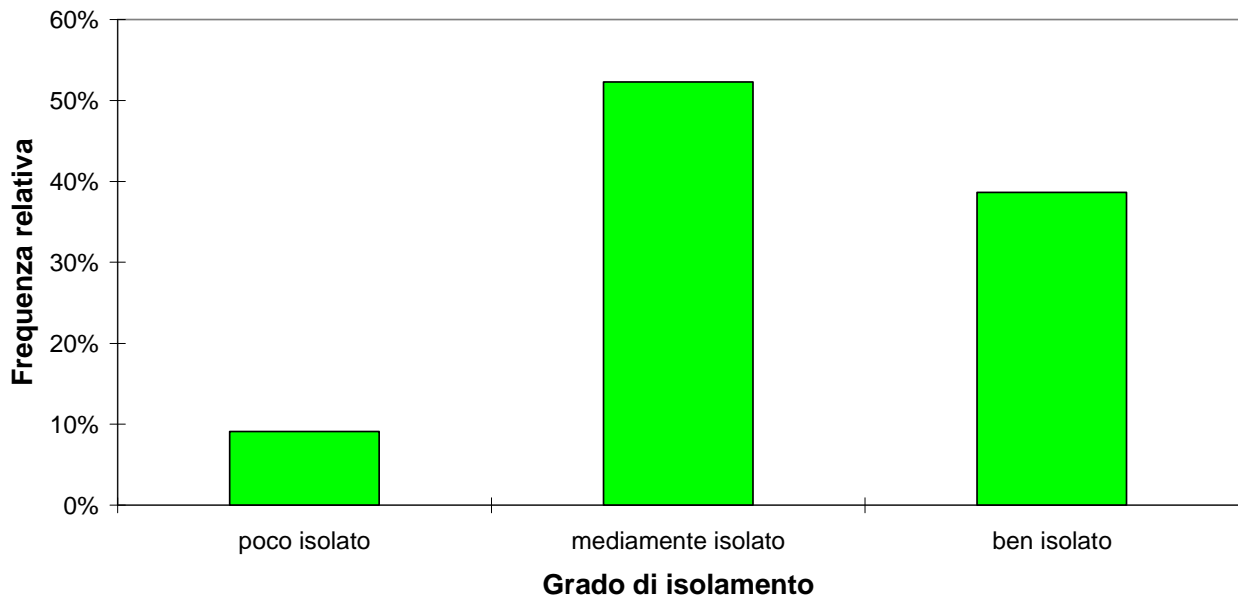
La suddivisione, effettuata secondo tre livelli di isolamento, è stata stabilita secondo i seguenti criteri tipologici:

- elementi poco isolati: elementi di involucro edilizio opaco verticale realizzati in muratura senza intercapedine;
- elementi mediamente isolati: elementi di involucro edilizio opaco verticale realizzati in muratura con intercapedine non isolata;
- elementi ben isolati: elementi di involucro edilizio opaco verticale realizzati in muratura con intercapedine isolata.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE AL GRADO DI ISOLAMENTO  
DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO OPACHI VERTICALI, DISPERDENTI  
VERSO L'ESTERNO**



Dall'analisi della distribuzione di frequenza del campione in base al grado di isolamento termico degli elementi trasparenti verticali.

La suddivisione è stata fatta, rispetto a tre livelli di isolamento, secondo i seguenti criteri:

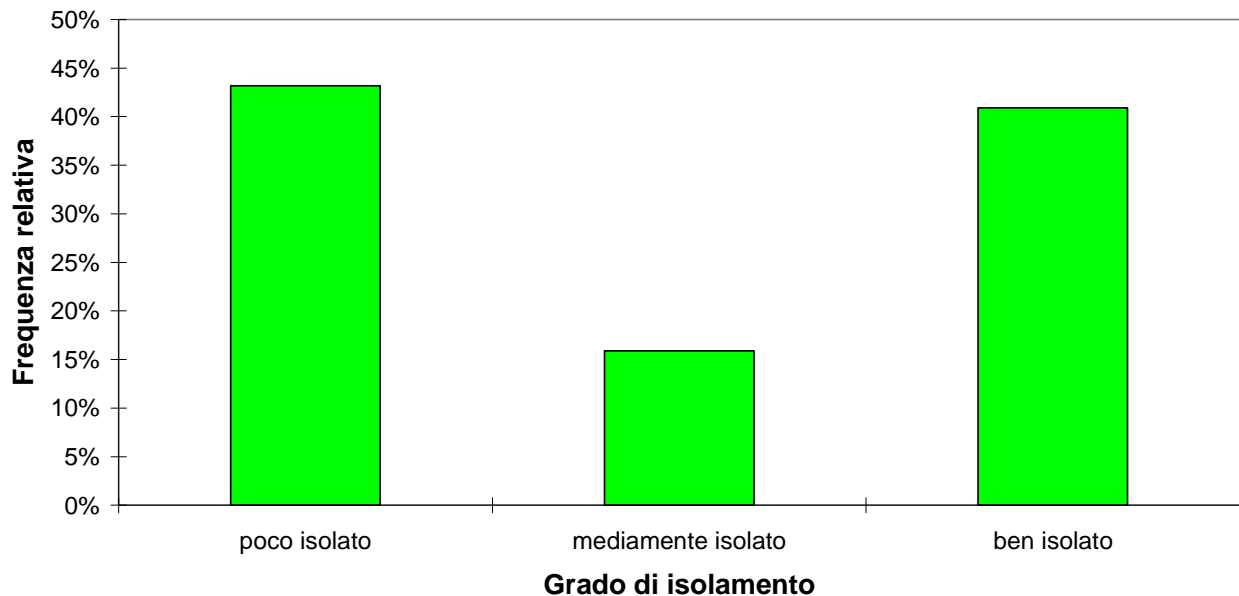
- elementi poco isolati: elementi di involucro edilizio trasparente verticale con vetro singolo e trasmittanza globale elevata;
- elementi mediamente isolati: elementi di involucro edilizio trasparente verticale con prevalenza di vetrocamera ma trasmittanza globale elevata ( $> 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- elementi ben isolati: elementi di involucro edilizio trasparente verticale con vetrocamera.

Dal grafico seguente, emerge come elementi trasparenti verticali siano prevalentemente poco prestanti da un punto di vista energetico, in quanto si tratta per la maggior parte di serramenti in legno o metallo senza taglio termico con vetri singoli.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE AL GRADO DI ISOLAMENTO  
DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO TRASPARENTI VERTICALI,  
DISPERDENTI VERSO L'ESTERNO**



Nel grafico seguente, si riporta la distribuzione di frequenza del campione rispetto al grado di isolamento degli elementi opachi orizzontali dell’involucro. La suddivisione secondo tre livelli di isolamento è stata fatta secondo i seguenti criteri:

- elementi poco isolati: copertura senza presenza di isolante;
- elementi mediamente isolati: copertura isolata con sottile strato di isolante;
- elementi ben isolati: copertura isolata con significativo strato di isolante.

Dal emerge come la maggior parte degli edifici presenti coperture mediamente isolate.

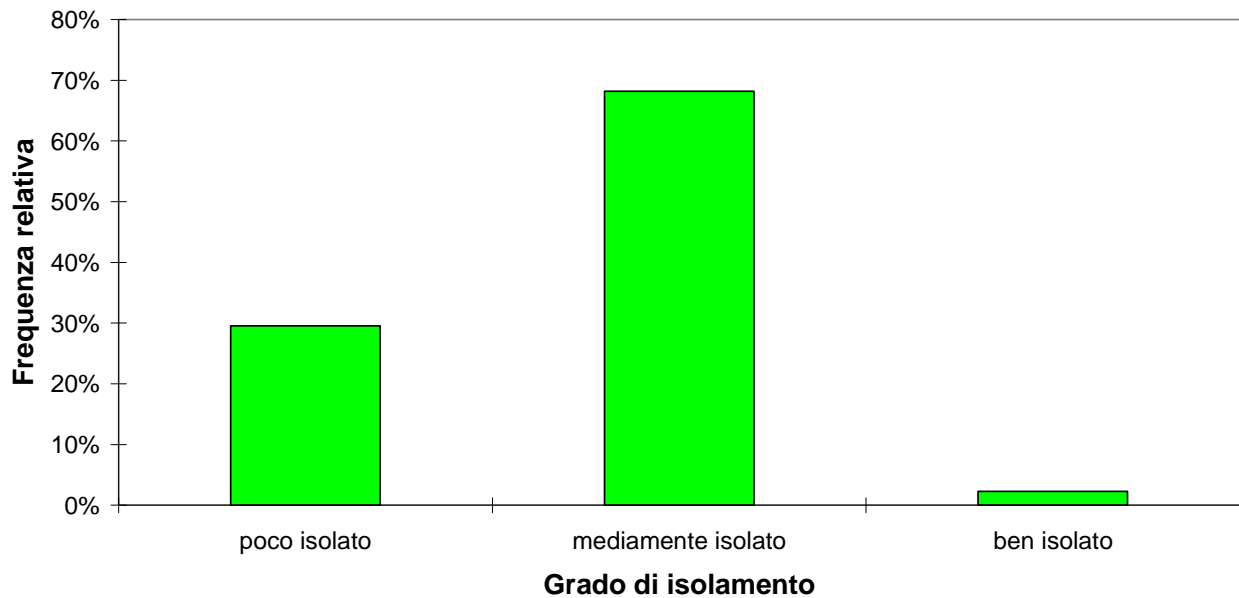


Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE AL GRADO DI ISOLAMENTO  
DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO OPACHI ORIZZONTALI, DISPERDENTI  
VERSO L'ESTERNO**



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

*Descrizione dei dati di consumo energetico e della consistenza dei dati raccolti*

La descrizione della consistenza dei dati raccolti sul campione edilizio oggetto di studio consiste nell'analizzarne la quantità e la qualità.

I dati di scarsa qualità vengono esclusi dall'analisi proprio attraverso l'operazione di valutazione della consistenza dei dati.

Ogni categoria significativa di dati raccolti viene poi messa in relazione con le altre categorie al fine di poter individuare i possibili output ottenibili dall'analisi e prevedere eventualmente un'integrazione dei dati ove necessaria. Quest'analisi viene fatta attraverso la rappresentazione della consistenza dei dati mediante grafico a radar, dove ogni raggio rappresenta una categoria di dati e su ogni raggio è presente il punto che rappresenta, in percentuale rispetto alla dimensione totale del campione, la quantificazione dei dati di buona qualità noti per quella categoria di dati.

Per il campione oggetto di analisi si hanno a disposizione i seguenti dati di consumo energetico reale di qualità già verificata:

- Energia termica (consumo di combustibile ed energia utile)

I dati di consumo verificati come affidabili per l'intera stagione di riscaldamento sono relativi a:

- o per la prima stagione 35 edifici scolastici;
- o per la seconda stagione 31 edifici scolastici;
- o per la terza stagione 44 edifici scolastici.

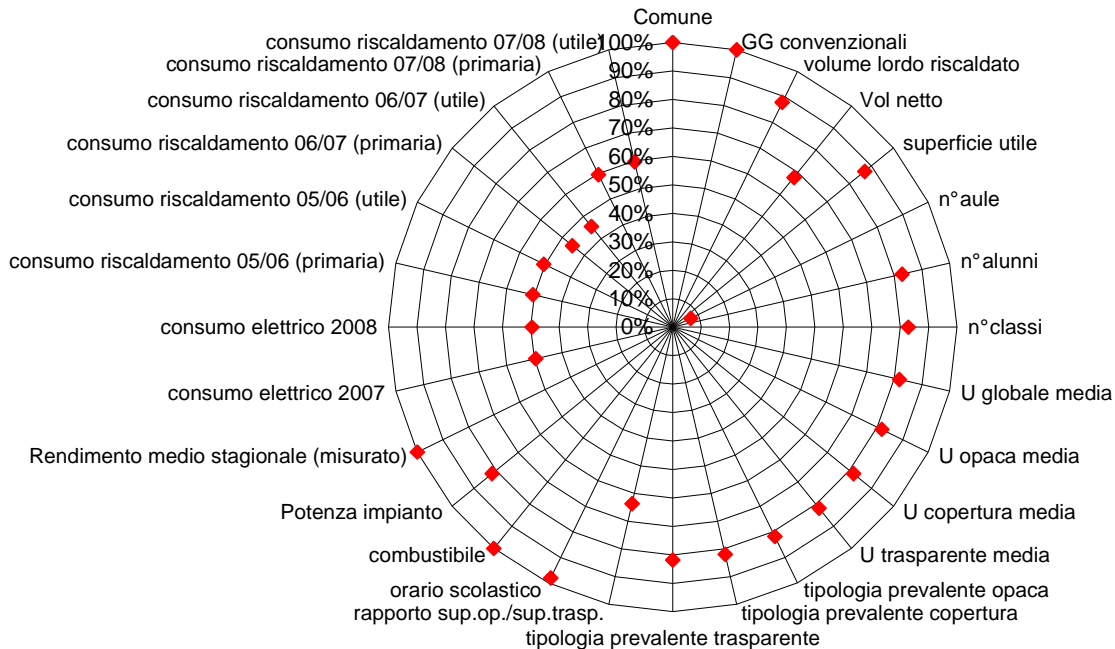
- Energia elettrica

I dati di consumo affidabili per l'intero anno sono relativi a 37 edifici per entrambi gli anni di cui sono disponibili i dati di consumo.

La figura seguente riporta la rappresentazione tramite grafico a radar della consistenza dei dati di tipo descrittivo e dei dati di consumo energetico relativi al campione analizzato.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Dall'analisi di tale grafico emerge, per esempio, come il dato relativo al numero di aule sia sostanzialmente non utilizzabile al fine delle analisi statistiche a causa della sua inconsistenza. Inoltre il grafico mette in evidenza come dati di assoluta importanza quali quelli di tipo geometrico non siano noti per l'intero campione di edifici ma soltanto per una quota pari a circa il 90% di tale campione.

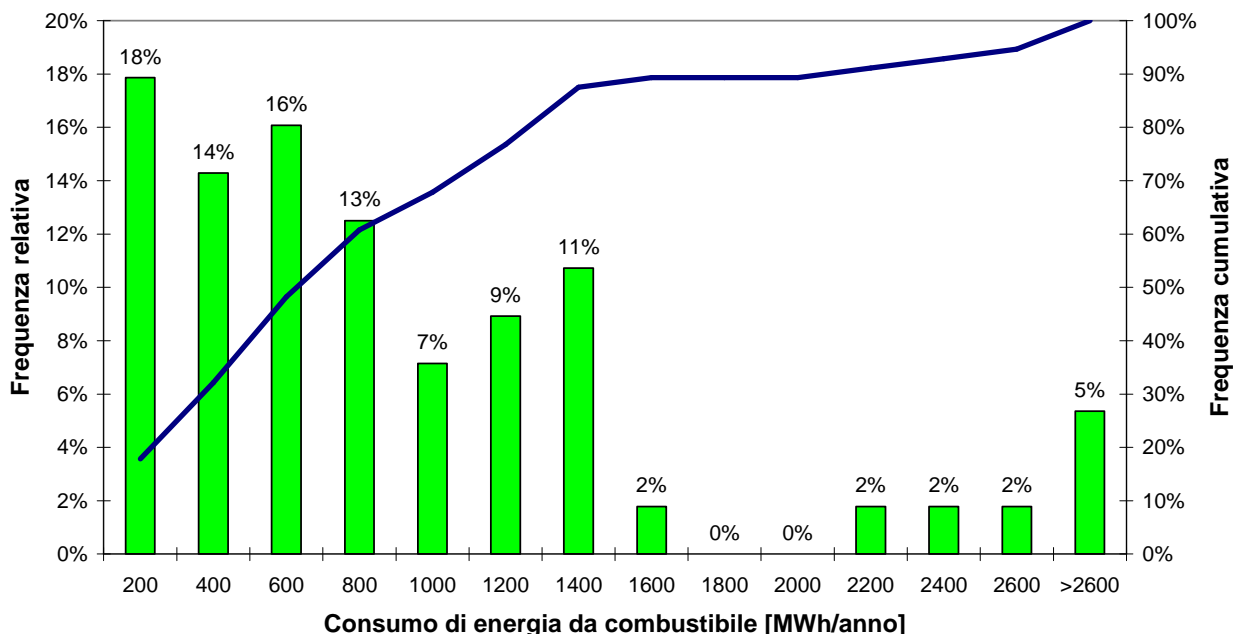
Relativamente ai consumi energetici, si riportano qui di seguito le analisi di dettaglio dei consumi per riscaldamento che come vedremo in seguito sono quelli che pesano in modo più significativo sulle richieste di energia degli edifici esaminati.

Il seguente grafico rappresenta la distribuzione di frequenza del campione in base al consumo di combustibile (espresso in termini di energia) per la climatizzazione invernale. La maggior parte degli edifici presenta un consumo inferiore a 800 MWh/anno.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

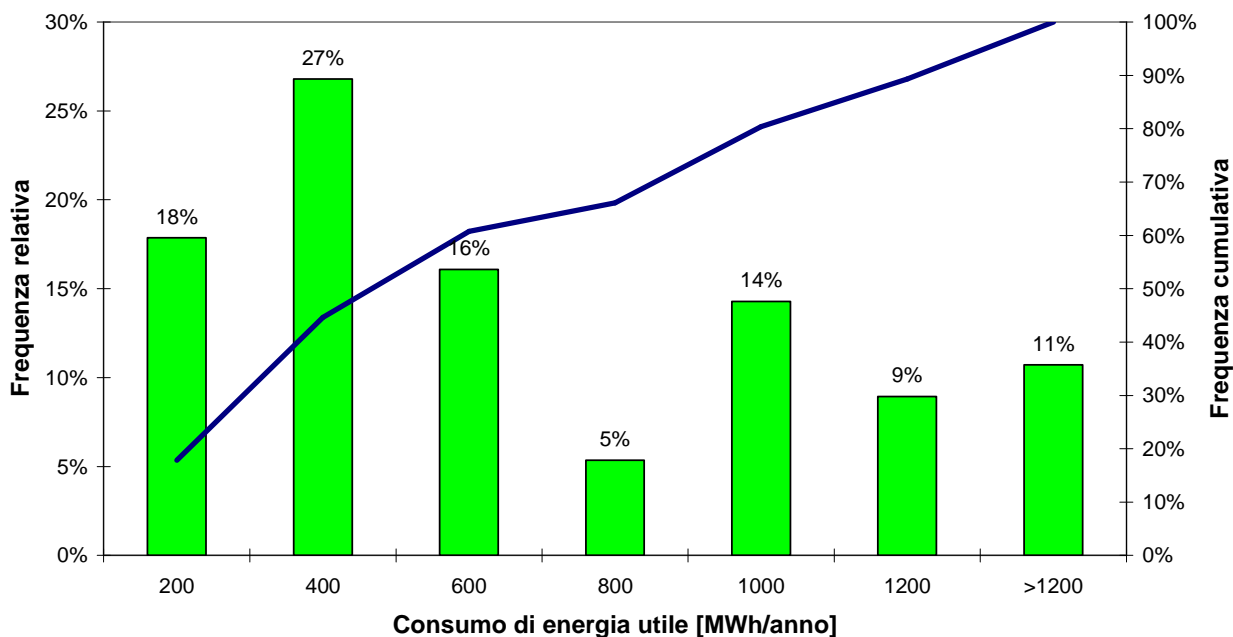
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DEL CAMPIONE IN BASE AL CONSUMO DI ENERGIA PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE DA COMBUSTIBILE**



Il grafico seguente riporta la distribuzione di frequenza del campione in base al consumo annuale di energia utile (rilevato a valle della caldaia) per la climatizzazione invernale. La maggior parte degli edifici presenta un consumo di energia utile annuo inferiore a 600 MWh.

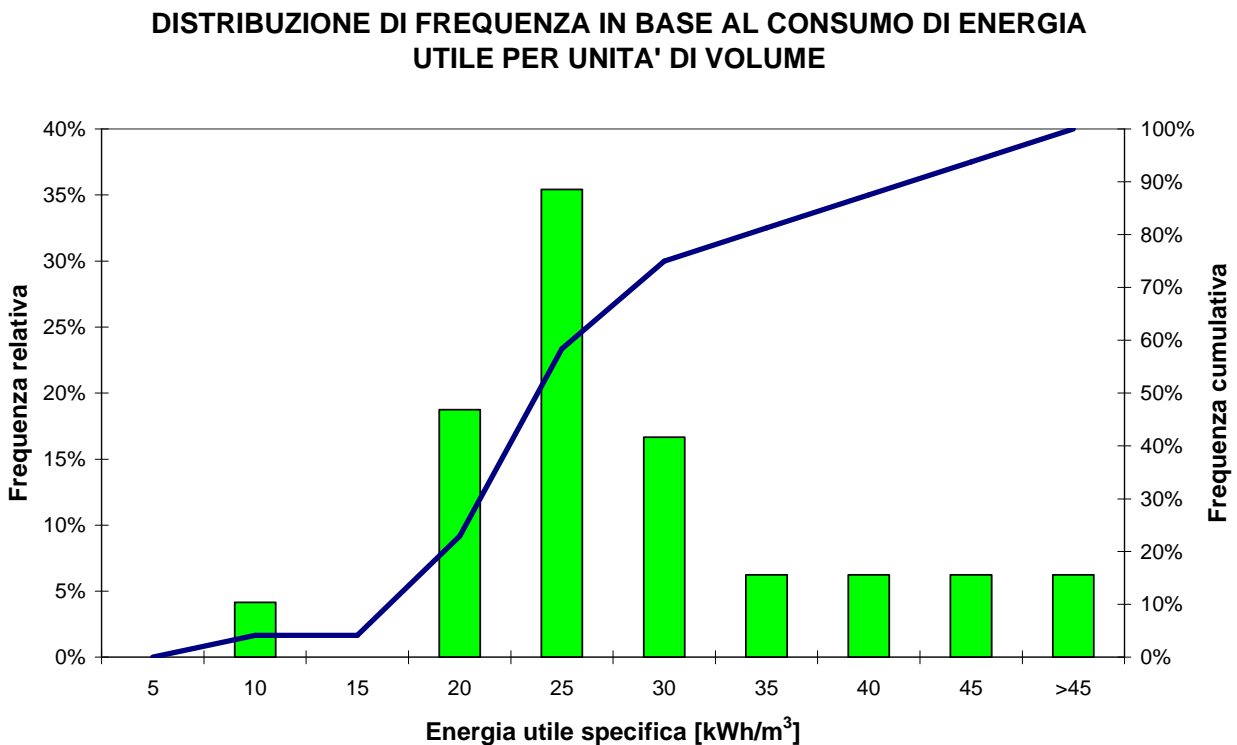
**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DEL CAMPIONE IN BASE AL CONSUMO DI ENERGIA UTILE PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE**



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Nel grafico seguente è stata riportata la distribuzione di frequenza del campione in base al consumo di energia utile specifico, riferito all'unità di volume lordo riscaldato. Dall'analisi del grafico emerge come il campione segua una distribuzione “quasi” normale, con un valore medio pari a 27 kWh/m<sup>3</sup>.

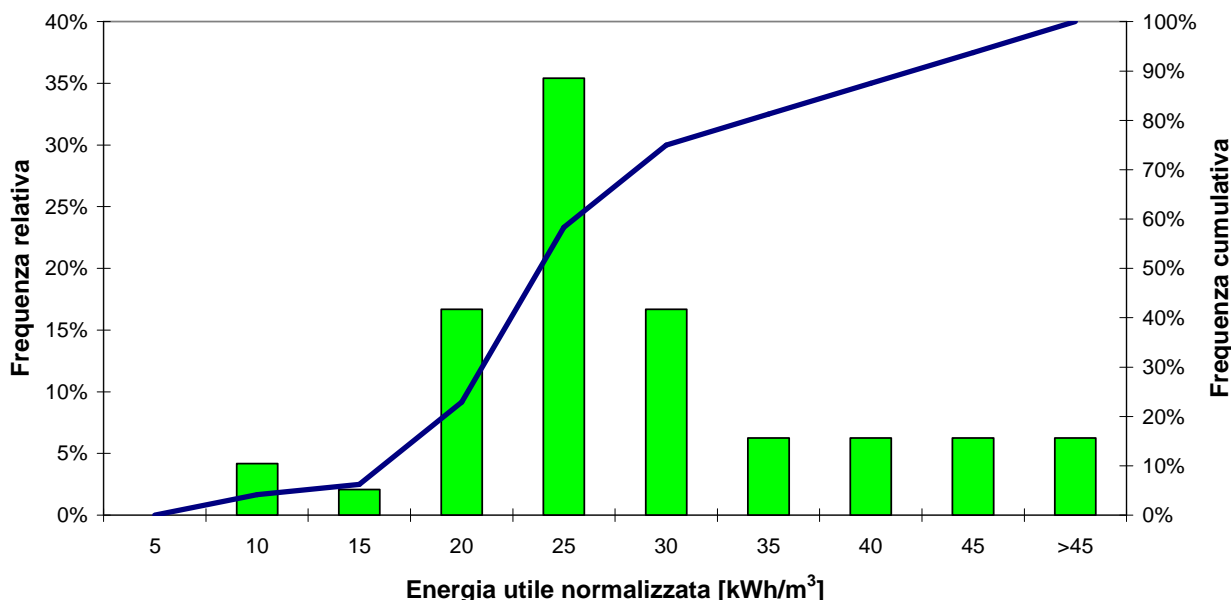


Il grafico seguente rappresenta la distribuzione di frequenza del campione in base al consumo di energia utile per la climatizzazione invernale riferito all'unità di volume, riportato e normalizzato rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino (come specificato nel D.P.R. 412/93). Anche in questo caso il campione di edifici segue una distribuzione “quasi normale”.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE AL CONSUMO DI ENERGIA UTILE PER UNITA' DI VOLUME NORMALIZZATO RISPETTO AI GRADI GIORNO**



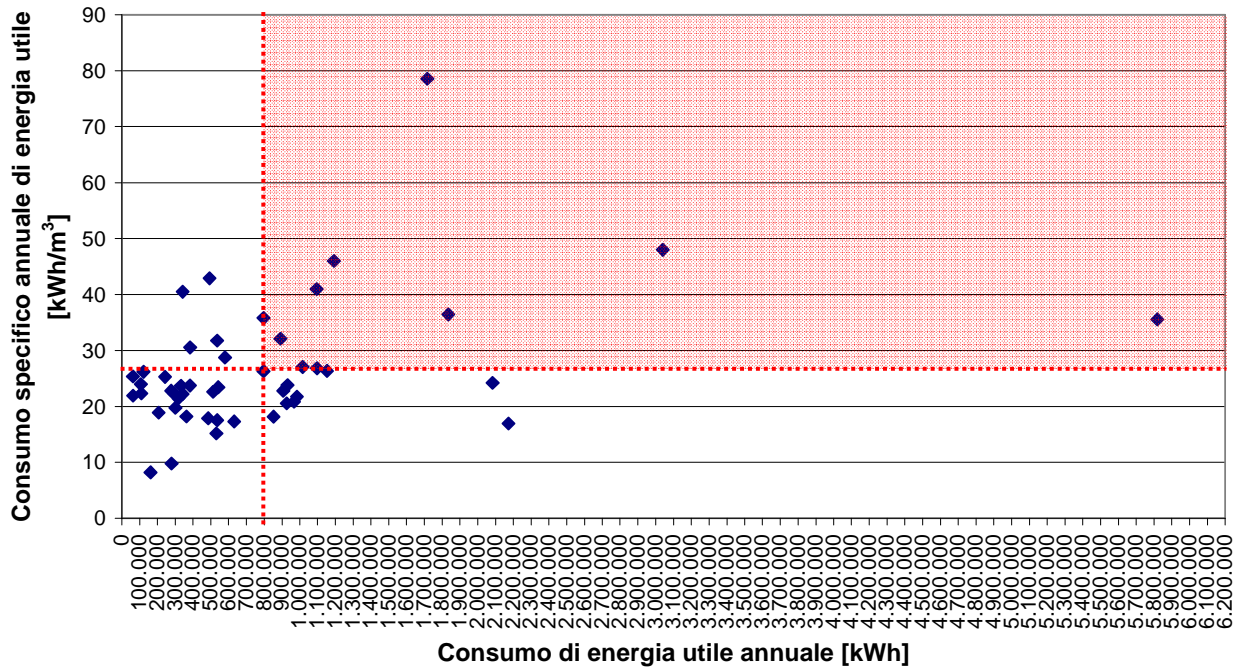
Nel diagramma seguente viene infine presentata la distribuzione dei consumi degli edifici oggetto di analisi attraverso il cosiddetto “metodo dei quadranti”, che riporta sull’asse delle x il consumo assoluto e su quello delle y il consumo relativo.

Tale metodo di rappresentazione è estremamente utile in quanto permette l’individuazione immediata degli edifici che necessitano con maggiore priorità di interventi di riqualificazione energetica rispetto agli altri appartenenti al campione. Ogni edificio è infatti rappresentato all’interno del grafico da un punto, localizzato in base al valore del suo consumo totale annuale (asse delle ascisse) e al valore del suo consumo specifico (asse delle ordinate). Le linee orizzontali e verticali tratteggiate rappresentano il valore medio di consumo specifico e totale annuale del campione analizzato: essi possono quindi essere in prima analisi essere assunti come limiti di riferimento per la suddivisione del diagramma in 4 quadranti. Gli edifici che si trovano nel quadrante evidenziato in alto a destra corrispondono agli edifici con elevata priorità di interventi di riqualificazione energetica poiché il loro consumo energetico totale annuale presenta un’elevata incidenza sul consumo complessivo del campione e il loro elevato valore di consumo specifico denota un impiego dell’energia poco efficiente. Di conseguenza intervenire prioritariamente su questi edifici porta ai maggiori risparmi in termini energetici ed economici.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**METODO DEI QUADRANTI**



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

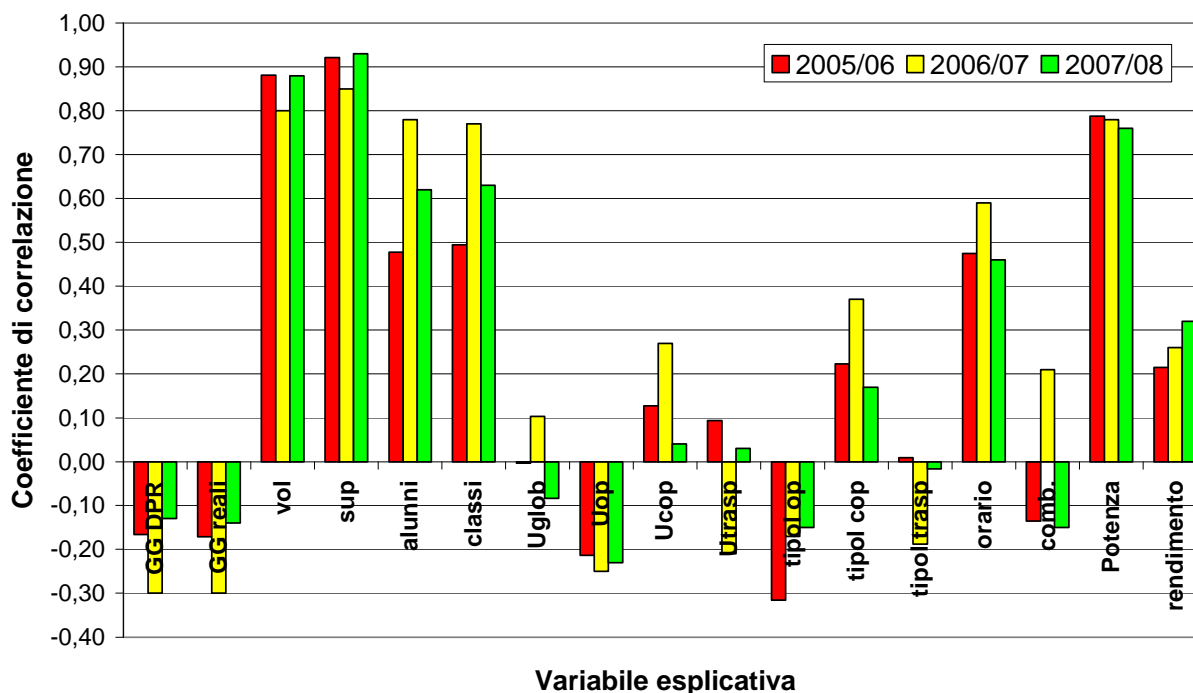
*Analisi delle correlazioni*

L’analisi delle correlazioni ha come obiettivo l’individuazione di quali siano i parametri che presentano legami più forti con i consumi energetici.

Il grafico seguente riporta i coefficienti di correlazione fra i consumi di energia termica e alcune variabili descrittive per ognuna delle stagioni analizzate. Il coefficiente di correlazione è uno strumento utile a descrivere la capacità di influenzare un fenomeno da parte di un parametro. Tale coefficiente può assumere valori che vanno da 0 a 1, più il valore del coefficiente di correlazione è vicino a 1 e maggiore risulta essere il legame presente fra il fenomeno da descrivere e la variabile descrittiva.

Come emerge dall’analisi del diagramma sotto presentato, le variabili che presentano un elevato grado di correlazione con i consumi per climatizzazione invernale risultano essere volume e superficie (variabili ovviamente linearmente dipendenti fra loro), potenza nominale della caldaia, numero di alunni e numero di classi (variabili anch’esse linearmente dipendenti fra loro) e orario scolastico giornaliero. Anche se in alcuni casi il coefficiente di correlazione varia tra una stagione e l’altra, le variabili con un coefficiente di correlazione significativo restano le stesse per tutte e tre le stagioni analizzate.

**COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE – CONSUMO PER RISCALDAMENTO**



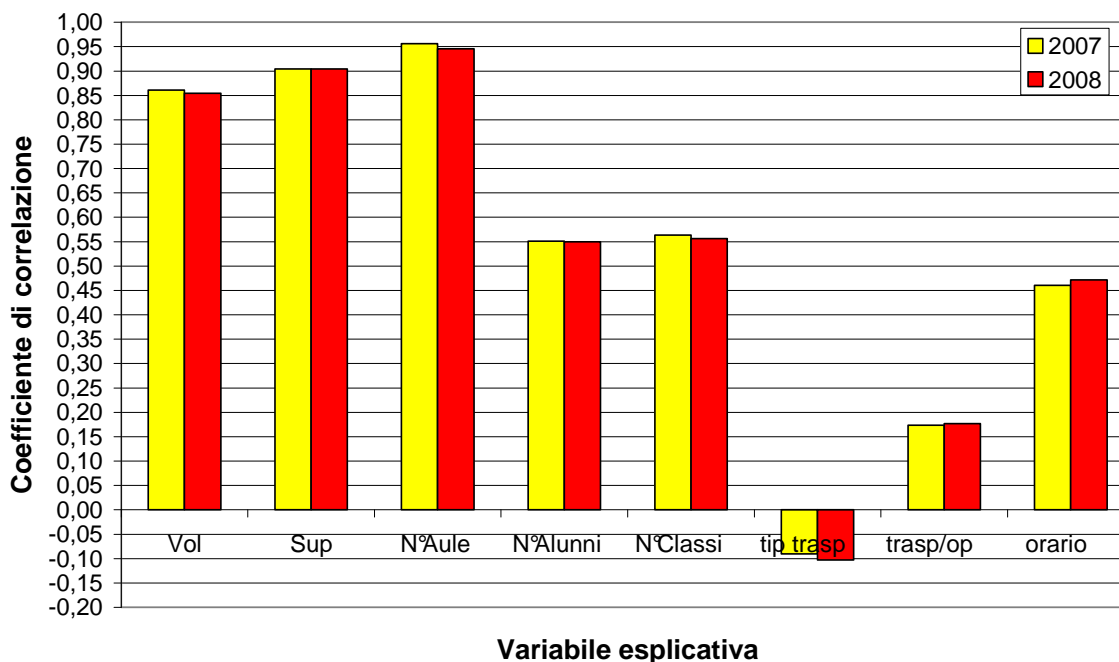


Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Il grafico seguente riporta i coefficienti di correlazione tra i consumi di energia elettrica e alcune variabili per i due anni di cui sono noti i dati di consumo. Dalla lettura di tale grafico emerge la presenza di una forte correlazione tra il consumo di energia elettrica negli edifici scolastici analizzati e il volume, la superficie (variabili linearmente dipendenti fra loro) e il numero di aule. I dati relativi al numero di aule non sono però sufficientemente numerosi per considerare significativa la correlazione evidenziata. Risulta essere piuttosto elevata anche la correlazione fra il consumo di energia elettrica e il numero di alunni e classi (variabili linearmente dipendenti fra loro). Le correlazioni evidenziate restano costanti per entrambi gli anni di cui sono noti i dati di consumo di energia elettrica.

**COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE - CONSUMO ELETTRICO**



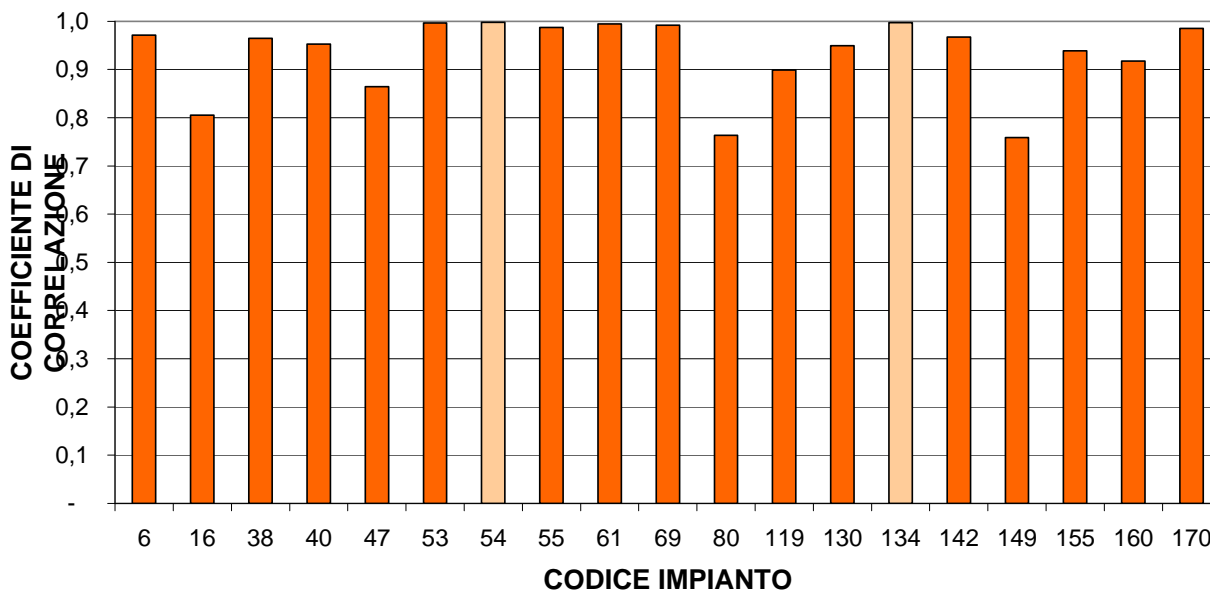
Il grafico seguente riporta l'analisi della presenza di correlazione fra il consumo di energia termica e l'andamento dei Gradi Giorno reali (calcolati in base alla temperatura interna di progetto di 20°C e alla temperatura media esterna giornaliera reale) per ognuno degli edifici scolastici di cui sono noti i consumi di energia termica per tutte e tre le stagioni prese in considerazione. Soltanto per due edifici è risultato che il numero di Gradi Giorno reali è in grado di influenzare in modo significativo la variazione del consumo da una stagione all'altra. Per tutti gli altri edifici, nonostante la correlazione fra il consumo e il numero dei Gradi Giorno reali sia molto elevata, il numero di Gradi Giorno non è risultato in grado di spiegare una quota significativa della variazione da una stagione all'altra del consumo di energia utile per il riscaldamento. Gli edifici con colorazione più

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

chiara sono quelli per cui la variazione dei Gradi Giorno è risultata in grado di influenzare in modo significativo il consumo di energia per il riscaldamento.

**COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE FRA IL NUMERO DI GRADI GIORNO REALI DELLA STAGIONE DI RISCALDAMENTO E IL CONSUMO PER IL RISCALDAMENTO (19 EDIFICI SCOLASTICI)**



La tabella seguente riporta la capacità di spiegare parte della variazione del consumo energetico da parte di ognuna delle variabili esaminate. Tale capacità è stata valutata attraverso l'uso di strumenti di analisi statistica. Più una variabile presenta buona capacità di spiegare il fenomeno (variazione del consumo di energia termica) più il relativo numero riportato in tabella è piccolo. Dove non sono presenti i numeri la variabile risulta non essere in alcun modo significativa, cioè non essere in grado di contribuire in modo significativo alla spiegazione della variazione del consumo energetico.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

	Risc 05/06	Risc 06/07	Risc 07/08	EI 2007	EI 2008
N. edifici	35	31	44	43	43
GG conv	-	-	-	-	-
GG reali	-	-	-	-	-
Potenza	-	3	2	-	-
Volume	-	-	-	-	-
Superficie	1	1	1	1	1
Rendimento	-	-	-	-	-
Alunni	-	-	-	-	-
Classi	-	-	-	-	-
U glob	-	-	-	-	-
U op	-	2	-	-	-
U trasp	-	-	-	-	-
U cop	-	-	-	-	-
Tip op	-	-	-	-	-
Tip trasp	-	-	-	-	-
Tip cop	-	-	-	-	-
Orario	-	4	-	-	-
S trasp/S op (solo el)				-	-
R <sup>2</sup> mod	0,83	0,82	0,88	0,80	0,80

Il fattore che maggiormente influenza il consumo di energia per il riscaldamento e di energia elettrica in edifici scolastici tra quelli analizzati è il dato di superficie. In alcuni casi hanno presentato influenza significativa sul consumo di energia per riscaldamento anche i dati relativi alla trasmittanza media dei componenti opachi verticali dell'involucro, alla potenza nominale della caldaia, e all'orario giornaliero di utilizzo scolastico. Per quanto riguarda i consumi elettrici tra i fattori analizzati soltanto la superficie è in grado di descrivere parte della variazione del fenomeno.

**La capacità descrittiva del dato di superficie è comunque molto elevata, come dimostrato dal valore prossimo ad 1 del coefficiente di determinazione corretto (R<sup>2</sup> mod).**

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

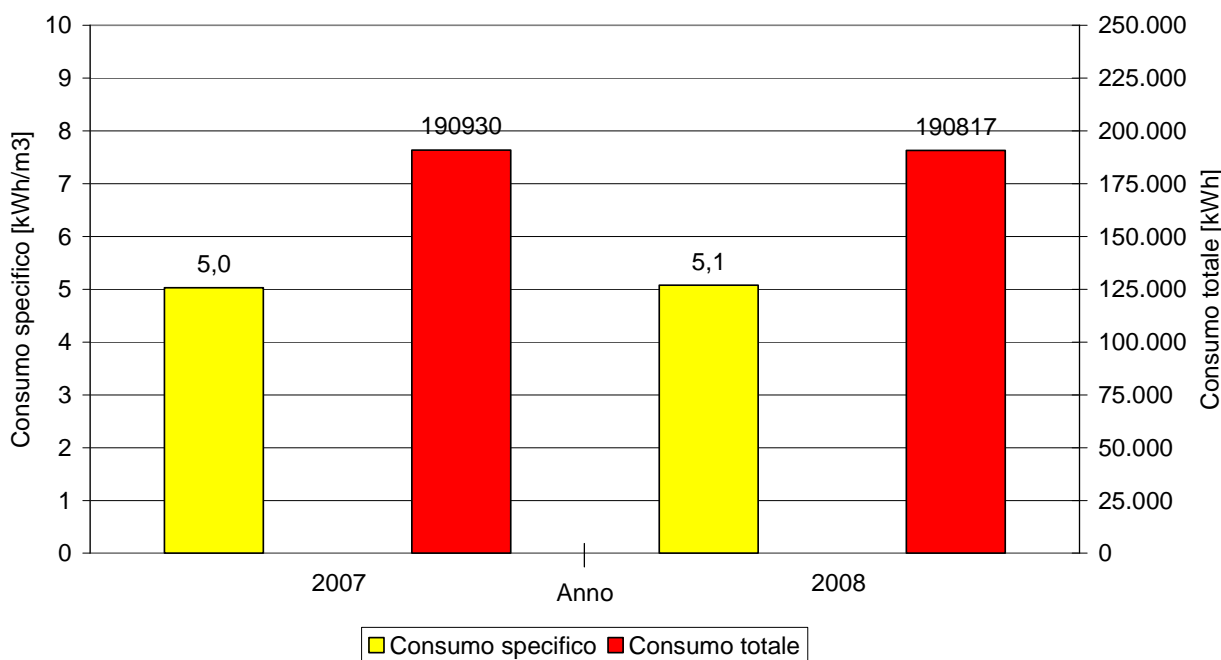
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

*Consumi energetici e benchmarking*

Si esaminano di seguito i valori medi, minimi, massimi etc. di consumo energetico al fine di definire al termine dell’analisi ragionevoli valori di riferimento.

Per quanto riguarda il consumo di energia elettrica, come dimostrato dal grafico seguente, è possibile evidenziare la presenza di un andamento costante negli anni oggetto di analisi. Il consumo specifico riferito all’unità di volume, che risultata la variabile maggiormente in grado di caratterizzare il consumo di energia elettrica, è pari in media a 5 kWh/m<sup>3</sup> in entrambi gli anni di analisi.

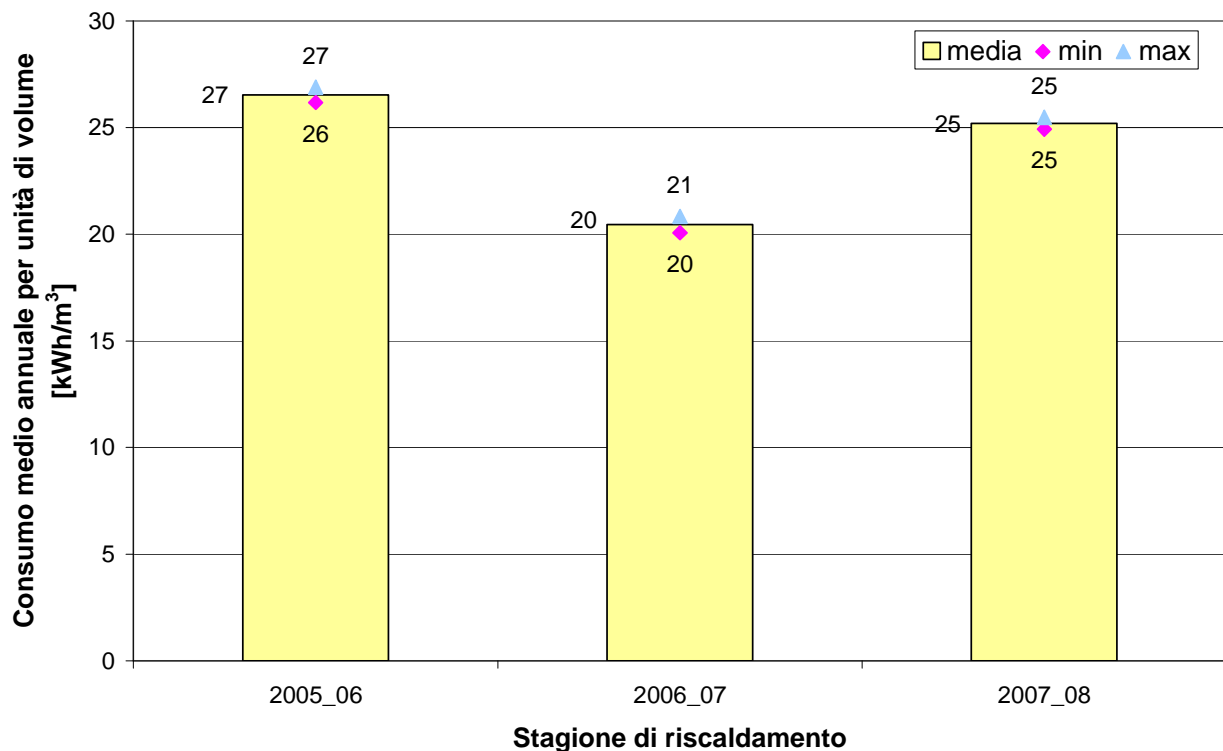
CONSUMO MEDIO TOTALE E SPECIFICO DI ENERGIA ELETTRICA NEI DUE ANNI DI ANALISI (43 edifici)



Nel grafico seguente sono riportati i valori medi di consumo specifico di energia utile per la climatizzazione invernale riferiti all’unità di volume per ognuna delle tre stagioni di riscaldamento analizzate.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

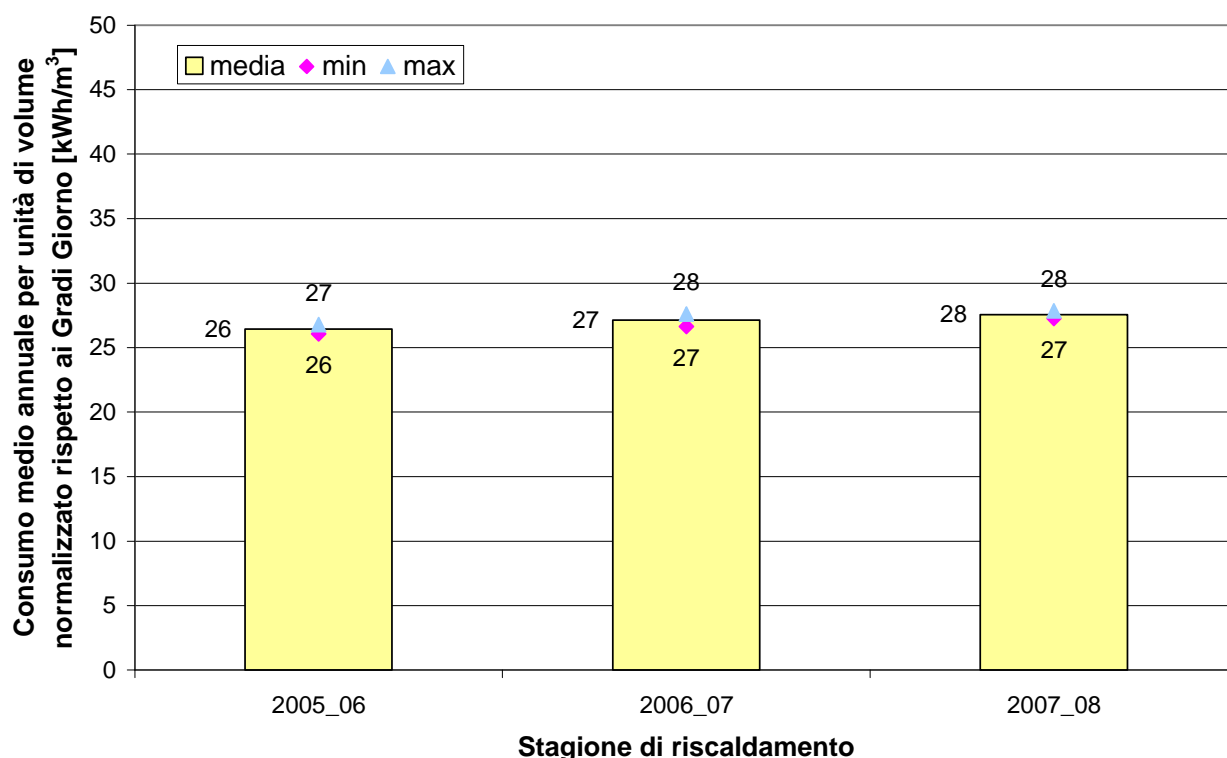
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Dal grafico si nota come il valore della stagione 2005/06 sia inferiore rispetto agli altri due valori che risultano essere piuttosto simili. Ciò è dovuto a una sostanziale differenza delle condizioni climatiche della stagione 2005/06. Allo scopo di rendere confrontabili i tre valori medi, il consumo per unità di volume è diviso per i GG reali della stagione di riscaldamento e poi riportato ai Gradi Giorno convenzionali della città di Torino. Il grafico successivo riporta i risultati di questo processo di normalizzazione.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Dalla lettura del grafico emerge come la normalizzazione sia stata utile al fine di consentire il confronto fra le tre stagioni. Escludendo quindi l'effetto delle variazioni climatiche fra una stagione e l'altra, il consumo medio di energia termica utile per unità di volume è pari a 27 kWh/m<sup>3</sup> per gli edifici scolastici esaminati e riportati ai GG convenzionali di Torino.

Siccome dall'analisi dell'influenza dei fattori sul consumo di energia termica, la tipologia di orario scolastico è risultata in alcuni casi significativa, sono stati individuati anche i benchmark di consumo di energia termica utile per ognuno dei tre profili di utilizzo che caratterizzano alcuni edifici del campione analizzato (corsi mattutini, corsi mattutini e pomeridiani, corsi mattutini, pomeridiani e serali). Nel grafico seguente sono stati riportati i risultati di questa analisi, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno in modo da eliminare le influenze delle differenze climatiche tra una stagione e l'altra sul consumo di energia termica utile. I valori relativi agli edifici scolastici con corsi mattutini e pomeridiani e mattutini, pomeridiani e serali presentano andamento piuttosto costanti negli anni. Naturalmente il consumo aumenta all'aumentare delle ore scolastiche anche se non in modo direttamente proporzionale all'aumento delle ore, in questo caso infatti il valore del coefficiente di correlazione precedentemente analizzato dovrebbe essere decisamente maggiore. Ciò è dovuto al fatto che il prolungamento dell'orario di riscaldamento necessita di una minore quantità di energia rispetto al riscaldamento dello stesso volume dopo un periodo notturno in cui l'impianto è rimasto spento e la temperatura ambientale è diminuita: si tratta infatti nel primo caso

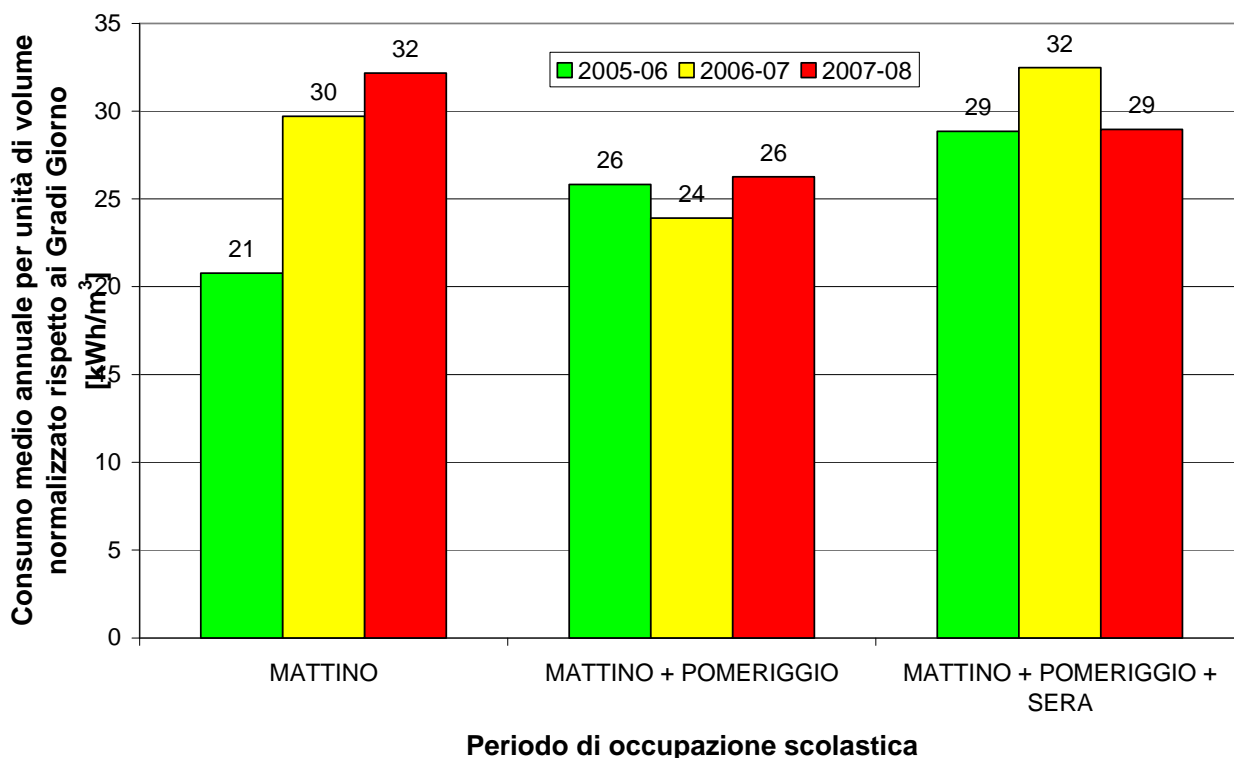
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

di mantenere un livello temperatura già stabilito e nel secondo caso di innalzarla fino al raggiungimento del valore richiesto.

Dalla lettura del grafico emerge una forte disomogeneità per quanto riguarda l’andamento negli anni del consumo di energia nelle scuole con orario di lezione soltanto mattutino. Questo fenomeno può essere dovuto a due cause contemporaneamente:

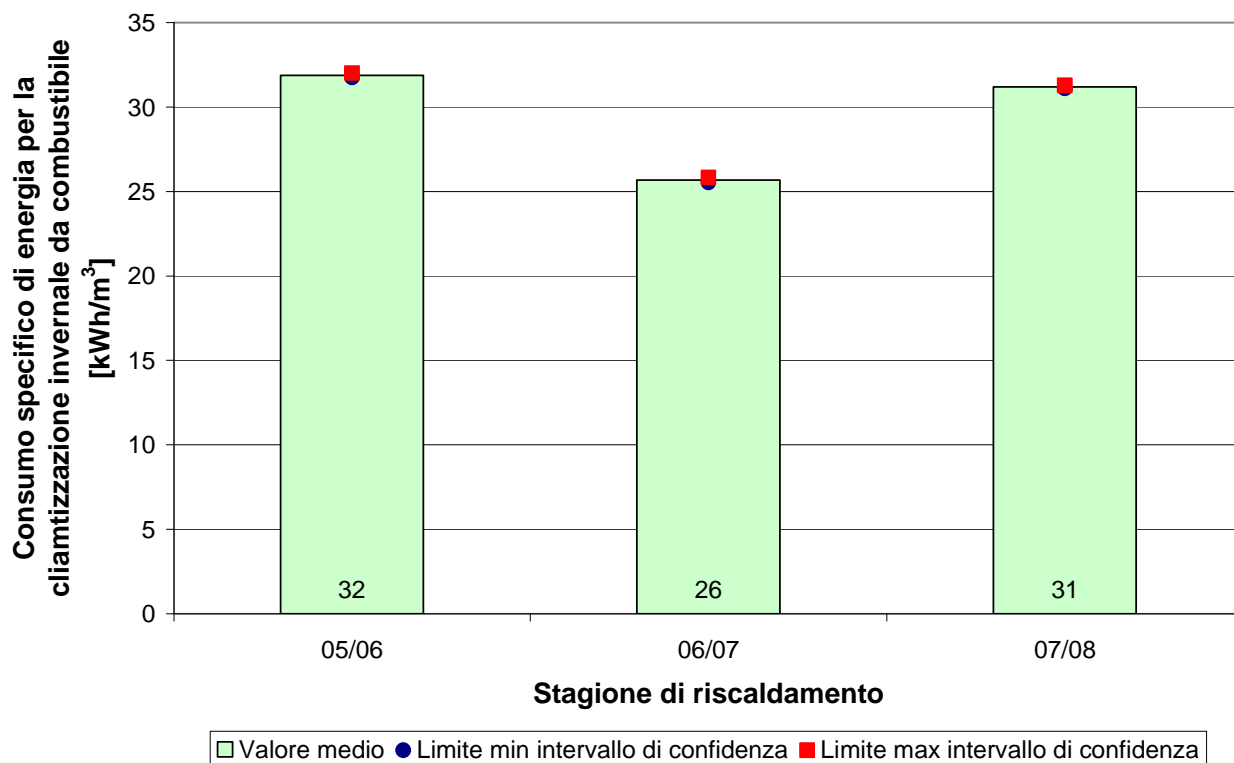
- il campione di edifici con orario scolastico mattutino è di dimensioni ridotte, non estremamente significativo da un punto di vista statistico;
- in tali edifici è maggiormente elevata la presenza di attività extrascolastiche negli orari pomeridiani di cui non è nota con sufficiente precisione la distribuzione temporale nell’arco dell’anno, alcune di queste scuole potrebbero quindi essere assimilate alle scuole in cui l’orario di lezione è anche pomeridiano.



Il grafico seguente rappresenta l’andamento del consumo medio specifico di energia del combustibile per la climatizzazione invernale nei diversi anni analizzati. Com’è già emerso nel caso dell’energia utile, anche in questo caso si può notare come sia necessaria una normalizzazione rispetto ai Gradi Giorno in modo da rendere trascurabili le influenze del clima.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

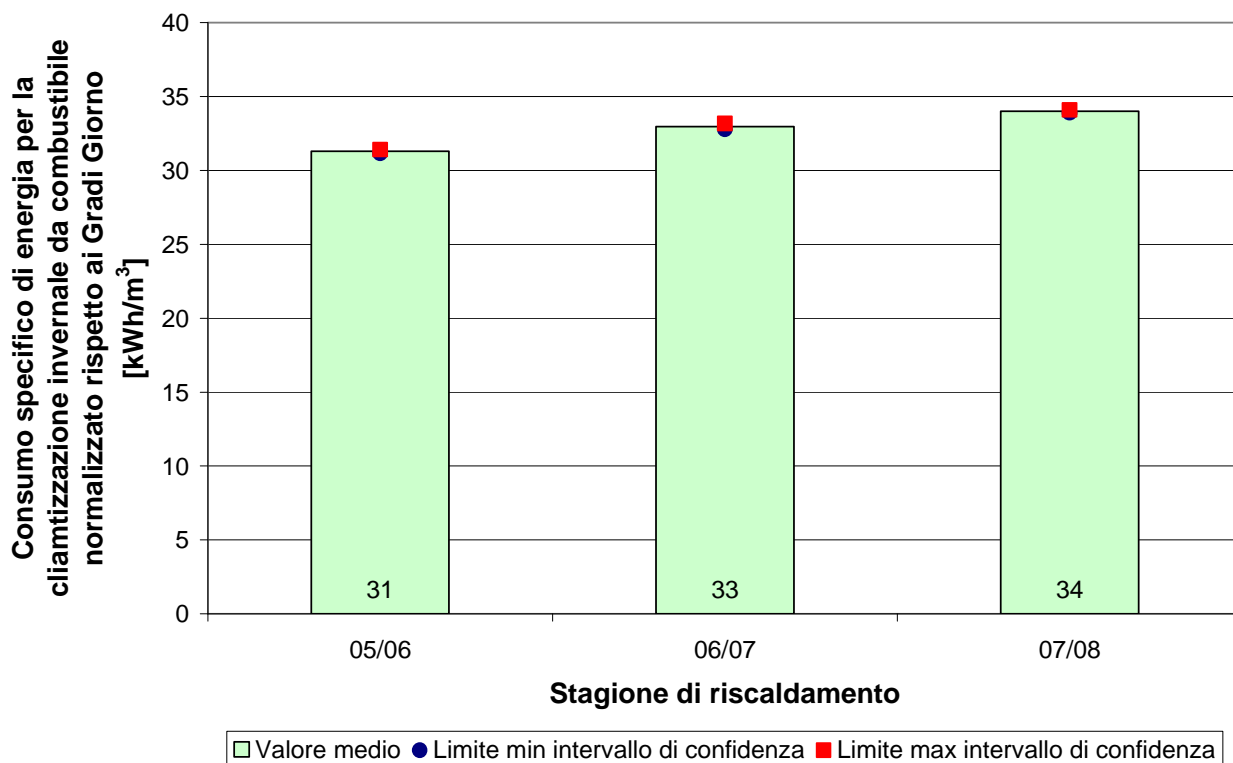


Dal grafico seguente, in cui sono stati riportati i valori medi di consumo specifico di energia da combustibile per la climatizzazione invernale, emerge come la normalizzazione rispetto ai Gradi Giorno sia stata in grado anche in questo caso di limitare le differenze presenti fra i valori medi delle diverse stagioni analizzate.



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Il valore di riferimento di consumo di energia per la climatizzazione invernale da combustibile espresso in kWh per unità di volume è quindi mediamente pari a 33 kWh/m<sup>3</sup>

Nella tabella seguente i valori di riferimento valutati di consumo di energia elettrica e termica utile sono stati messi a confronto con i valori di benchmark proposti dall'associazione inglese BSRIA (*The Building Services Research and Information Association*), riportati nella terza colonna. Sono stati utilizzati i valori di riferimento di consumo energetico per unità di superficie in modo da consentire il loro confronto con quanto disponibile nella letteratura internazionale. Dall'analisi dei dati riportati in tabella emerge una differenza significativa, soprattutto per quanto riguarda il consumo elettrico, tra i valori proposti per l'Inghilterra e quelli relativi all'analisi dei consumi di edifici scolastici in Italia.

La differenza è senza dubbio dovuta alle differenze climatiche dei due paesi che, come si è visto, sono in grado di influenzare fortemente l'andamento dei consumi, o anche ad un differente profilo di utilizzo delle scuole anglosassoni. E' quindi di grande utilità l'individuazione di valori di benchmark per il consumo energetico in edifici scolastici riferito al patrimonio edilizio a destinazione scolastica riferito al territorio italiano.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

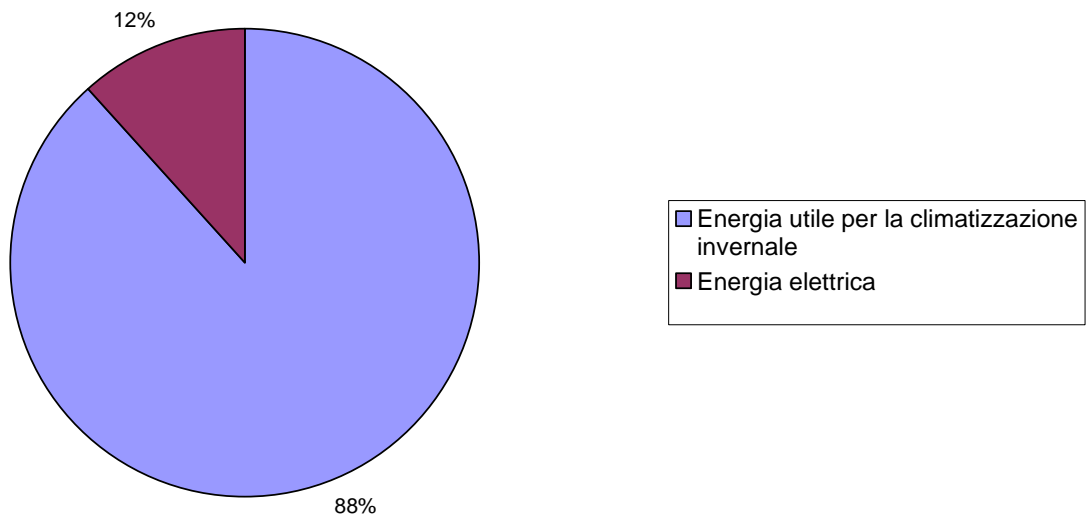
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

	Bench. [kWh/m <sup>2</sup> ]	RoT [kWh/m <sup>2</sup> ]
<b>EDIFICI SCOLASTICI SUPERIORI</b>		
Energia utile per la climatizzazione invernale	114	174
Energia elettrica	15	30

I grafici seguenti rappresentano il breakdown dei consumi di energia utile secondo i due principali usi finali presenti in edifici a destinazione d'uso scolastica:

- climatizzazione invernale;
- illuminazione/usi elettrici.

**BREAKDOWN DEI CONSUMI SECONDO I BENCHMARK RELATIVI AL CAMPIONE ANALIZZATO**

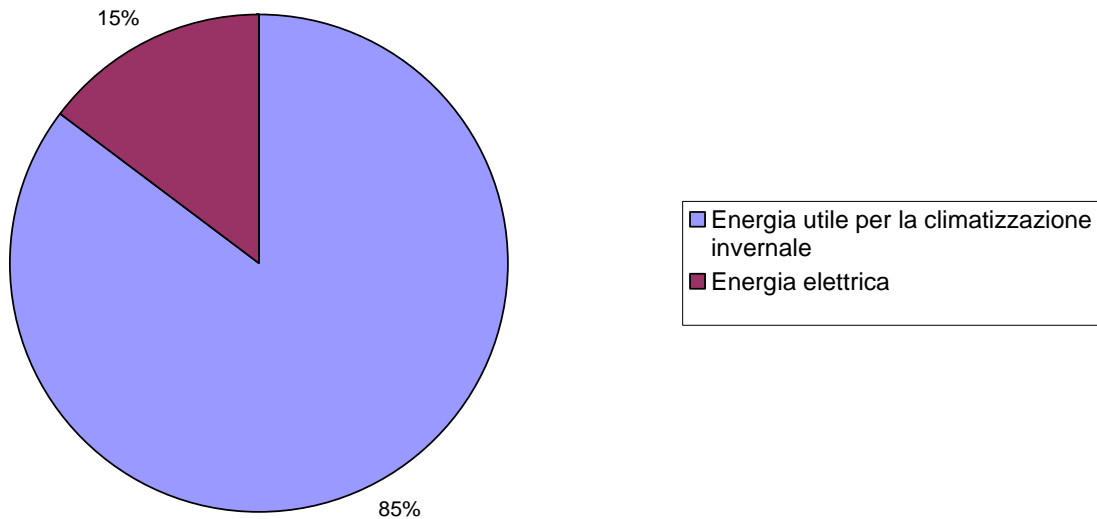


Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

**BREAKDOWN DEI CONSUMI SECONDO I BENCHMARK INGLES**



Dall’analisi di questi due grafici emerge come, nonostante cambi il valore di riferimento di consumo specifico per ognuno degli usi finali analizzati, il breakdown sia molto simile sia per il caso italiano sia per il caso inglese. Si conferma che il consumo di gran lunga prevalente è quello per il riscaldamento, che rappresenta oltre il 85% degli usi finali di energia per il campione esaminato .

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

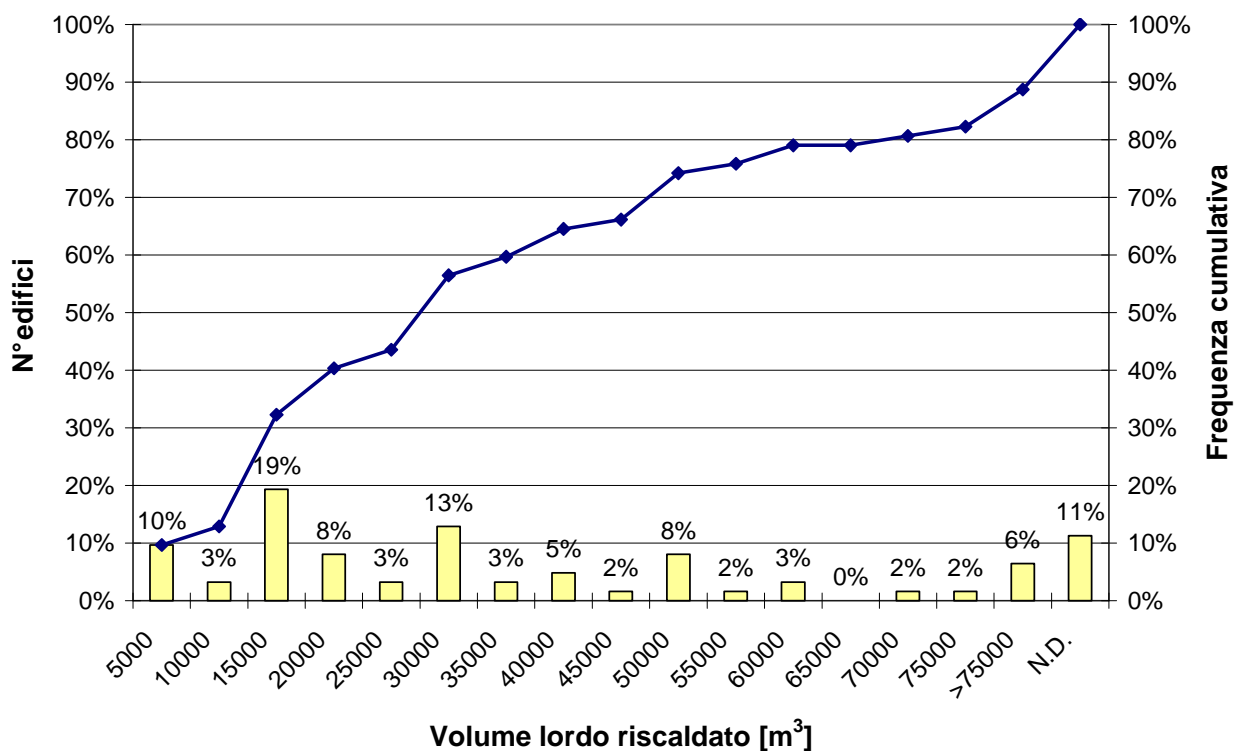
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**FOCUS SUGLI ISTITUTI TECNICO-PROFESSIONALI**

Il sottocampione di edifici scolastici di seguito analizzato è composto da 62 scuole: si tratta in prevalenza di istituti tecnici e di alcuni istituti professionali. Si tratta di edifici localizzati, come detto per il campione complessivo, nella provincia di Torino.

I grafici seguenti sintetizzano l'attività di *descrizione del campione*.

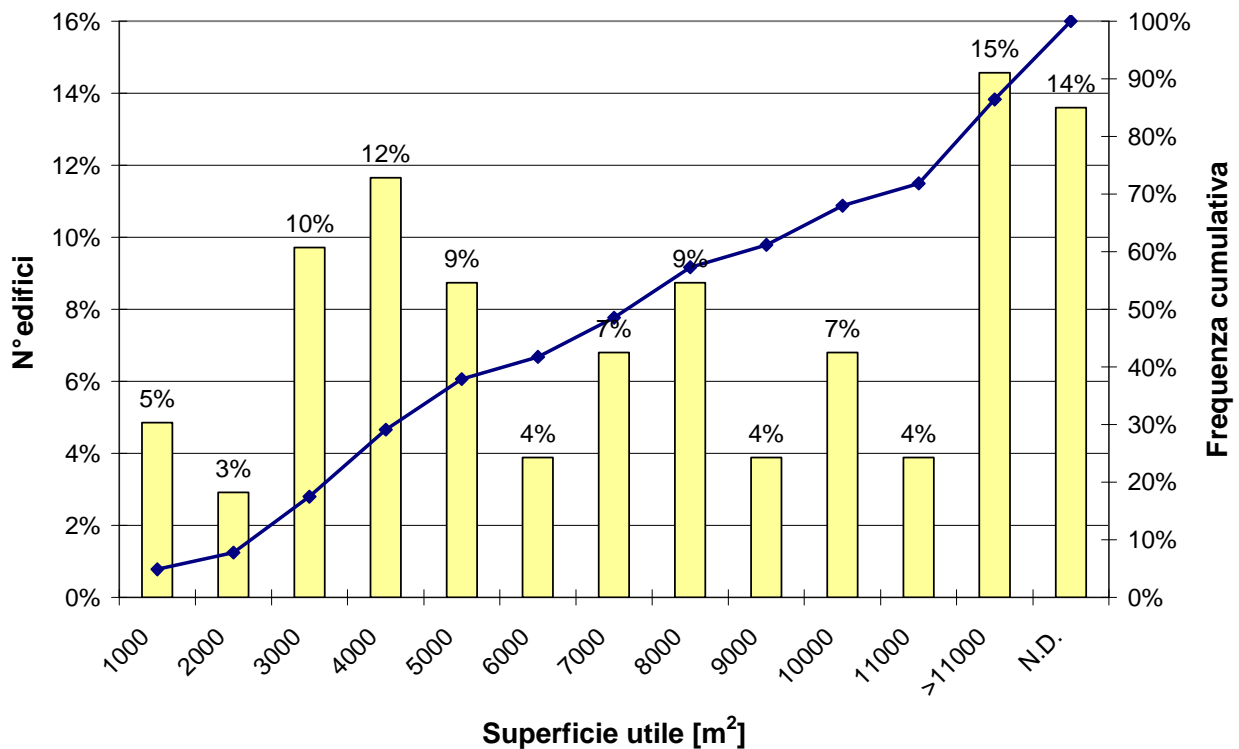
Il primo grafico è relativo alla distribuzione di frequenza del campione in base al volume lordo riscaldato. L'andamento della distribuzione di frequenza del sottocampione di istituti tecnici è simile all'andamento della distribuzione di frequenza dell'intero campione di edifici scolastici.



Allo stesso modo anche la distribuzione di frequenza del sottocampione secondo la superficie utile, riportata nel grafico seguente, presente un andamento simile alla stessa distribuzione di frequenza per l'intero campione.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

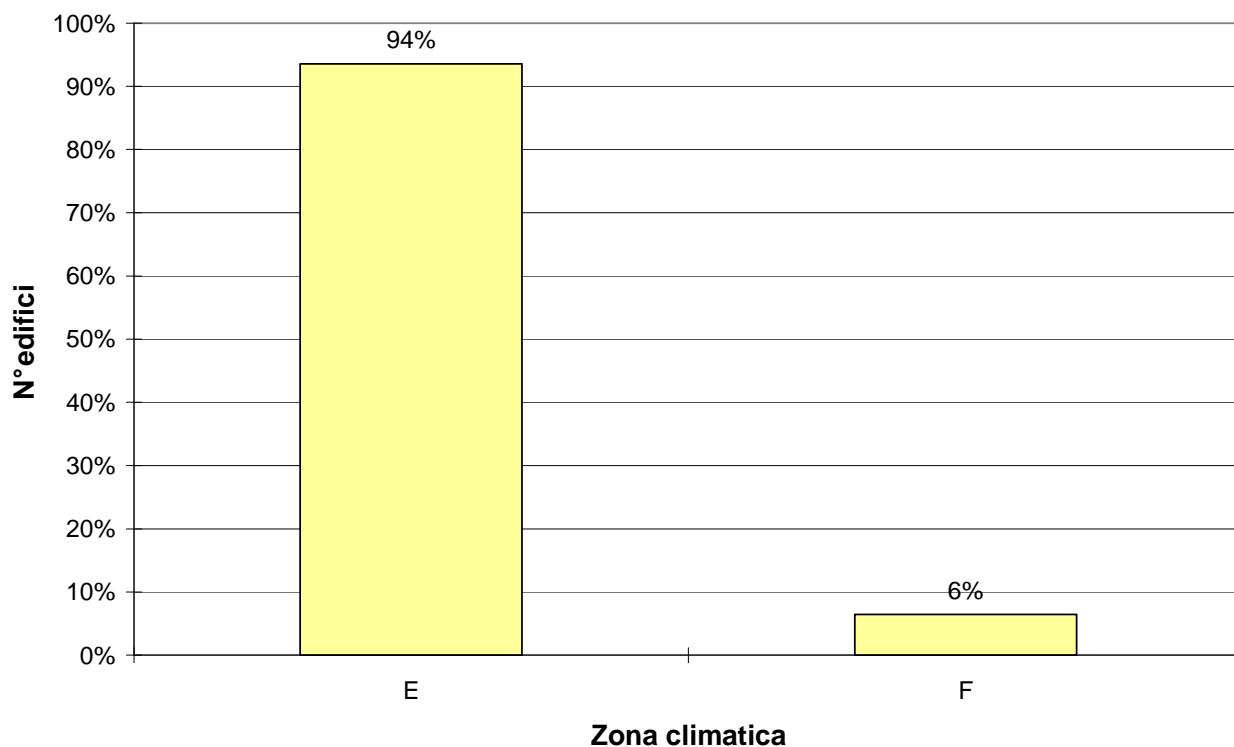
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Come dimostrato dal grafico seguente relativo alla distribuzione di frequenza del sottocampione in base alle zone climatiche (D.P.R. 412/93), anche in questo caso la maggior parte degli edifici si trova nella zona climatica E poiché la maggior parte degli edifici si trova nel comune di Torino o nei comuni limitrofi.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

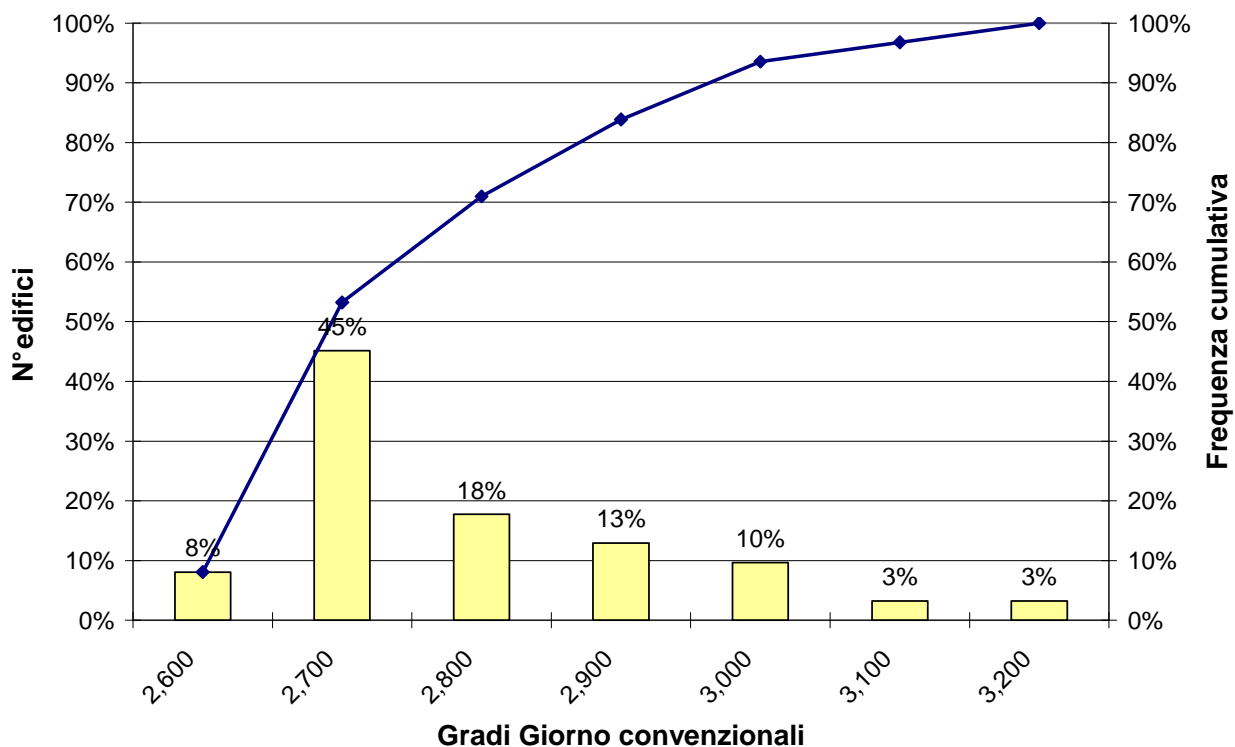
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



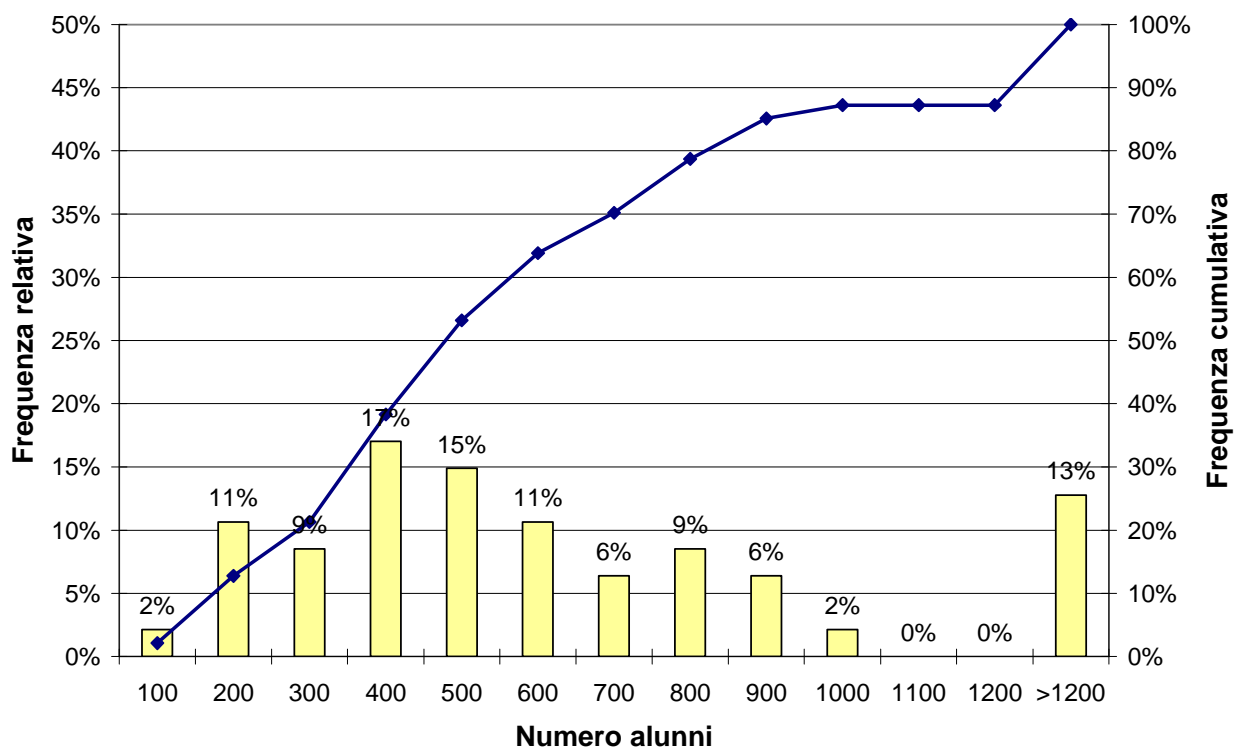
Rispetto all’andamento della distribuzione di frequenza del campione in base ai Gradi Giorno convenzionali delle località in cui sorgono gli edifici oggetto di analisi, l’andamento del sottocampione presenta una distribuzione meno centrata sul valore dei Gradi giorno convenzionali della città di Torino: gli istituti tecnici si distribuiscono in modo più omogeneo all’interno del territorio provinciale rispetto al campione totale analizzato di edifici scolastici.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



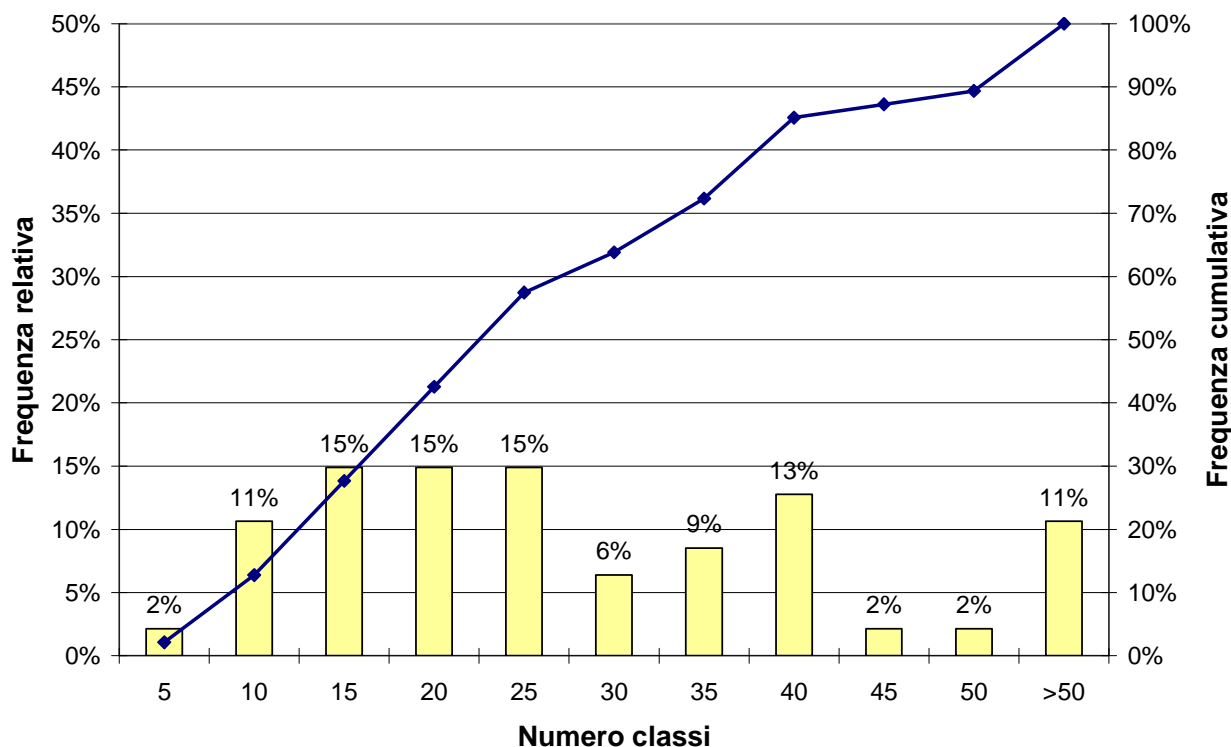
Il grafico seguente riporta la distribuzione di frequenza del campione in base al numero di alunni iscritti. Dalla lettura del grafico emerge come, rispetto al campione complessivo, il numero di alunni iscritti agli istituti tecnici sia mediamente inferiore.



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Dall'analisi del grafico seguente, relativo alla distribuzione di frequenza del sottocampione di istituti tecnici rispetto al numero di classi attivate, si può notare come tale distribuzione sia molto simile a quella relativa al campione complessivo. Siccome il numero di alunni iscritti agli istituti tecnici è mediamente inferiore al numero di alunni iscritti nelle scuole del campione complessivo, le classi degli istituti tecnici sono meno numerose di quelle del campione complessivo.

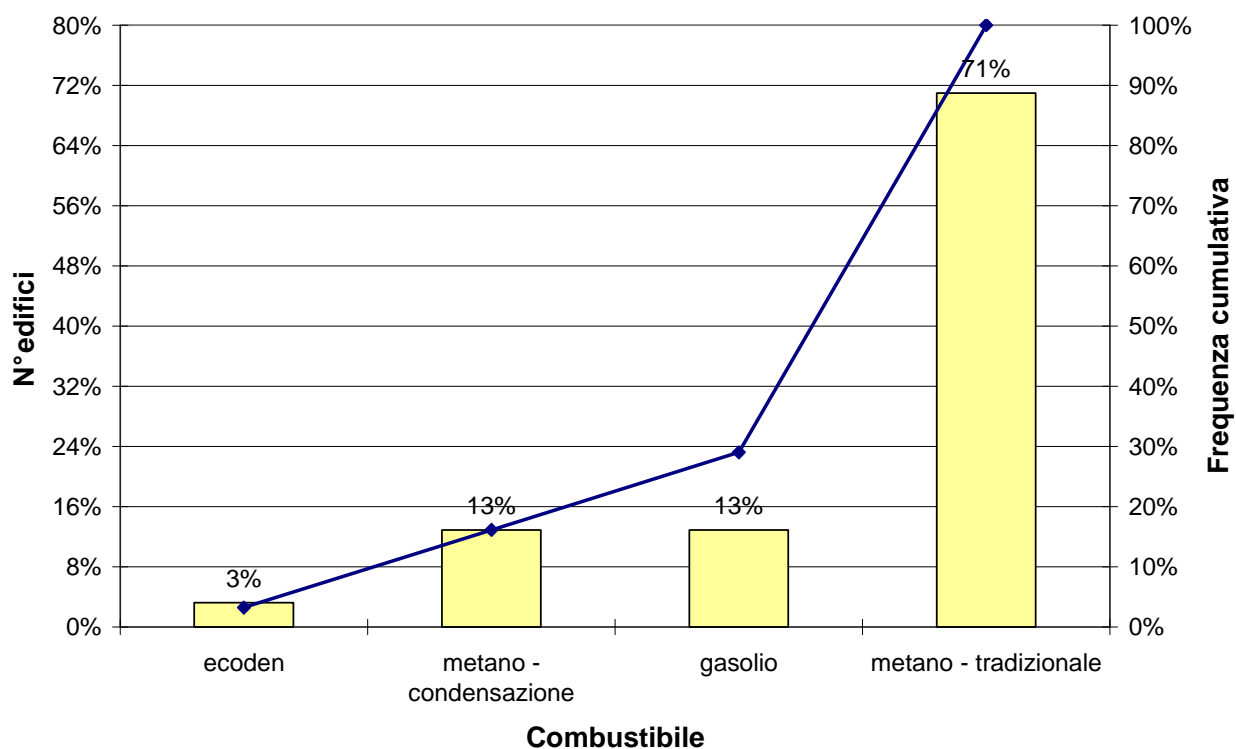


Il grafico seguente riporta la distribuzione di frequenza del sottocampione rispetto alla tipologia di combustibile utilizzato per l'alimentazione del generatore di calore. Anche in questo caso, come per il campione totale, nella maggior parte degli edifici sono presenti impianti di climatizzazione invernale alimentati a metano e per la maggior parte si tratta di impianti di tipo tradizionale, i casi di caldaia a condensazione sono pochi.



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

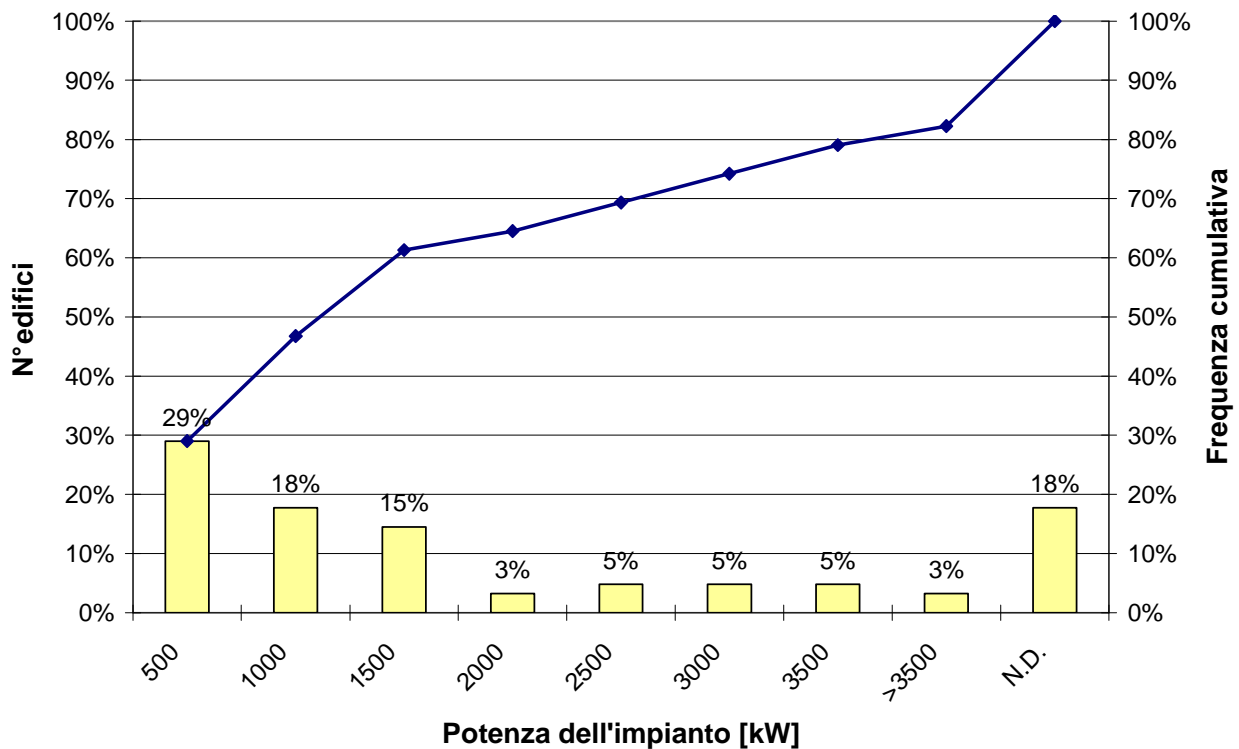
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



La taglia delle caldaie installate negli istituti tecnici è leggermente più piccola rispetto all'intero campione di edifici scolastici analizzato: dalla lettura del grafico seguente emerge infatti che il 60% degli istituti tecnici è dotato di caldaie con una potenza inferiore a 1500 kW, mentre per quanto riguarda il campione complessivo circa il 50% degli impianti installati presenta una potenza inferiore a 1500 kW.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

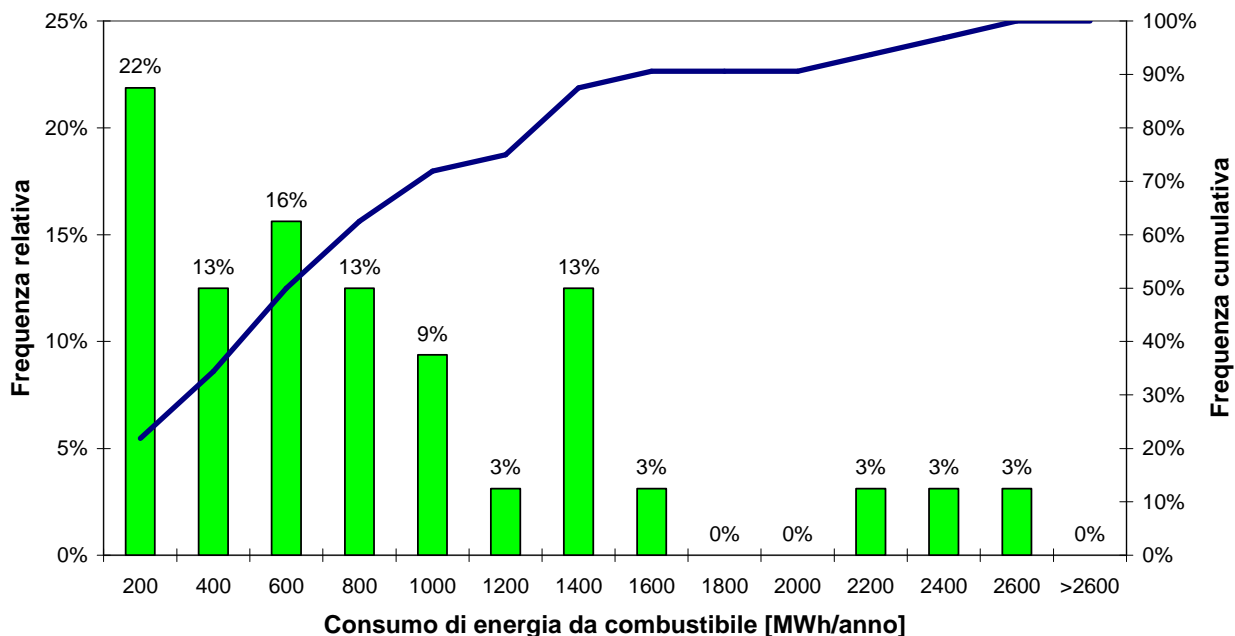


Il seguente grafico riporta la distribuzione di frequenza del sottocampione di istituti tecnici rispetto al consumo annuale di energia per la climatizzazione invernale da combustibile. La distribuzione è molto simile a quella relativa al campione complessivo, è solo presente una minore percentuale di edifici con consumi elevati.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DEL CAMPIONE IN BASE AL CONSUMO DI ENERGIA PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE DA COMBUSTIBILE**

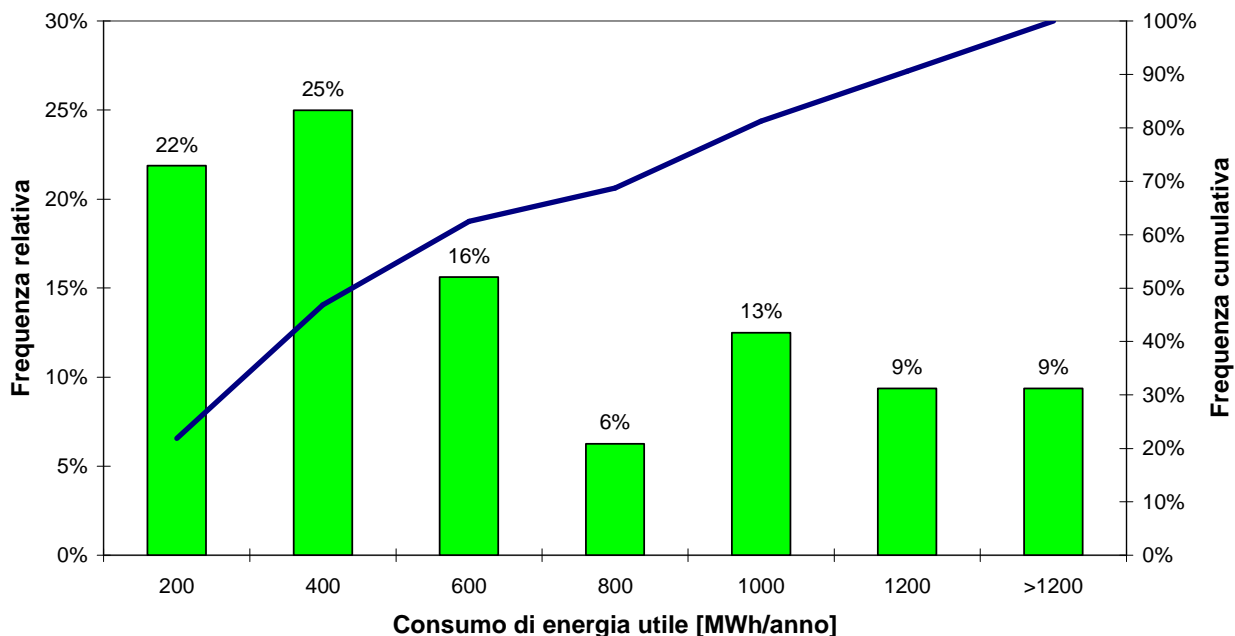


Anche nel caso della distribuzione di frequenza del sottocampione rispetto al consumo annuale di energia utile per la climatizzazione invernale riportato nel grafico sottostante, l'andamento è simile a quello del grafico relativo all'intero campione. Come già evidenziato nel commento al precedente grafico, per il campione di istituti tecnici aumenta leggermente il numero di edifici con consumo basso e diminuisce leggermente il numero di edifici con consumo elevato.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA DEL CAMPIONE IN BASE AL CONSUMO DI ENERGIA UTILE PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE**

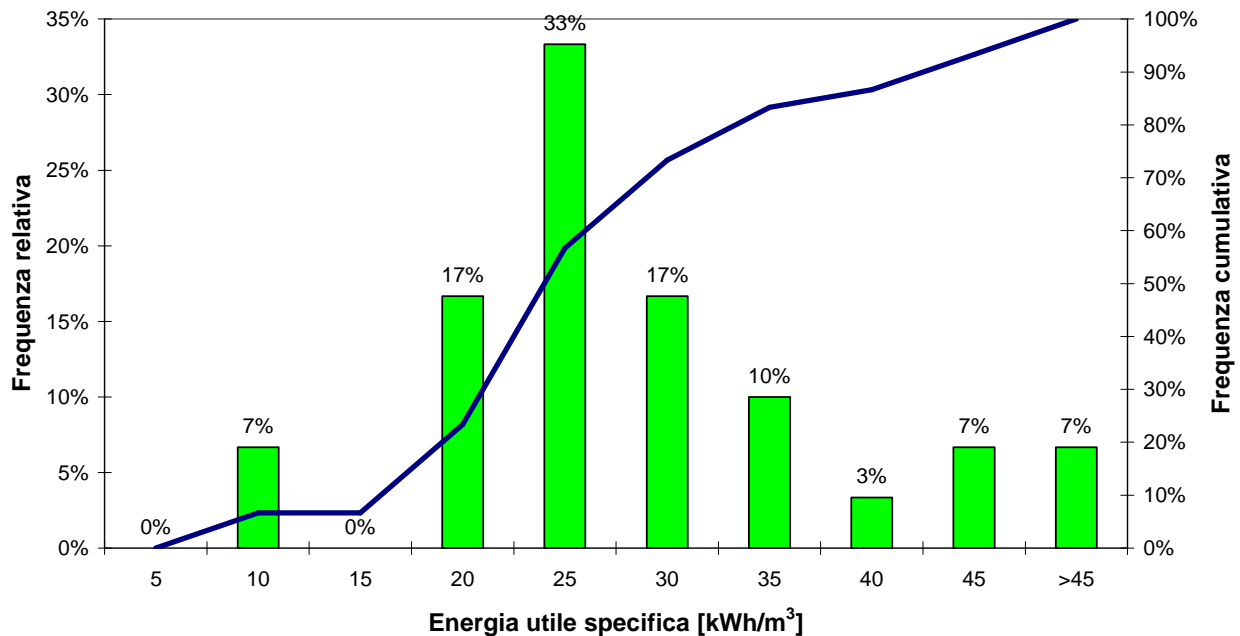


Secondo quanto riportato nel grafico sottostante, il consumo di energia utile per unità di volume per il sottocampione di istituti tecnici si distribuisce in modo simile al consumo di energia utile per unità di volume relativo all'intero campione. Anche il valore medio del sottocampione coincide sostanzialmente con quello relativo all'intero campione, pari cioè a 27 kWh/m<sup>3</sup>.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE AL CONSUMO DI ENERGIA UTILE PER UNITA' DI VOLUME**

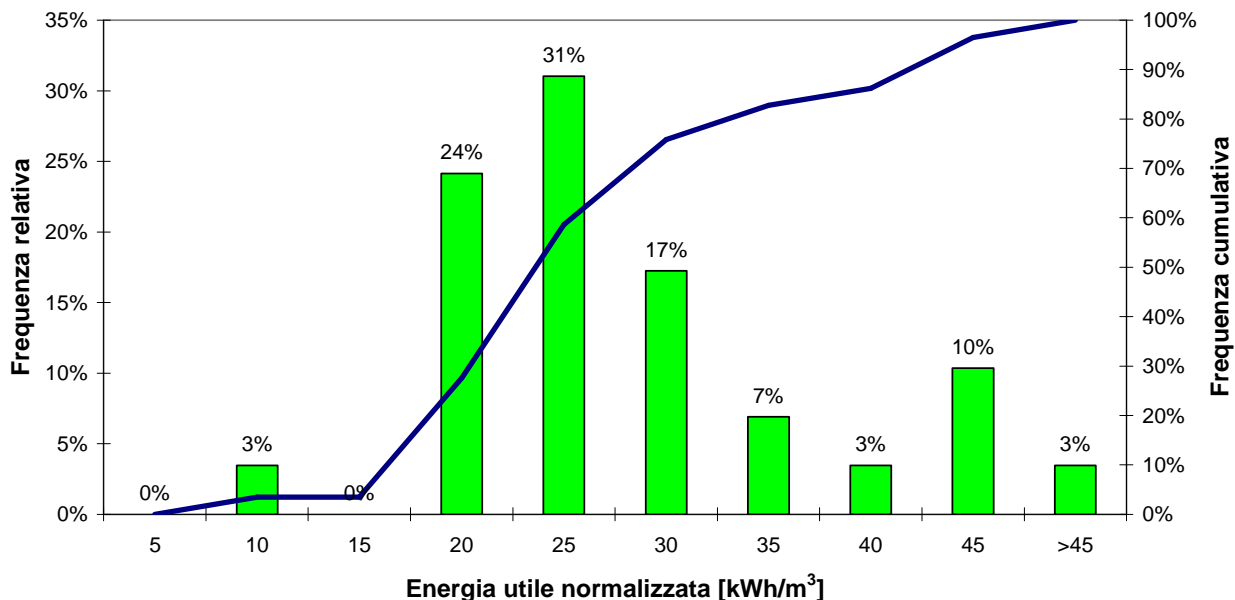


La distribuzione di frequenza del sottocampione in base all'energia utile normalizzata rispetto ai Gradi Giorno presenta una maggiore concentrazione di edifici con consumo compreso fra 15 e 20 kWh/m<sup>3</sup> rispetto allo stesso grafico relativo però all'intero campione analizzato. Anche in questo caso il valore medio resta invariato rispetto a quello relativo all'intero campione, pari cioè a 27 kWh/m<sup>3</sup>.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DISTRIBUZIONE DI FREQUENZA IN BASE AL CONSUMO DI ENERGIA  
UTILE PER UNITA' DI VOLUME NORMALIZZATO RISPETTO AI GRADI  
GIORNO**

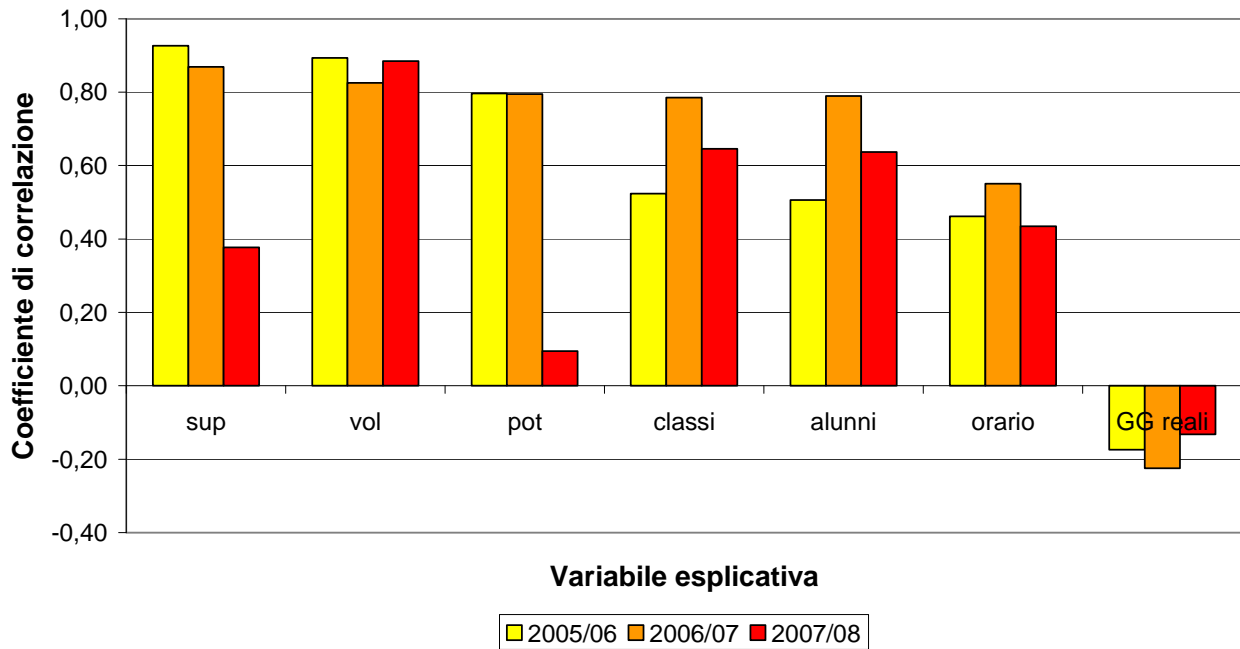


Relativamente all'analisi delle correlazioni, il grafico seguente conferma l'elevato grado di correlazione presente soprattutto fra il dato di consumo di energia per la climatizzazione invernale e il dato di volume lordo riscaldato, correlazione già evidenziata durante l'analisi dei dati relativi all'intero campione.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE TRA CONSUMO TOTALE ANNUO PER RISCALDAMENTO E ALCUNI PARAMETRI**

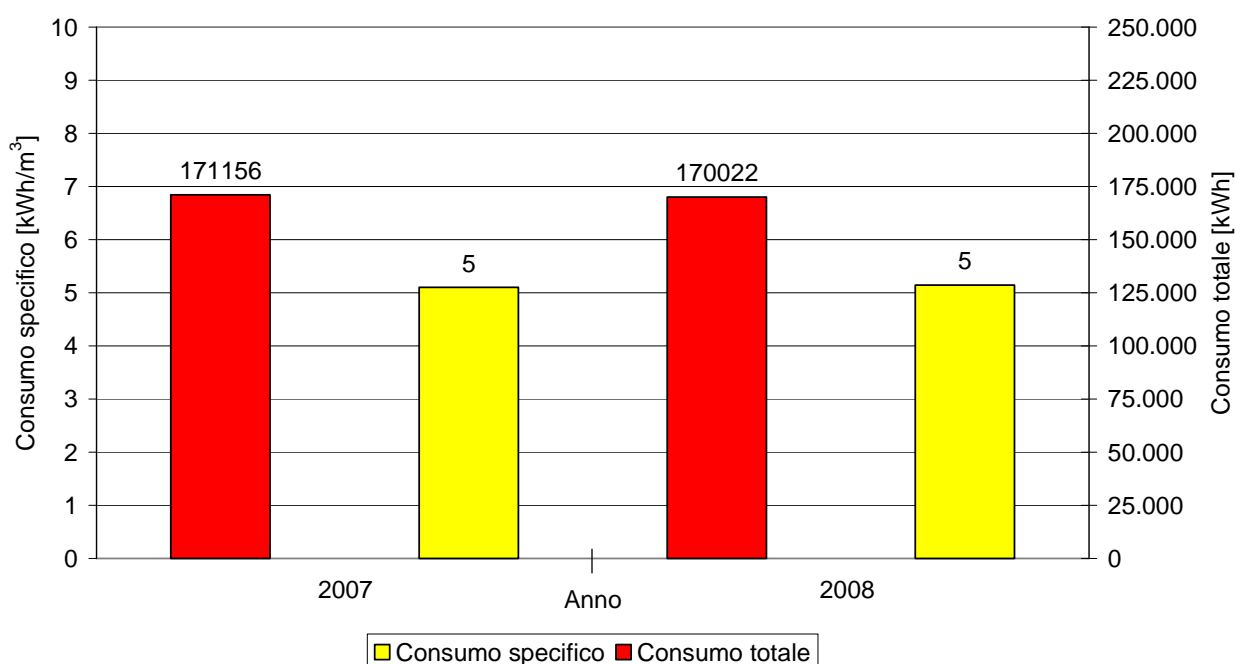


Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Relativamente ai *Consumi energetici e benchmarking*, il grafico seguente riporta i valori medi di consumo di energia elettrica per i due anni di analisi relativi al sottocampione di istituti tecnici. Come già verificato nel caso del campione complessivo, anche per gli istituti tecnici il valore di consumo specifico, riferito cioè all'unità di volume, resta costante nei due anni ed è pari a 5 kWh/m<sup>3</sup>.

CONSUMO MEDIO TOTALE E SPECIFICO DI ENERGIA ELETTRICA NEI DUE ANNI DI ANALISI (29 edifici)

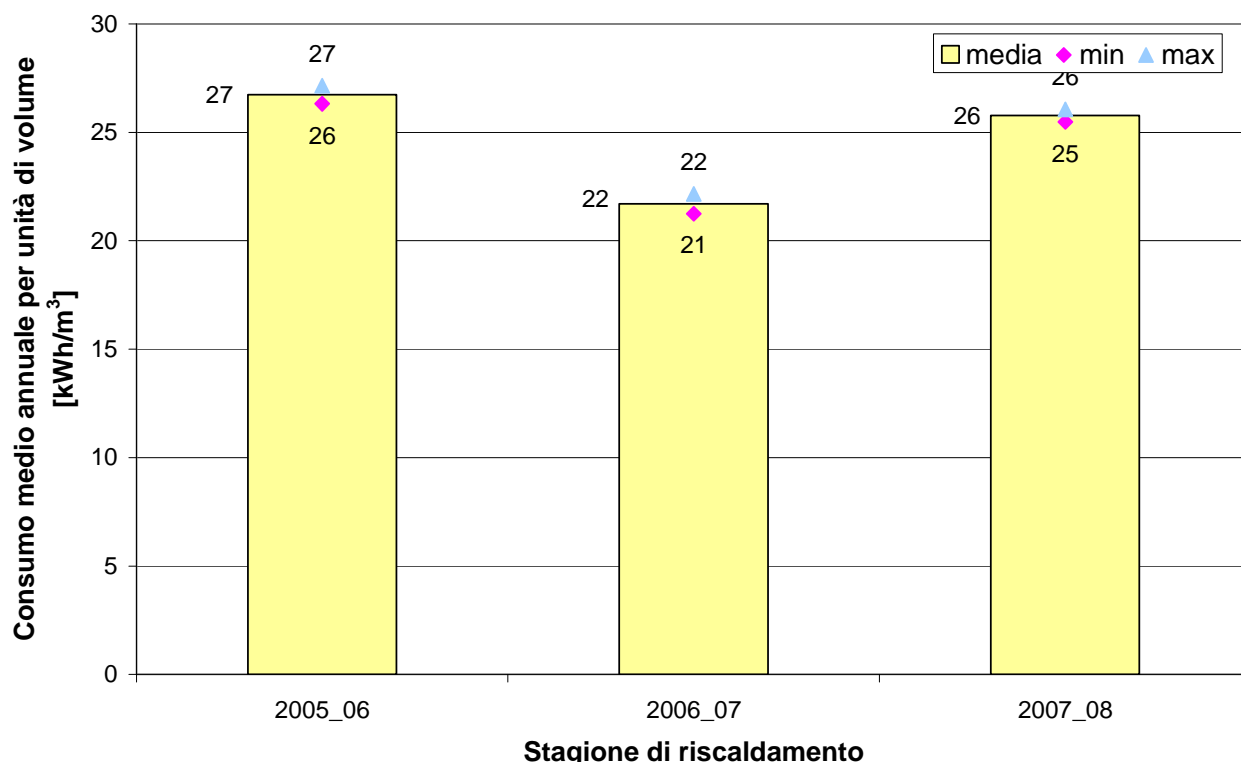


Nel grafico seguente sono riportati i valori medi di consumo di energia utile per la climatizzazione invernale per unità di volume relativi al campione di istituti tecnici. Anche per quanto riguarda il consumo specifico di energia utile per la climatizzazione invernale i risultati ottenuti dall'analisi dei dati relativi al sottocampione di istituti tecnici sono perfettamente allineati con quelli ottenuti dall'analisi dei dati relativi all'intero campione.



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

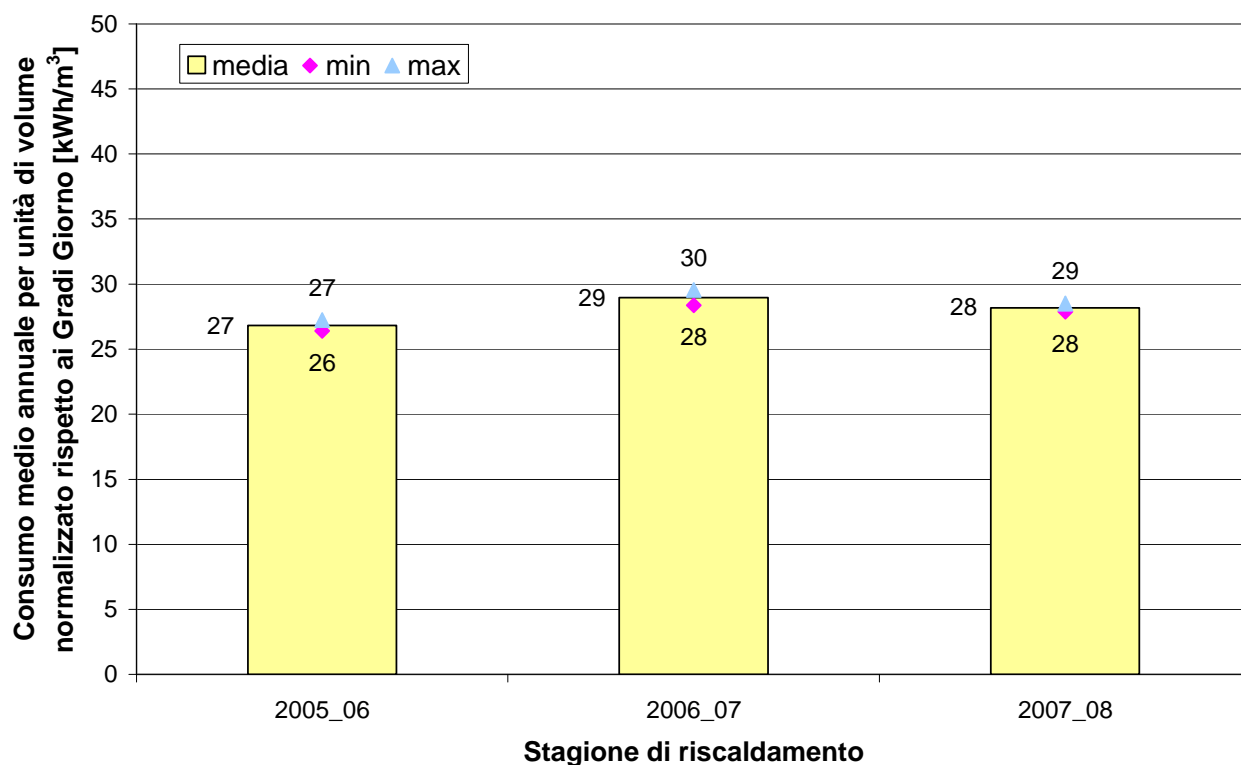
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Anche per il caso degli istituti tecnici il valore medio di consumo specifico di energia utile per la climatizzazione invernale è stato normalizzato rispetto ai Gradi Giorno al fine di eliminare l'influenza delle variazioni climatiche da una stagione all'altra. Il grafico seguente dimostra quindi come anche nel caso degli istituti tecnici l'eliminazione dell'influenza delle variazioni climatiche consenta di ottenere un valore medio costante negli anni di analisi. Il valore di consumo specifico di energia per la climatizzazione invernale, normalizzato rispetto ai Gradi Giorno, risulta essere leggermente superiore se confrontato con lo stesso valore riferito all'intero campione di edifici scolastici analizzati.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

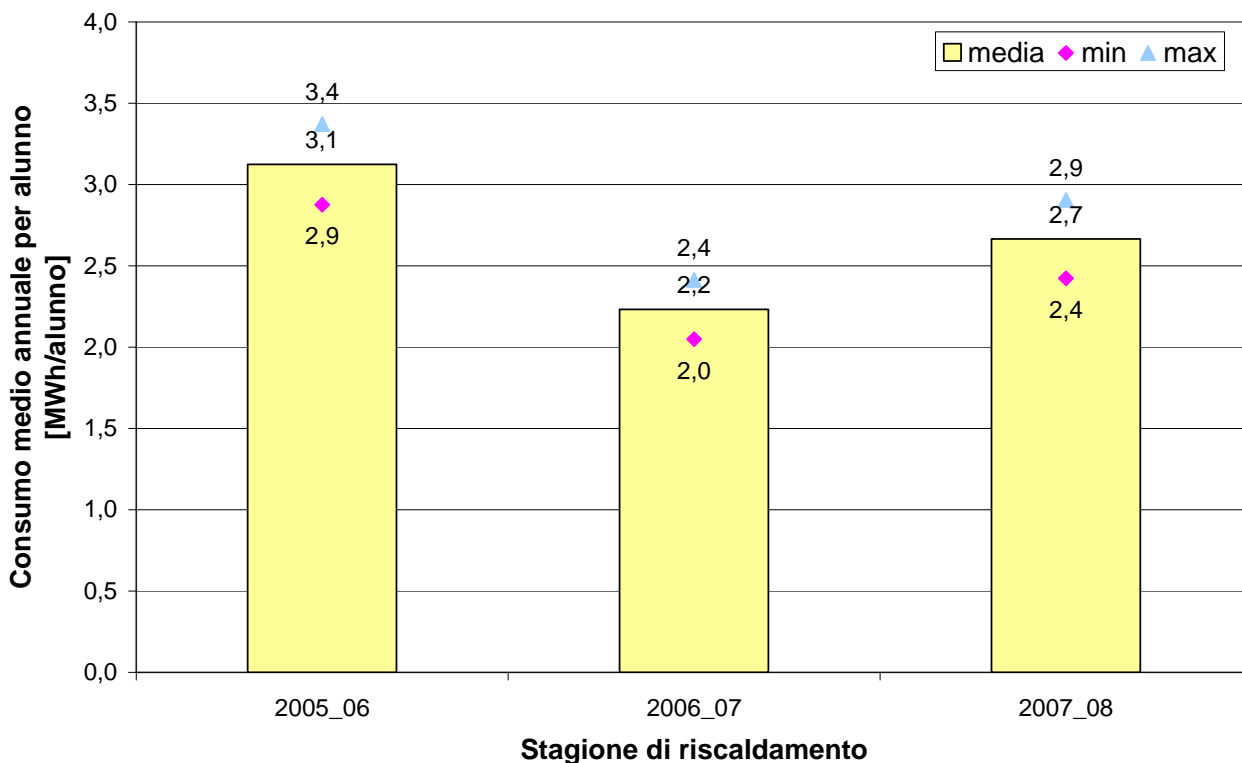
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



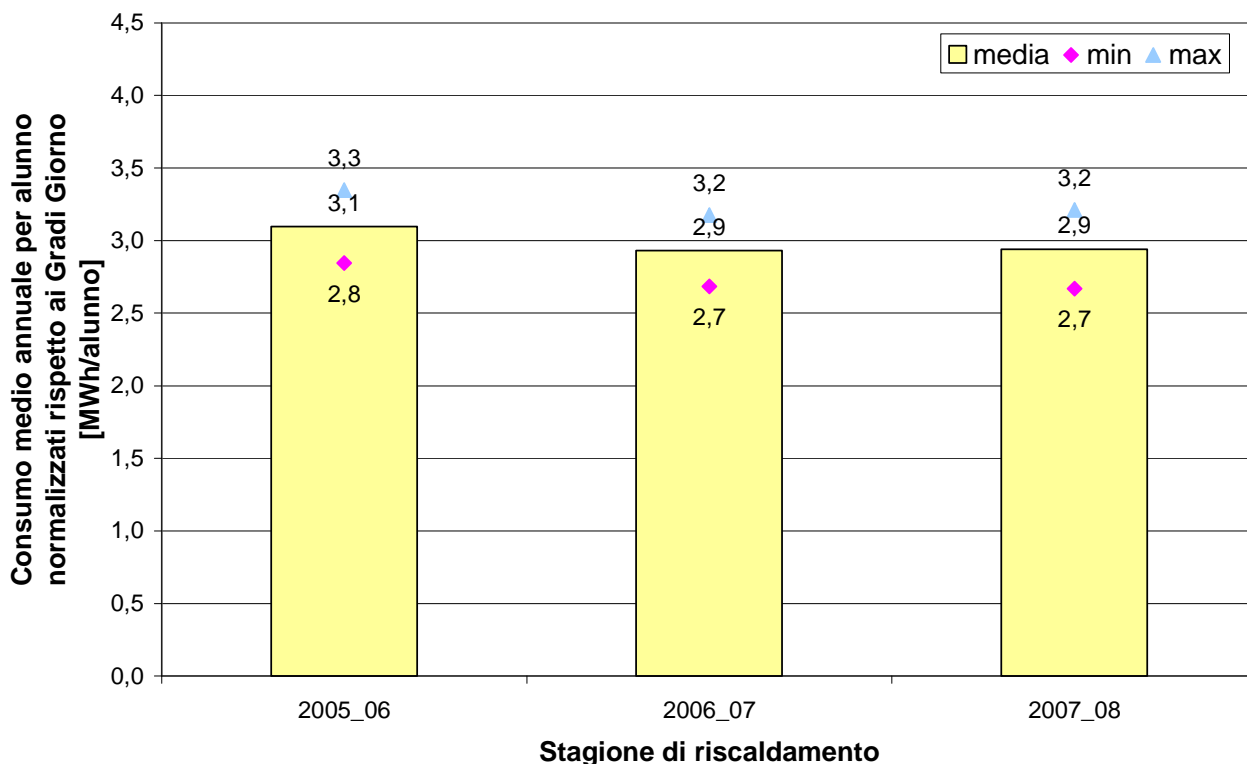
Come detto in precedenza, il numero di classi attivate all'interno degli istituti tecnici è molto vicino a quello dell'intero campione, nonostante il numero di alunni iscritti sia mediamente inferiore. Ne consegue che il volume a disposizione di ogni alunno negli edifici scolastici adibiti ad istituti tecnici è maggiore rispetto alla media dell'intero campione. Poiché il consumo di energia per la climatizzazione invernale è fortemente correlato al dato volumetrico ci si aspetterebbe un consumo per singolo alunno superiore rispetto alla media del campione. Il grafico seguente dimostra con dati reali la validità dell'ipotesi sopra esposta.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Anche in questo caso se i valori di consumo per alunno vengono normalizzati rispetto ai Gradi Giorno l'andamento nel tempo del valore medio presenta un profilo costante, come dimostrato dal seguente grafico.



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

La tabella seguente permette il confronto dei valori di benchmark relativi all'intero campione, relativi al solo campione di istituti tecnici e dei valori reperibili in letteratura. Il benchmark di consumo di energia elettrica relativo agli istituti tecnici è uguale a quello relativo all'intero campione, mentre il benchmark di consumo di energia utile per la climatizzazione invernale risultata essere superiore a quello relativo all'intero campione ma sempre inferiore a quello proposto dalla letteratura inglese.

	Bench. Intero Campione [kWh/m <sup>2</sup> ]	Bench. Istituti Tecnici [kWh/m <sup>2</sup> ]	RoT [kWh/m <sup>2</sup> ]
<b>EDIFICI SCOLASTICI SUPERIORI</b>			
Energia utile per la climatizzazione invernale	114	126	174
Energia elettrica	15	15	30

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **ATTIVITA' DI SIMULAZIONE DINAMICA**

Attraverso l'attività di simulazione dinamica è stato possibile ottenere i profili temporali (potenza in funzione del tempo) della domanda di riscaldamento, raffrescamento ed illuminazione, nonché i fabbisogni energetici mensili connessi con questi usi dell'energia all'interno di edificio scolastici considerati come rappresentativi nel panorama italiano.

È stato inoltre possibile successivamente determinare il risparmio energetico ottenibile attraverso miglioramenti al sistema impiantistico installato.

## **FABBISOGNI ENERGETICI PER LA CLIMATIZZAZIONE: ASPETTI LEGISLATIVI E NORMATIVI**

La prestazione energetica dell'edificio in regime invernale è strettamente collegato con le sue dispersioni termiche globali (trasmissione e ventilazione), strettamente connesse alla caratteristiche geometrico-dimensionali e termo fisiche dell'involucro edilizio. Il fabbisogno energetico netto specifico per il riscaldamento degli edifici e le potenze richieste per il mantenimento delle corrette condizioni di comfort all'interno degli ambienti sono infatti legati al tasso di ricambio d'aria per ventilazione, alle dimensioni delle superfici disperdenti opache e alla loro trasmittanza, nonché alla trasmittanza e all'esposizione alla radiazione solare delle superfici trasparenti, e quindi alla loro capacità di captazione della radiazione solare. Il fabbisogno energetico primario specifico è, a sua volta, direttamente proporzionale al fabbisogno netto dell'edificio e inversamente proporzionale al rendimento medio stagionale globale dell'impianto di riscaldamento. Questo ultimo parametro riassume l'efficienza dei vari sottosistemi costituenti l'impianto di riscaldamento, ossia:

- sottosistema di emissione
- sottosistema di regolazione
- sottosistema di distribuzione
- sottosistema di accumulo (se presente)
- sottosistema di generazione.

Tanto per i valori di trasmittanza termica delle superfici opache trasparenti ed opache, nonché per il rendimento medio globale stagionale la vigente legislazione nazionale (D.lgs. 192/2005 e s.m.i. ) prevede dei valori limite in funzione della zona climatica in cui si trova l'edificio.

Facendo riferimento alle norme UNI/TS 11300:2008 riconosciute al momento come strumento di calcolo dalla legge nazionale, si definisce l'energia primaria necessaria alla climatizzazione invernale come segue:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

$$Q = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_g} \quad (1)$$

con

$$Q_{H,nd} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad (2)$$

dove:

$Q$	Energia primaria per la climatizzazione invernale
$Q_{H,nd}$	Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per riscaldamento
$Q_{H,tr}$	Scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento
$Q_{H,ve}$	Scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento
$Q_{int}$	Apporti termici interni
$Q_{sol}$	Apporti termici solari
$\eta_{H,gn}$	Fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti
$\eta_G$	Rendimento medio globale del sistema

Le grandezze che definiscono la quota parte di dispersioni all'interno del valore di fabbisogno ambientale netto teorico per il riscaldamento invernale si ottengono rispettivamente come segue:

$$Q_{H,tr} = [H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t] + \left[ \left( \sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,mn,k} \right) \cdot t \right] \quad (3)$$

$$Q_{H,ve} = [H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t] + \left[ \left( \sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,mn,k} \right) \cdot t \right] \quad (4)$$

dove:

$H_{tr,adj}$	Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione
$H_{ve,adj}$	Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione
$F_{r,k}$	Fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste
$\Phi_{r,mn,k}$	Extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo, mediato nel tempo
$\theta_{int,set,H}$	Temperatura interna di set-point
$\theta_e$	Temperatura esterna

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

Le grandezze che definiscono gli apporti gratuiti, moltiplicati per il coefficiente di utilizzazione degli apporti gratuiti sono:

$$Q_{\text{int}} = \left[ \left( \sum_k \Phi_{\text{int},mn,k} \right) \cdot t \right] + \left\{ \left[ \sum_I (1 - b_{tr,I}) \cdot \Phi_{\text{int},mn,u,I} \right] \cdot t \right\} \quad (5)$$

$$Q_{\text{int}} = \left[ \left( \sum_k \Phi_{\text{sol},mn,k} \right) \cdot t \right] + \left\{ \left[ \sum_I (1 - b_{tr,I}) \cdot \Phi_{\text{sol},mn,u,I} \right] \cdot t \right\} \quad (6)$$

$\Phi_{\text{int},mn,k}$  Flusso termico prodotto dalla k-esima sorgente di calore interna mediata nel tempo

$\Phi_{\text{sol},mn,k}$  Flusso termico k-esimo di origine solare mediato nel tempo

$\Phi_{\text{int},mn,u,I}$  Flusso termico prodotto dalla k-esima sorgente di calore nell'ambiente adiacente non climatizzato, mediato nel tempo

$\Phi_{\text{sol},mn,u,I}$  Flusso termico k-esimo di origine solare nell'ambiente adiacente non climatizzato, mediato nel tempo

$b_{tr,I}$  Fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente la sorgente di calore interna I-esima, oppure il flusso termico I-esimo di origine solare

$\eta_{g,LIM}$  Rendimento limite di generazione

$P_n$  Potenza nominale installata

La legge nazionale prevede dei valori limite per la trasmittanza termica, definiti nel DPR 2 aprile 2009.

Unitamente ai limiti posti in termini energia primaria per il riscaldamento ambientale, la legislazione vigente fornisce nello stesso succitato testo indicazioni specifiche in termini di prestazione termofisica di involucro e di rendimento del sistema impiantistico. Il valore limite dell'indice caratterizzante l'efficienza globale dell'impianto termico viene definito come segue:

per edifici privati

$$\eta_{g,LIM} = 75 + 3 \cdot \log(P_n) \quad (7)$$

per edifici pubblici

$$\eta_{g,LIM} = 75 + 4 \cdot \log(P_n) \quad (8)$$

Il comportamento dell'edificio in regime estivo dipende da molteplici fattori, tra cui rivestono grande importanza:

- carichi termici endogeni
- carichi termici esogeni

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.”

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

- superficie trasparente
- presenza o meno di schermature solari
- presenza o meno di elementi ombreggianti

I carichi endogeni sono collegati al numero di occupanti per unità di superficie e ai macchinari installati e devono essere valutati di volta in volta e resi globalmente come carico termico specifico in relazione alla superficie lorda.

I carichi esogeni sono invece legati strettamente alle condizioni termiche esterne e soprattutto alla radiazione solare entrante.

Per la formulazione analitica di tali grandezze si rimanda a quanto previsto dalle Norme UNI/TS 11300, e alle espressioni da esse tratte e precedentemente riportate.

Il carico termico solare dipende dalla superficie trasparente captante e da come effettivamente questa è colpita dalla radiazione incidente. Questo aspetto viene valutato in funzione dell'ombreggiamento portato da ostruzioni esterne e dalla presenza di sistemi schermanti mobili o fissi.

Attraverso l'uso di un programma di simulazione energetica dinamica quale Energy – plus è possibile effettuare la simulazione dinamica dell'edificio tenendo in considerazione tutti gli aspetti sopra esposti, ottenendo come output non solo un fabbisogno mensile, ma anche valori orari o sub-orari per il sistema edificio impianto analizzato

**FABBISOGNI ENERGETICI PER ILLUMINAZIONE E IL SOFTWARE DAYSIM**

Una stima accurata delle prestazioni energetiche e quindi dell'efficacia di un sistema di gestione dell'illuminazione dipende da diversi fattori, connessi sia alle caratteristiche dell'edificio per il quale viene progettato sia alle caratteristiche del sistema previsto (criteri di controllo adottati, componenti il sistema, etc.).

In particolare entrano in gioco:

- la disponibilità di luce naturale esterna all'ambiente, che dipende da:
  - latitudine e longitudine del luogo,
  - giorno del mese e ora del giorno,
  - condizioni di cielo (coperto, sereno, intermedio, etc.)
- la quantità di luce naturale presente in ambiente, che dipende da:
  - disponibilità di luce naturale esterna,
  - presenza di ostruzioni esterne,
  - orientamento dell'ambiente (nel caso si consideri la presenza di radiazione solare diretta)
  - presenza di sistemi di schermature,



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

- conformazione dell'ambiente e disposizione delle postazioni di lavoro,
- le caratteristiche dell'utenza, intese come:
- profilo di occupazione,
- modalità di interazione tra l'utenza e i componenti schermanti,
- modalità di interazione tra l'utenza e i l'impianto di illuminazione,
- le caratteristiche e le prestazioni dell'impianto di illuminazione (tipologia di apparecchi,
- distribuzione della luce in ambiente, etc.)
- la tipologia e l'architettura del sistema di controllo (controllo in base all'occupazione, alla
- presenza di luce naturale, alla volontà dell'utente, a scenografie predefinite, etc., tipologia di
- sensori adottati, raggruppamento dei terminali, etc.).

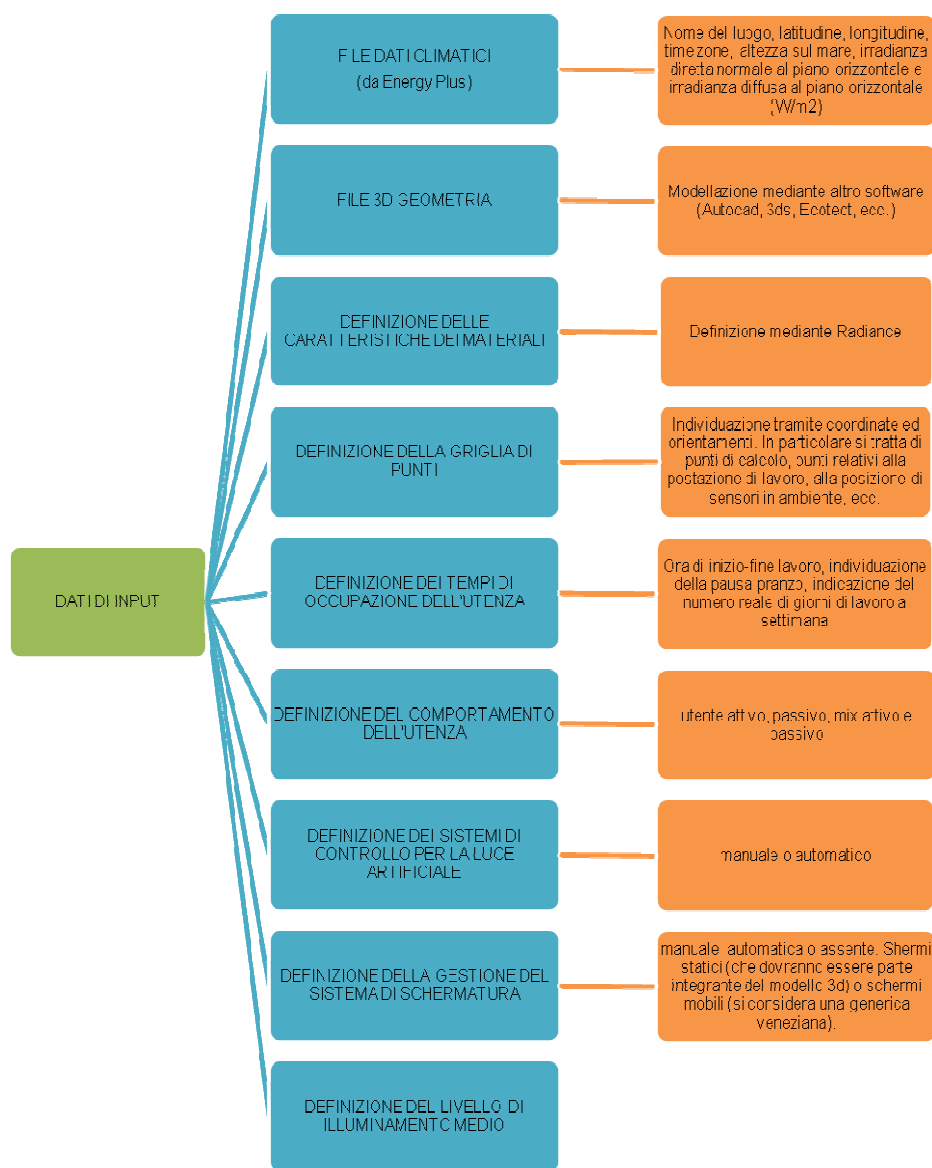
Differenti software, pensati per rispondere ad esigenze di utenti diversi, vengono utilizzati per poter stabilire il fabbisogno di energia elettrica per illuminazione.

I programmi che possono esser impiegati per questo genere di analisi sono Daysim e E-plus, utilizzato sfruttando l'interfaccia Design Builder.

Daysim è uno script del software Radiance ([www.radiance-online.org](http://www.radiance-online.org)) utilizzabile sia nella distribuzione Linux-Ubuntu (propria di questo software) che Windows (mediante l'interfaccia semplificata Ecotect 5.50).

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**



Daysim combina le nozioni di base degli algoritmi di calcolo di Radiance (backward raytracing) ma li associa all’approccio dei daylight coefficient con il fine di ridurre i tempi di simulazione. In questo modo è possibile determinare il profilo annuale degli illuminamenti e delle luminanze partendo dalle informazioni contenute nel file climatico di Energy Plus.

Nelle simulazioni il software utilizza l’equazione del **modello di cielo di Perez**, andando ad eseguire quindi, una conversione dei “daylight coefficient” e dei valori di irradianza solare per poter determinare i valori relativi alla distribuzione dell’illuminamento e della luminanza in ambiente. A seguito della determinazione dei valori relativi alla distribuzione dell’illuminamento in ambiente, calcola il daylight factor annuale e la daylight autonomy annuale (in grado di garantire il livello di illuminamento medio che è definito con i dati di input).

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **SIMULAZIONE ENRGETICA DINAMICA CON IL SOFTWARE “DESIGN BUILDER + E-PLUS”**

Nell’ambito dei programmi di simulazione termoenergetica degli edifici, EnergyPlus sta recentemente guadagnando un sempre maggiore consenso, in particolare nella comunità scientifica, per il notevole grado di dettaglio nella simulazione energetica degli edifici e per la caratteristica di essere un software integrato, che consente la simulazione di tutti i flussi di energia termica ed elettrica che attraversano le superfici di controllo dei sistemi oggetto di analisi.

EnergyPlus nasce nel 2001, a seguito di un lavoro iniziato nel 1996, come un programma innovativo a partire dai due software di simulazione termoenergetica degli edifici statunitensi DOE-2 e BLAST elaborati rispettivamente dal Ministero dell’Energia (Department of Energy, DOE) e dal Ministero della Difesa (Department of Defence, DOD).

Il team che ha realizzato il programma è composto, oltre che dal DOE, dal CERL (US Army Construction Engineering Research Laboratories), dall’Università dell’Illinois, dal Lawrence Berkeley National Laboratory, dall’Università statale dell’Oklaoma e dalla GARD Analytics. Ne è nato un programma che combina gli algoritmi più dettagliati di DOE-2 e BLAST, ma che si configura come un nuovo software, essendo basato sulla simulazione integrata dell’ambiente e dell’impianto di climatizzazione, a differenza dei programmi precedenti in cui l’informazione sui carichi termici determinati in ambiente veniva in cascata inviata ai componenti impiantistici.

Il programma è essenzialmente modulare, per facilitare l’inserimento di nuovi moduli, anche sviluppati in parallelo da diversi estensori, ed eventuali link ad altri applicativi.

Il simulatore principale del programma è composto da tre moduli fondamentali, il *surface heat balance manager* che risolve il bilancio termico in corrispondenza della superficie di ciascuna parete, l’*air heat balance manager* che risolve il bilancio dell’ambiente attraverso la simulazione simultanea degli scambi termici radianti e convettivi, e il *building systems simulation manager* per la simulazione dei componenti impiantistici. Questi moduli principali interagiscono con altri secondari e sono contenuti all’interno dell’*integrated solution manager* che fa sì che i tre moduli siano risolti simultaneamente, e non in cascata, per ottenere una simulazione il più possibile realistica. Si procede secondo successive iterazioni tra la domanda di energia dell’edificio e l’offerta di energia dell’impianto di climatizzazione: alla prima iterazione si stima il carico termico dell’ambiente avendo fissato la temperatura interna pari alla temperatura di set point; assunto questo carico termico come potenza richiesta all’impianto, viene simulato il comportamento dell’impianto di climatizzazione e viene stimata l’effettiva potenza termica che l’impianto è in grado di fornire a quell’istante temporale; con questa potenza termica viene determinata l’effettiva temperatura della zona termica avendo approssimato la derivata temporale

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

della temperatura dell'aria, nel termine che rappresenta la variazione dell'energia interna del sistema, attraverso una differenza finita del terzo ordine.

L'air heat balance engine deriva da IBLAST (versione di ricerca del BLAST) e differisce dal metodo dei room weighting factors del DOE-2 perché considera il bilancio termico sull'aria ambiente (e perciò viene definito anche metodo esatto).

Le principali assunzioni su cui si basa il metodo sono:

- temperatura dell'aria ambiente uniforme (perfetta miscelazione);
- temperatura uniforme di ciascuna superficie;
- irraggiamento uniforme ad alta e a bassa lunghezza d'onda;
- superfici uniformemente diffondenti;
- trasmissione del calore per conduzione monodimensionale.

L'air heat balance può essere sintetizzato, trascurando il flusso termico disperso per infiltrazione e per ventilazione tra zone adiacenti, nell'equazione:

$$C_z \frac{dt_z}{d\tau} = \sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,c} + \sum_{l=1}^{N_{sup}} h_l A_l (t_{s,l} - t_z) + \dot{m}_v c_p (t_\infty - t_z) + \dot{Q}_N$$

dove

N è il numero delle sorgenti interne convettive [-]

$\dot{Q}_{i,c}$  è l'i-esima sorgente convettiva

$h_l A_l (t_{s,l} - t_z)$  è il flusso termico disperso dalle superfici di una zona termica a temperatura  $t_s$

$\dot{m}_v c_p (t_\infty - t_z)$  è il flusso termico per ventilazione

$\dot{Q}_N$  è il carico dell'impianto

$C_z$  è la capacità termica dell'aria della zona e delle masse termiche in equilibrio con l'aria ambiente.

Connesso all'air heat balance manager è il surface heat balance manager che comprende i moduli per la determinazione delle temperature superficiali (quelle della faccia interna incognite nello schema risolutivo dell'air heat balance) e dei flussi termici in corrispondenza delle facce interna ed esterna di ogni parete.

I flussi termici scambiati attraverso i componenti di involucro sono determinati utilizzando la tecnica dei fattori di risposta, basata sul concetto di funzione di trasferimento, algoritmo in grado di legare la sollecitazione indotta sul sistema fisico parete con la risposta del sistema.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

Il building system simulation manager può simulare i più diffusi componenti impiantistici, ed è basato su una scomposizione dei componenti di un impianto in tre sotto-sistemi: l'*air loop*, il *plant loop* e il *condenser loop*. L'*air loop* serve a modellare le reti aerauliche, dalle unità di trattamento dell'aria ai terminali di impianto in ambiente; i *plant loop* e *condenser loop* a modellare le reti idroniche (fluidi termovettori sotto forma di acqua e fluidi di condensazione) e al loro interno si distinguono ancora componenti relativi alla domanda (batterie di scambio termico) e componenti relativi all'offerta (generatori di calore, gruppi frigoriferi nel caso del *plant loop*; torri evaporative, pozzi nel caso del *condenser loop*).

Il software prende in considerazione l'aspetto legato all'illuminazione degli ambienti interni nel *surface heat balance manager*, poiché è all'interno di tale modulo che possono essere descritti i sistemi impiantistici per l'illuminazione artificiale degli ambienti. Da sottolineare come l'ambito illuminotecnico in E-Plus sia considerato da un punto di vista prettamente energetico: viene infatti indagato l'impatto che le sorgenti luminose considerate come apporti gratuiti, naturali o artificiali, hanno sul bilancio energetico dell'ambiente. La simulazione dell'illuminazione degli ambienti procede attraverso tre step ben definiti:

- in funzione del modello geometrico di calcolo dell'ambiente o dell'edificio da simulare, il programma procede al calcolo dei *daylight factors*, che rappresentano il rapporto tra l'illuminamento interno e quello esterno, e vengono calcolati per uno o più punti rappresentativi dell'ambiente; in questa computazione viene considerata tanto la componente diretta quanto la componente riflessa
- sulla base del calcolo fatto sopra, viene calcolato, con il passo temporale impostato per la soluzione dell'equazione di bilancio termico, il contributo della luce naturale, eventualmente anche simulando la gestione di sistemi di schermatura mobili
- viene infine simulato il sistema di illuminazione artificiale, al fine di determinare il contributo di energia elettrica necessaria per garantire i previsti valori di illuminamento sul piano di lavoro all'interno degli ambienti analizzati.

La simulazione è svolta per un ambiente tipo (aula scolastica) considerato rappresentativo del comportamento dell'intero edificio. In prima battuta, viene scelta un'aula inserita ad un piano intermedio, in posizione centrale rispetto alla struttura edilizia, in cui i solai interpiano e le strutture verticali interne non sono disperdenti in quanto confinanti con ambienti in cui viene mantenuta la stessa temperatura interna di comfort.

E-plus nasce come programma per analisi energetiche ma svolge simulazioni energetiche in regime dinamico anche in merito al consumo di energia elettrica per l'illuminazione artificiale degli

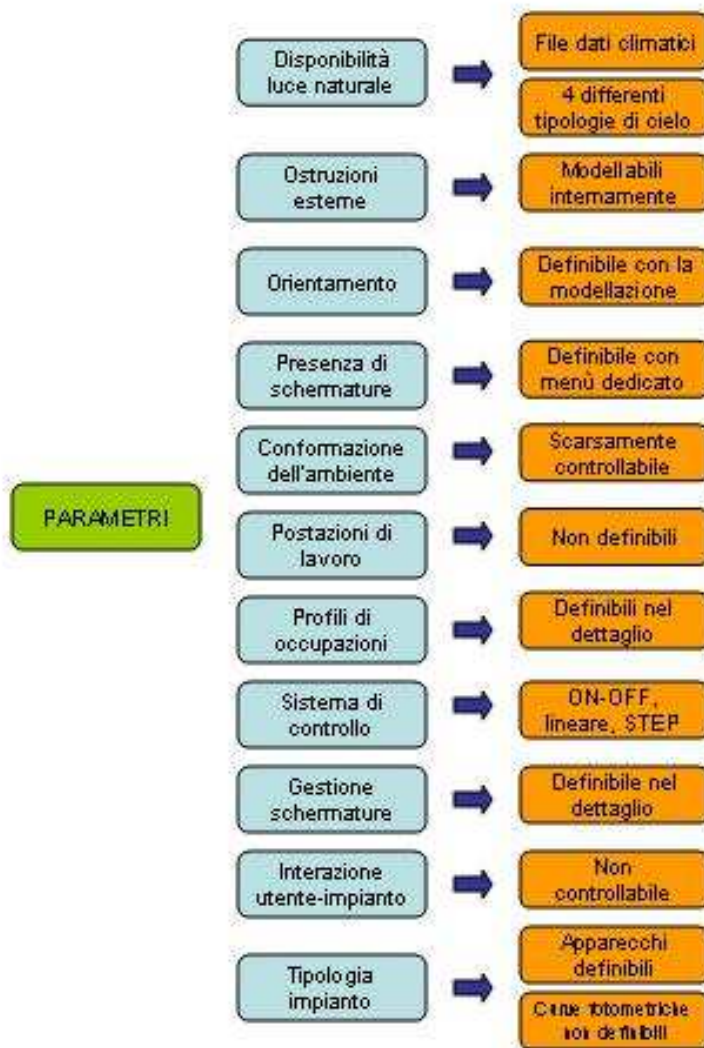
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

spazi interni. Rende come output dati di fabbisogno energetico con differente scansione temporale (orari, giornalieri, mensili, annuali)

Al suo interno uno specifico menu è dedicato alla definizione delle caratteristiche del sistema di illuminazione degli spazi interni.

Si considerino i fattori che influenzano il fabbisogno energetico per illuminazione artificiale: non tutti son controllabili e gestibili tramite E-plus.



Il programma dispone di un applicativo esterno di modellazione (Design Builder) con cui l'impianto di illuminazione è definibile ma con minore dettaglio. Un'analisi illuminotecnica corretta richiede quindi il passaggio intermedio nel formato IDF con successiva fase di integrazione dei parametri di input. Volendo analizzare i dati di input inseriti per la caratterizzazione del sistema dal punto di vista illuminotecnico, si ottiene un quadro in cui gli aspetti più legati al comfort visivo non son presi in considerazione, a fronte di una valutazione riferita ad un livello di illuminamento medio calcolato puntualmente

all'interno degli ambienti che diventa il parametro cui riferire le valutazioni per la determinazione del fabbisogno energetico.

L'algoritmo di calcolo si sviluppa attraverso 3 step:

1. il calcolo dei daylight factors

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

2. la determinazione, in funzione dei precedenti, della quantità di energia necessaria ad integrare il contributo naturale (si prende in considerazione tanto la luce diretta, quanto quella riflessa e quella diffusa)
3. l'integrazione del bilancio energetico con i dati derivanti dal calcolo illuminotecnico (riduzione degli apporti solari interni).

E-plus impiega la metodologia di calcolo propria di DOE-2 e sviluppata da Winkelmann e Selkowitz. Per svolgere i calcoli son impiegati 4 differenti modelli di cielo: clear sky, Clear Turbid Sky, Intermediate Sky, Overcast sky.

La distribuzione di luminanza viene determinata impiegando il modello di Perez. I modelli di cielo son derivati da modelli proposti da differenti autori (rispettivamente Kittler, 1965; CIE, 1973, Matsuura, 1987, Moon & Spencer, 1942).

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

## BENCHMARK BUILDING MODELS E LORO CONTESTUALIZZAZIONE

È possibile utilizzare la simulazione termoenergetica dinamica per la creazione di edifici benchmark. È il caso dei *benchmark building models* statunitensi, elaborati dal DOE (Department of Energy) statunitense, ovvero serie di modelli standard di edifici di riferimento, collocati in diverse località climatiche degli USA, da utilizzare come riferimento per la progettazione energetica dell'edificio e per favorire l'utilizzo della simulazione dinamica nel progetto di edifici e impianti di climatizzazione.

Questi modelli vengono utilizzati all'interno del programma di calcolo EnergyPlus, e con la semplice modifica dei dati climatici si possono generare i profili tipizzati e i valori di benchmark di consumo per località differenti da quelle statunitensi.

I primi *DOE benchmark building models* sono stati elaborati con l'obiettivo di stabilire un punto di partenza comune per confrontare più facilmente i risultati delle ricerche e stimolare ad un uso più razionale dell'energia in edifici esistenti e di nuova costruzione. Questi primi modelli erano stati definiti attraverso medie statistiche di edifici esistenti ed erano pertanto caratterizzati da geometrie molto semplici e carichi termici abbastanza uniformi. Gli attuali modelli (alla pagina ...) sono invece più complessi e maggiormente rappresentativi del patrimonio edilizio statunitense. I 15 modelli realizzati, includono 16 località e tre diverse fasce temporali (ante 1980, post 1980, nuova costruzione). Per la loro modellazione sono state utilizzate le analisi del 1999 e del 2003 del CBECS (*Commercial Buildings Energy Consumption Survey*). Tra di essi si registrano i benchmark dell'edificio per uffici piccolo, medio e di grandi dimensioni, l'ospedale e la casa di cura, il mall, il retail, le scuole primarie e secondarie.

Tipologia Edificio	Area per piano		Num. Piani	Rapporto dimensionale in pianta	CBECS PBA	CBECS PBA +	2003 CBECS Area ft <sup>2</sup>
	ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>					
Ufficio di grandi dimensioni	460,24	4276	12	1.5	2	2, 3, 4, 5, 6, 7	228,725
Ufficio di medie dimensioni	53,63	498	3	1.5	2	2, 3, 4, 5, 6, 7	13,842
Ufficio di piccole dimensioni	5,50	051	1	1.5	2	2, 3, 4, 5, 6, 7	5,579
Magazzino	52,05	484	1	1.5	5	9, 10	21,603
Singolo Negozio	41,79	388	1	1.3	25	42	10,028
Centro commerciale	24,01	223	1	3(per piano)	23, 24	50, 51	23,223
Scuole elementari	73,96	687	2	Forma ad E	14	28	26,828
Scuole Medie e superiori	210,89	1959	3	Forma ad E	14	27, 29	37,024
Supermarket	45	418	1	1.3	6	14	8,314
Fast food	2,50	0,23	1	1	15	32	3,345
Ristorante	5,50	0,51	1	1	15	33	6,585
Ospedale	201,250	1870	5	1.3	13	35	241,416
Ambulatorio sanitario	10,00	093	2	1.5	8	18, 19	10,409
Motel	21,08	196	2	Forma ad L	18	39	14,990
Hotel	100,82	937	6	3.8 (1 <sup>st</sup> flr) 5.1	18	38	97,102



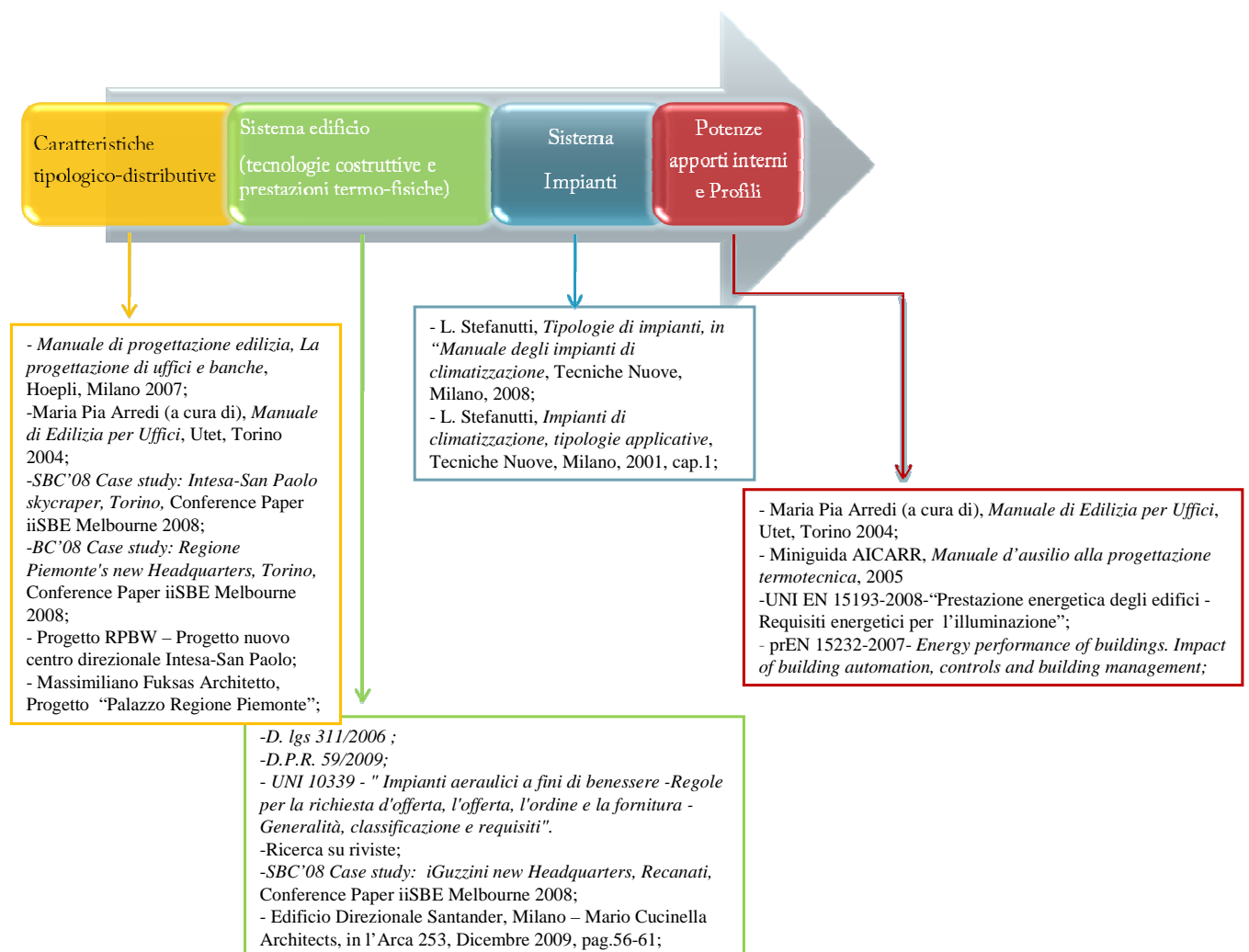
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

All'interno del Gruppo di Ricerca TEBE è in corso un'attività di contestualizzazione dei *benchmark building models* statunitensi in ambito italiano. Infatti, molte sono le differenze tra una costruzione italiana ed una statunitense (caratteri morfologici e distributivi delle varie tipologie edilizie, stratigrafie e parametri prestazionali dei componenti di involucro, ecc.) . La procedura elaborata per effettuare questa contestualizzazione è indicata in seguito e viene svolta per quattro aspetti:

- le caratteristiche distributive
- le tecnologie costruttive e i parametri prestazionali dell'involucro edilizio
- le caratteristiche degli impianti HVAC e di generazione dell'energia
- i carichi interni, i profili d'uso e altre condizioni al contorno.

Nel disegno seguente vengono richiamate le fonti di dati attraverso i quali è possibile effettuare la contestualizzazione del benchmark per uffici



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

Per quanto attiene alle caratteristiche distributive è necessario individuare gli schemi distributivi maggiormente caratteristici a livello italiano di quel tipo di costruzione, anche attraverso esempi di realizzazioni recenti.

Per quanto attiene ai parametri prestazionali dell'involucro edilizio, vi è un sicuro riferimento nel rispetto dei limiti di cui alla legislazione nazionale italiana (o regionale quando più stringente) ed è inoltre necessario individuare anche le caratteristiche costruttive tipiche di quel tipo di costruzione. Per quanto attiene agli impianti HVAC è spesso facilmente identificabile, nella manualistica tecnica così come nella pratica professionale, la tipologia di impianto più diffusa per quel tipo di costruzione.

Per quanto attiene ai carichi termici e ai profili d'uso è possibile far riferimento ai valori della normativa tecnica Europea.

Una volta costruito il file di benchmark si procede alla simulazione nei diversi contesti climatici e all'elaborazione dei dati finali (energia finale, energia primaria, emissioni di CO<sub>2</sub>, ecc.)

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

## IDENTIFICAZIONE DEGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO

I fabbisogni ottenuti tramite simulazione dinamica svolta con Daysim o con E-plus a seconda dell'output che si vuole ottenere, saranno raffrontati con i consumi reali desunti da bolletta.

A tal proposito gli edifici da analizzare saranno estrapolati dal sottostante elenco di scuole della Provincia di Torino per le quali sono a disposizione i consumi termici ed elettrici per più stagioni consecutive. La scelta sarà effettuata valutando quali tra questi edifici presentano caratteristiche più idonee alla simulazione con il software di calcolo: l'obiettivo è analizzare le strutture ed individuare quelle che presentano peculiarità tali da poter essere sintetizzate agevolmente in un modello semplificato ma comunque molto aderente alla realtà.

In particolare sono stati selezionati 15 edifici (si veda tabella seguente): di questi si disponeva dei dati classificati con maggiore affidabilità in termini di consumi reali di riscaldamento relativi a 3 stagioni ed elettrici relativi a 2 stagioni.

9	I.P. Agrario "UBERTINI" Sede Coordinata	Carmagnola	V. S. Francesco Sales, 190
16	I.T.C.G. ALBERTI	Luserna S.G.	V. Tegas, 6
38	I.T.I.S. "FERRARI" (Ex "PININFARINA")	Susa	V. Couvert 17
40	L.C. "ROSA"	Susa	P.za Savoia, 19
44	I. d' Arte "PASSONI"	Torino	V. della Rocca, 7
46	I.P. Altre Spec. "STAINER" Succursale	Torino	V. Monginevro, 293
53	I.T.C. "LEVI" e Pref.1 + L.S. "CATTANEO" + PROVVEDITORATO	Torino	V. Sostegno 41/10
54	I.T.C. "RUSSEL / MORO"	Torino	C.so Molise, 58/60
55	I.T.C. "SOMMEILER" + "L.S. "FERRARIS"	Torino	C.so Duca degli Abruzzi, 20
80	L.C. "BALDESSANO"	Carmagnola	p.zza S. Agostino
135	IPSIA "GALILEI" Sede coordinata	Poirino	C.so Fiume, 77
149	I.T.C.G. GUARINI Succursale + I.T.I.S. "CASALE" (Ex BALDRACCO)	Torino	C.so Ciriè, 7
155	I.T.I.S. "PEANO" + I.P.I.A. "ZERBONI"	Torino	C.so Venezia, 29
159	L.S. "EINSTEIN"	Torino	V. Pacini, 28

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.”

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

160	L.S. "EINSTEIN" (EX GRAMSCI/EX BERTI) Succursale	Torino	V. Bologna, 183
-----	---	--------	-----------------

Partendo da questi dati, per gli edifici campione, è stato ottimizzato il modello di calcolo in modo tale da ottenere convergenza su base annuale tra i fabbisogni energetici calcolati e i consumi reali disponibili. Quindi è stata esaminata la simulazione in termini dinamici degli edifici di riferimento assunti come rappresentativi del panorama italiano e collocati in diverse località sul territorio nazionale.

Come premesso, parallelamente all’attività di monitoraggio dei consumi energetici, è stato condotto il rilievo degli edifici analizzati: esso è stato finalizzato alla raccolta dei dati e delle informazioni dimensionali, tecnologiche e generali necessarie a caratterizzare in modo completo le strutture scolastiche oggetto di indagine al fine di poter effettuare la definizione del relativo modello di calcolo e la successiva simulazione dinamica.

La raccolta dei dati è stata predisposta tramite schede di analisi basate sulla suddivisione delle informazioni dell’edificio in:

- edificio: caratteristiche generali e involucro
- caratteristiche degli impianti
- gestione e profilo di utilizzo dell’edificio

A ciascuno di questi livelli di raccolta corrisponde un diverso livello di approfondimento della fase di rilievo, momento propedeutico e necessario a collezionare le informazioni.

Gli edifici oggetto di indagine sono stati rilevati:

- dimensionalmente: son stati reperiti i valori dimensionali in grado di caratterizzare geometricamente la struttura
- funzionalmente: poiché i carichi elettrici dipendono fortemente dalla tipologia di attività svolte all’interno della struttura sanitaria, si sono analizzate le funzioni che ogni singolo edificio è in grado di ospitare
- tecnologicamente: la definizione tecnologica edilizia ed impiantistica dell’edificio è la condizione ultima per un’analisi appropriata e completa dell’edificio. Al proposito son state individuate le caratteristiche termo fisiche dell’involucro opaco e trasparente, associandole ai rispettivi valori dimensionali. Inoltre, son state reperite le informazioni relative alle potenze installate per la produzione del fluido termovettore caldo e refrigerato, per il

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.”

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

trattamento dell'aria e le potenze elettriche impiegate per illuminazione e funzionamento degli strumenti presenti

Differenti sono stati i dati collezionati per ciascun ambito di indagine.

Per quanto riguarda il rilievo dimensionale, si son reperite per il piano tipo le informazioni relative a superficie (lorda o utile), perimetro in pianta ed altezza di interpiano o, in alternativa, qualora disponibili, la superficie lorda di ciascuno dei piani e gli ingombri delle strutture portanti e di chiusura esterne, nonché gli ingombri di vani scale e sistemi di collegamento verticali.

Per quanto riguarda il rilievo funzionale della struttura si è cercato di evincere funzioni, attività e macchinari presenti. Un primo macro inquadramento della struttura è stato possibile individuando:

- Dati identificativi dell'edificio
- Localizzazione
- Indirizzo
- Dati climatici
- Gradi giorno
- Dati di occupazione
- Riscaldamento
- Ventilazione
- Condizionamento dell'aria
- Locali con destinazione d'uso specifica
- Servizi per il ristoro
- Spazi polifunzionali
- Dati di occupazione specifici
- Aule e loro occupazione

Per quanto riguarda il rilievo tecnologico, gli edifici, caratterizzati come dimensioni geometriche e funzioni, son stati indagato in ultima istanza dal punto di vista delle proprietà termo fisiche ed impiantistiche.

Questo ha comportato innanzitutto la caratterizzazione in termini di trasmittanza ed inerzia termica gli elementi costituenti l'involucro opaco, definendo la trasmittanza degli elementi costituenti

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

l'involucro trasparente, ed infine stabilendo le proporzioni dimensionali tra parti opache e parti trasparenti.

A tal proposito, non avendo sempre la possibilità di definire tramite rilievo diretto i valori di trasmittanza termica degli elementi di involucro, ma disponendo comunque di informazioni abbastanza dettagliate sulla tipologia degli elementi edilizi costituenti l'involucro, si è associato a ciascuna area disperdente le caratteristiche termo fisiche previste dalla Norma UNI/TS 11300-1. Per caratterizzare i sistemi impiantistici installati all'interno degli edifici, si sono recuperati i dati relativi alle tecnologie impiantistiche e alle relative potenze installate per:

- riscaldamento
- raffrescamento (qualora presente)
- condizionamento/trattamento dell'aria (qualora presente)
- produzione di acqua calda sanitaria
- illuminazione

Inoltre, relativamente all'impianto di riscaldamento e di raffrescamento, si è cercato di caratterizzare in forma completa il sistema di regolazione, il sistema di distribuzione ed il sistema di emissione.

Son state condotte poi analisi per acquisire globalmente le informazioni relative alle potenze elettriche installate per l'espletamento delle funzioni caratterizzanti la struttura scolastica in esame. Le informazioni raccolte, opportunamente classificate ed analizzate, hanno consentito di definire gli edifici tipo che son stati impiegati per l'attività di simulazione, il più possibile rappresentativi del parco edilizio scolastico italiano.

*Costruzione dei modelli di calcolo e loro validazione*

La costruzione del modello di calcolo è stata sviluppata secondo la metodologia che prevede la realizzazione di un edificio equivalente, in grado di riassumere le caratteristiche termo fisiche di un edificio reale, e al contempo discretizzabile in dati che possano essere impiegati come dati di input nel software di calcolo, senza appesantire troppo l'elaborazione e snellendo il più possibile gli oneri e i conseguenti tempi di calcolo.

Una volta possedute le necessarie informazioni si è ricostruito l'involucro edilizio impiegando un unico elemento per ciascuno dei seguenti sistemi edilizi:

- chiusura verticale opaca verso l'esterno
- chiusura verticale opaca verso ambiente non riscaldato
- chiusura verticale trasparente (infisso e vetro)

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

- chiusura orizzontale opaca verso il cielo
- chiusura inclinata opaca verso il cielo
- pavimento verso spazio non riscaldati
- pavimento verso terreno

Il modello realizzato è servito per effettuare il calcolo dei fabbisogni energetico in regime dinamico utilizzando come termine di riferimento e controllo i consumi reali su base annuale. La metodologia prevede infatti la realizzazione di un modello di calcolo per la stima dei fabbisogni da affinarsi tramite un processo iterativo che metta a confronto fabbisogni e consumi reali. Il modello così ottimizzato potrà essere impiegato per la valutazione dei benefici che interventi di riqualificazione energetica possono avere sull'edificio reale. È quindi possibile avere un modello sul quale effettuare simulazioni energetiche di miglioramento delle prestazioni dell'involucro edilizio.

La realizzazione del modello di calcolo è subordinata al perfezionamento del medesimo attraverso il confronto tra fabbisogni energetici calcolati tramite elaborazione informatica, e consumi reali forniti dalla lettura delle bollette e dei dati di consumo derivati dall'attività di monitoraggio. Il confronto avviene sulla base di quello che è il consuntivo finale annuo di energia effettivamente consumata, o, qualora presente, il fabbisogno energetico mensile, e prevede il raffronto tanto per l'energia elettrica, quanto per l'energia termica. Dati infatti i consumi annui elettrici e termici, si fanno variare all'interno di un range ragionevole di valori le variabili di calcolo caratterizzanti il modello che sono definite con minor precisione. Queste variabili sono quelle tipicamente relative alla gestione dell'edificio, la cui determinazione è impossibile se non tramite campagne di rilievo in campo (che non sempre sono a disposizione). Il processo, svolto iterativamente, viene ripetuto sino a quando non si ha convergenza tra fabbisogni annui ottenuti da calcolo e consumi annui reali. Il modello derivante da questo processo di affinamento può essere considerato descrittivo del reale comportamento della struttura reale in esame e quindi impiegato per simulazioni successive.

L'attività di validazione dei modelli ha consentito di ottenere dei modelli di calcolo descrittivi della reale condizione delle strutture, da cui derivare i parametri caratterizzanti dei sistemi edificio-impianto tipo da utilizzare per le simulazioni, riferendoli a diverse situazioni climatiche italiane, considerate particolarmente rappresentative del territorio nazionale.

È stato pertanto possibile riferire i risultati ottenuti nella validazione dei modelli di calcolo di edifici reali ad edifici benchmark rappresentativi del patrimonio edilizio scolastico italiano.

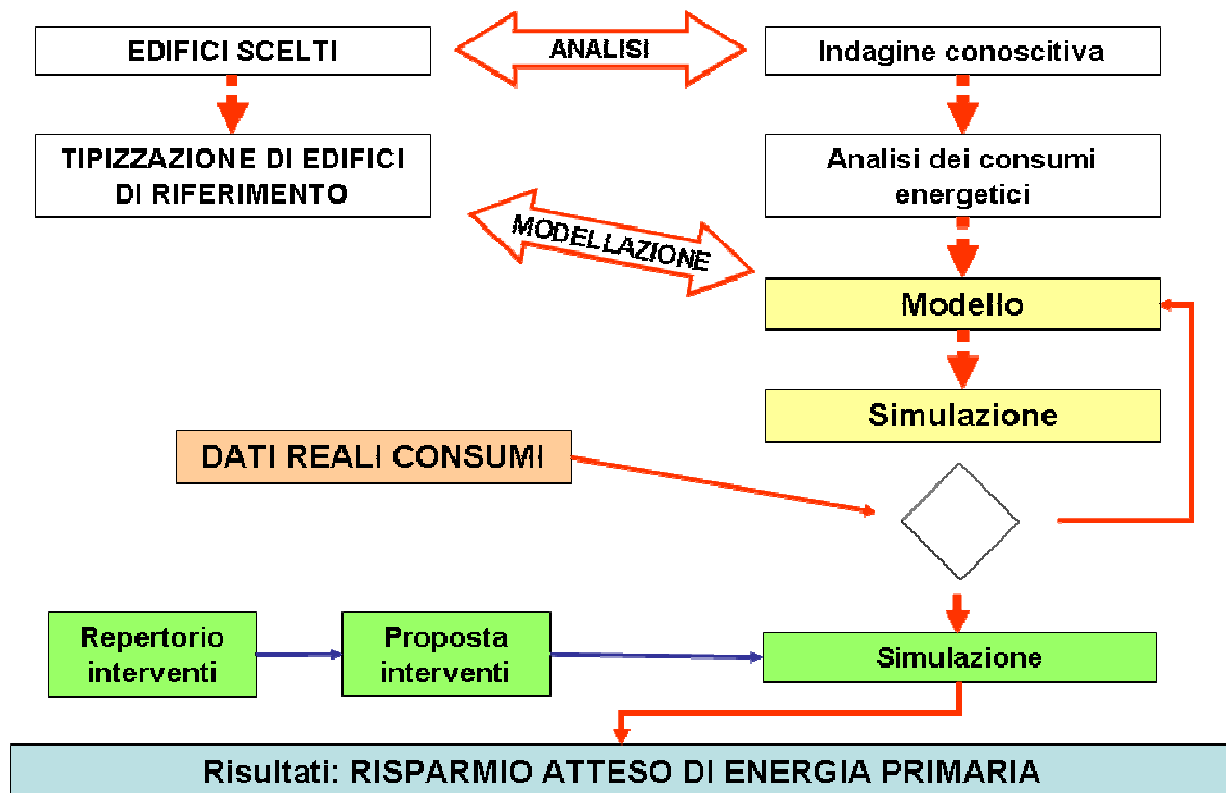
Mantenendo fissi quelli che sono i parametri di gestione ed occupazione degli edifici, nonché i parametri impiantistici e tecnologici che l'attività di validazione ha consentito di definire come descrittivi del reale stato dei sistemi esaminati, sono stati fatti variare i parametri termotecnici di

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

involucro, ottenendo modelli di sistema edificio-impianto descrittivi di quelle che sono le differenti tipologie edilizie maggiormente ricorrenti negli edifici scolastici.

## METODOLOGIA PROPOSTA



In particolare, è stato formalizzato il sistema edificio di benchmark: esso è stato definito sulla base delle analisi condotte sugli edifici di riferimento, estrapolandone le caratteristiche dimensionali e termo fisiche maggiormente ricorrenti e diffuse sul territorio.

Nel dettaglio, esso si configura come un edificio su 3 piani fuori terra, di 1140 m<sup>2</sup>, collocato in differenti realtà climatiche italiane (Milano, Roma, Palermo) e caratterizzato da differenti caratteristiche termo fisiche e di contesto urbano. L'edificio così definito è una scuola media superiore che è dotata di differenti elementi di involucro e differenti tipologie impiantistiche, in modo da ottenere:

- scuola media superiore di recente costruzione, a norma di legge per quanto riguarda l'involucro edilizio secondo quanto previsto dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e s.m.i.
- scuola media superiore risalente agli anni '60-'70
- scuola media superiore sita in edificio storico realizzato prima del 1930



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

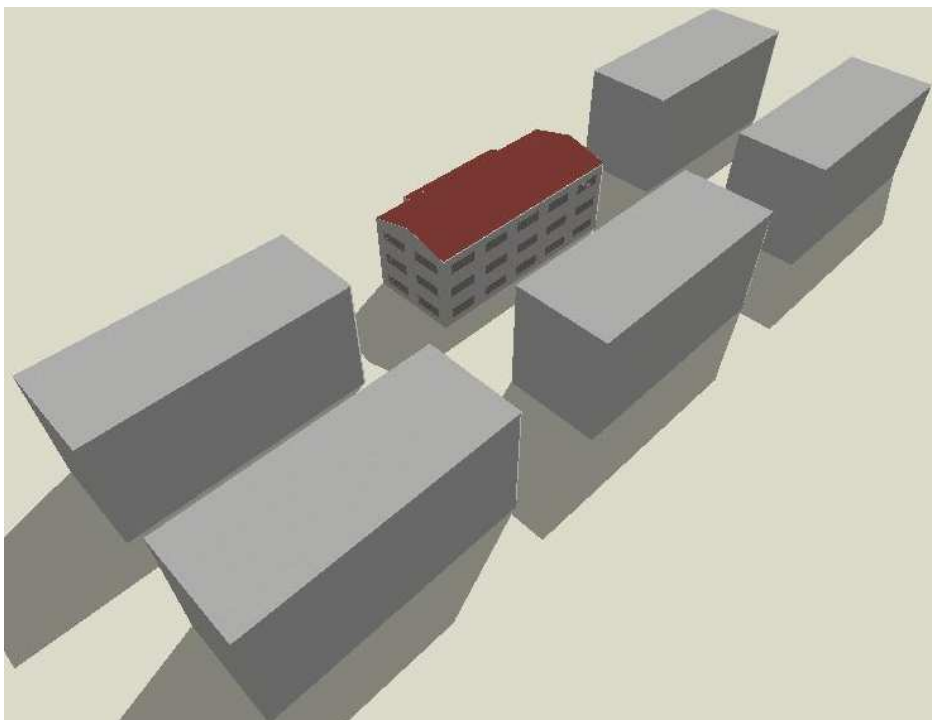
---

Dal punto di vista geometrico dimensionale, l'edificio è caratterizzato dalle seguenti caratteristiche:

- numero di piani fuori terra riscaldati: 3
- altezza lorda di interpiano: 3,5 m
- superficie in pianta del piano terra: 480 m<sup>2</sup>
- superficie in pianta del piano primo: 330 m<sup>2</sup>
- superficie in pianta del piano secondo: 330 m<sup>2</sup>
- superficie lorda climatizzata: 1140 m<sup>2</sup>
- volume lordo climatizzato: 3990 m<sup>3</sup>
- superficie disperdente totale (S): 820+250+610=1680 m<sup>2</sup>
- fattore di forma S/V: 0,42 1/m
- percentuale di superficie vetrata sul totale della superficie verticale dell'involucro: 30%

L'edificio di riferimento è poi stato collocato in tre differenti contesti urbani così definibili:

- zona ad alta densità urbana (centro storico) caratterizzata da edifici vicini di altezza pari o superiore a quella dell'edificio in esame e da strade con una sola corsia per senso di marcia (larghezza max. 12 m)

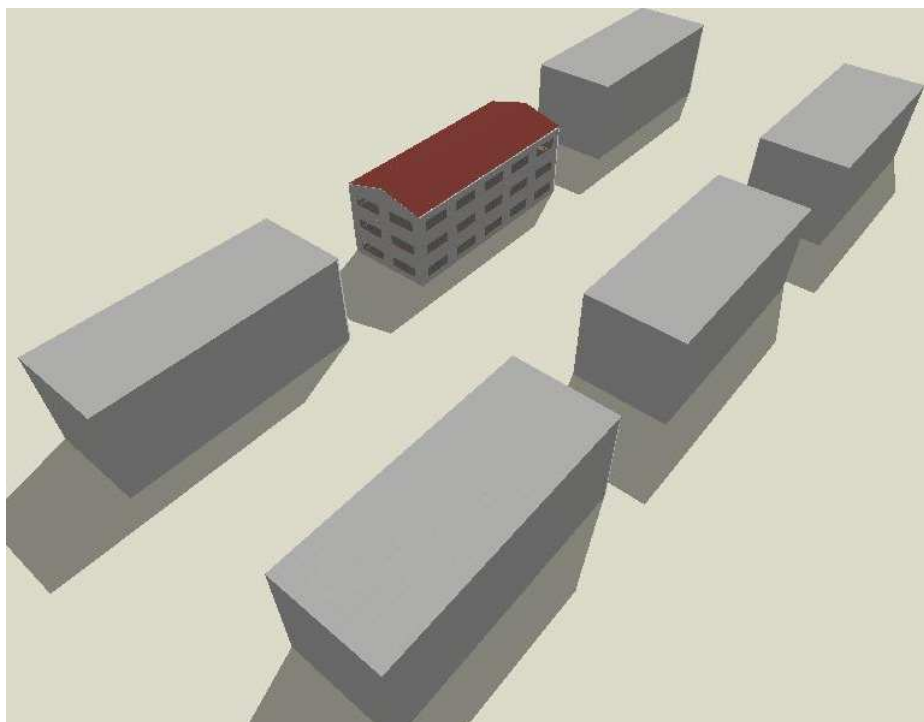


- zona a media densità urbana (prima periferia) caratterizzata da edifici vicini di altezza pari o superiore a quella dell'edificio in esame e da strade con doppia corsia per senso di marcia (larghezza 24 m e oltre)

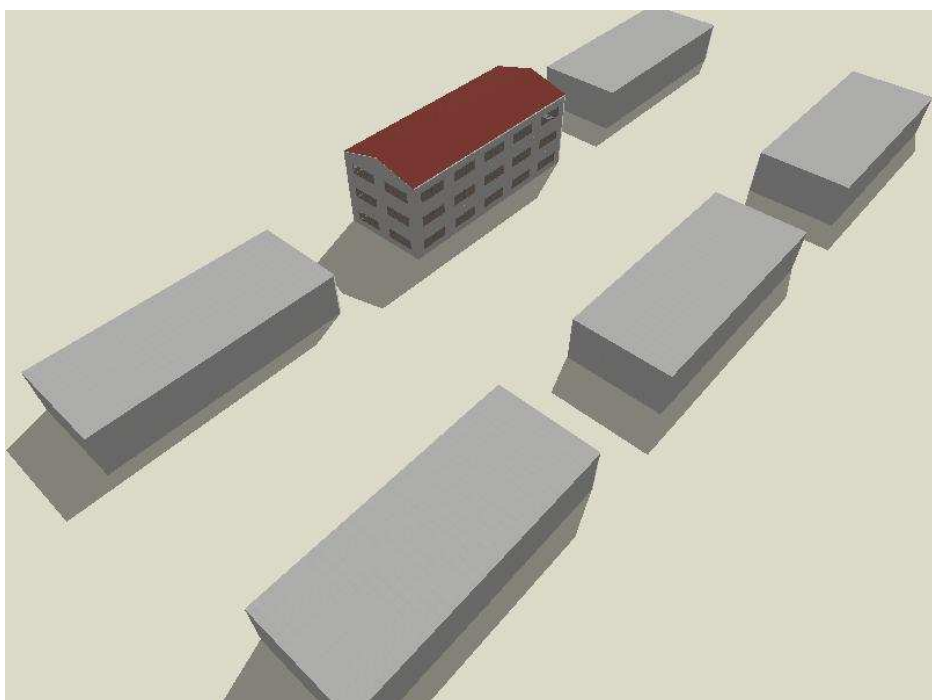
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---



- zona a bassa densità urbana caratterizzata da edifici vicini di altezza al massimo pari a quella dell'edificio in esame e da strade con doppia corsia per senso di marcia (larghezza 24 m e oltre)



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

La tabella sottostante riassume le simulazioni che son state svolte (tra parentesi il codice assegnato al set di risultati ottenuti).

	MILANO	ROMA	PALERMO
Edificio ex dlgs 192/2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (MI_192_L)</li> <li>• Media densità urbana (MI_192_M)</li> <li>• Alta densità urbana (MI_192_H)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (RM_192_L)</li> <li>• Media densità urbana (RM_192_M)</li> <li>• Alta densità urbana (RM_192_H)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (PA_192_L)</li> <li>• Media densità urbana (PA_192_M)</li> <li>• Alta densità urbana (PA_192_H)</li> </ul>
Edificio realizzato negli anni '60-70	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (MI_6070_L)</li> <li>• Media densità urbana (MI_6070_M)</li> <li>• Alta densità urbana (MI_6070_H)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (RM_6070_L)</li> <li>• Media densità urbana (RM_6070_M)</li> <li>• Alta densità urbana (RM_6070_H)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (PA_6070_L)</li> <li>• Media densità urbana (PA_6070_M)</li> <li>• Alta densità urbana (PA_6070_H)</li> </ul>
Edificio storico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (MI_1900_L)</li> <li>• Media densità urbana (MI_1900_M)</li> <li>• Alta densità urbana (MI_1900_H)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (RM_1900_L)</li> <li>• Media densità urbana (RM_1900_M)</li> <li>• Alta densità urbana (RM_1900_H)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa densità urbana (PA_1900_L)</li> <li>• Media densità urbana (PA_1900_M)</li> <li>• Alta densità urbana (PA_1900_H)</li> </ul>

Per ciascuna delle suddette simulazioni, i modelli di calcolo son stati caratterizzati dalle seguenti condizioni al contorno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

- riscaldamento realizzato con caldaia tradizionale ad alta efficienza con produzione combinata di acqua calda sanitaria e riscaldamento
- sottosistema di distribuzione realizzato con collettori ai vari piani
- sottosistema di regolazione con controllo centralizzato
- sottosistema di emissione realizzato con radiatori collocati in ambiente su parete esterna
- rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento: 68%
- efficienza della macchina frigorifera impiegata per la fase di raffrescamento estivo: 3,5
- terminali di emissione per il raffrescamento estivo: ventilconvettori
- temperatura di set point in inverno: 20°C
- temperatura di set point in estate: 26°C
- periodo di utilizzo degli ambienti: dalle ore 8.00 alle ore 14.00 di tutti i giorni settimanali, esclusi i festivi ma compreso il periodo estivo (luglio-agosto)
- valore di illuminamento mantenuto in ambiente su piano di lavoro posto a 0,85 m dal pavimento: 300 lux
- tipologia di sistema di controllo dell'illuminazione artificiale: on-off
- volumi orari di ricambio d'aria per ventilazione: 0,5 vol/ora
- presenza di strumentazione elettronica ed informatica in determinati ambienti ed in funzione dalle ore 8.00 alle ore 14.00 di tutti i giorni settimanali, esclusi i festivi ma compreso il periodo estivo (luglio-agosto)

Come sopra esposto si è ipotizzato di simulare un edificio rappresentativo del patrimonio scolastico italiano dotandolo di impianto di climatizzazione estiva. In realtà, questa ipotesi non trova riscontro nella maggioranza dei casi reali, privi di qualsiasi impianto atto a garantire e controllare la temperatura interna durante la stagione estiva. Tuttavia, si è ritenuto opportuno procedere con questa ipotesi al fine di meglio caratterizzare il fabbisogno energetico annuale dell'edificio, non solo legato al riscaldamento invernale, ma anche al raffrescamento estivo.

Non è stato simulato e analizzato invece il fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria, poiché è indipendente dalla collocazione dell'edificio e dalle sue caratteristiche termofisiche, ma è legato alla sua destinazione d'uso e alle sue dimensioni geometriche, coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda i parametri termotecnici di involucro impiegati, la tabella sottostante li riassume in modo sinottico le proprietà assunte.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

	Edificio ex 192/2005	Edificio anni '60-'70	Edificio storico
Trasmittanza chiusura verticale opaca verso l'esterno (W/m2 K)	0,34	1,1 (parete a cassavuota)	1,2 (parete in muratura piena intonacata)
Trasmittanza chiusura verticale opaca verso ambiente non riscaldato (W/m2 K)	0,34	1,1 (parete a cassavuota)	1,2 (parete in muratura piena intonacata)
Trasmittanza chiusura verticale trasparente (infisso e vetro) (W/m2 K)	2,2	3,6 (infisso in legno) 6 (vetro chiaro singolo)	3,6 (infisso in legno) 6 (vetro chiaro singolo)
Trasmittanza chiusura orizzontale opaca verso il cielo (W/m2 K)	0,30	1,8 (soletta in laterocemento)	1,8 (soletta in laterocemento)
Trasmittanza chiusura inclinata opaca verso il cielo (W/m2 K)	0,30	1,8 (soletta in laterocemento)	1,8 (soletta in laterocemento)
Trasmittanza pavimento verso spazio non riscaldati o verso l'esterno (W/m2 K)	0,33	1,3	1,3

Collocazione: ROMA			
	Edificio ex 192/2005	Edificio anni '60-'70	Edificio storico
Trasmittanza chiusura verticale opaca verso l'esterno (W/m2 K)	0,36	1,1 (parete a cassavuota)	1,2 (parete in muratura piena intonacata)
Trasmittanza chiusura verticale opaca verso ambiente non riscaldato (W/m2 K)	0,36	1,1 (parete a cassavuota)	1,2 (parete in muratura piena intonacata)
Trasmittanza chiusura	2,4	3,6 (infisso in legno)	3,6 (infisso in legno)

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

verticale trasparente (infisso e vetro) (W/m2 K)		6 (vetro chiaro singolo)	6 (vetro chiaro singolo)
Trasmittanza chiusura orizzontale opaca verso il cielo (W/m2 K)	0,32	1,8 (soletta in laterocemento)	1,8 (soletta in laterocemento)
Trasmittanza chiusura inclinata opaca verso il cielo (W/m2 K)	0,32	1,8 (soletta in laterocemento)	1,8 (soletta in laterocemento)
Trasmittanza pavimento verso spazio non riscaldati o verso l'esterno (W/m2 K)	0,36	1,3	1,3

Collocazione: PALERMO			
0	Edificio ex 192/2005	Edificio anni '60-'70	Edificio storico
Trasmittanza chiusura verticale opaca verso l'esterno (W/m2 K)	0,48	1,1 (parete a cassavuota)	1,2 (parete in muratura piena intonacata)
Trasmittanza chiusura verticale opaca verso ambiente non riscaldato (W/m2 K)	0,48	1,1 (parete a cassavuota)	1,2 (parete in muratura piena intonacata)
Trasmittanza chiusura verticale trasparente (infisso e vetro) (W/m2 K)	3,0	3,6 (infisso in legno) 6 (vetro chiaro singolo)	3,6 (infisso in legno) 6 (vetro chiaro singolo)
Trasmittanza chiusura orizzontale opaca verso il cielo (W/m2 K)	0,38	1,8 (soletta in laterocemento)	1,8 (soletta in laterocemento)
Trasmittanza chiusura inclinata opaca verso il cielo (W/m2 K)	0,38	1,8 (soletta in laterocemento)	1,8 (soletta in laterocemento)

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

Trasmittanza pavimento verso spazio non riscaldati o verso l'esterno (W/m2 K)	0,49	1,3	1,3
---	------	-----	-----

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DINAMICHE**

### *Profili di carico e fabbisogni energetici*

A seguito della simulazione in regime dinamico dei sistemi edificio-impianto di benchmark, è stato possibile individuare i profili tipo di:

- domanda energetica per il riscaldamento, raffrescamento e l'illuminazione artificiale degli ambienti
- fabbisogno termico ed elettrico per il soddisfacimento della domanda energetica di cui sopra
- richiesta di energia primaria.

In particolare, per gli edifici di riferimento collocati alternativamente a Milano, Roma e Palermo e in diversi contesti urbani, è stato valutato il profilo di domanda energetica per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione nei due giorni di progetto prescelti.

Come giorno di progetto invernale per la stagione di riscaldamento si è scelto il 21 dicembre, in quanto anche in letteratura è considerato come momento dell'anno caratterizzato dalle condizioni più severe sia per il riscaldamento sia per l'illuminazione artificiale degli ambienti. Come giorno di progetto estivo si è optato invece per il 21 giugno, data che non trova riscontri in tal senso in letteratura, ma che si è ritenuto essere il momento più critico per la fase di raffrescamento nel periodo di utilizzo reale degli edifici scolastici (la letteratura propone genericamente il 15 luglio o il 15 agosto, date però poco significative per l'uso degli edifici scolastici italiani).

I profili ottenuti sono quindi:

- profilo di domanda di riscaldamento e di illuminazione artificiale degli ambienti il 21 dicembre: tale andamento propone, nel periodo supposto di occupazione degli ambienti, la potenza (espressa come Watt per unità di superficie lorda di pavimento) che deve essere resa in ambiente per garantire il mantenimento della temperatura di comfort prevista, nonché la potenza elettrica da garantire attraverso l'impianto di illuminazione artificiale installato per il mantenimento uniforme dell'illuminamento richiesto
- profilo di domanda di raffrescamento e di illuminazione artificiale degli ambienti: tale andamento propone, nel periodo supposto di occupazione degli ambienti, la potenza (espressa come Watt per unità di superficie lorda di pavimento) che deve essere resa in ambiente attraverso i terminali di emissione previsti (ventilconvettori) per garantire la prevista temperatura di comfort estivo; è inoltre evidenziato l'andamento della potenza elettrica da garantire attraverso l'impianto di illuminazione artificiale installato per il mantenimento uniforme dell'illuminamento richiesto.



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

La lettura di questo profilo consente di risalire, per le diverse situazioni in cui è stato collocato l'edificio prescelto, alla massima potenza specifica richiesta da rendere in ambiente in riscaldamento e raffrescamento, nonché alla potenza dell'impianto di illuminazione artificiale definite le sorgenti illuminanti installate.

Successivamente, per gli edifici modello, collocati nei differenti contesti urbani di Milano, Roma e Palermo, viene fornito l'andamento mensile di fabbisogno energetico netto per riscaldamento e raffrescamento, e il fabbisogno energetico per illuminazione. Per ogni mese si ottiene quindi il valore (espresso in kWh per unità di superficie lorda di pavimento) dell'energia che, mensilmente, deve essere resa in ambiente per il mantenimento delle richieste condizioni di comfort termico, al netto delle inefficienze impiantistiche. Tale dato coincide dal punto di vista matematico, all'integrale nel tempo della domanda ambientale di energia per riscaldamento e per raffrescamento. La somma dei fabbisogni specifici mensili rende il fabbisogno energetico netto annuo rispettivamente per riscaldamento ( $Q_h$ ), per raffrescamento ( $Q_c$ ) e per illuminazione artificiale ( $Q_l$ ) dell'edificio.

Gli andamenti del fabbisogno netto per riscaldamento e raffrescamento, così come il profilo di domanda di riscaldamento e di raffrescamento, sono ottenuti come richieste energetiche mensili o orarie per garantire i previsti requisiti di comfort termico ambientale nel periodo di occupazione previsto. Si ipotizza infatti il funzionamento dell'impianto nel solo periodo di utilizzo dell'edificio (accensione e spegnimento in corrispondenza dei periodi di occupazione). Differenti profili possono essere ottenuti a valle di una diversa modellazione del sistema di regolazione e di gestione dell'impianto di climatizzazione estiva e invernale, che può essere caratterizzato con un variato periodo di funzionamento.

Infine, con la uguale scansione temporale mensile, viene fornito il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione. Tale dato considera le inefficienze impiantistiche e il combustibile (metano) o il vettore energetico (elettricità) impiegati per alimentare il sottosistema di generazione. Il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria è quello previsto dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas per l'anno 2010 ed equivale a  $0.187 \cdot 10^{-3}$  tep/kWh<sub>e</sub>. Per il combustibile, si è assunto invece un fattore di conversione pari a 1.

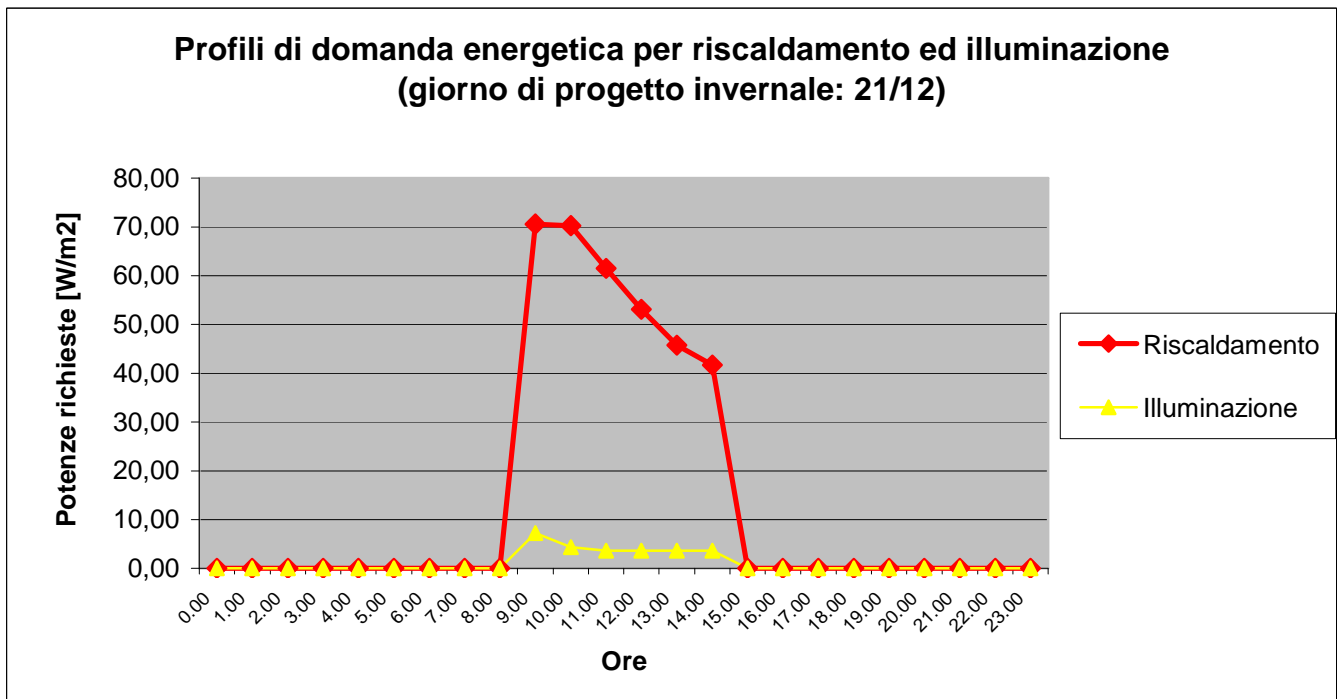
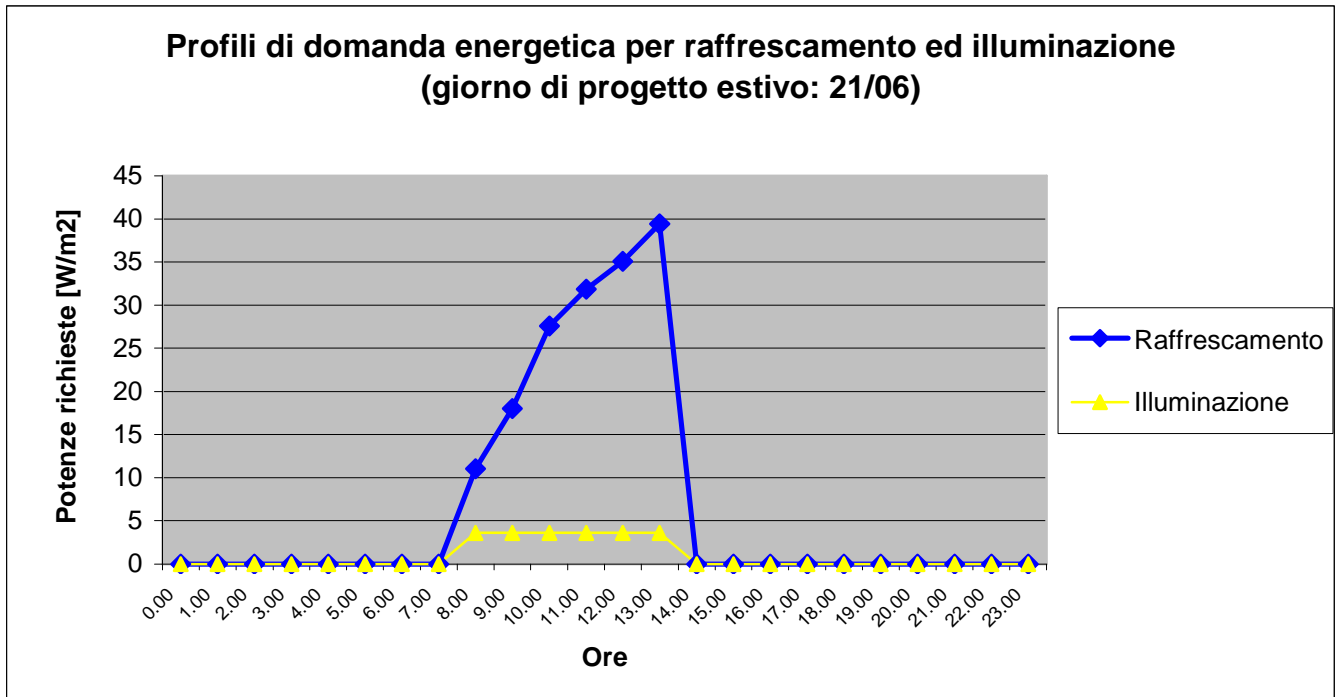
Per ogni differente uso, la somma dei fabbisogni specifici mensili di energia primaria fornisce il fabbisogno specifico annuo di energia primaria. La somma complessiva dei fabbisogni di energia primaria per i vari bisogni considerati, restituisce il fabbisogno globale annuo di energia primaria per riscaldamento, raffrescamento ed illuminazione artificiale degli ambienti.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

**DOMANDA ENERGETICA PER IL RISCALDAMENTO, RAFFRESCAMENTO E L'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE DEGLI AMBIENTI**

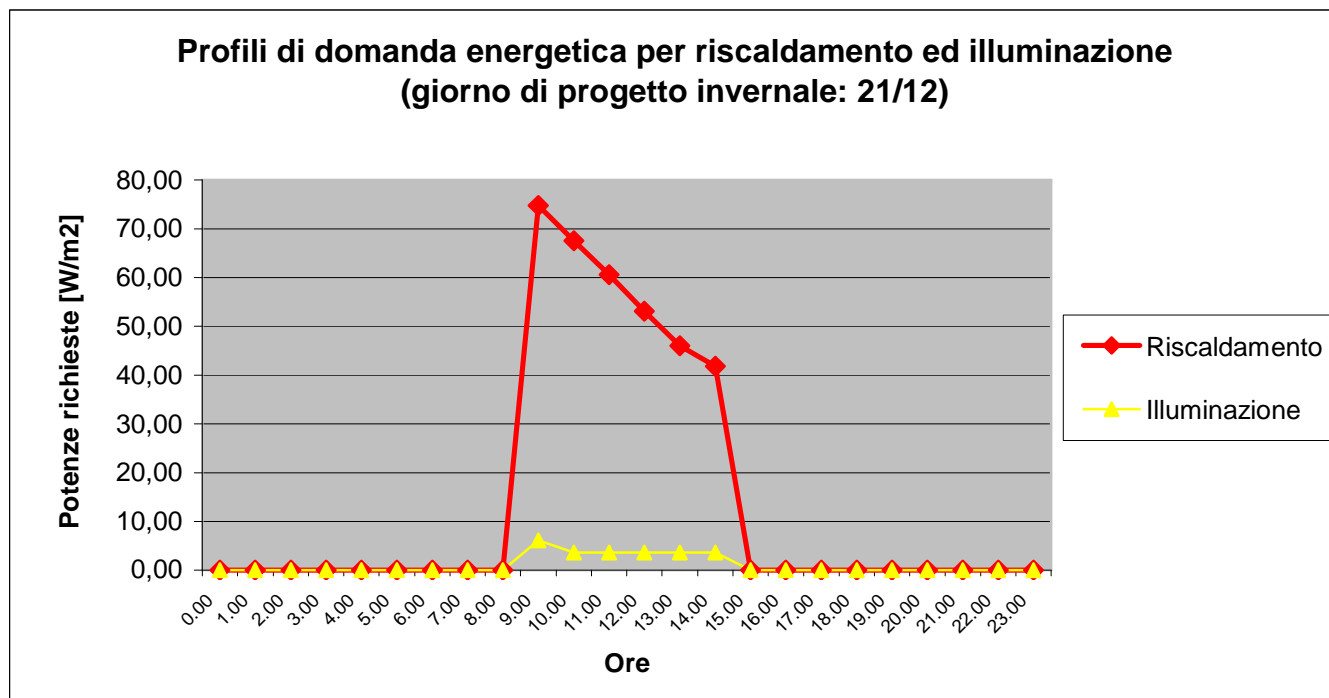
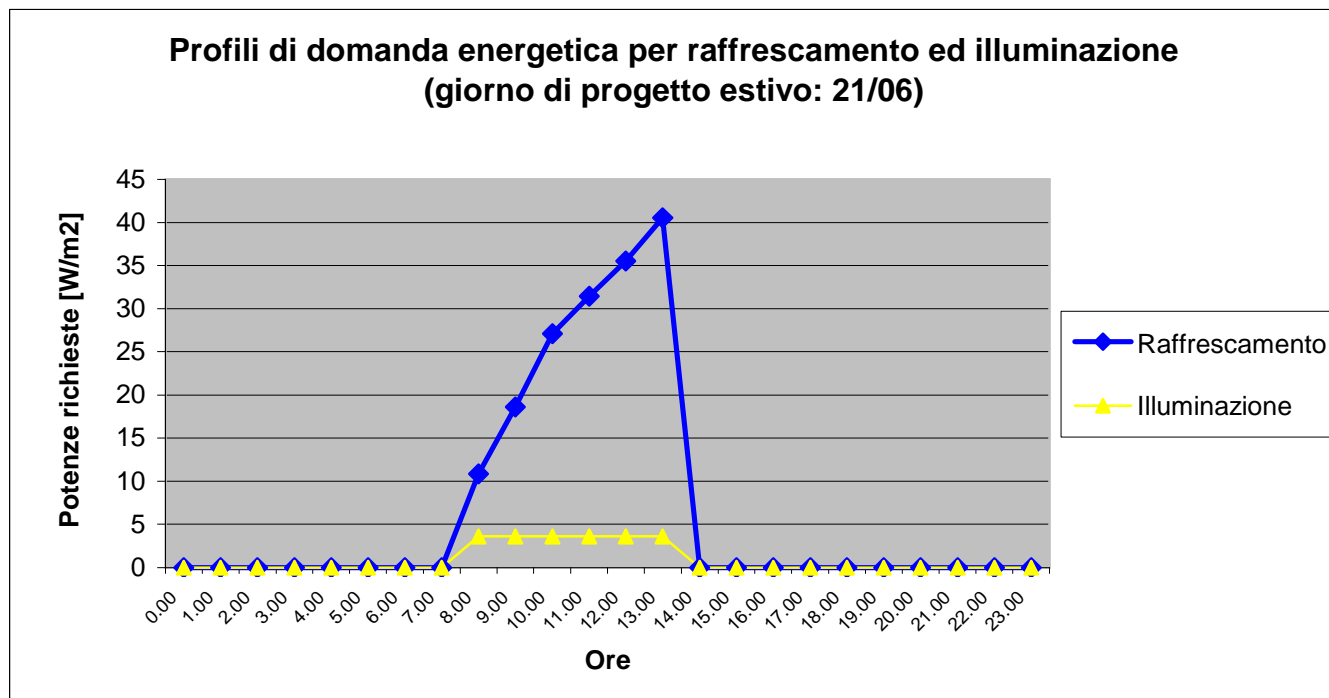
Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto ad alta densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

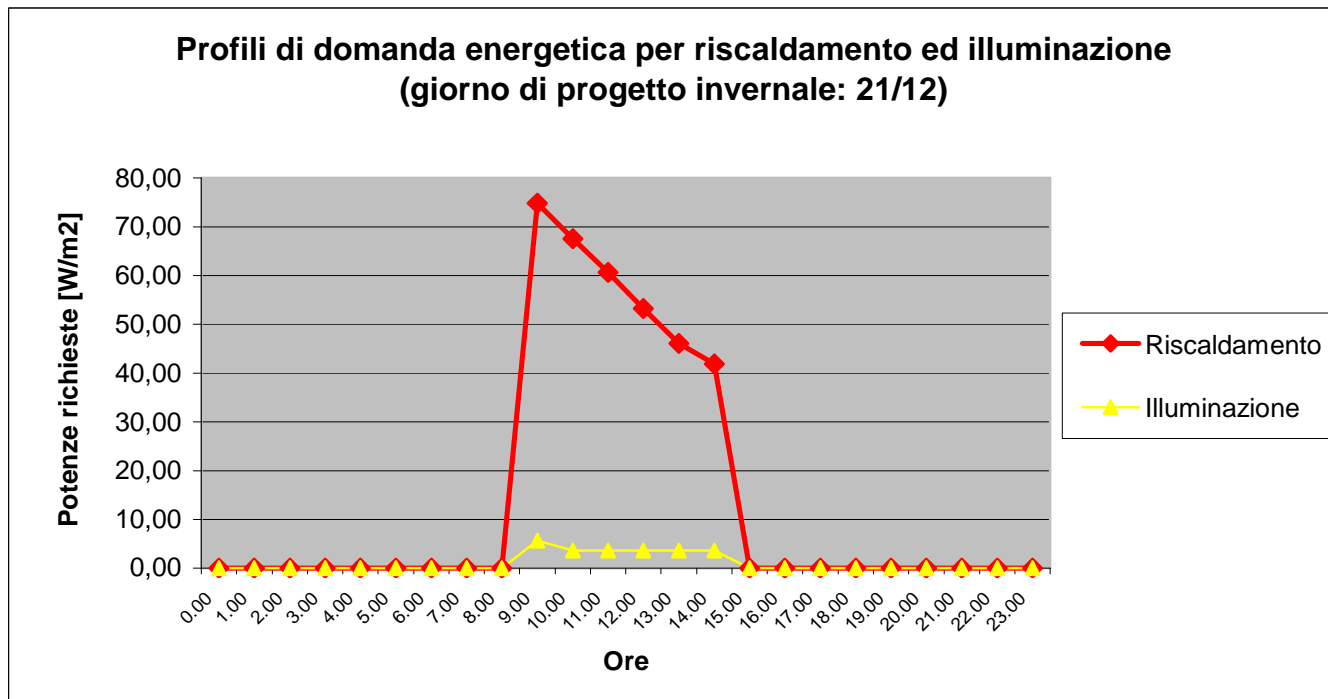
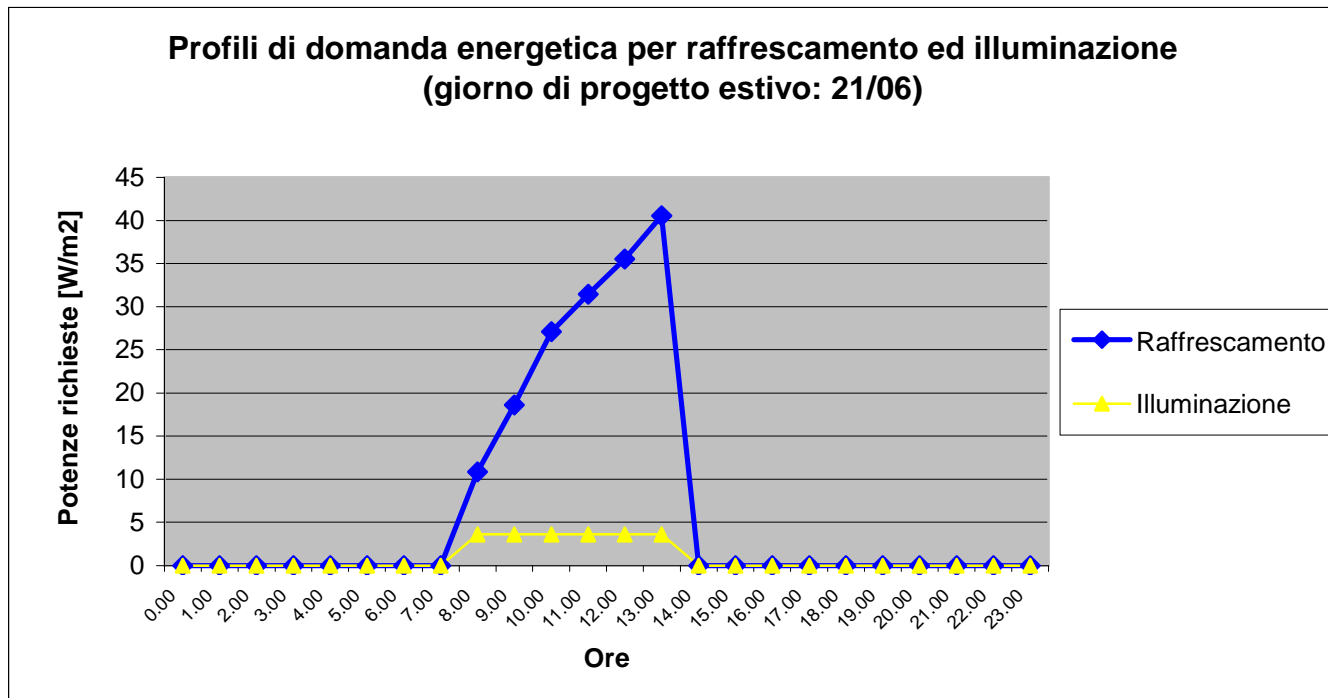
Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

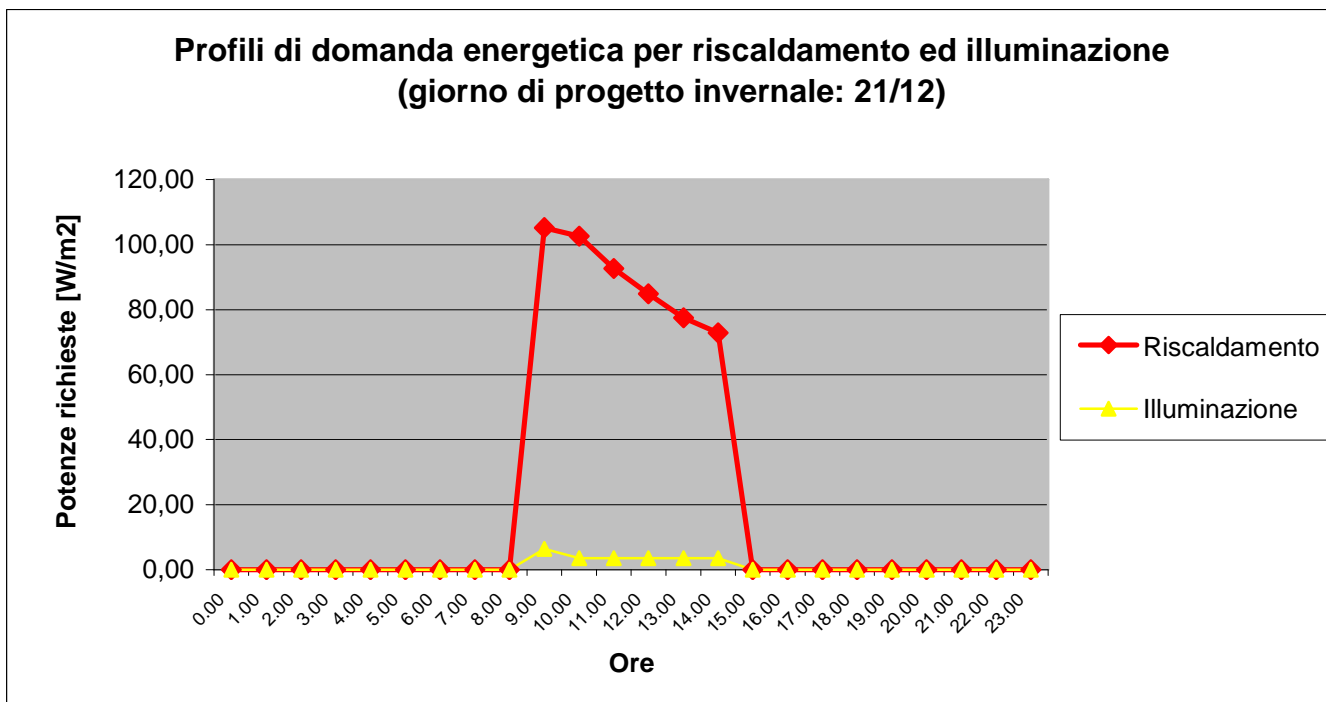
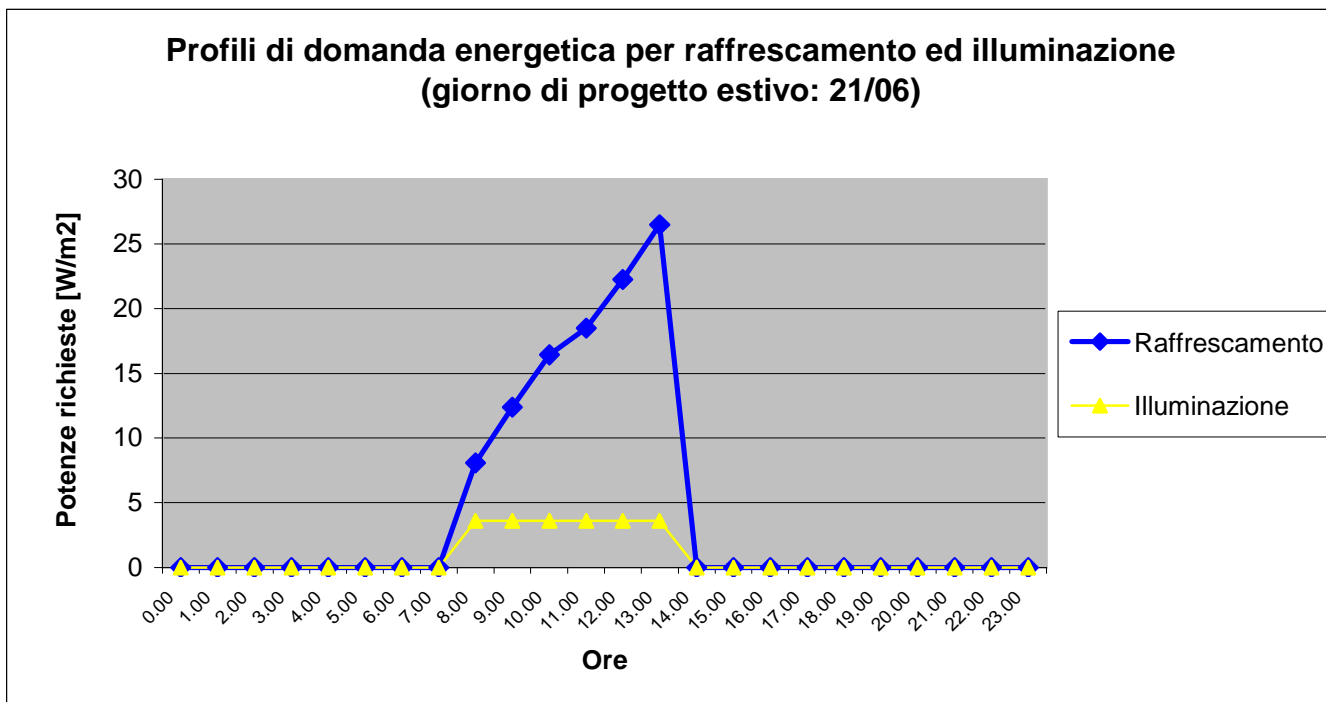
Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

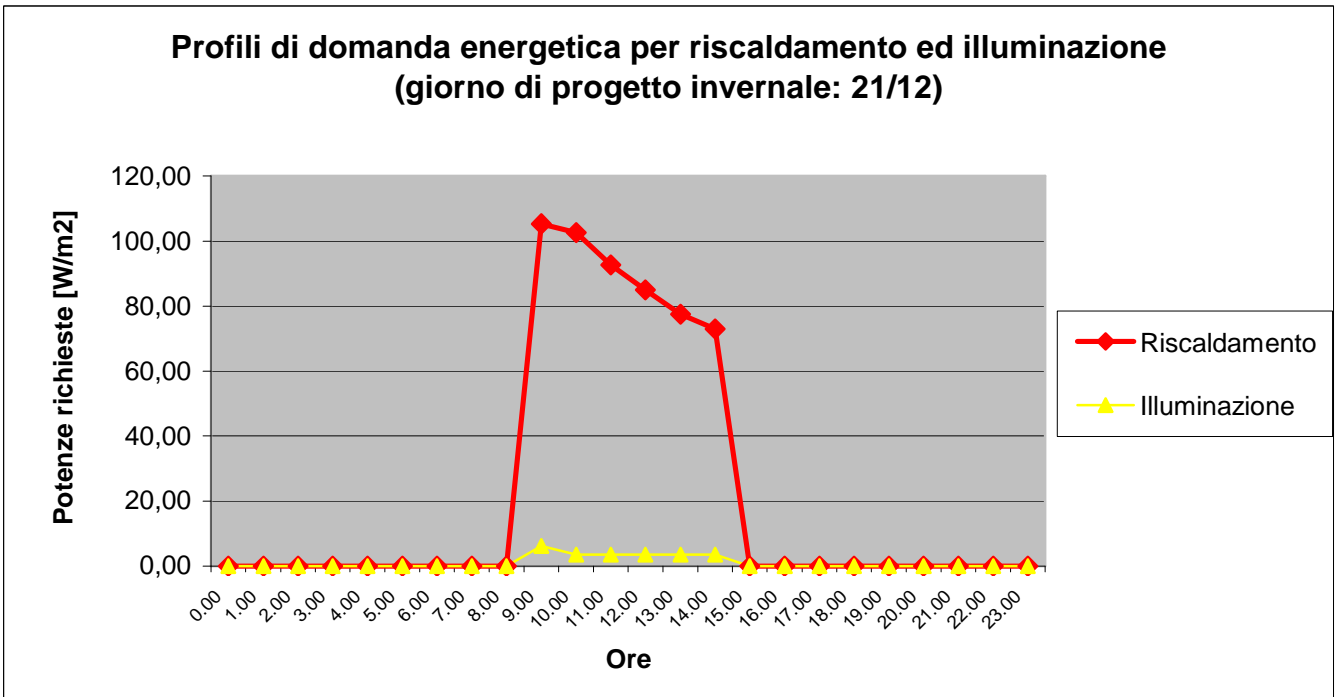
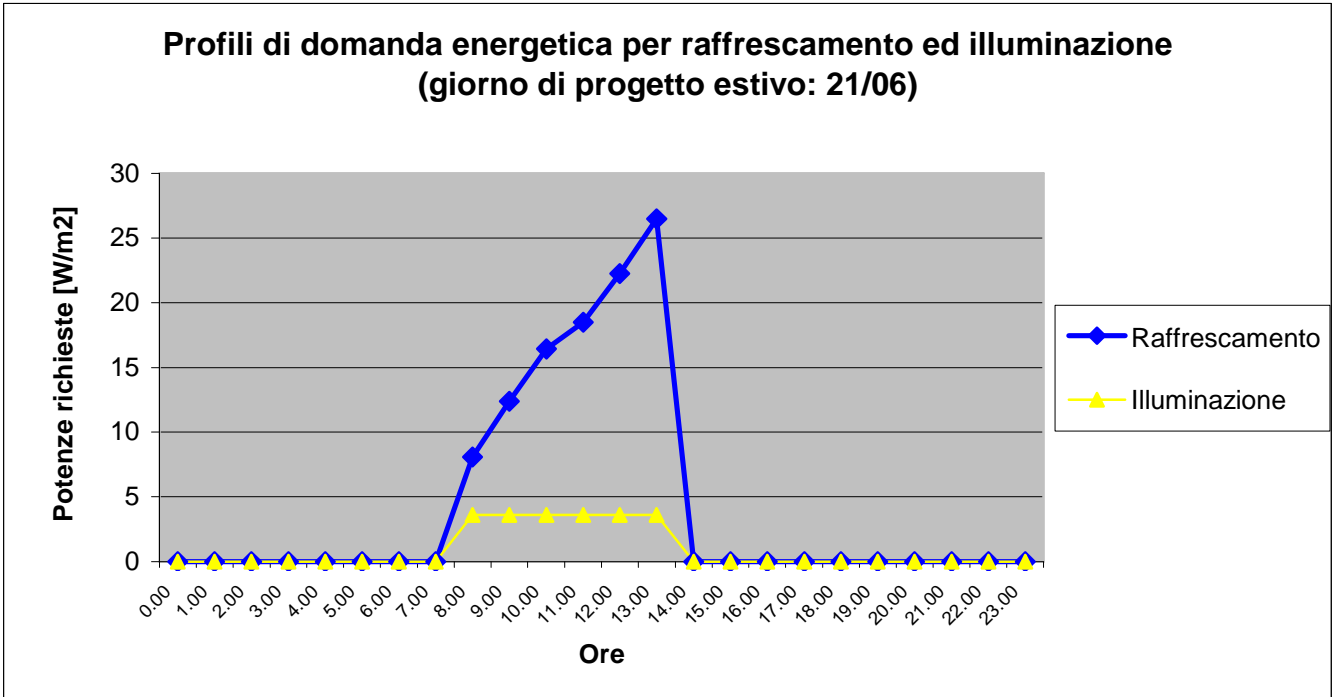
Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto ad alta densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

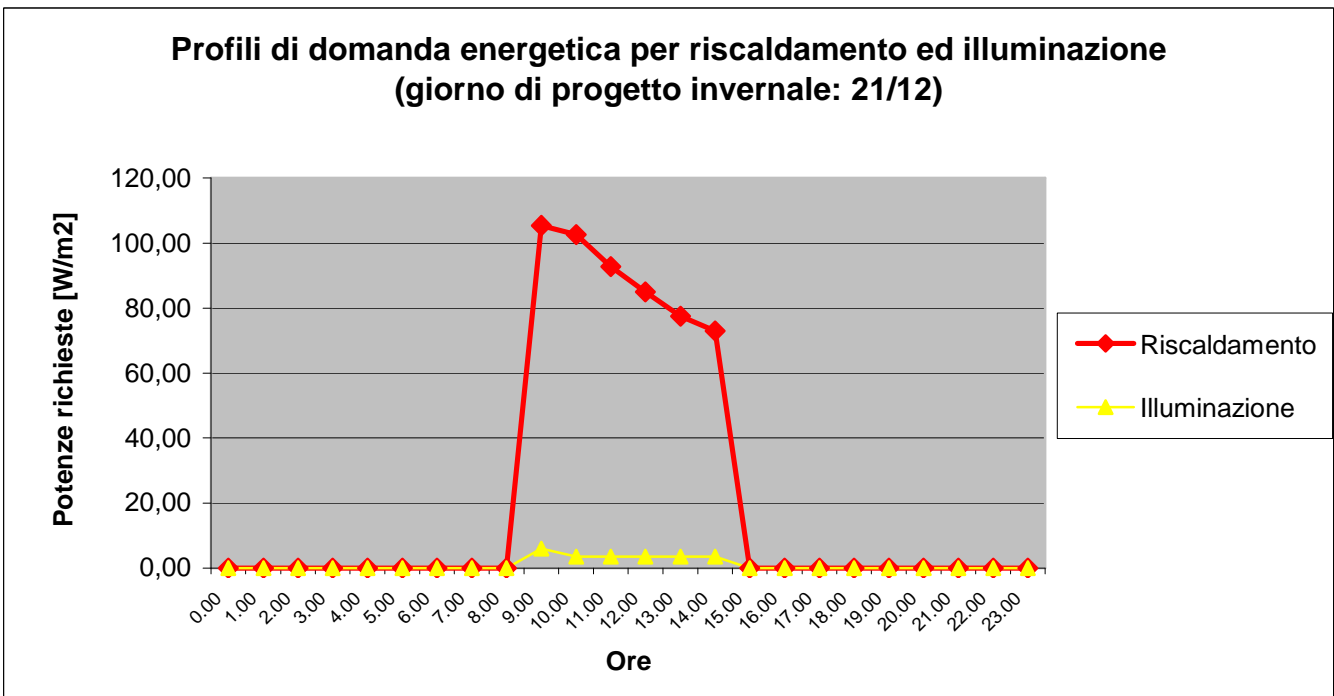
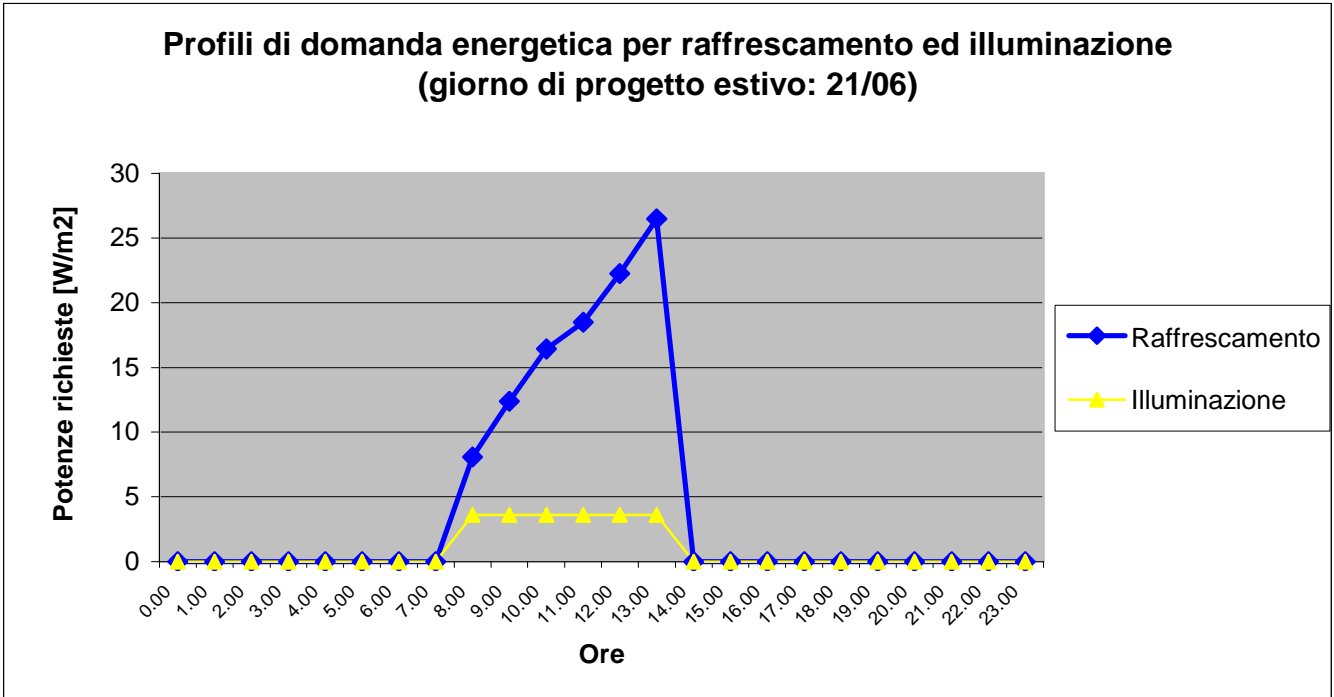
Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

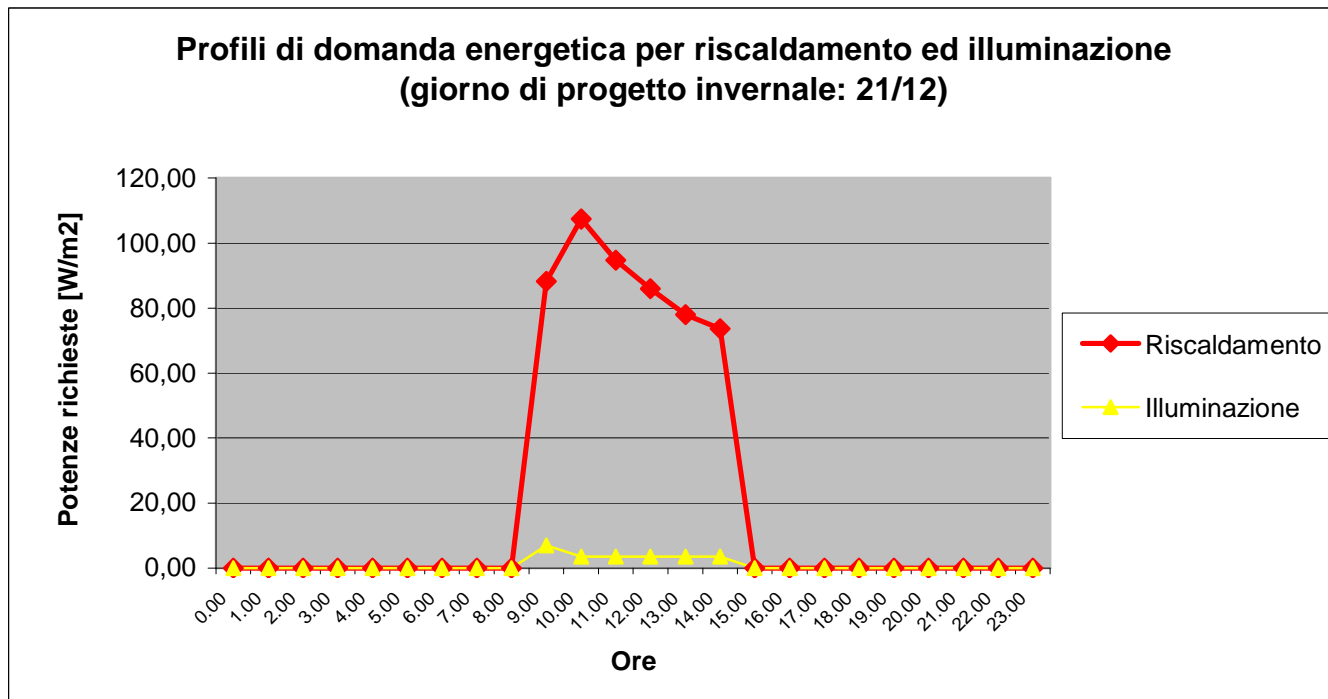
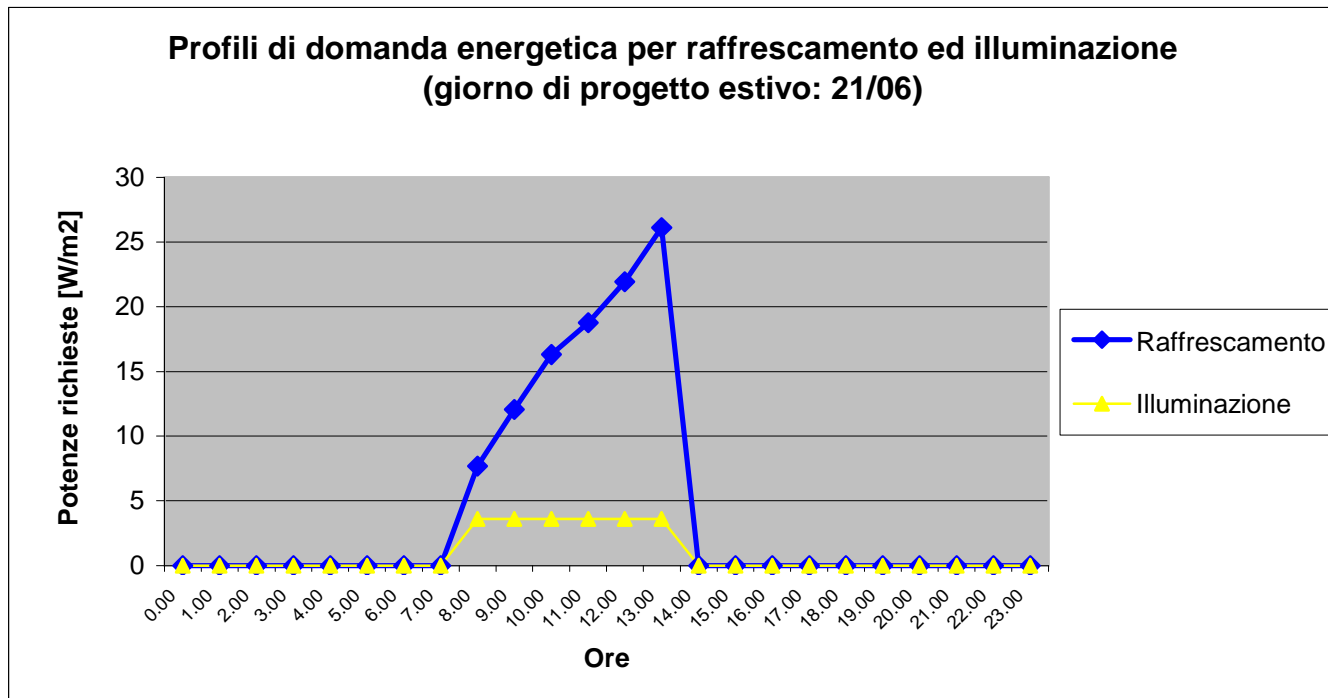
Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio storico, contesto ad alta densità urbana

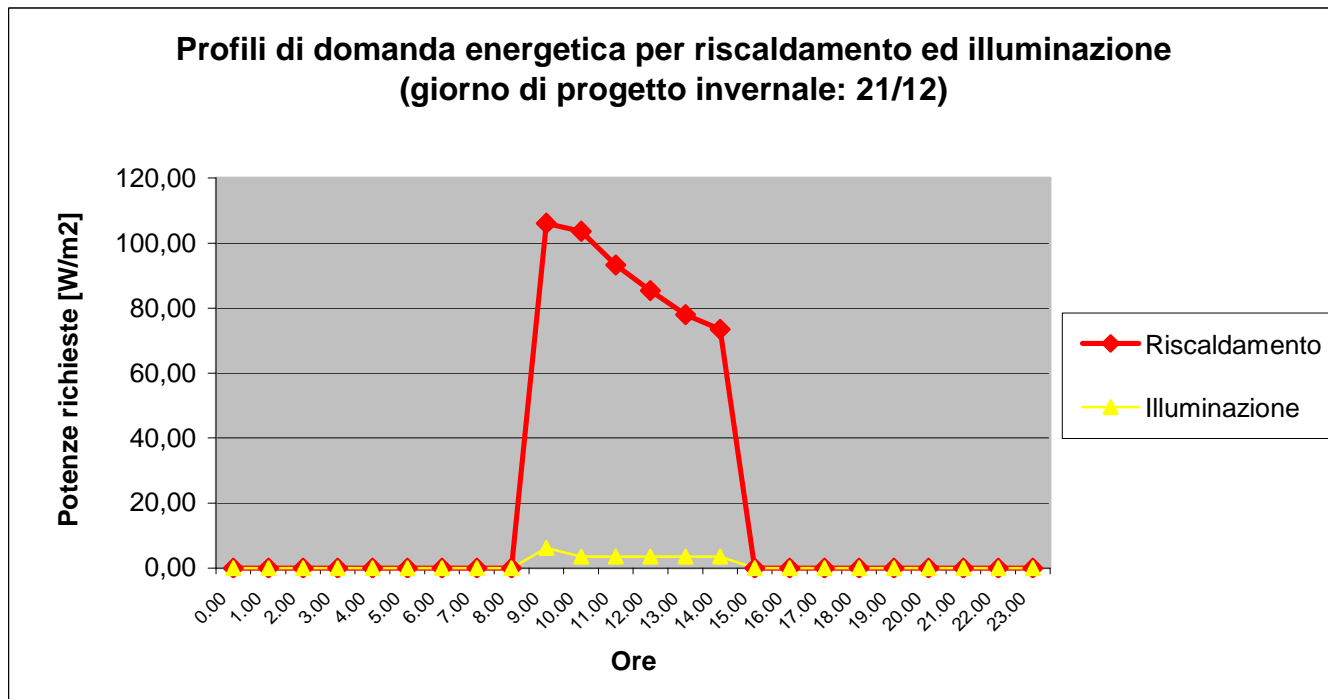
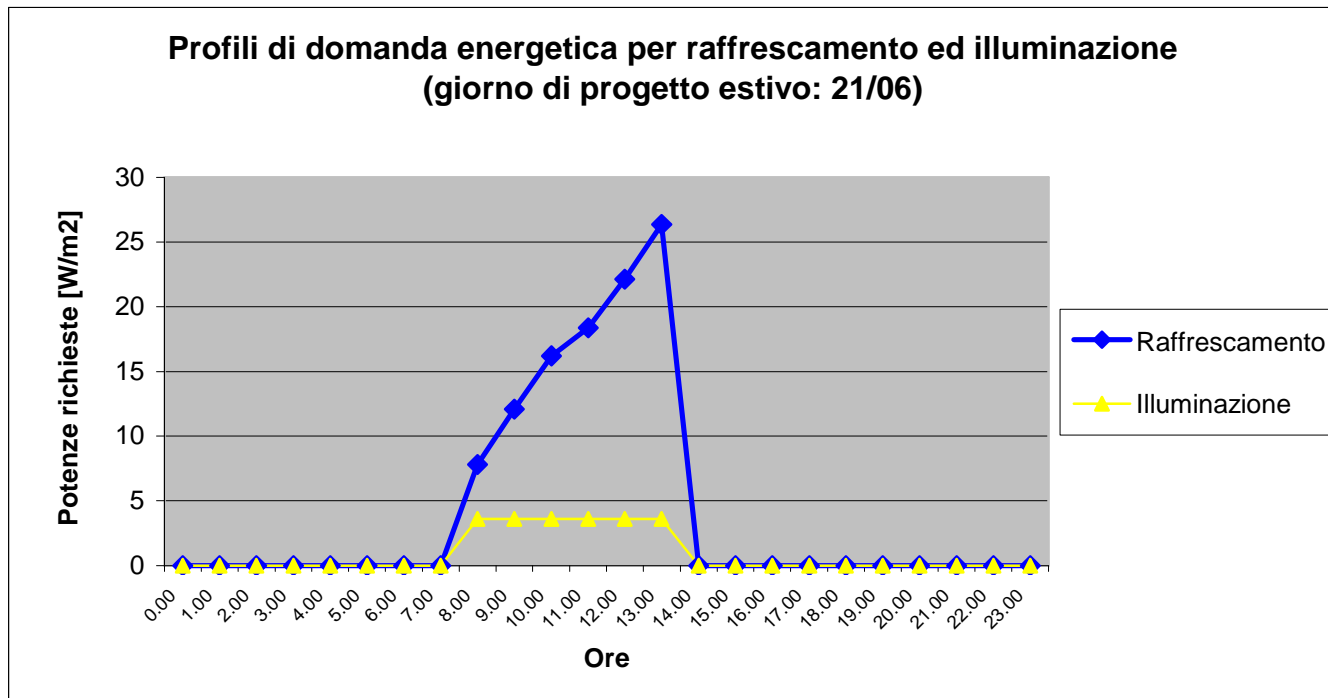




Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

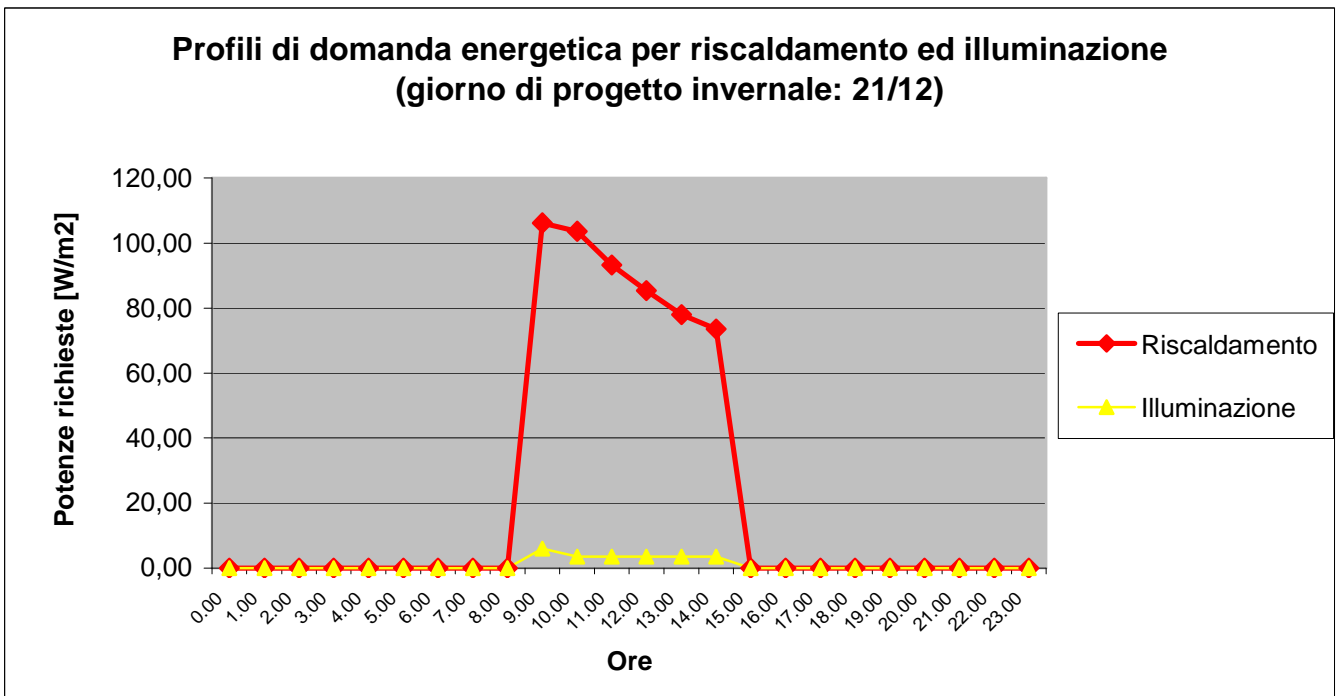
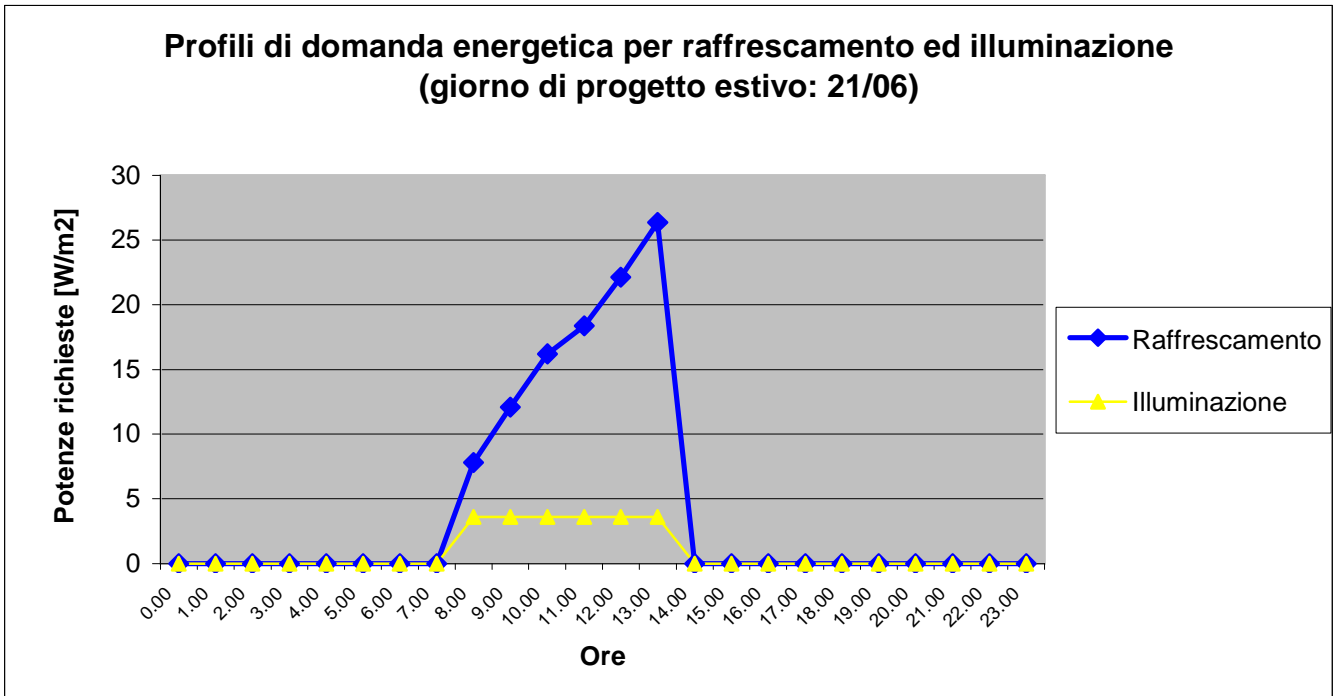
Collocazione Milano, edificio storico, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

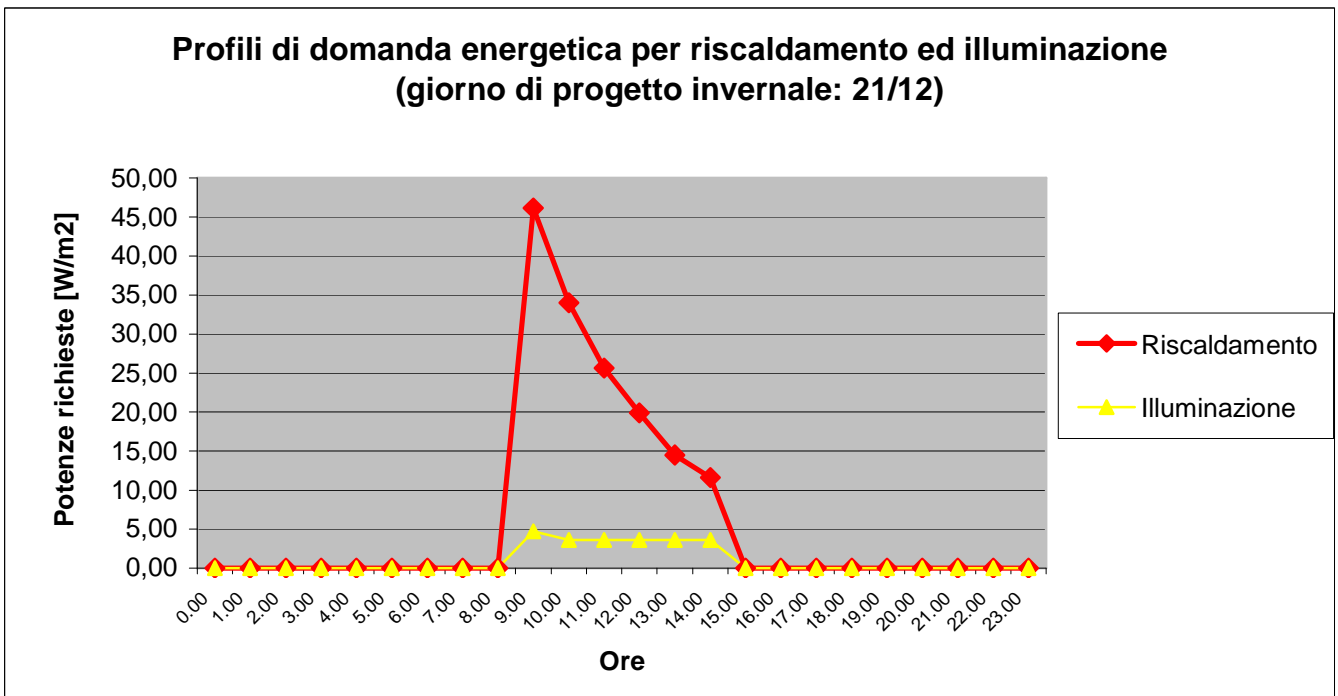
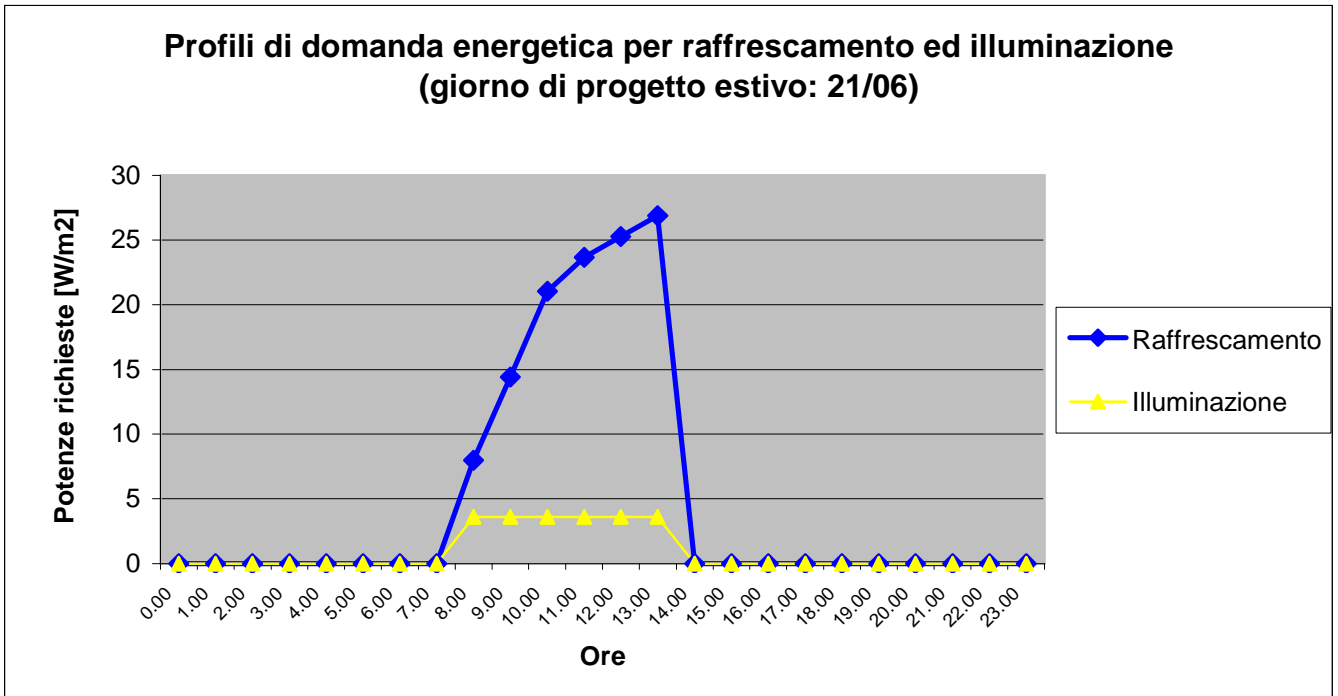
Collocazione Milano, edificio storico, contesto a bassa densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

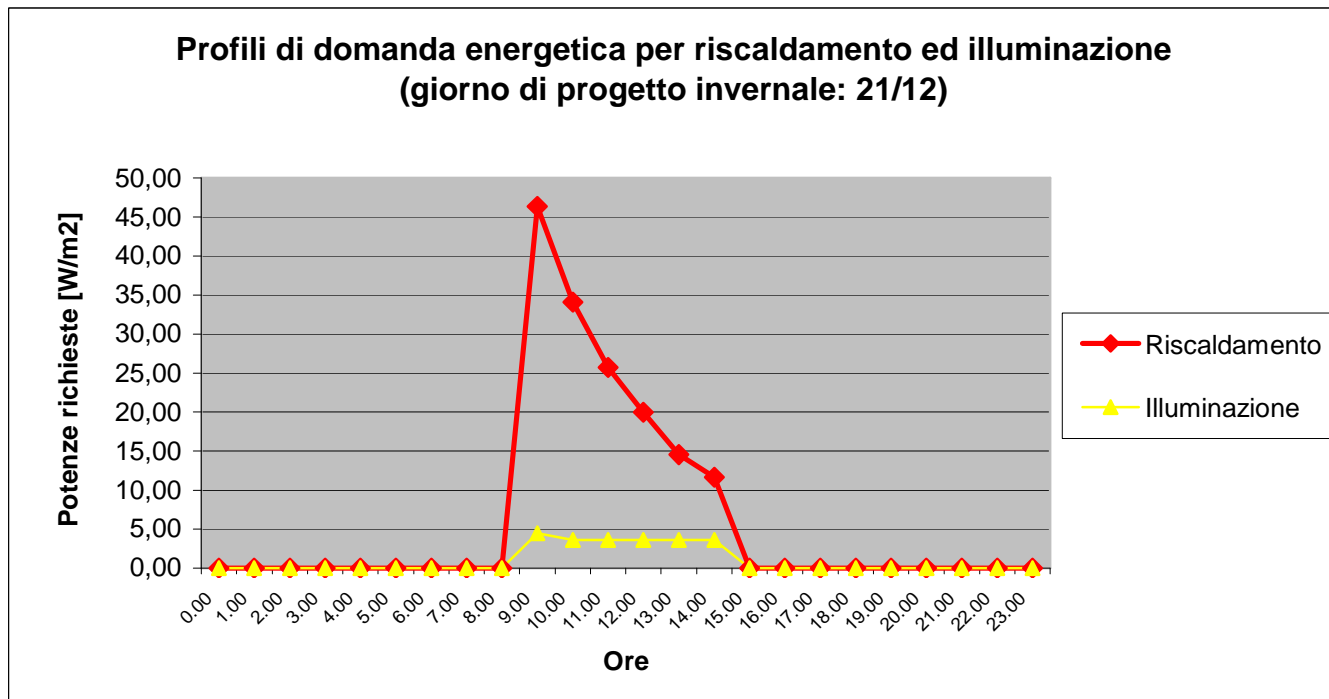
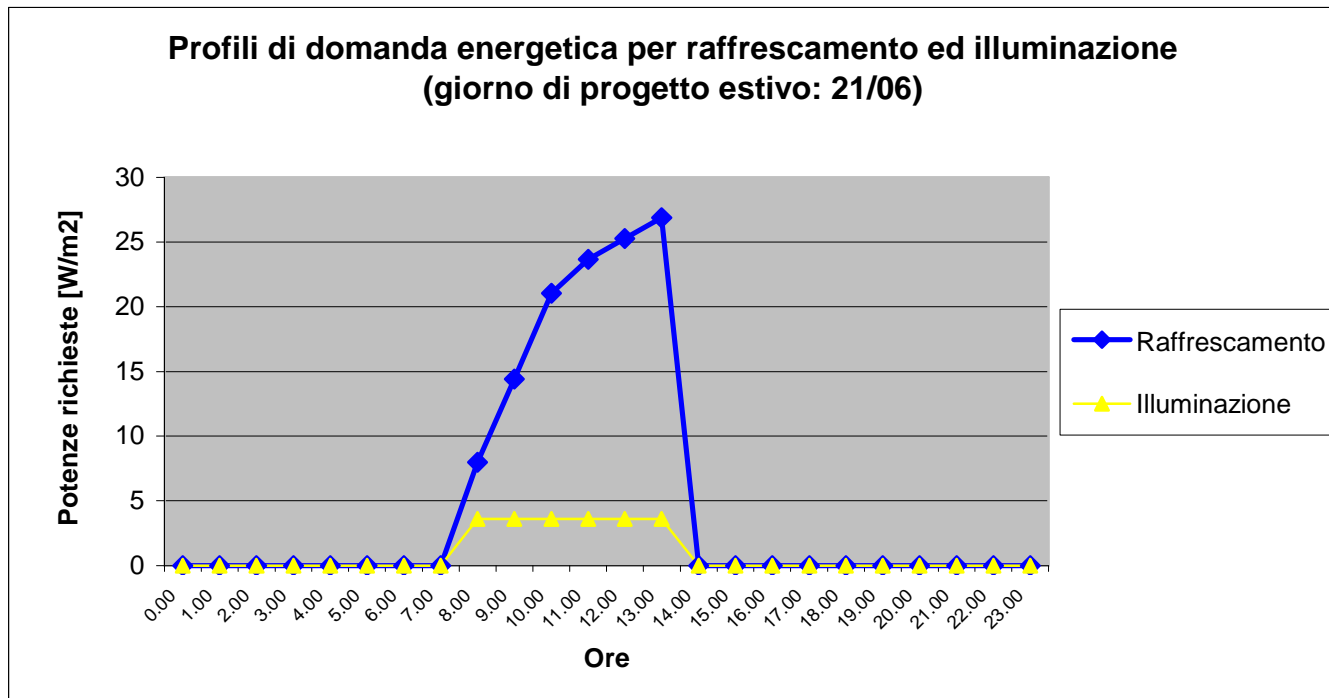
Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a alta densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

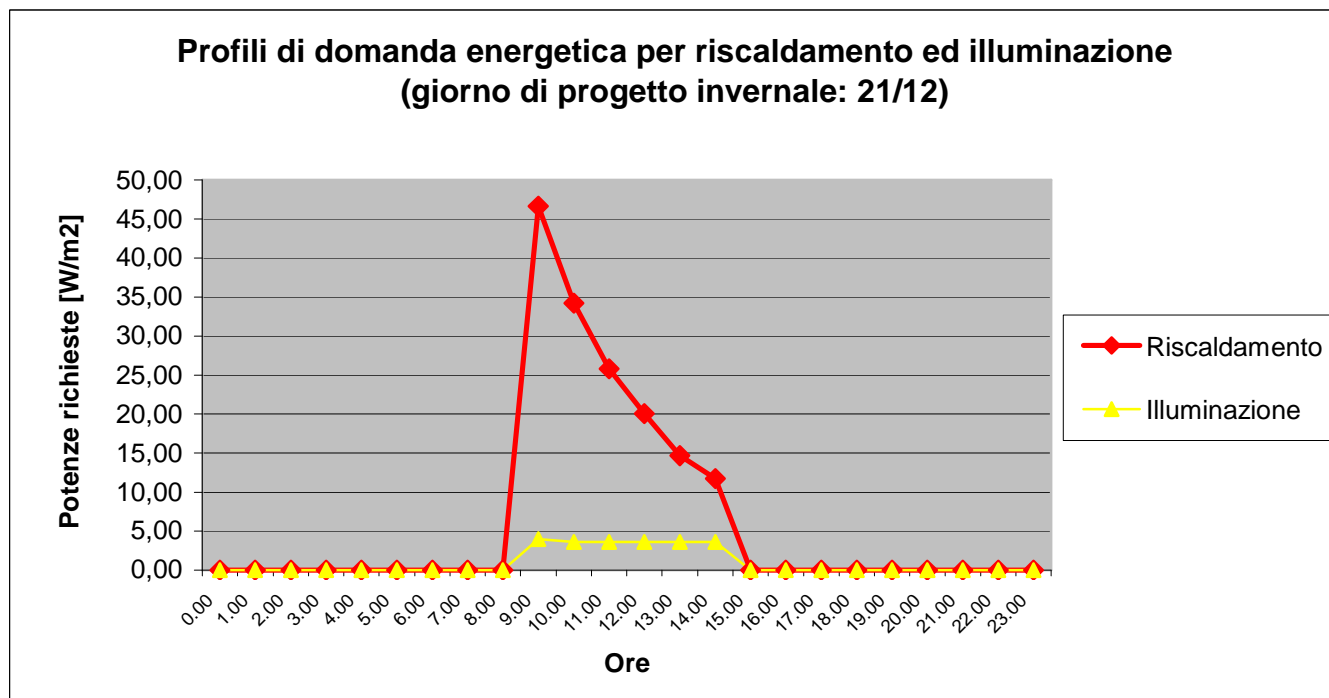
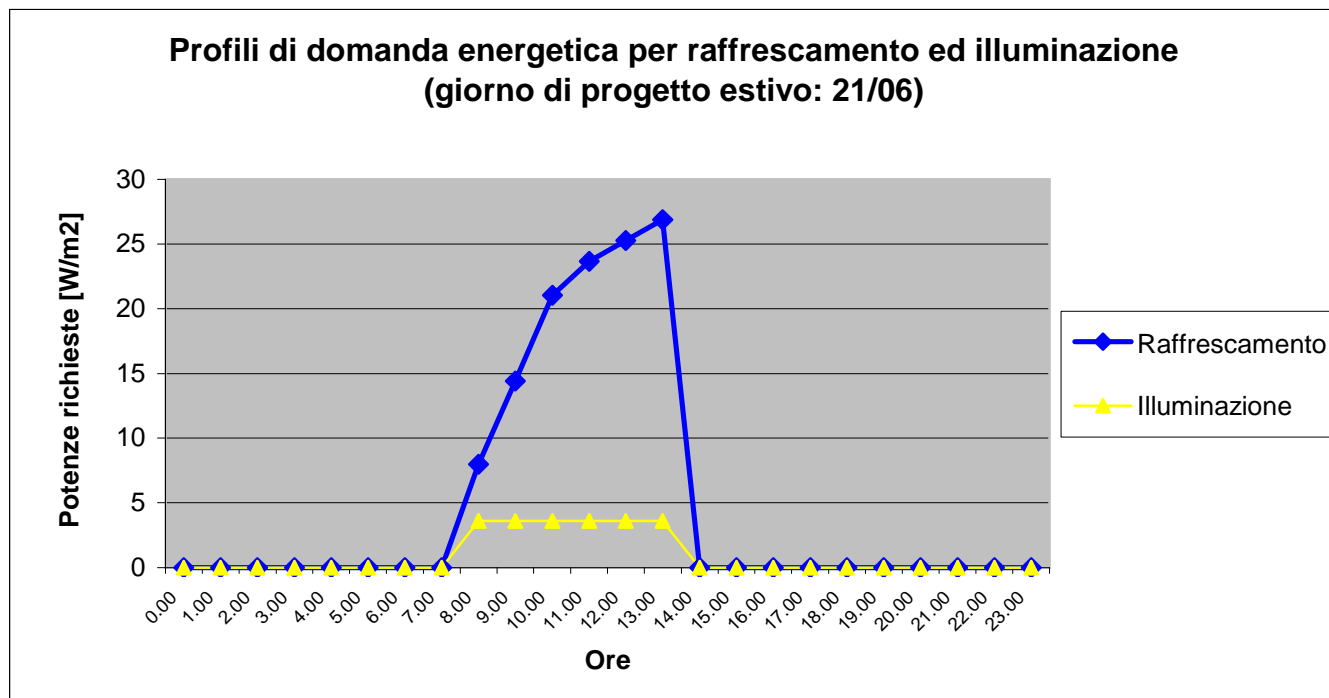
Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

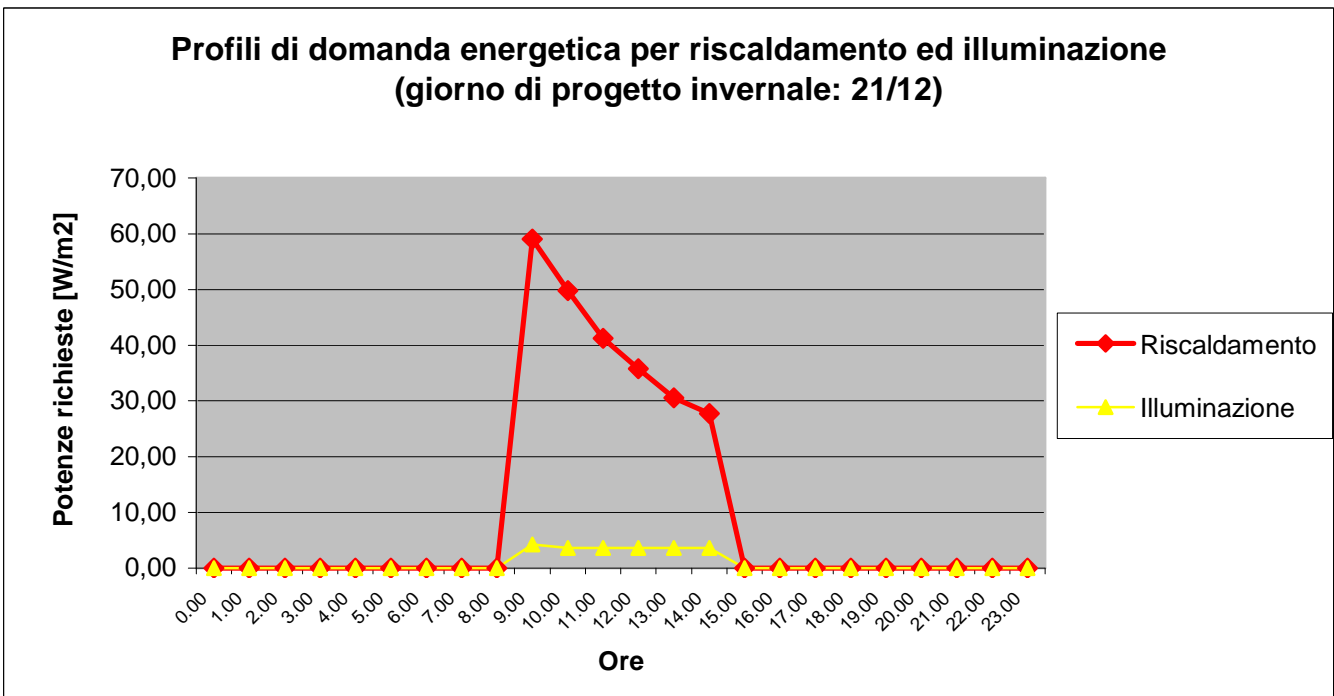
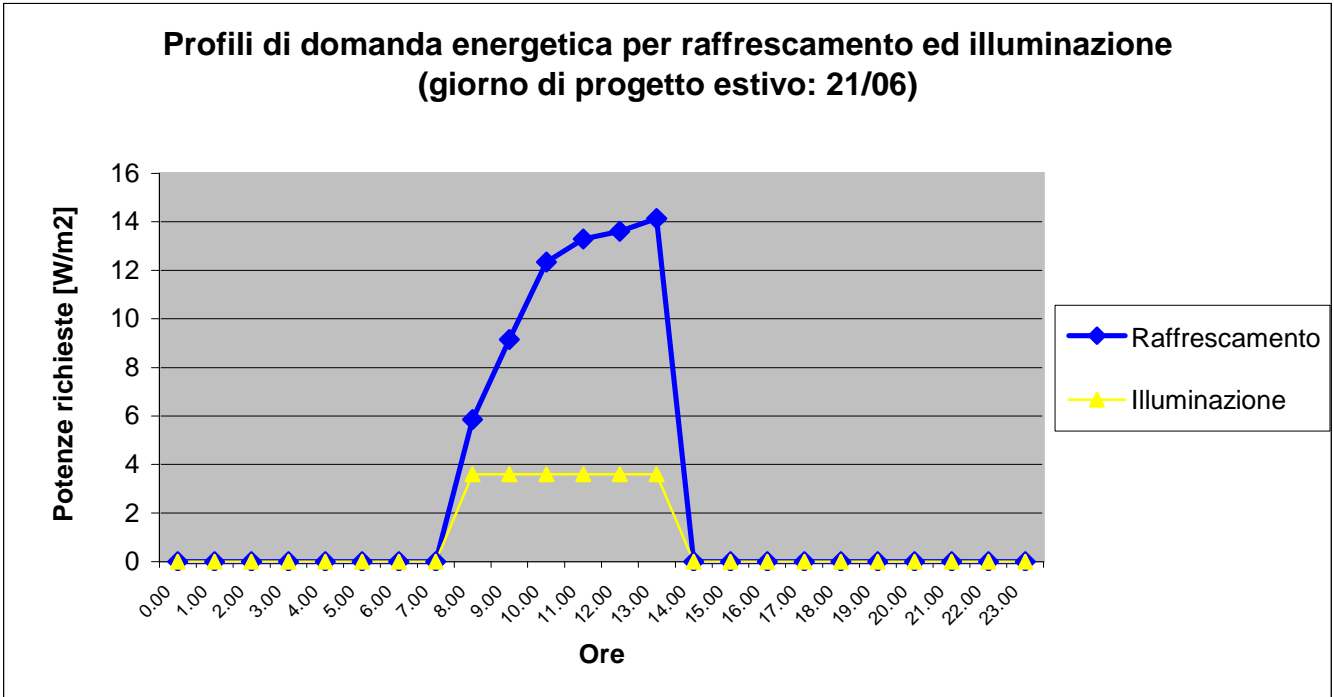
Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

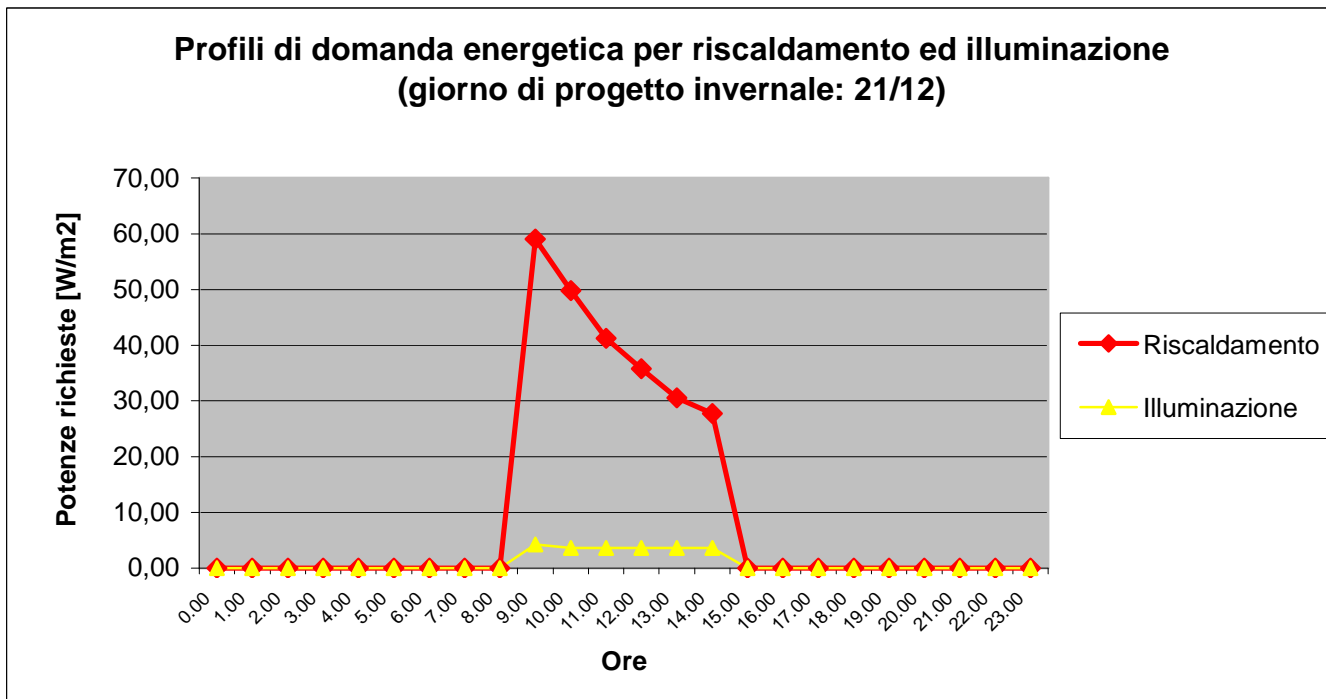
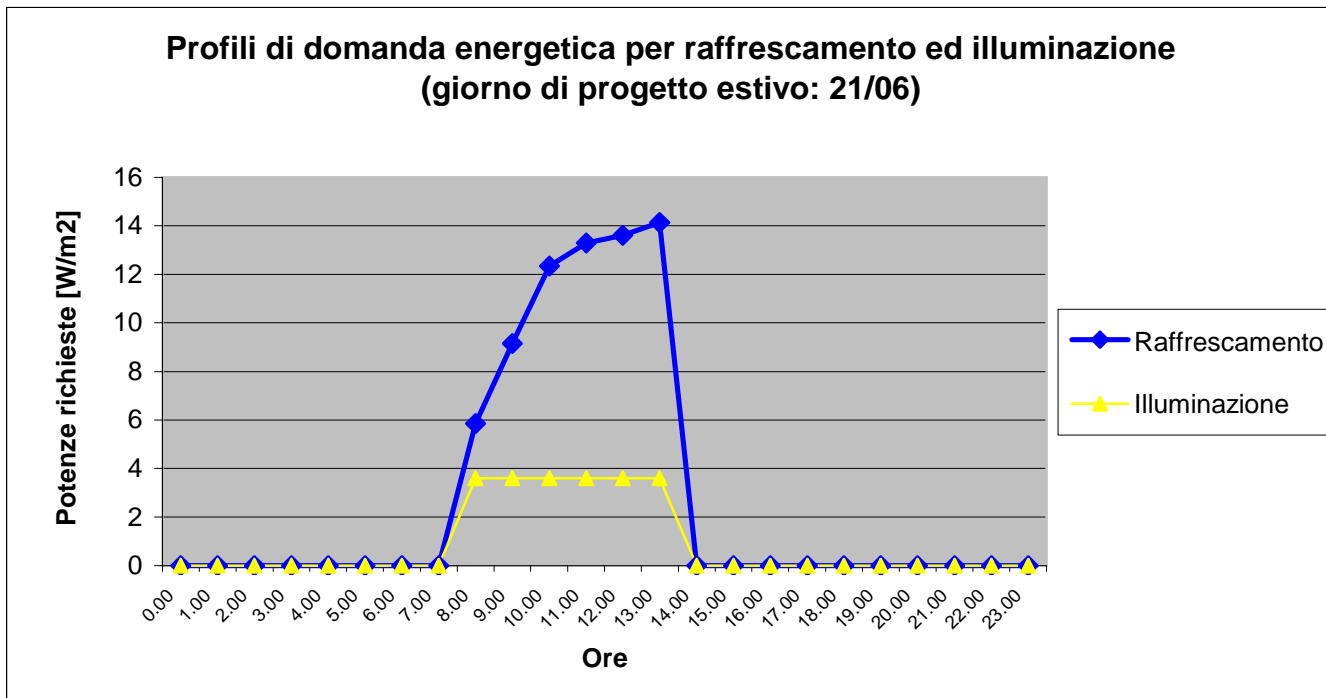
Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto a alta densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

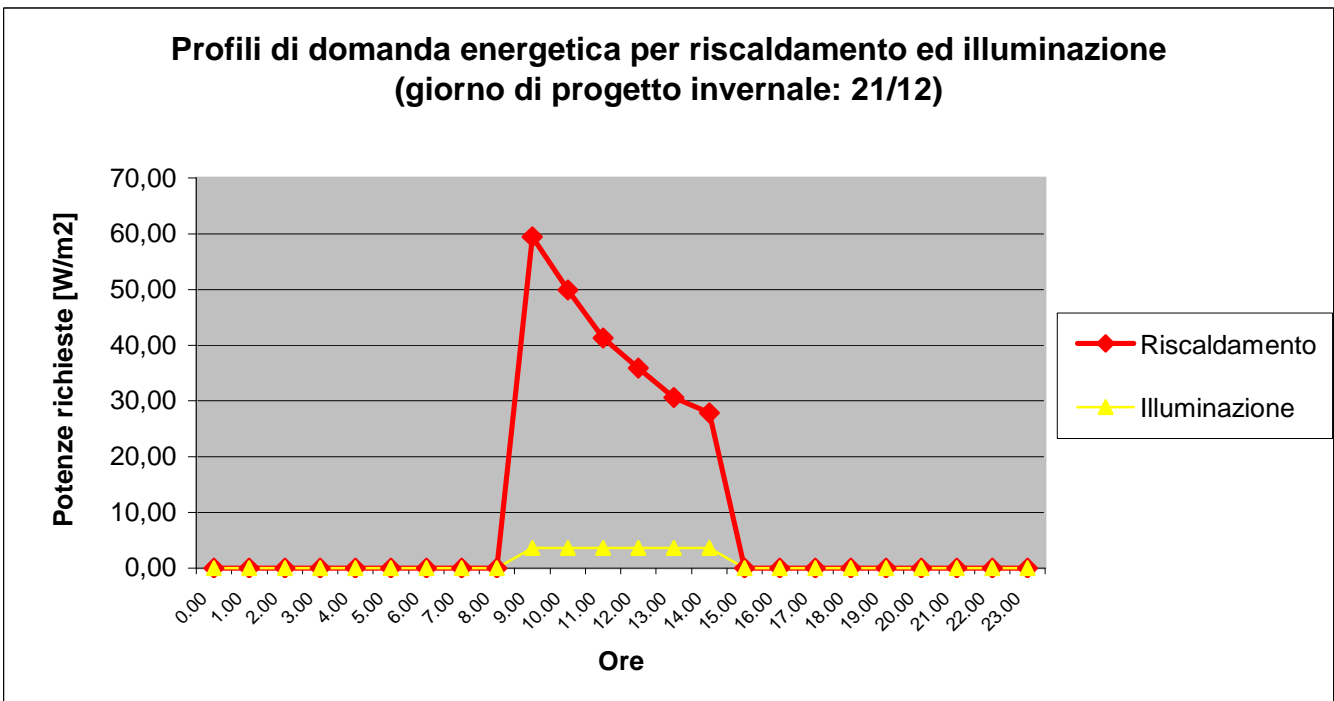
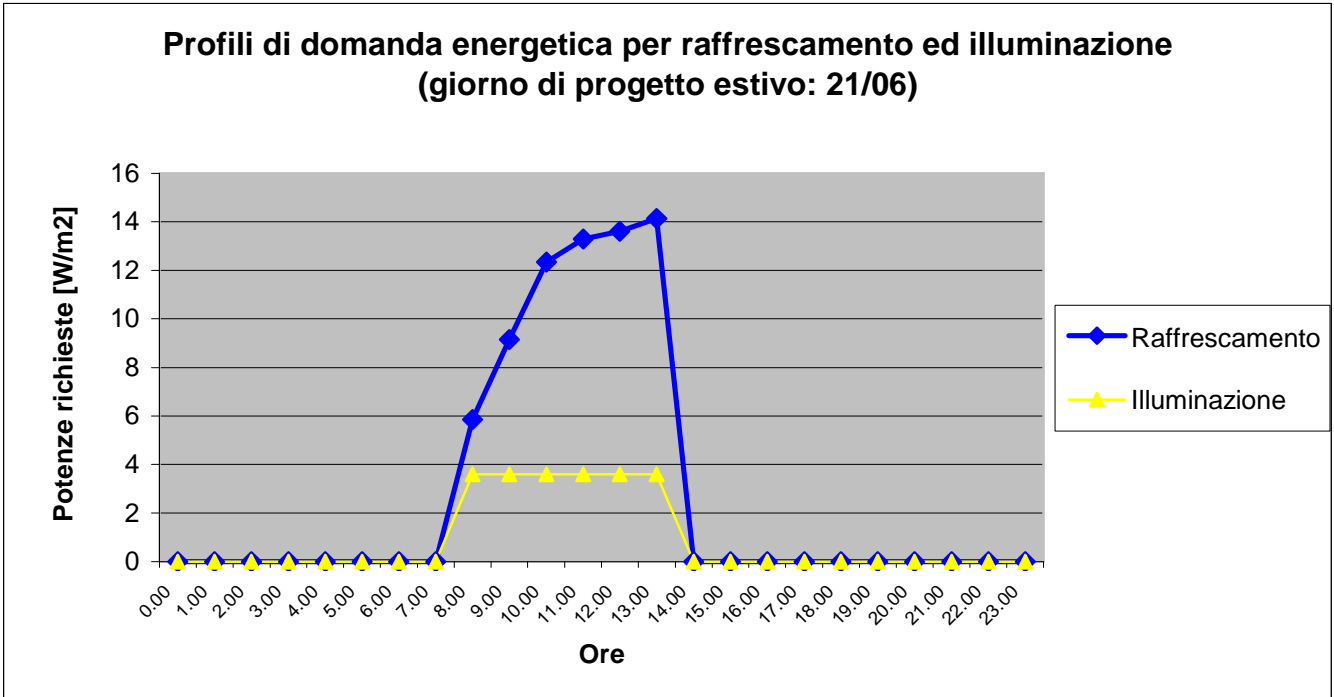
Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana

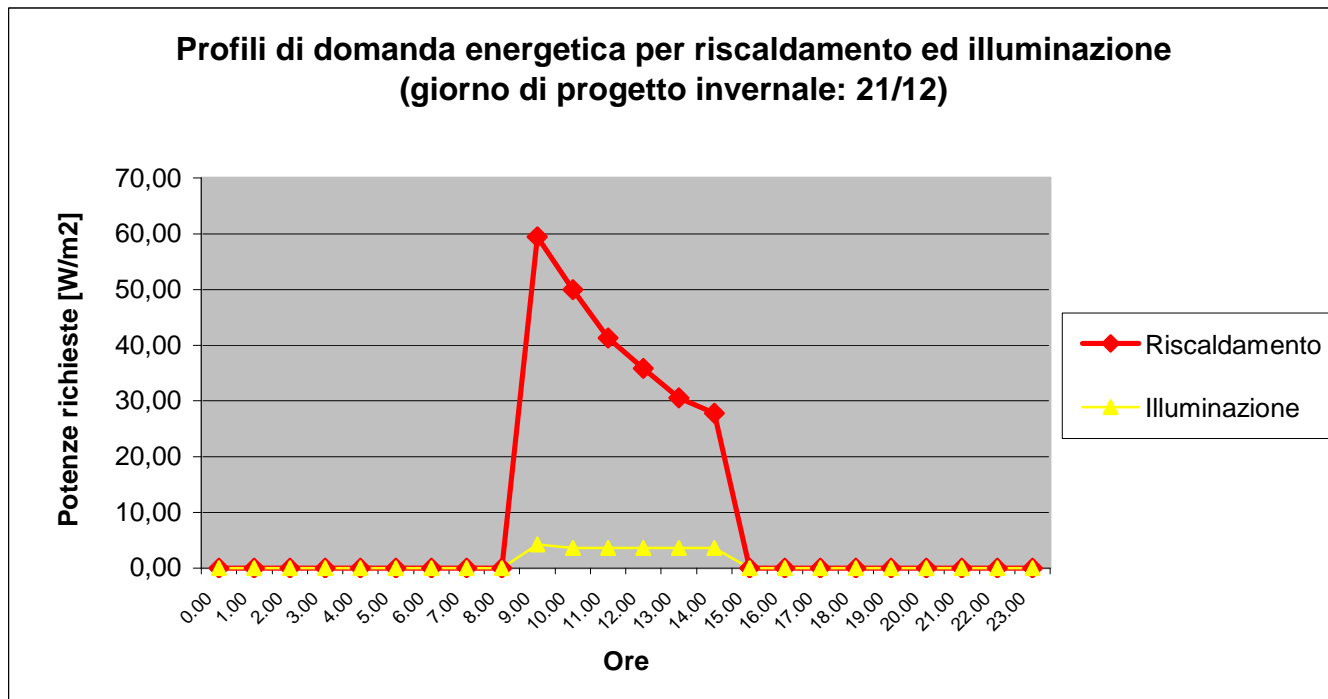
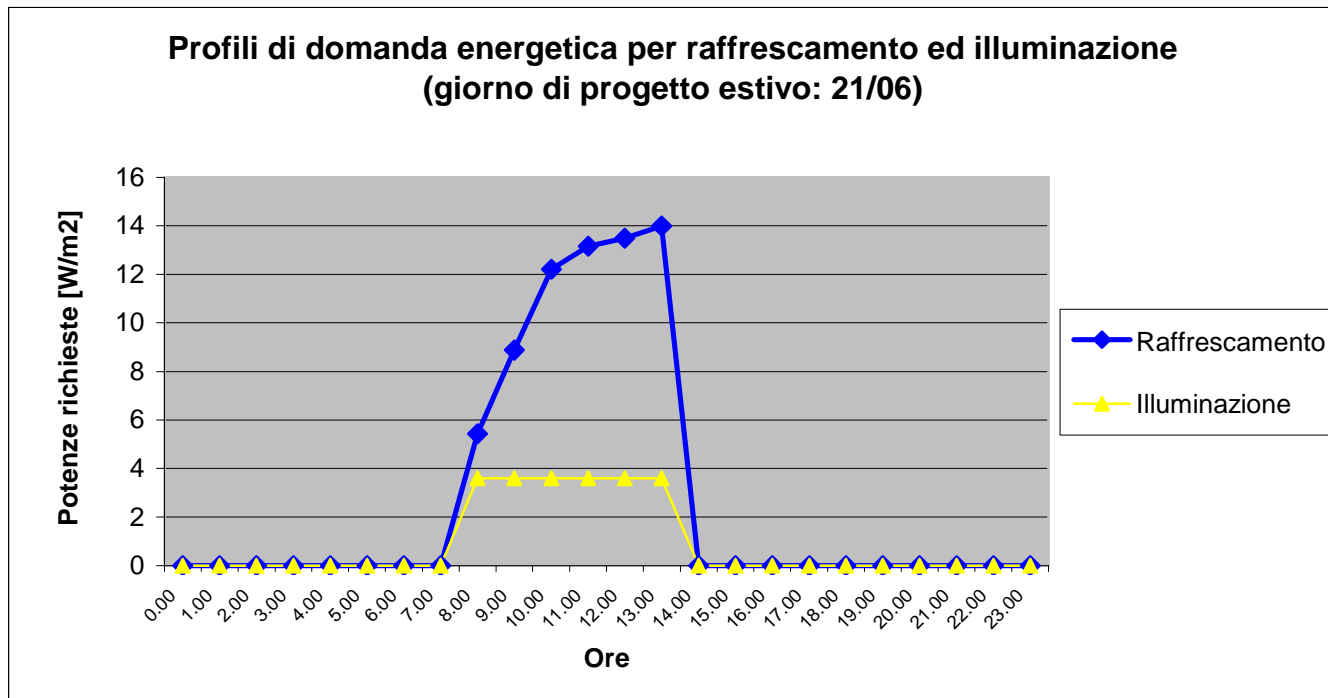




Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

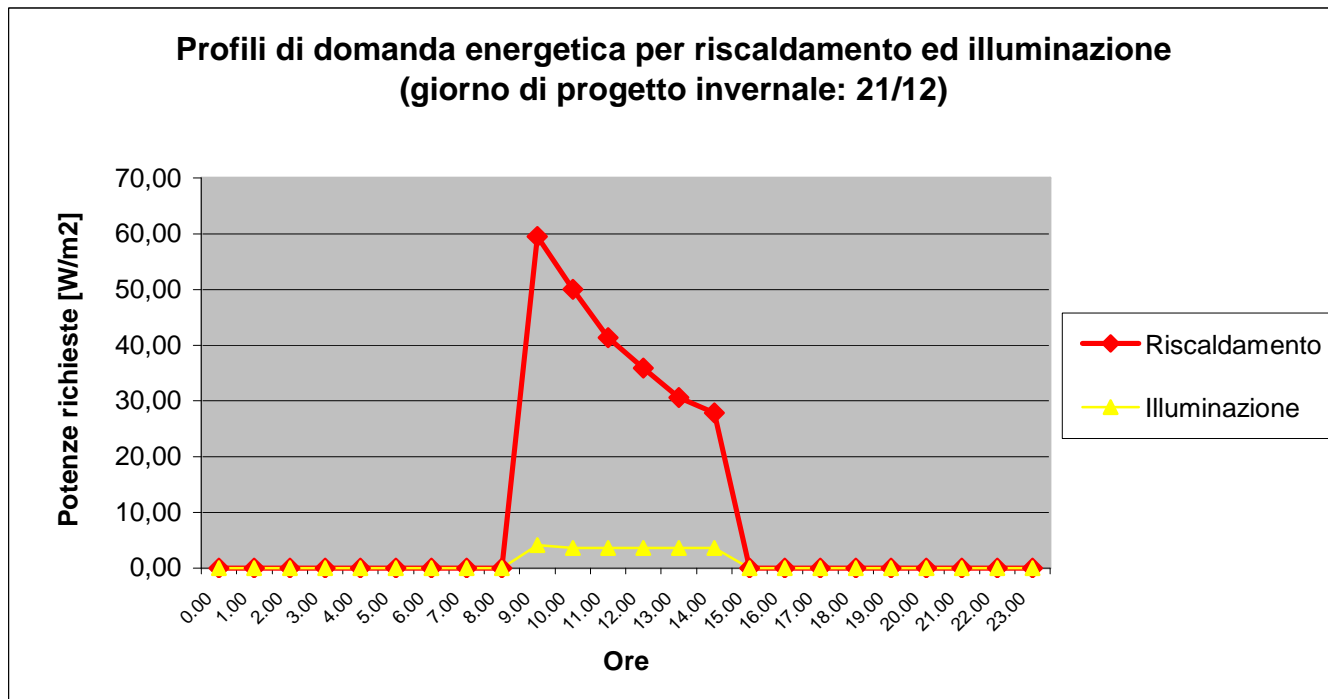
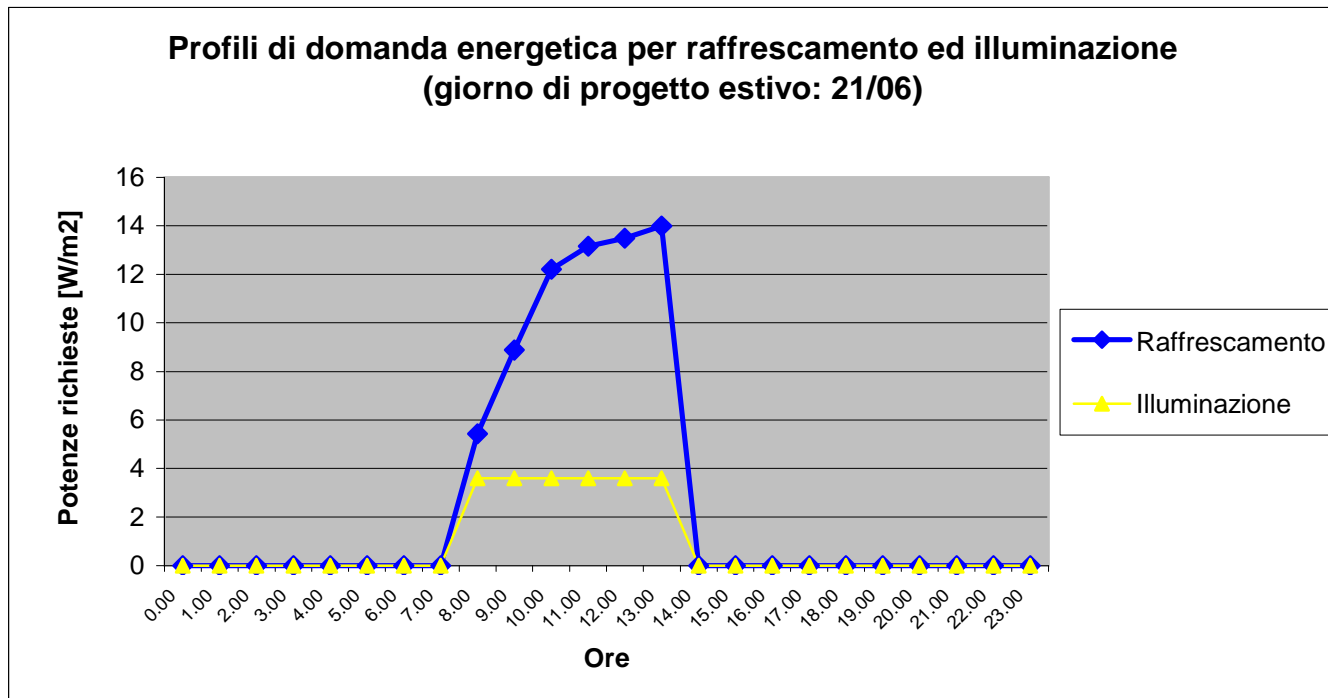
Collocazione Roma, edificio storico, contesto a alta densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

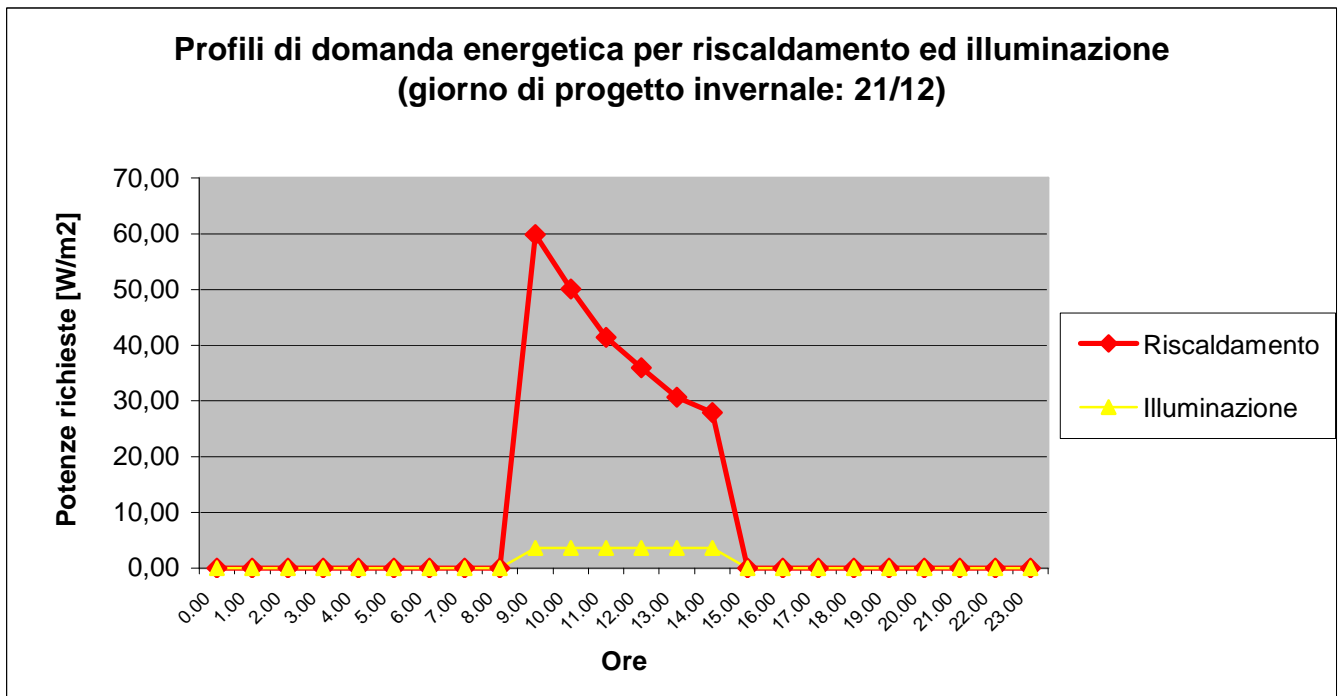
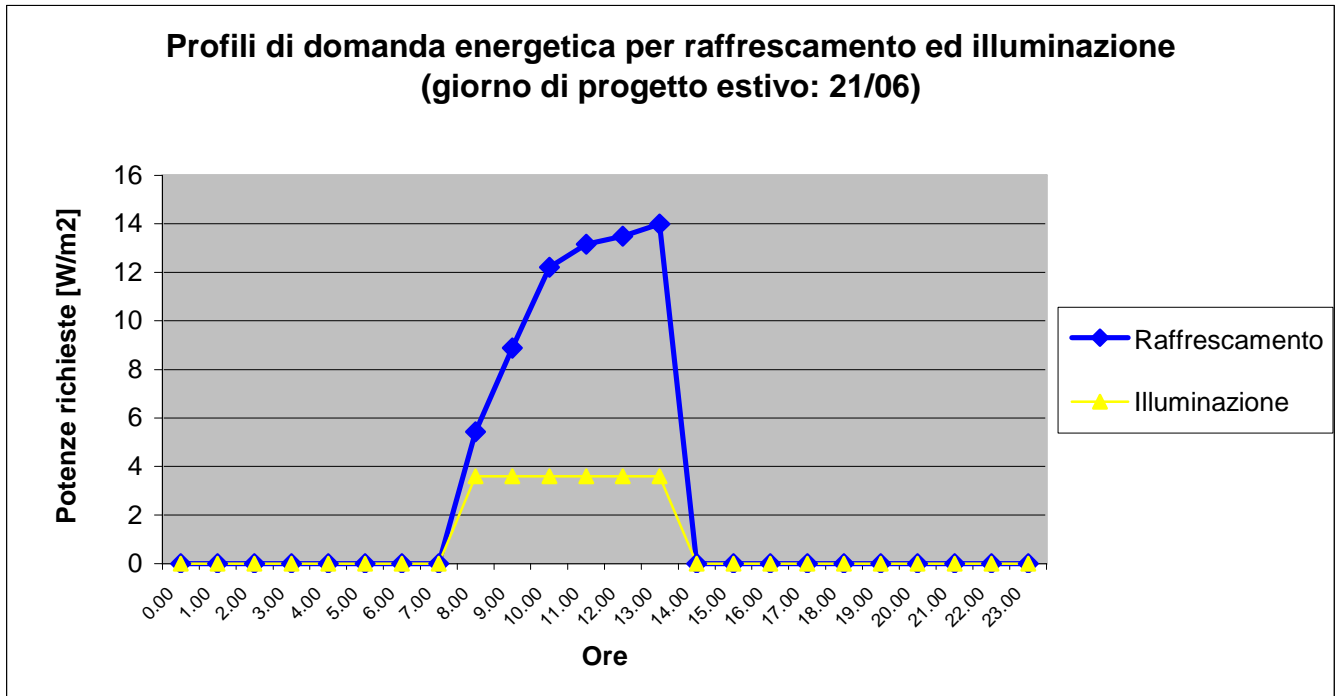
Collocazione Roma, edificio storico, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio storico, contesto a bassa densità urbana

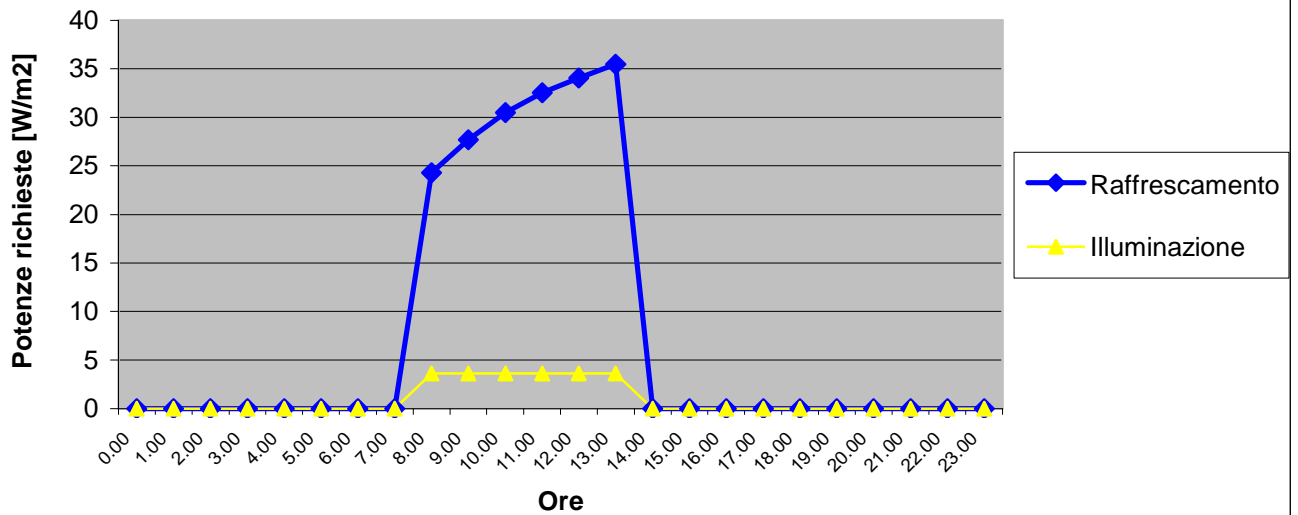


Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

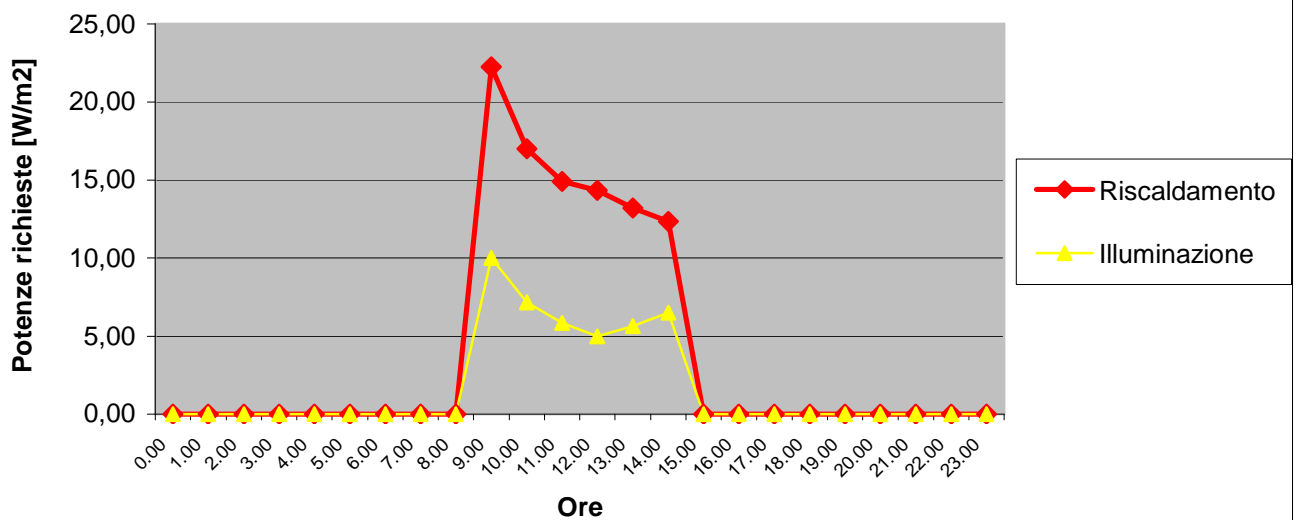
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a alta densità urbana

**Profili di domanda energetica per raffrescamento ed illuminazione  
(giorno di progetto estivo: 21/06)**



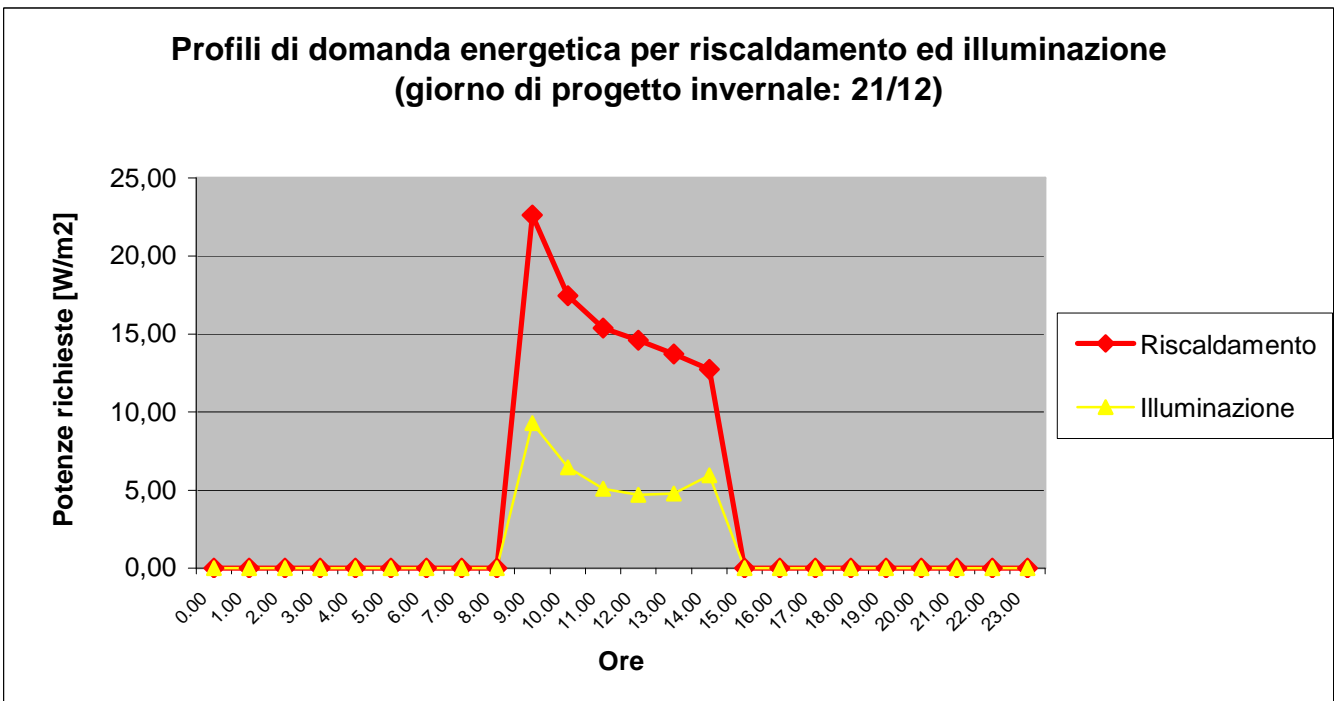
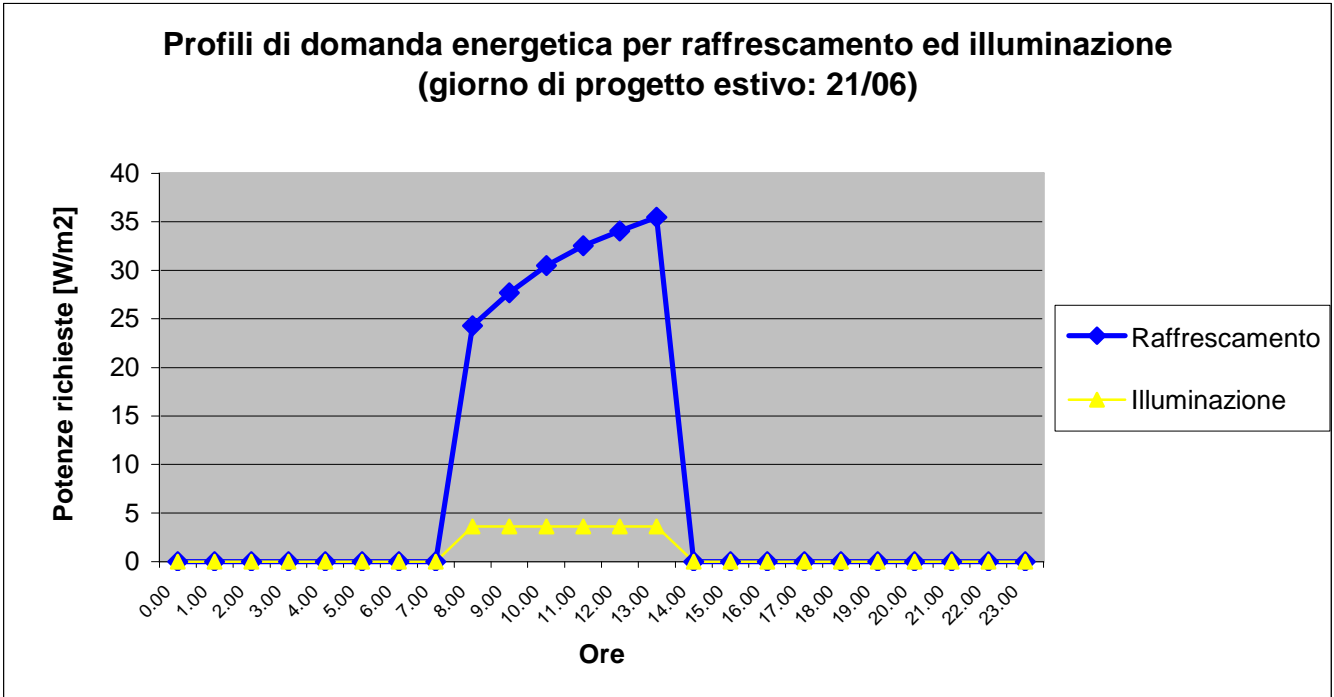
**Profili di domanda energetica per riscaldamento ed illuminazione  
(giorno di progetto invernale: 21/12)**



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

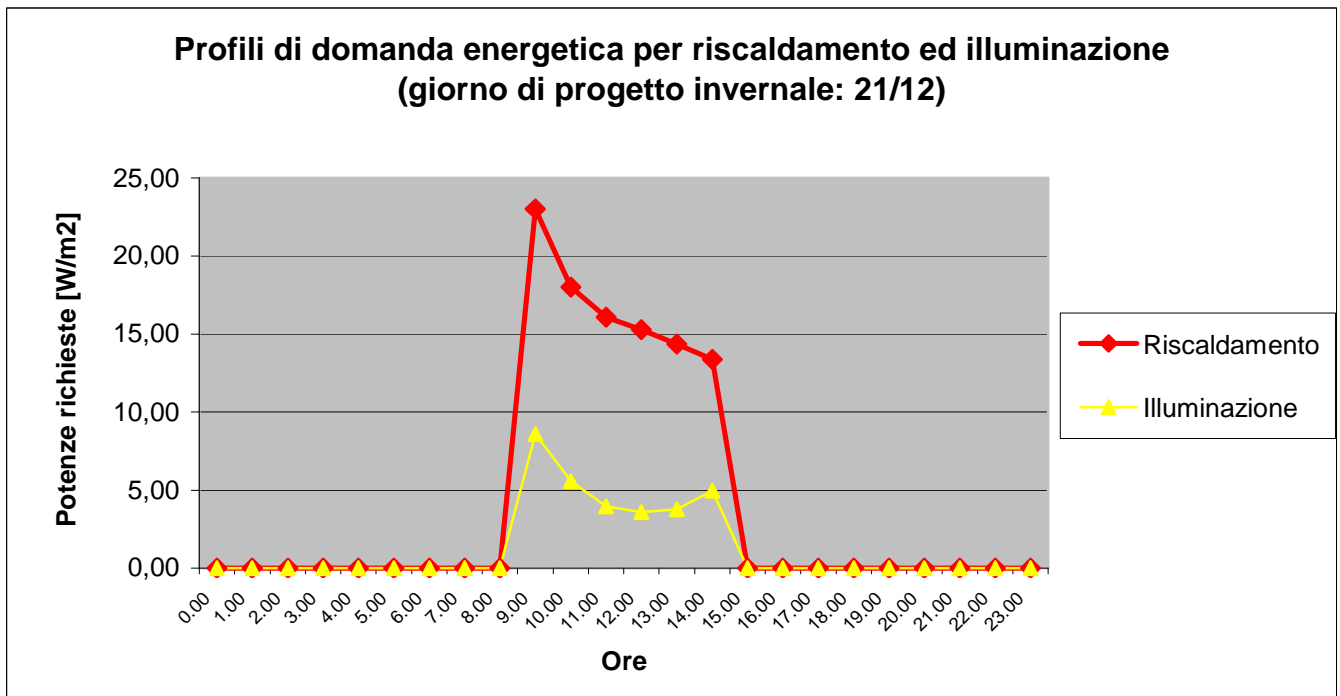
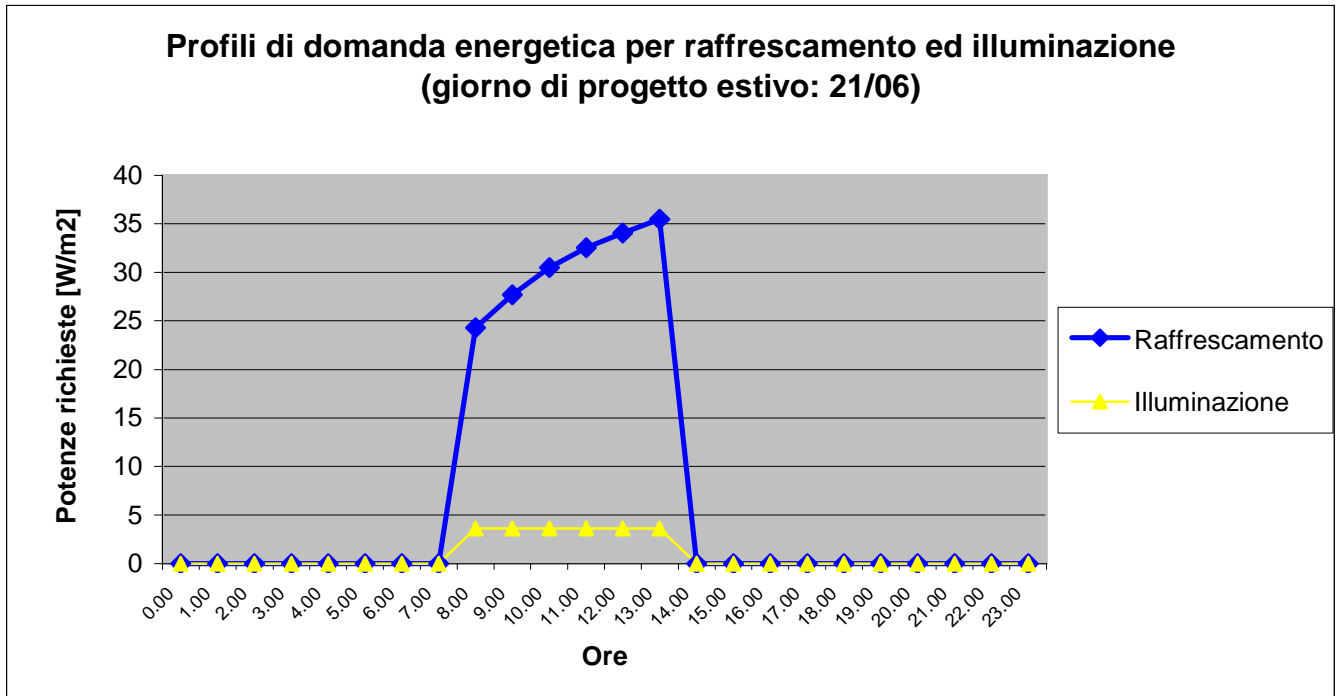
Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

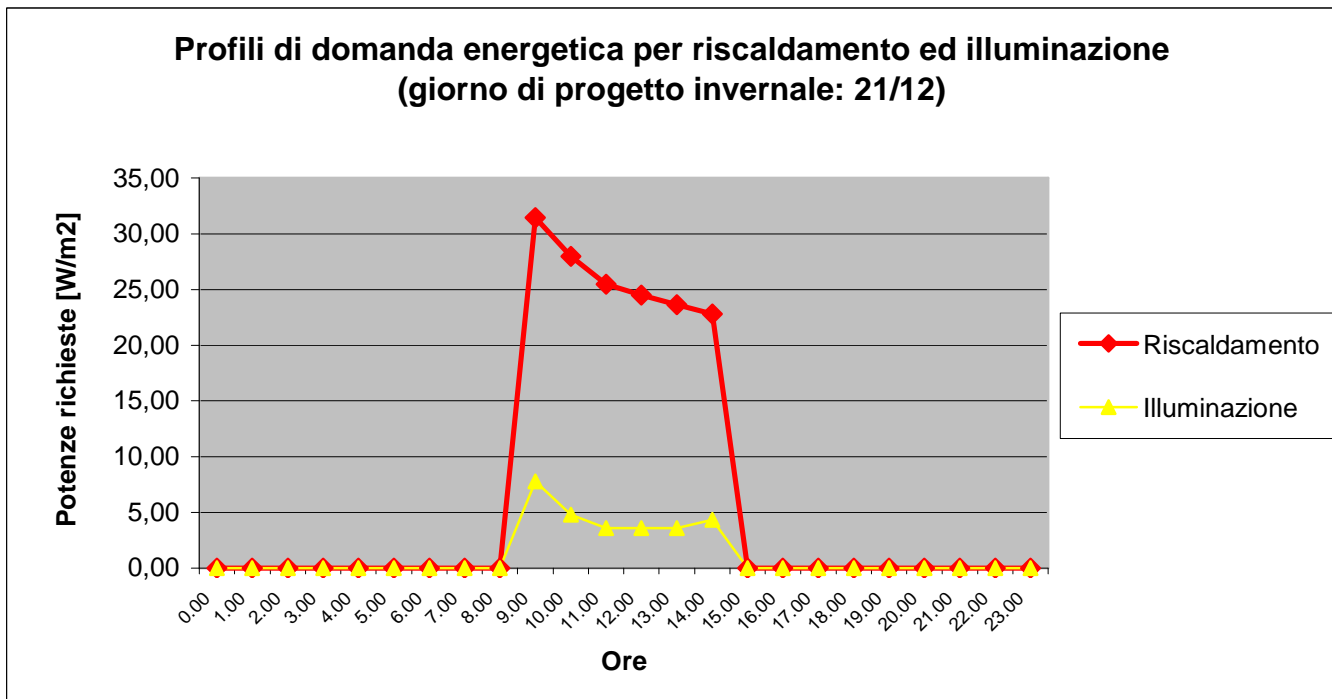
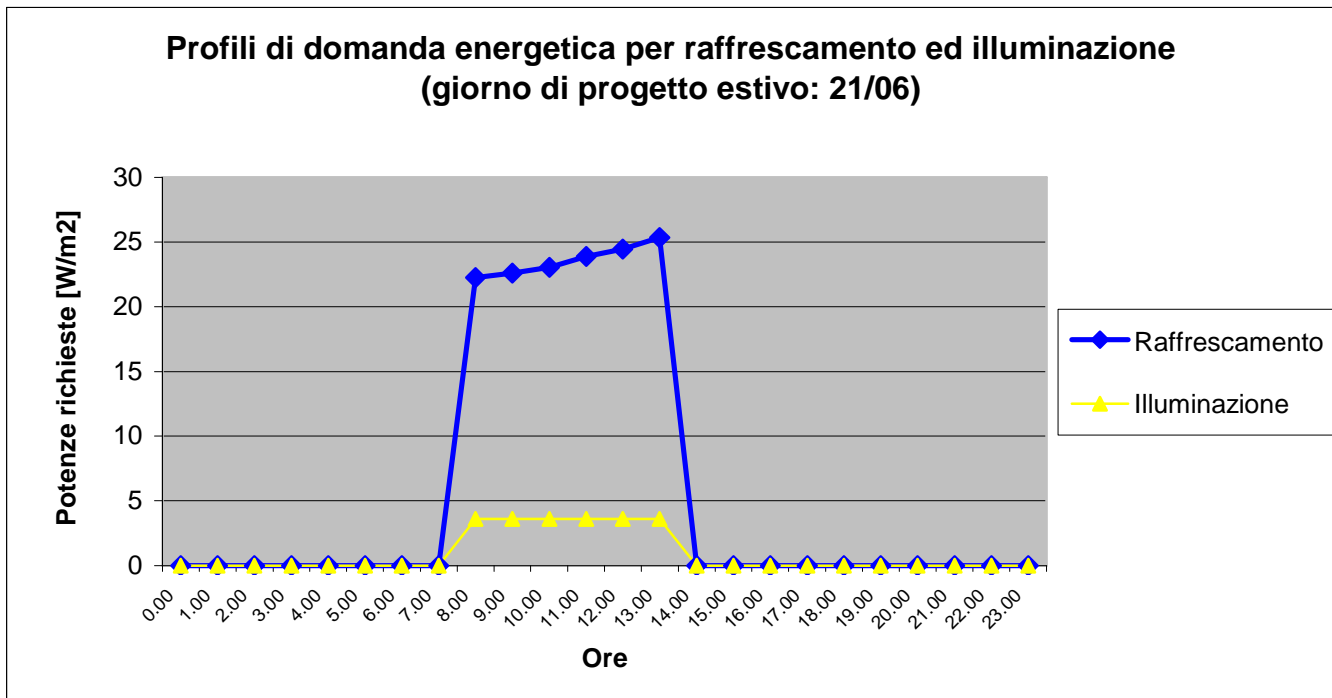
Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

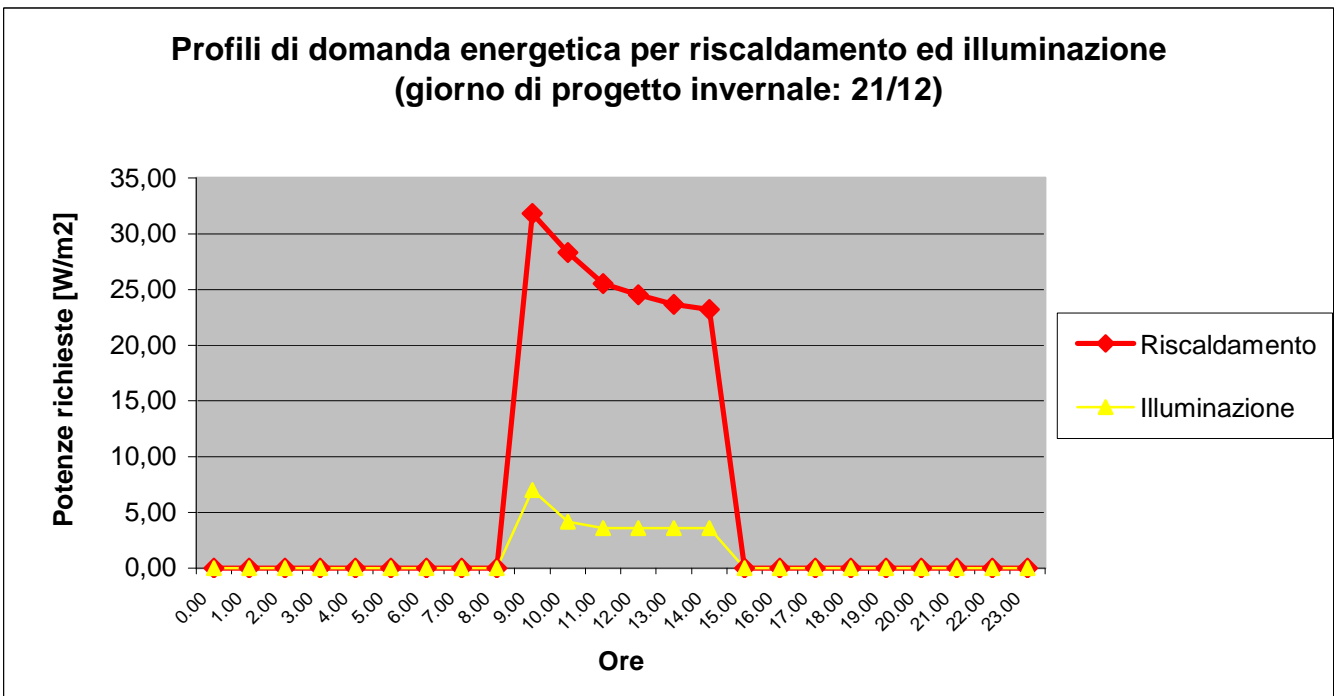
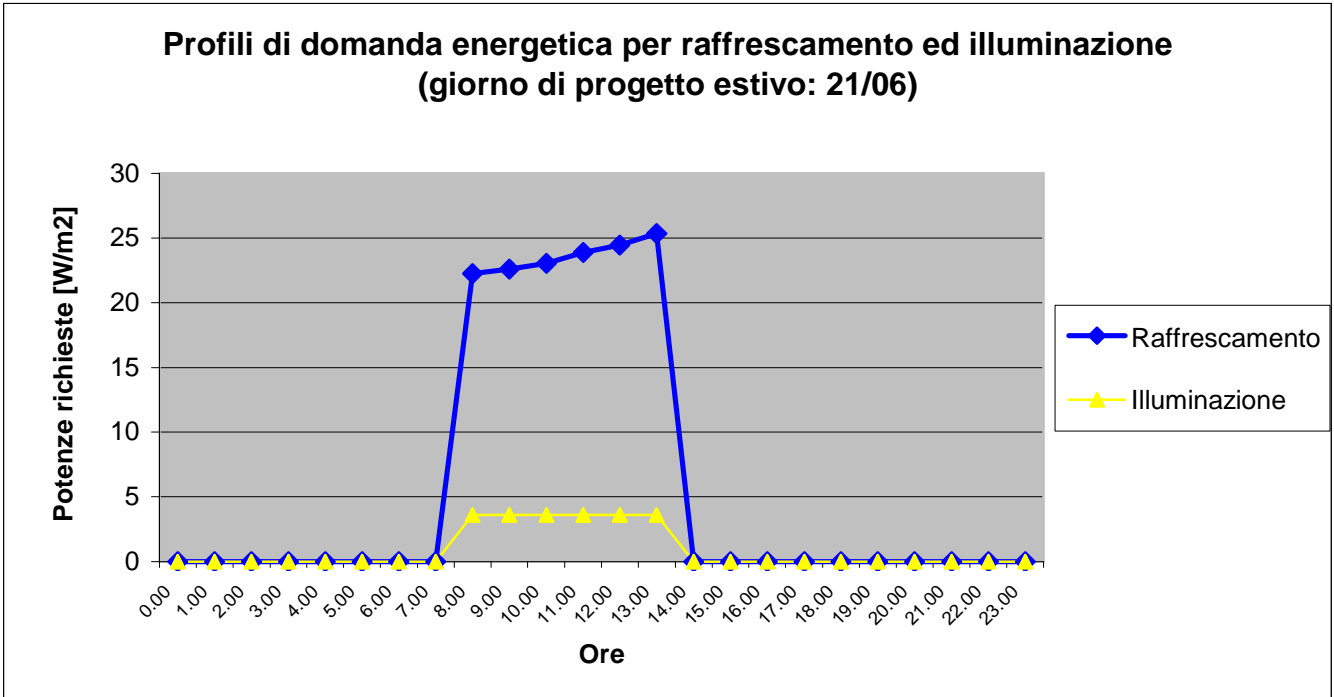
Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, contesto a alta densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana

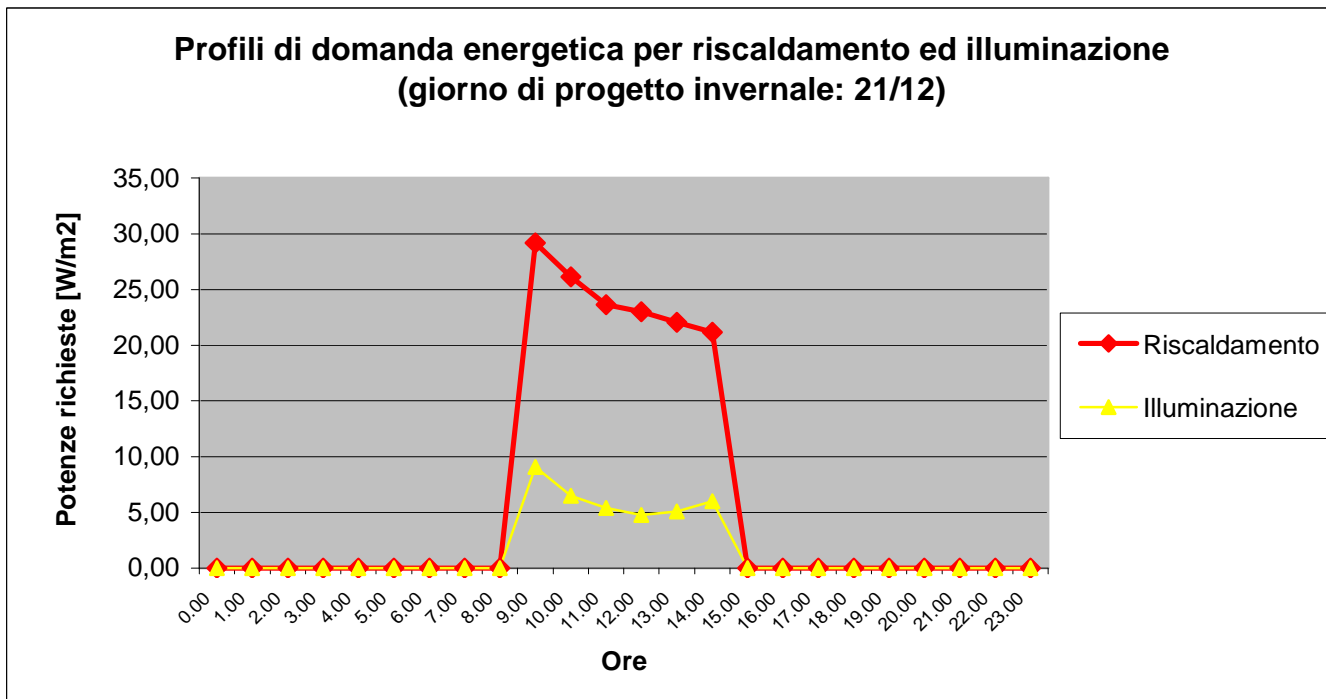
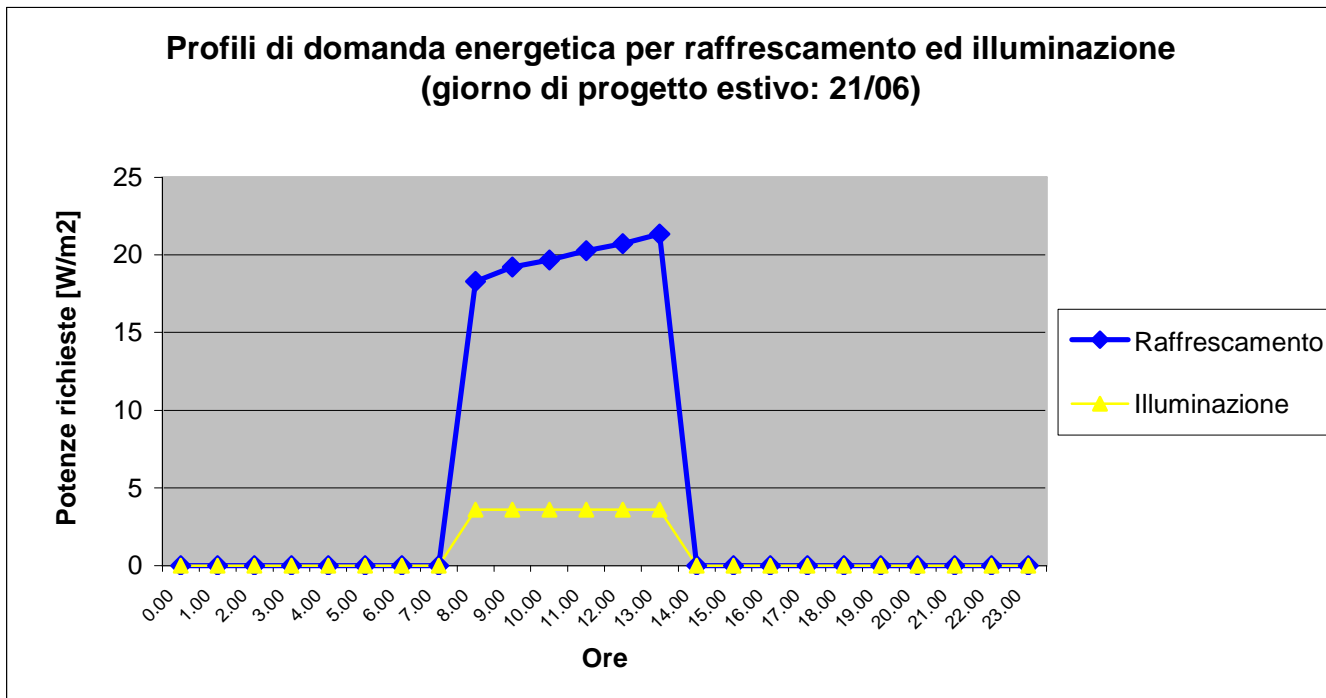




Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

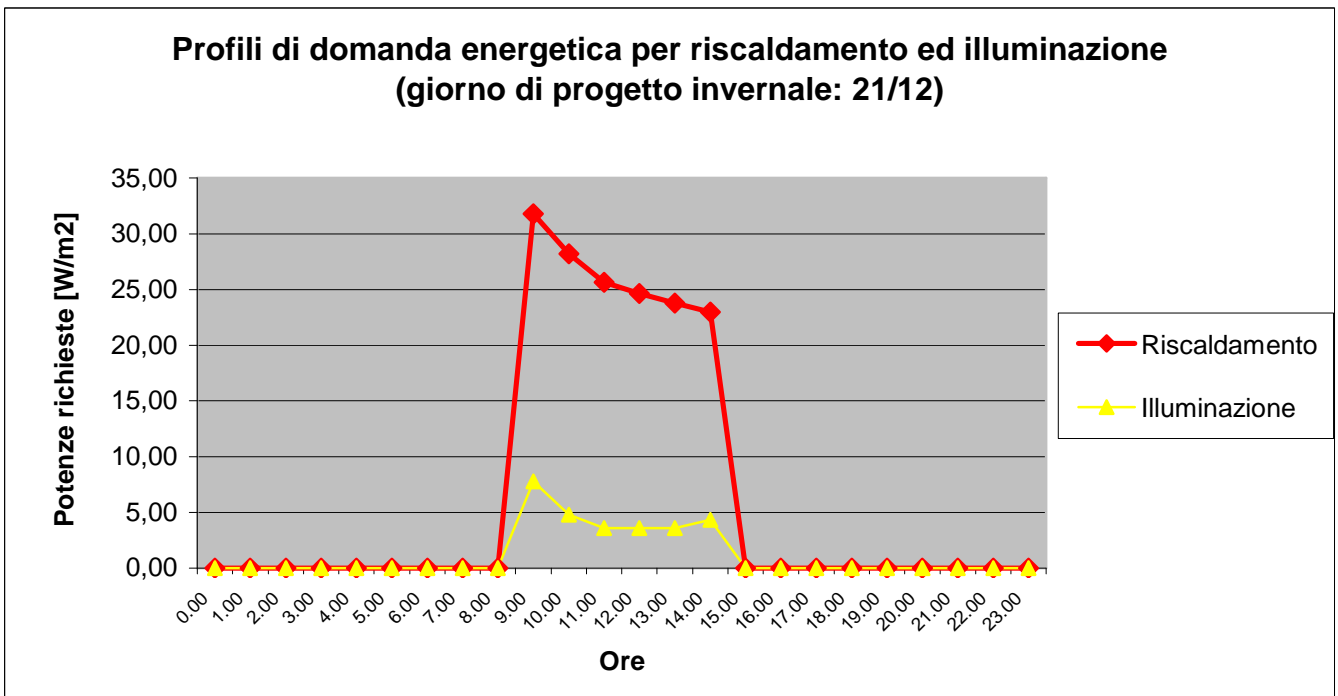
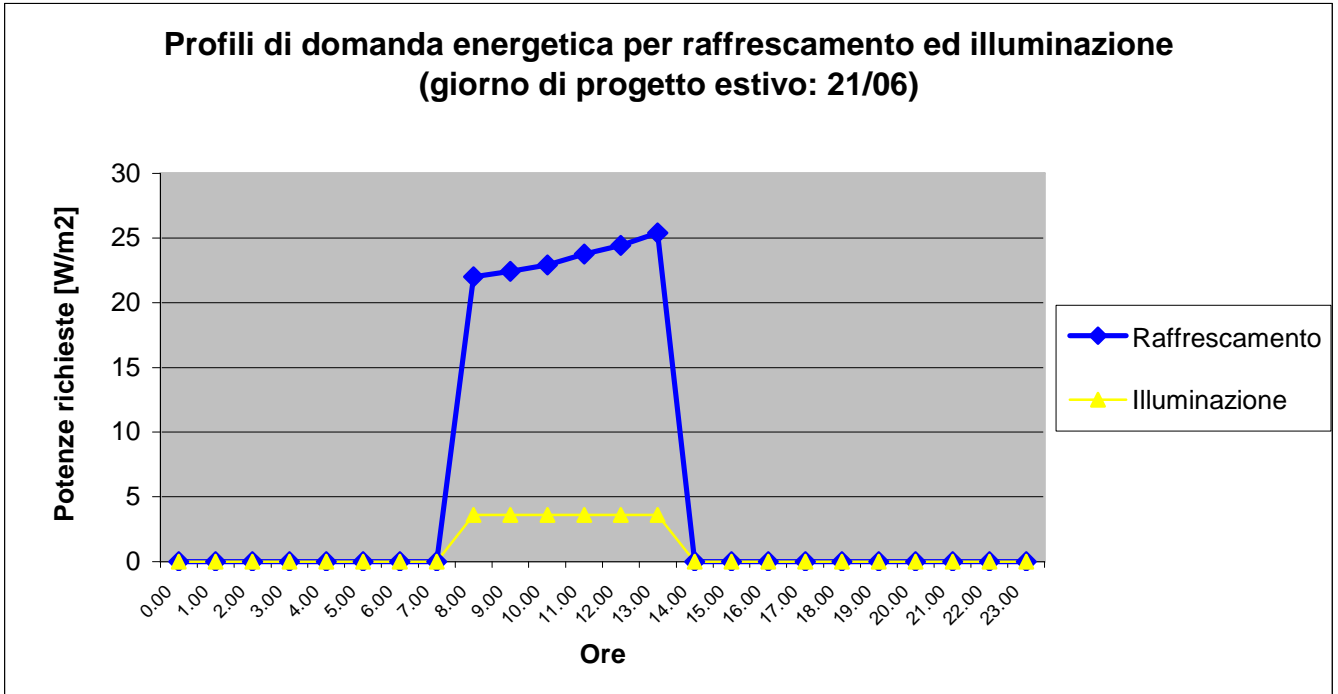
Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

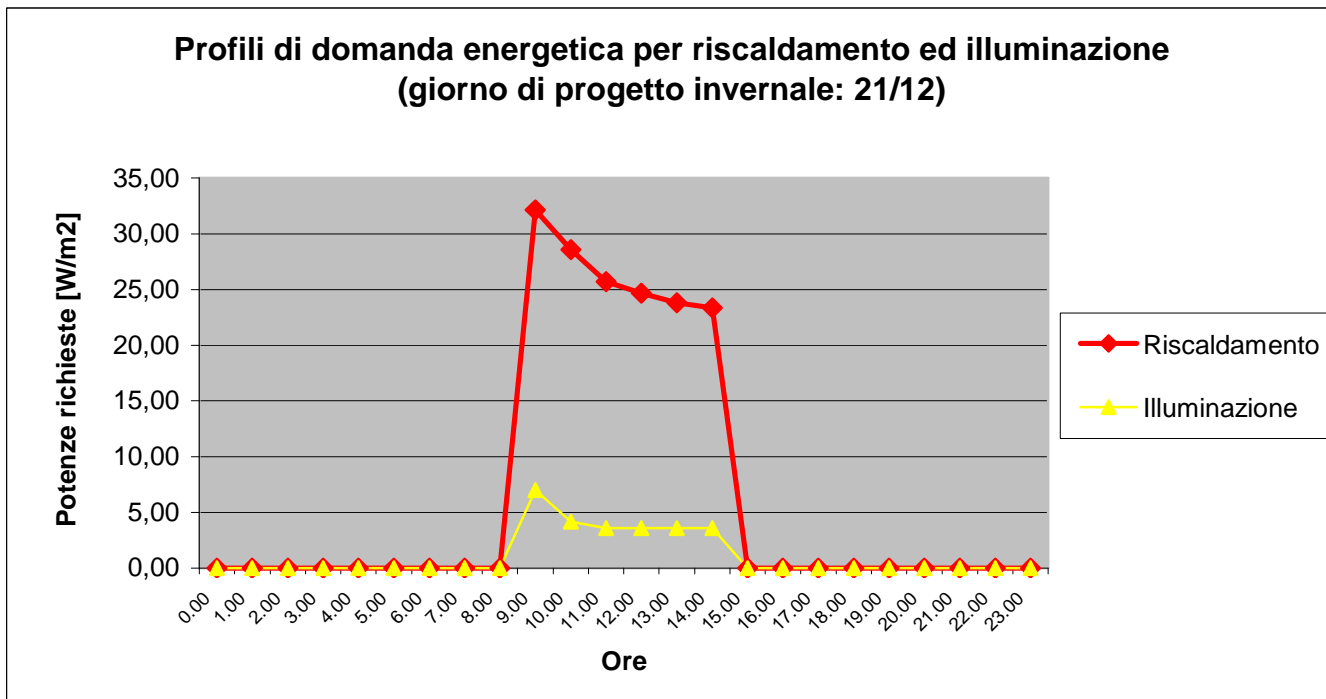
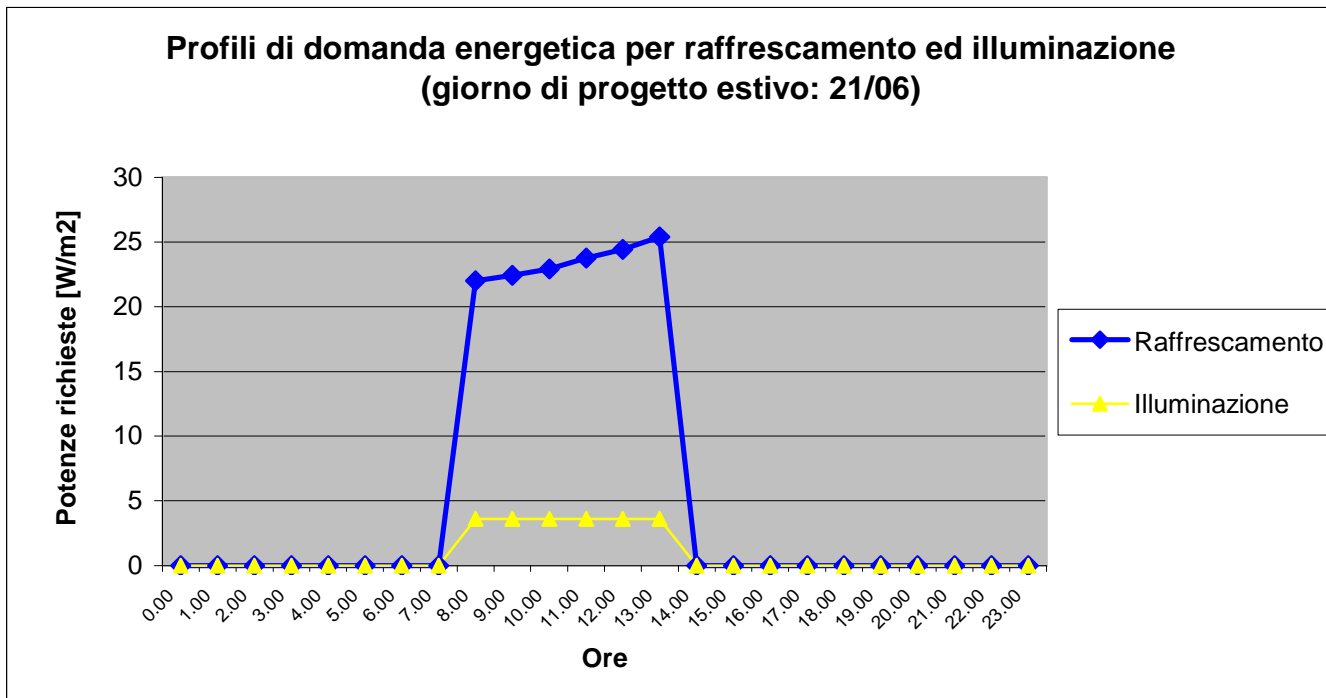
Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a alta densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

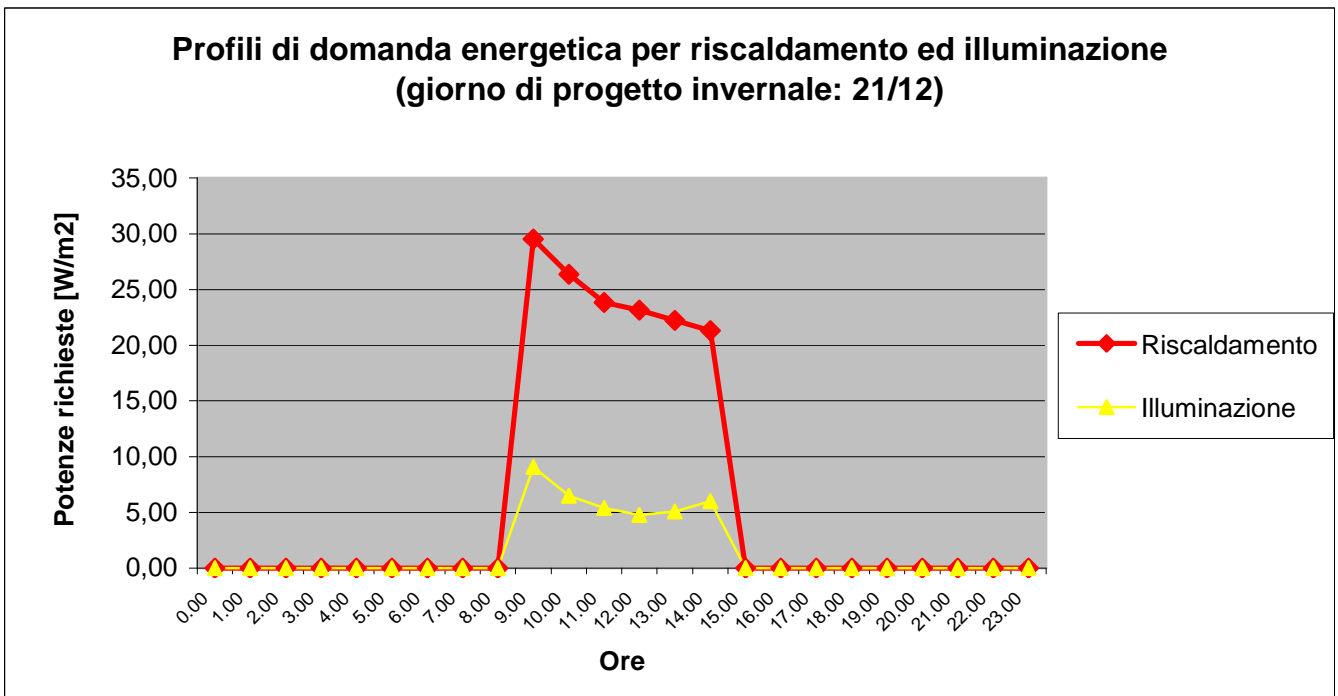
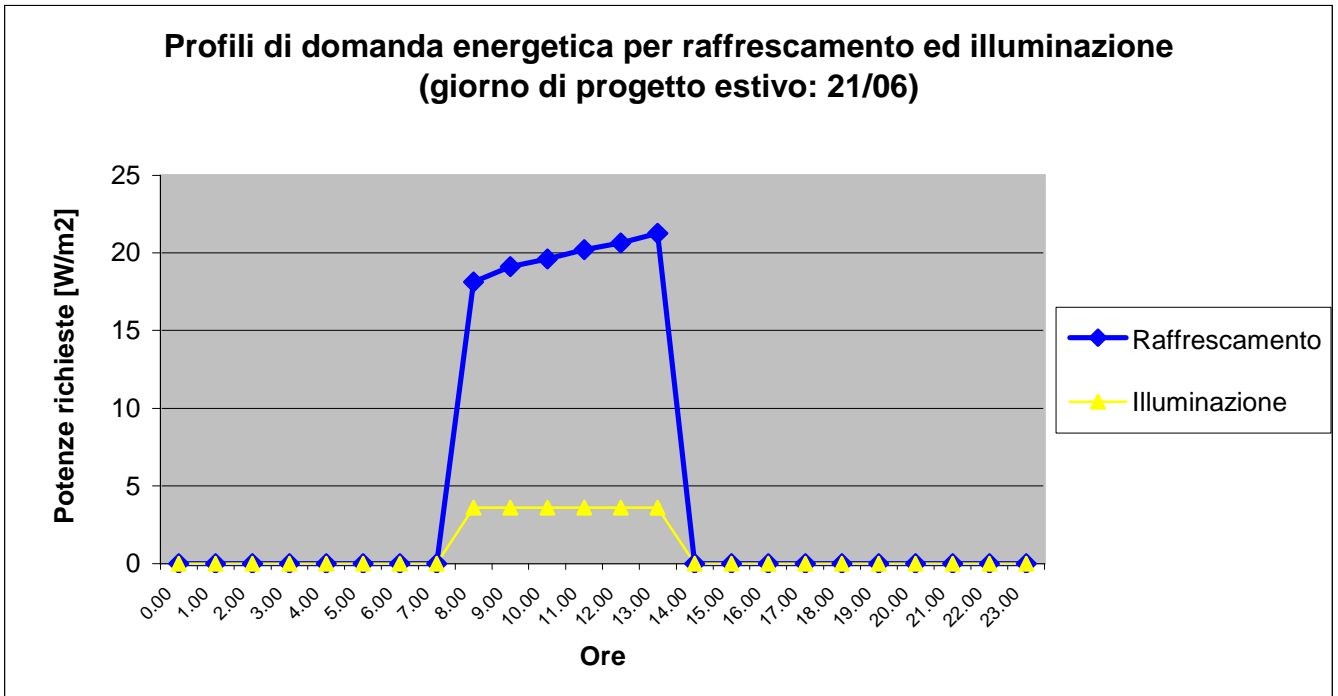
Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a bassa densità urbana

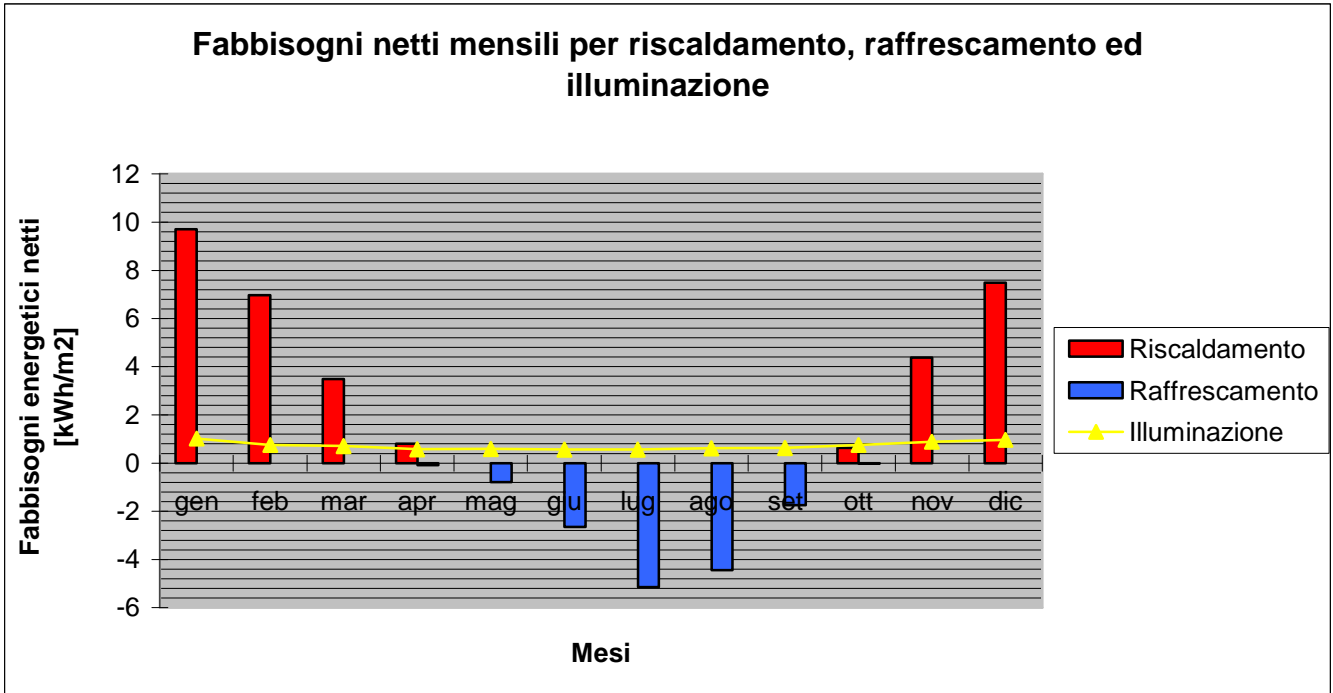


Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

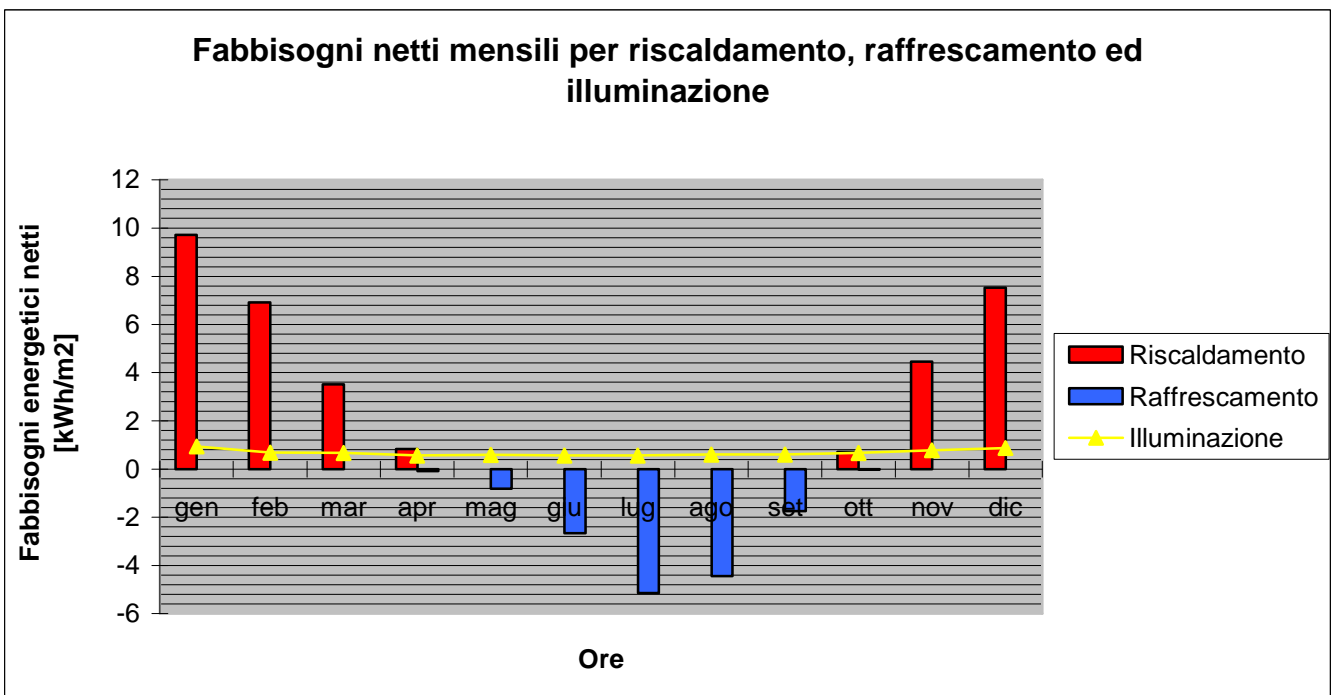
RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

## FABBISOGNO TERMICO ED ELETTRICO PER IL SODDISFACIMENTO DELLA DOMANDA ENERGETICA

Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto ad alta densità urbana



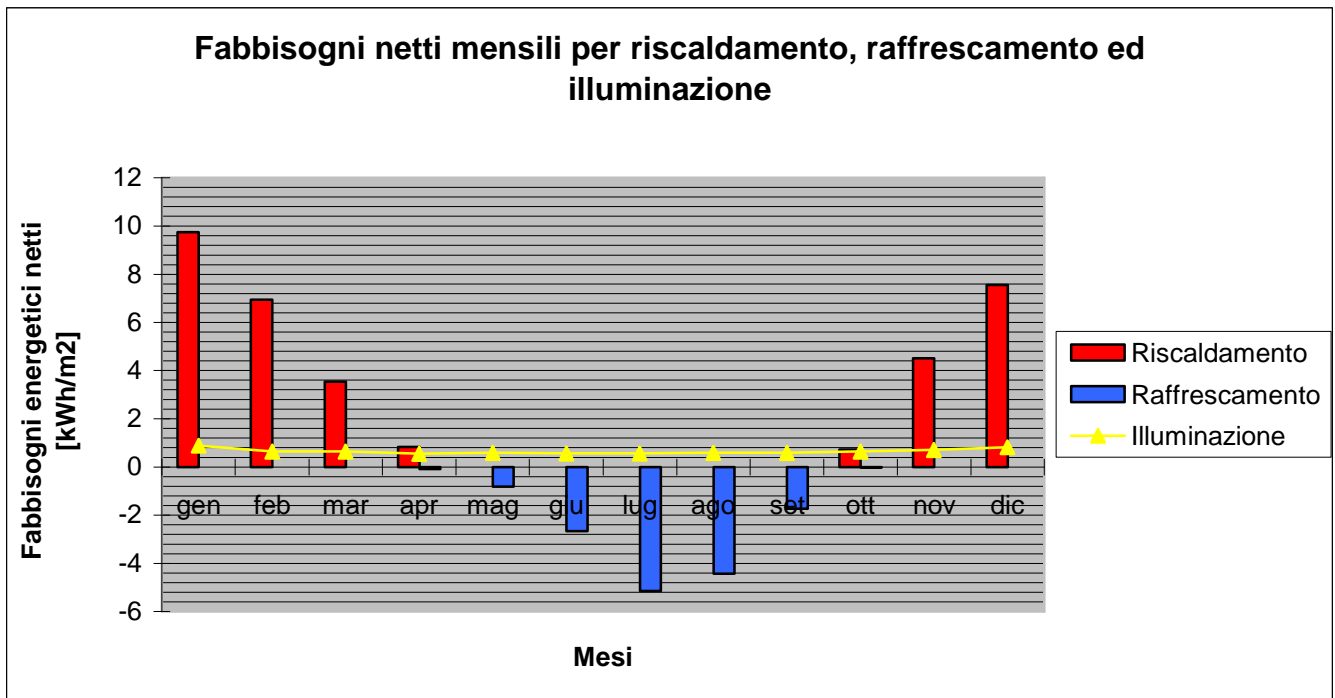
Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



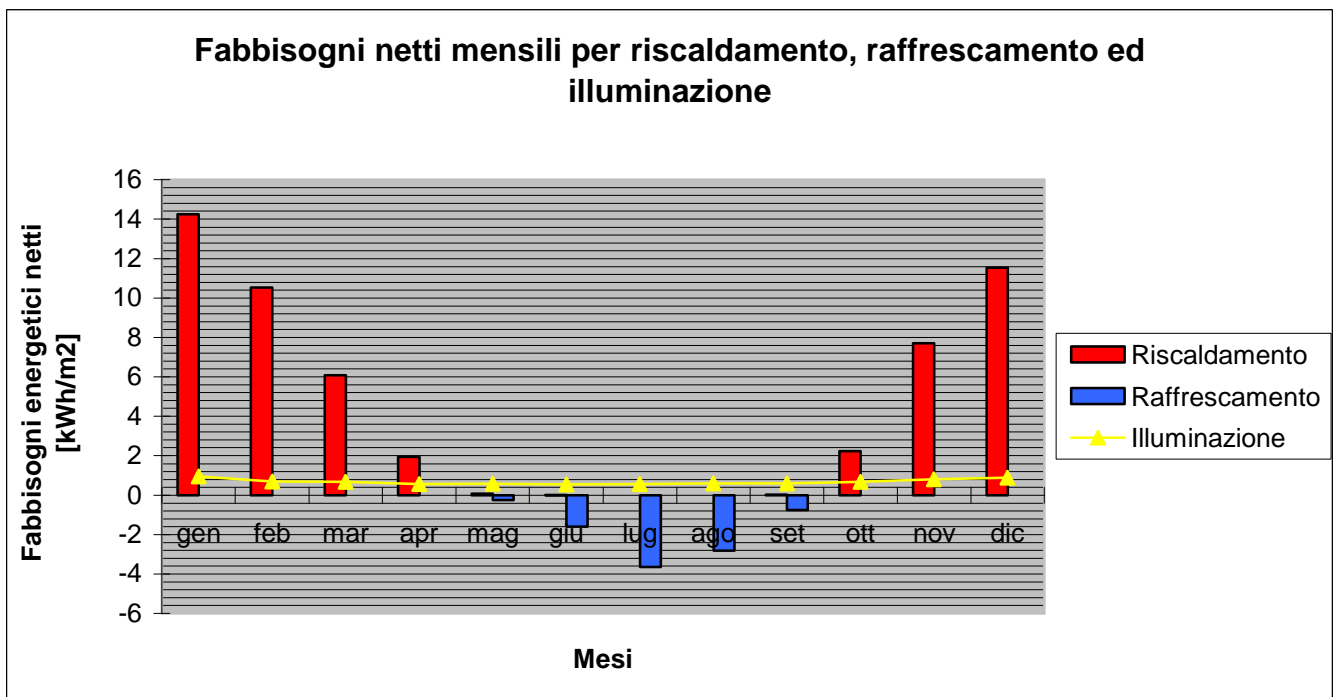
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana



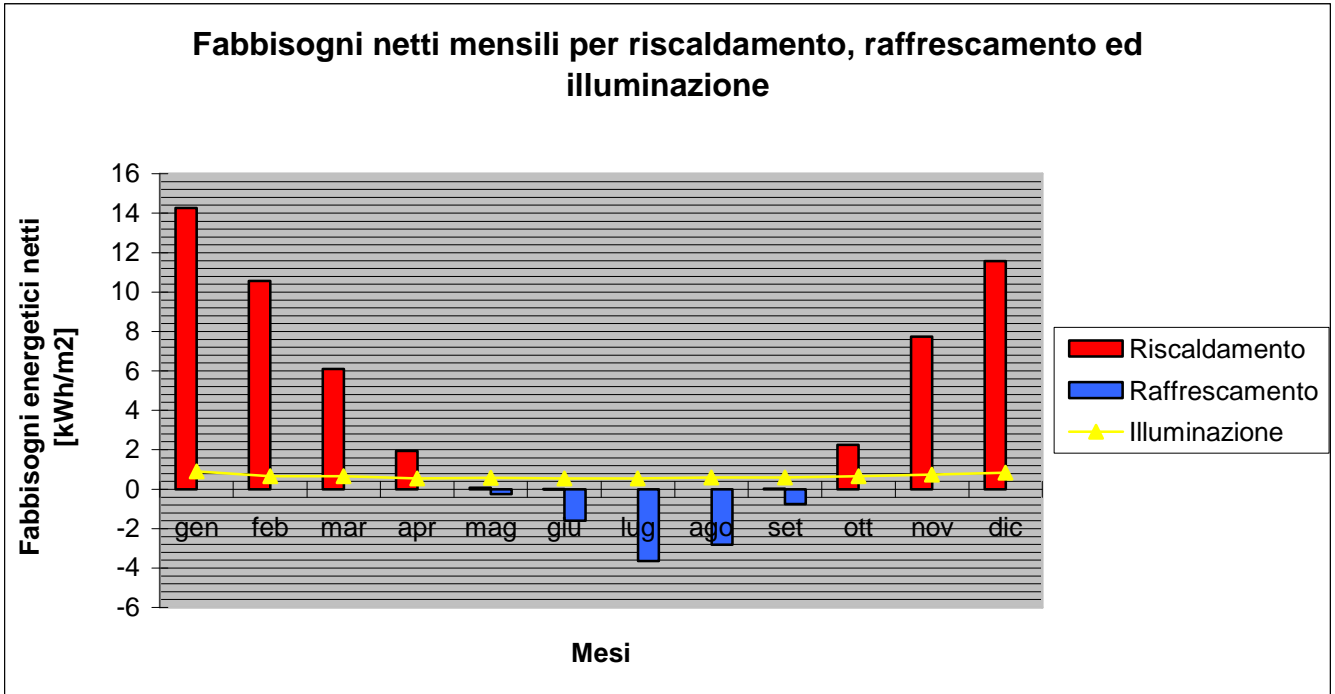
Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto ad alta densità urbana



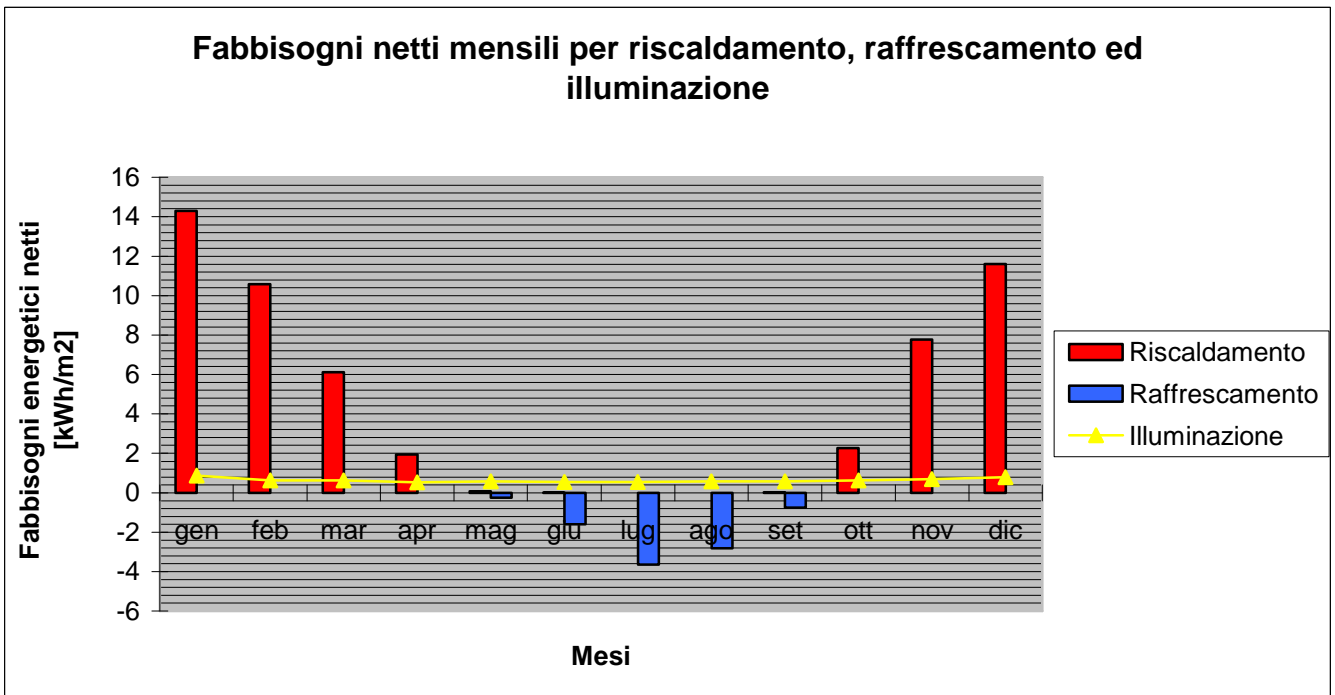
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana



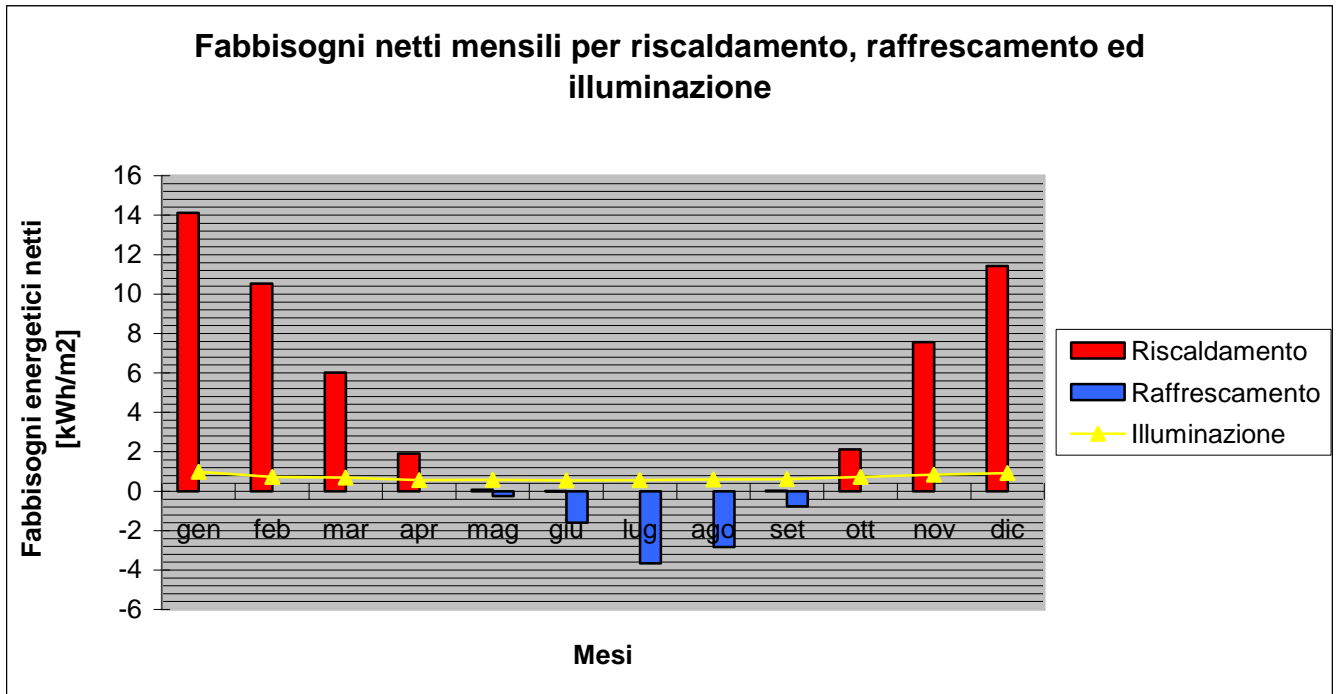
Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana



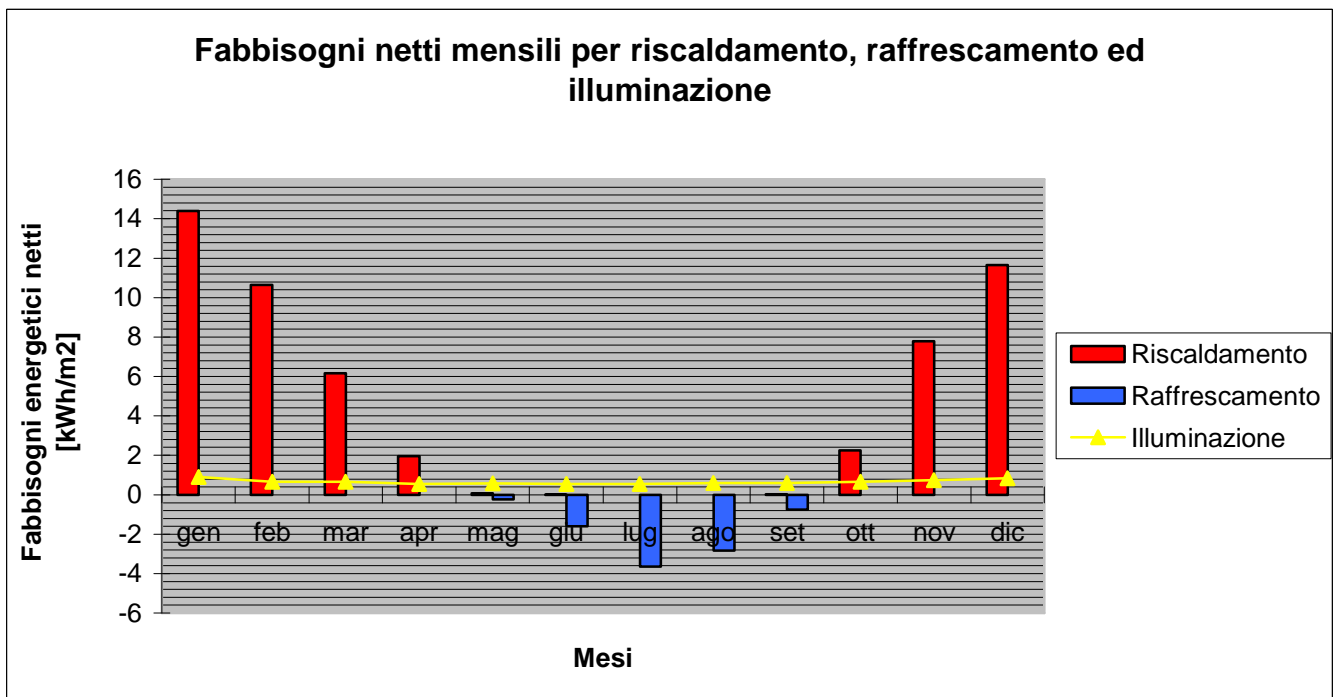
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio storico, contesto ad alta densità urbana



Collocazione Milano, edificio storico, contesto a media densità urbana

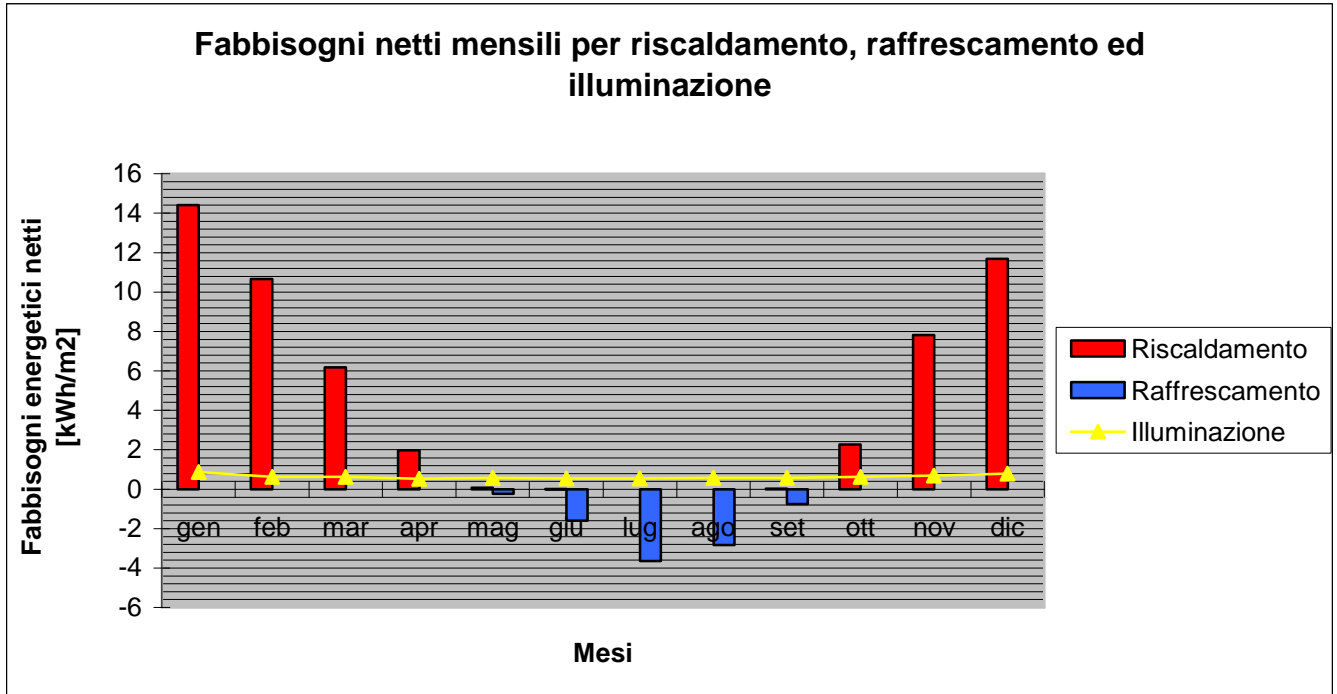




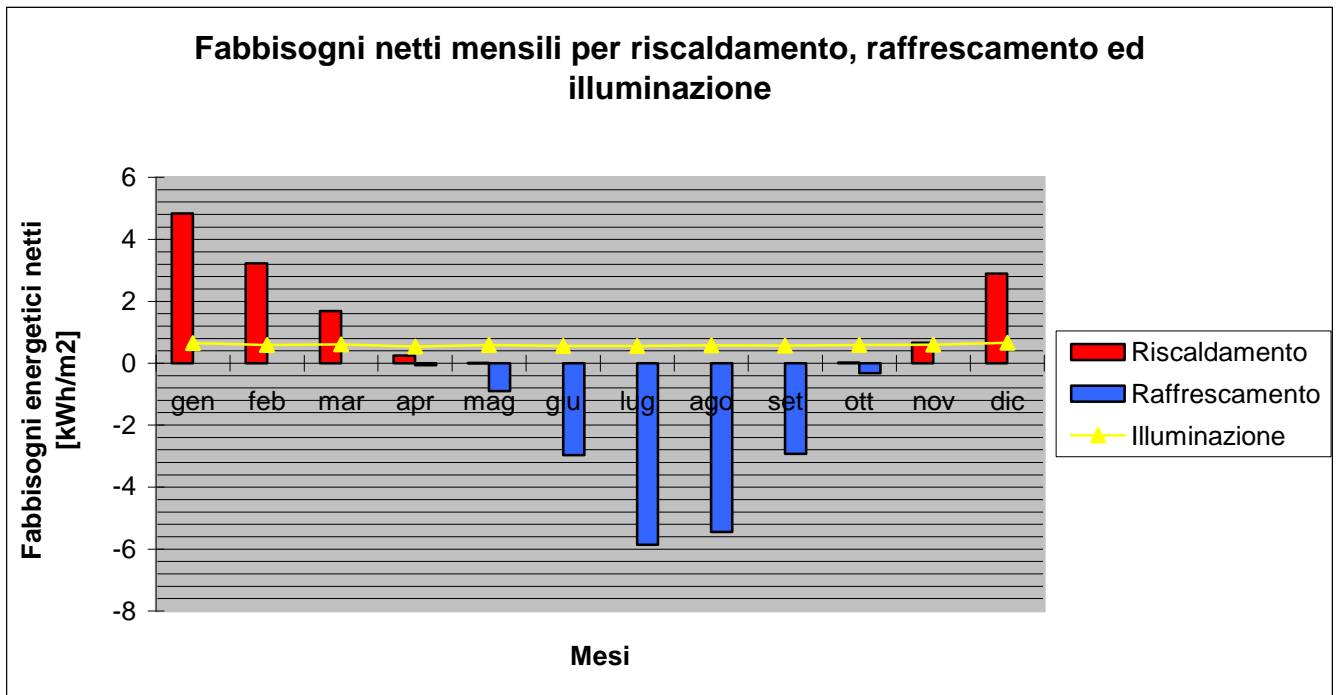
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio storico, contesto a bassa densità urbana



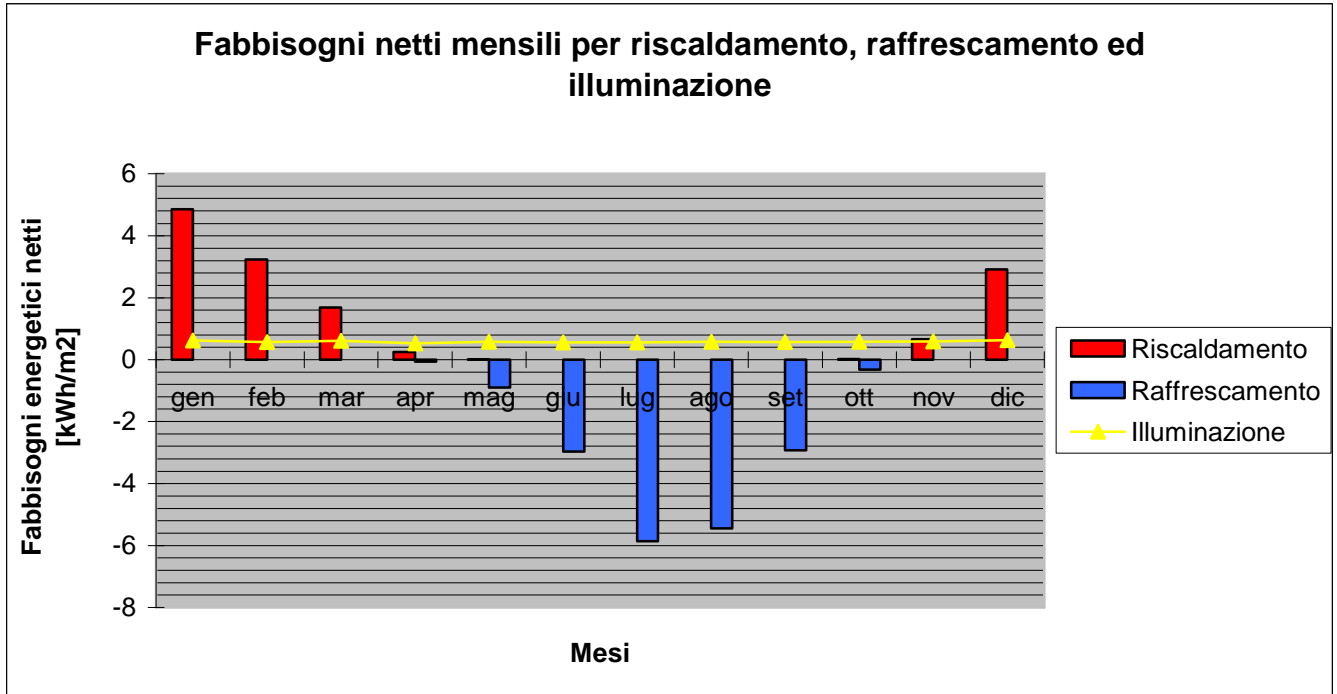
Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a alta densità urbana



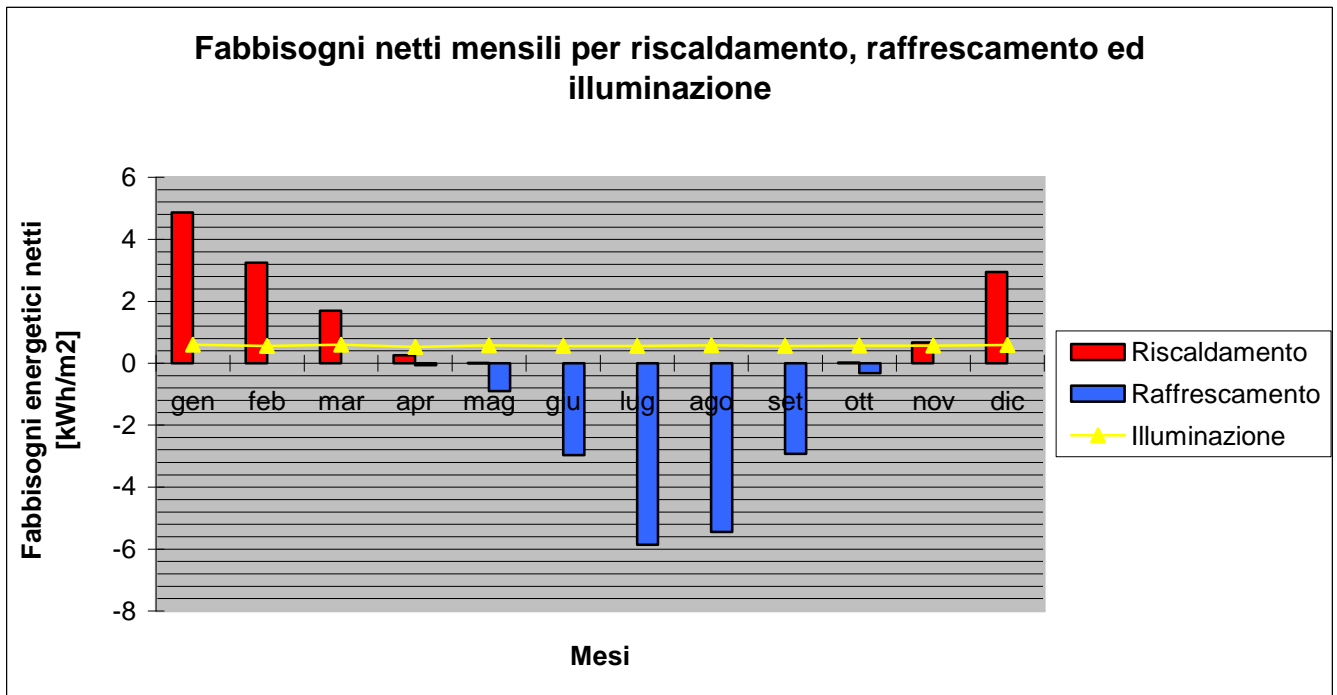
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



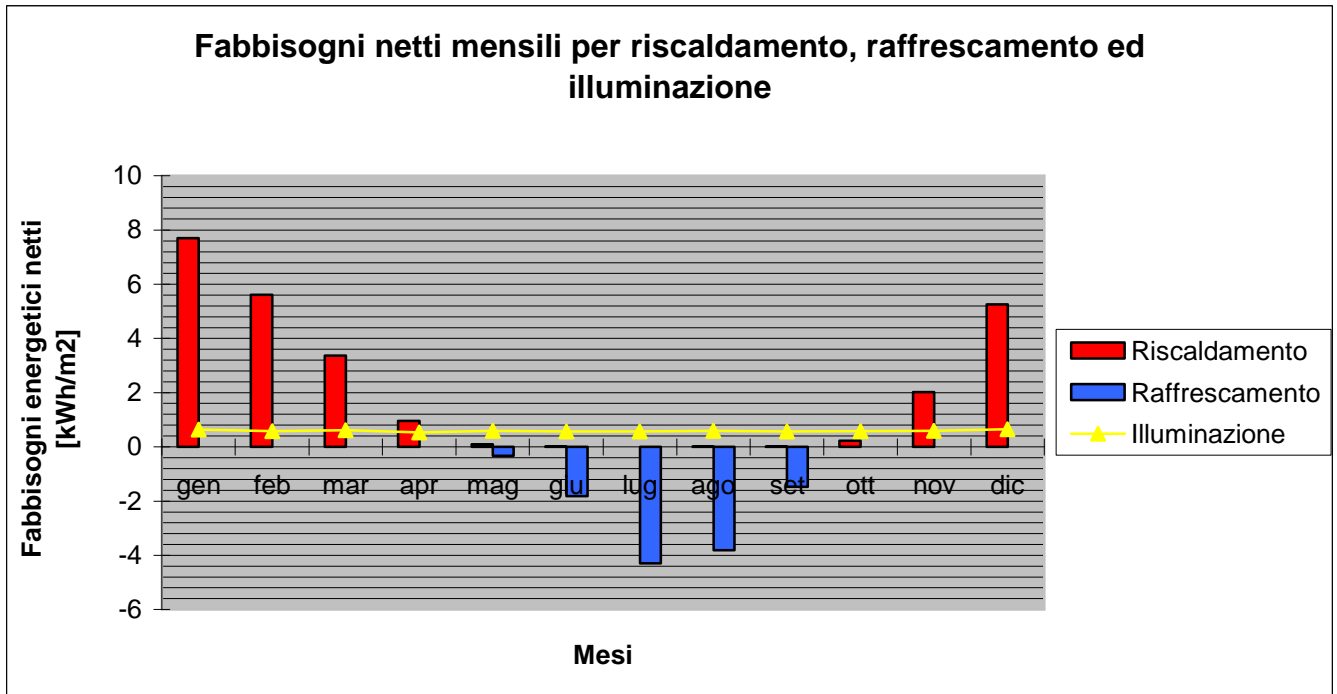
Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana



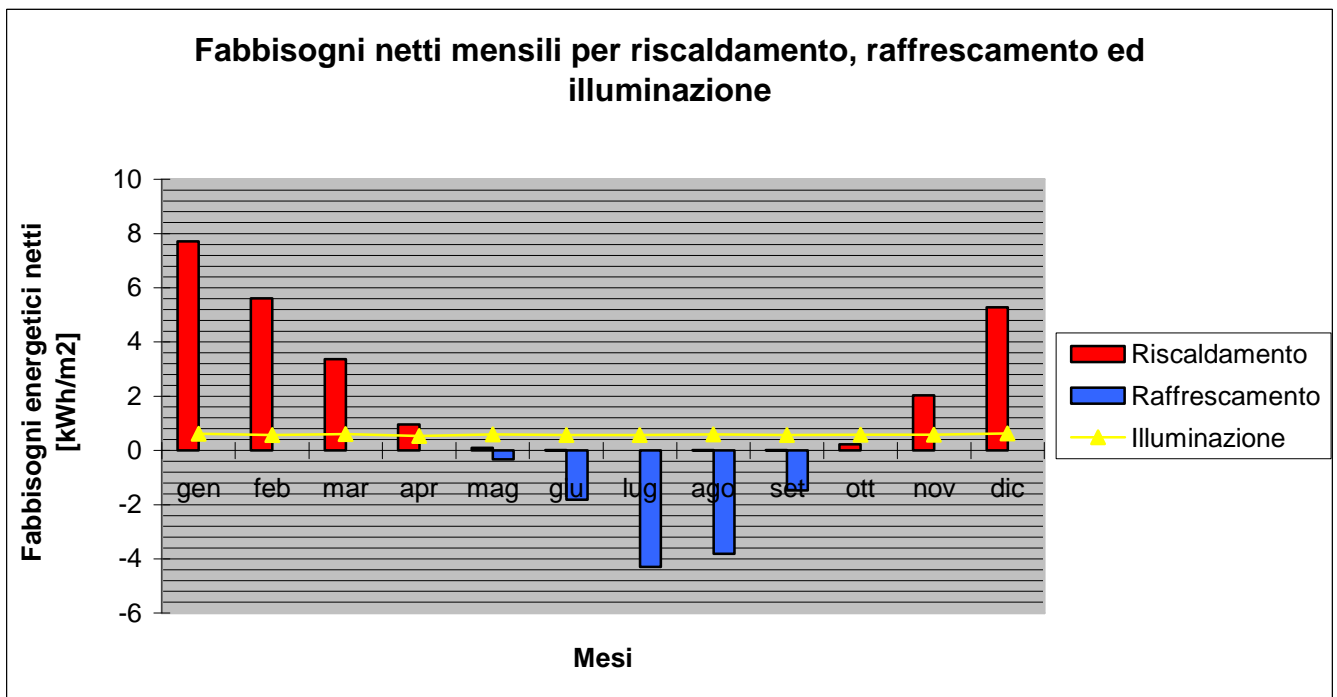
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto ad alta densità urbana



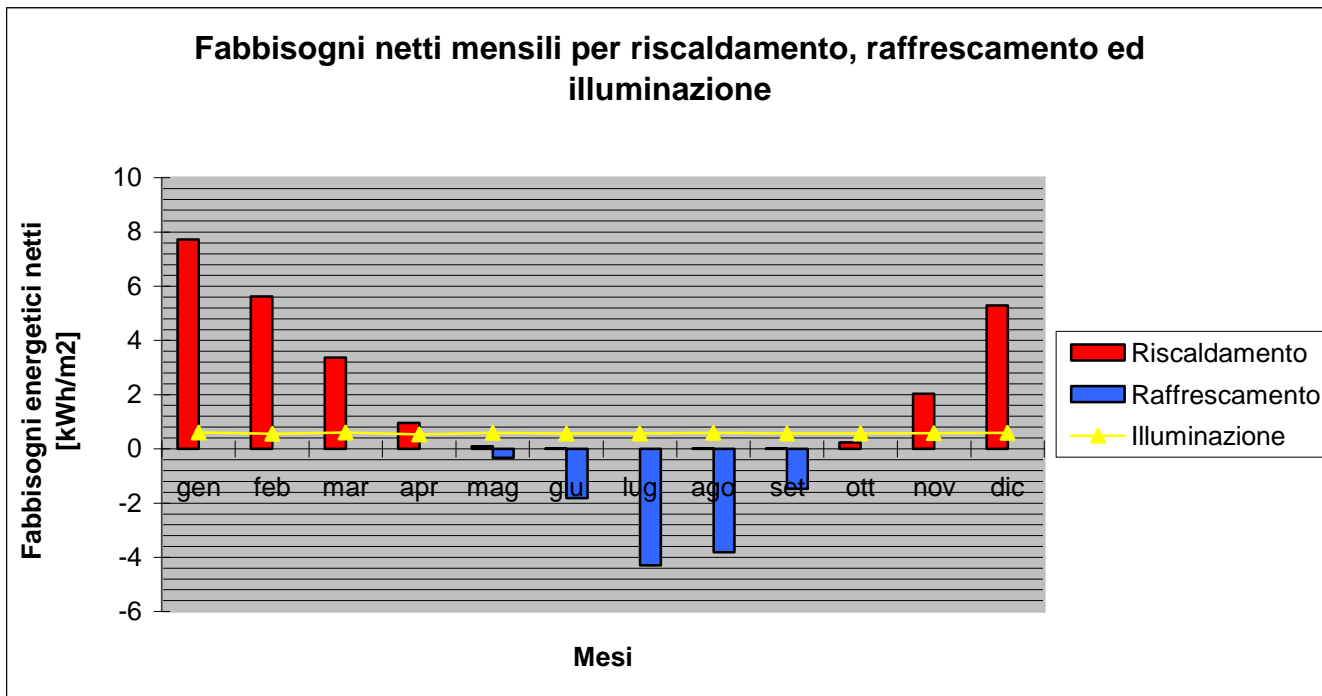
Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana



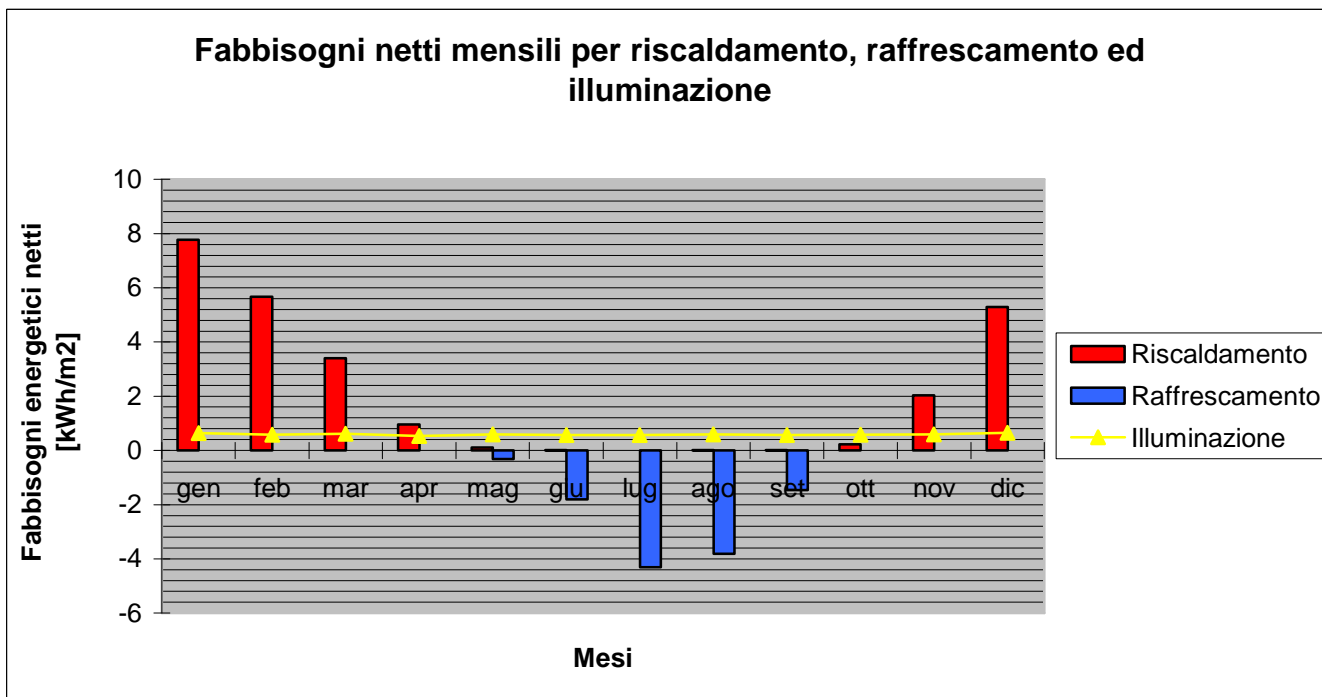
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana



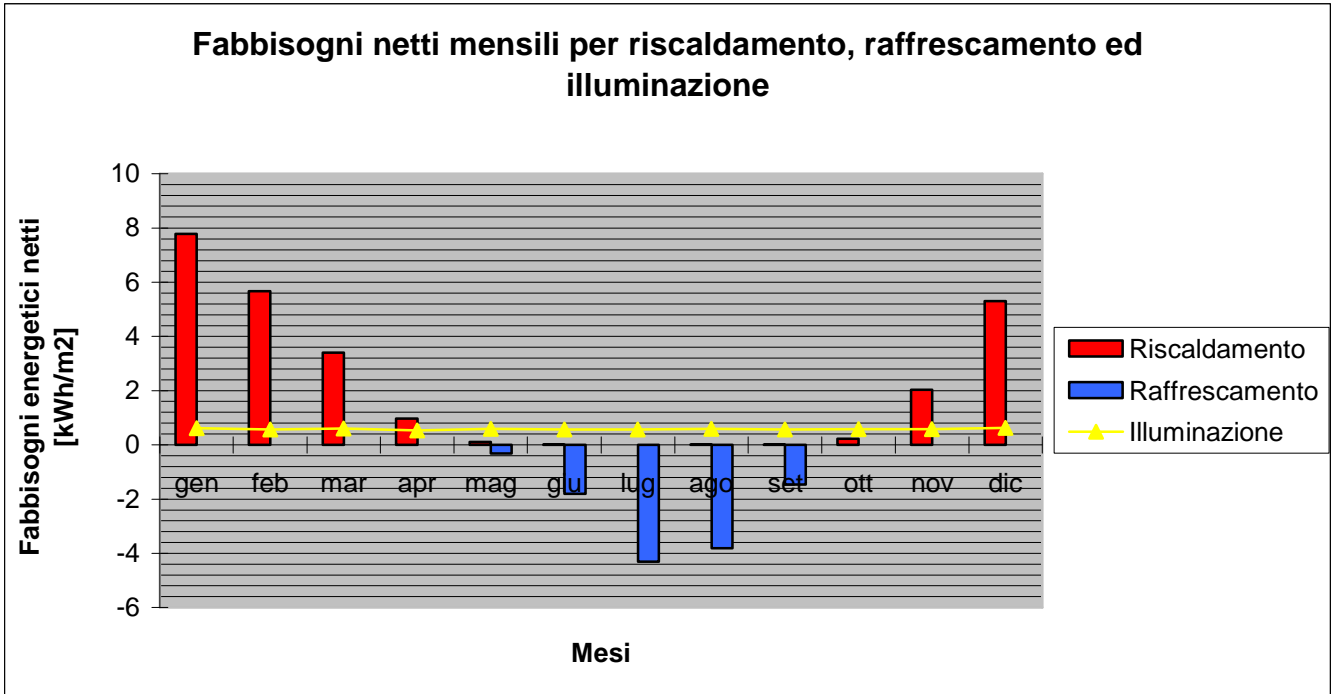
Collocazione Roma, edificio storico, contesto ad alta densità urbana



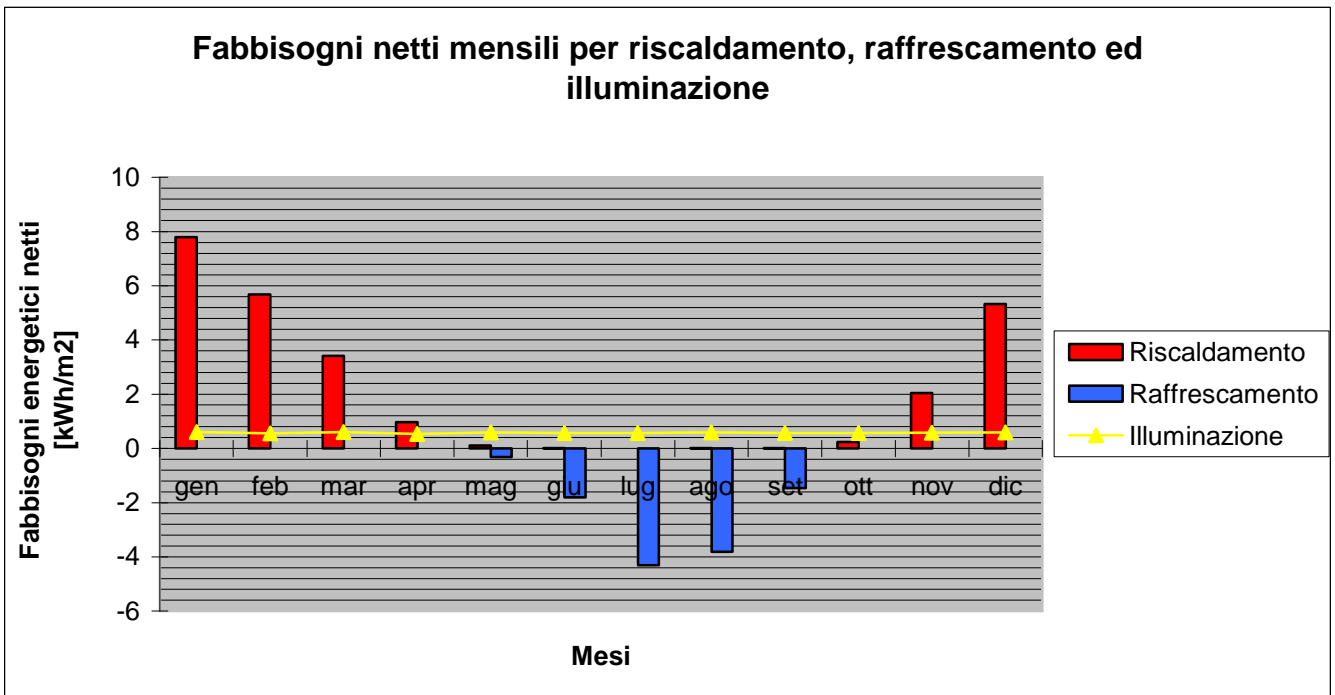
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio storico, contesto a media densità urbana



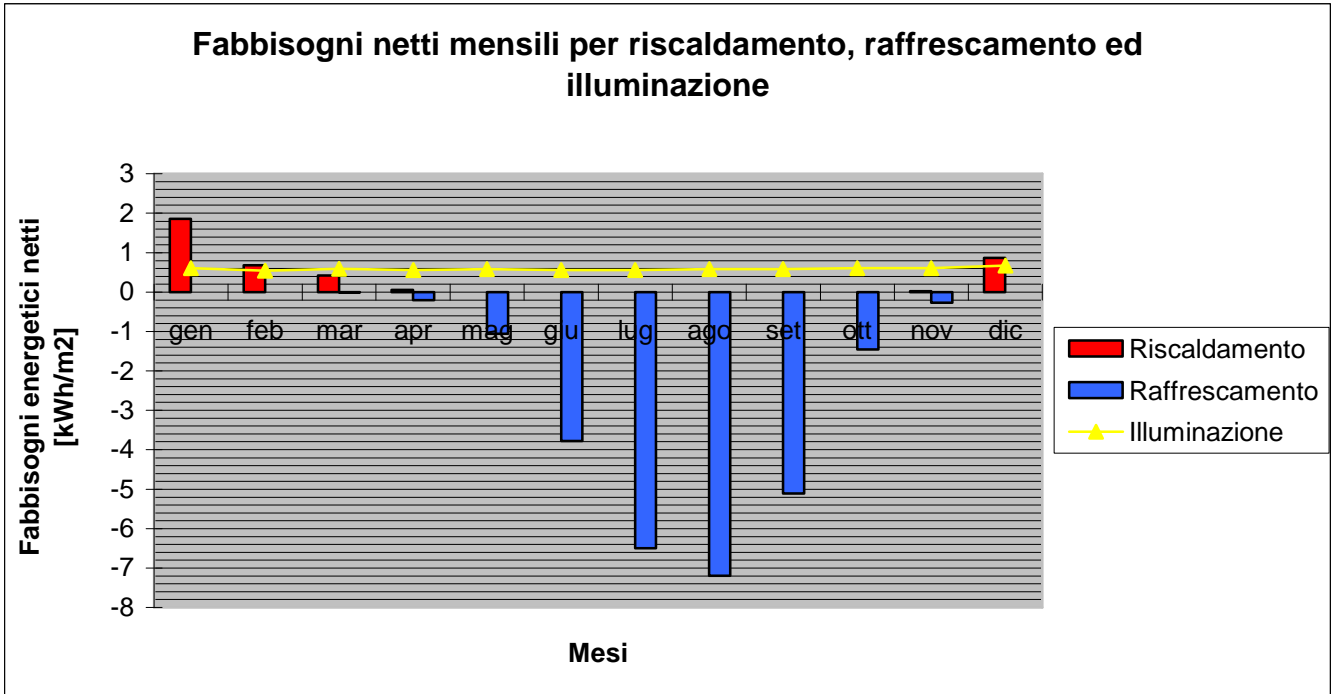
Collocazione Roma, edificio storico, contesto a bassa densità urbana



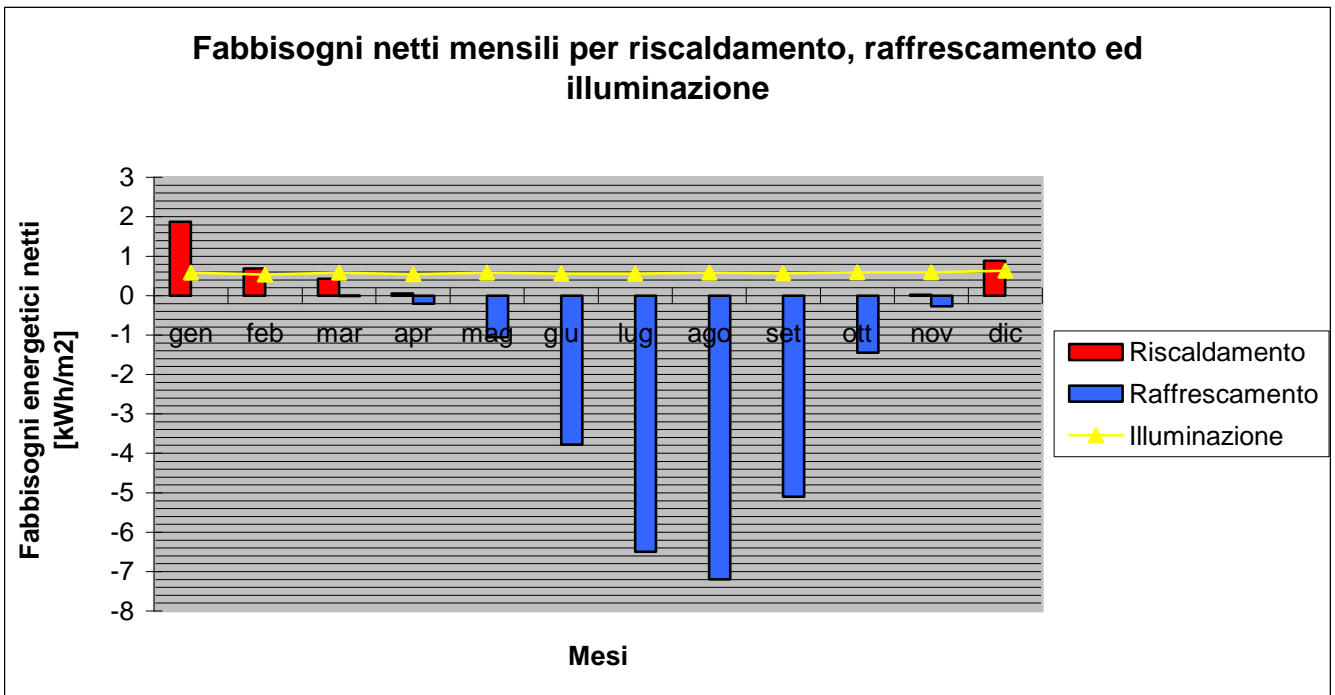
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a alta densità urbana



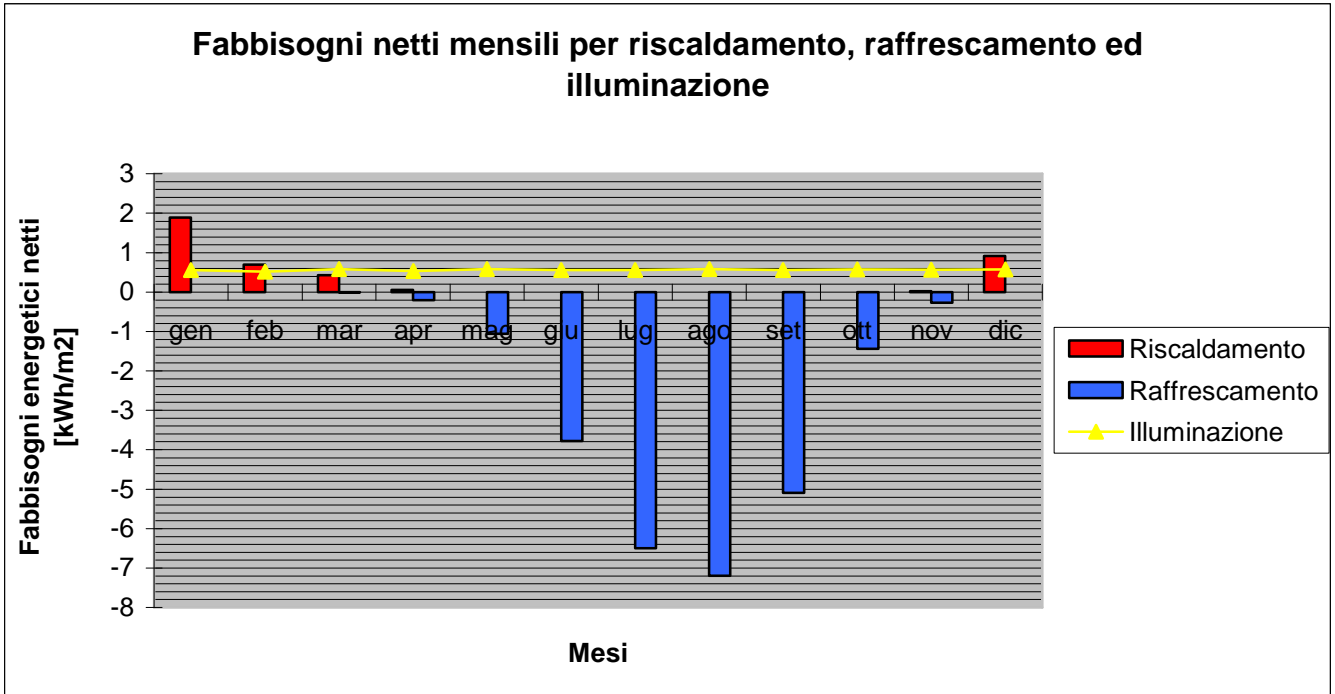
Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



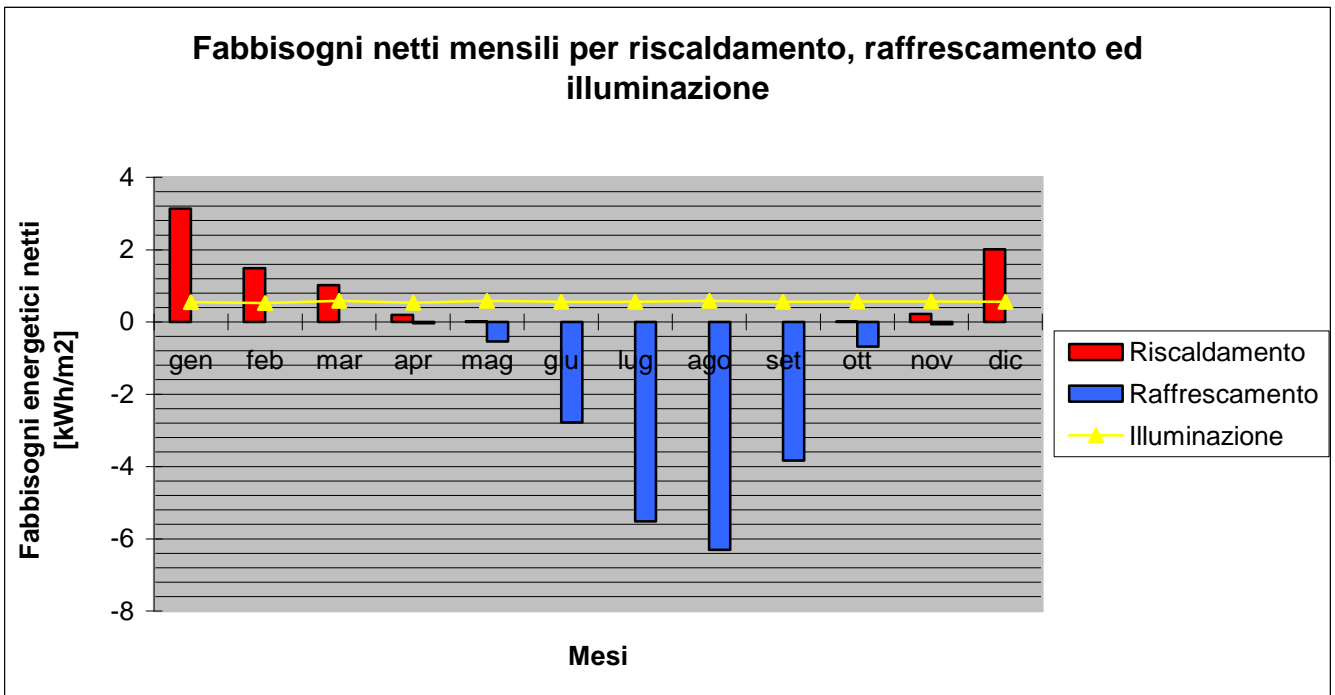
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana



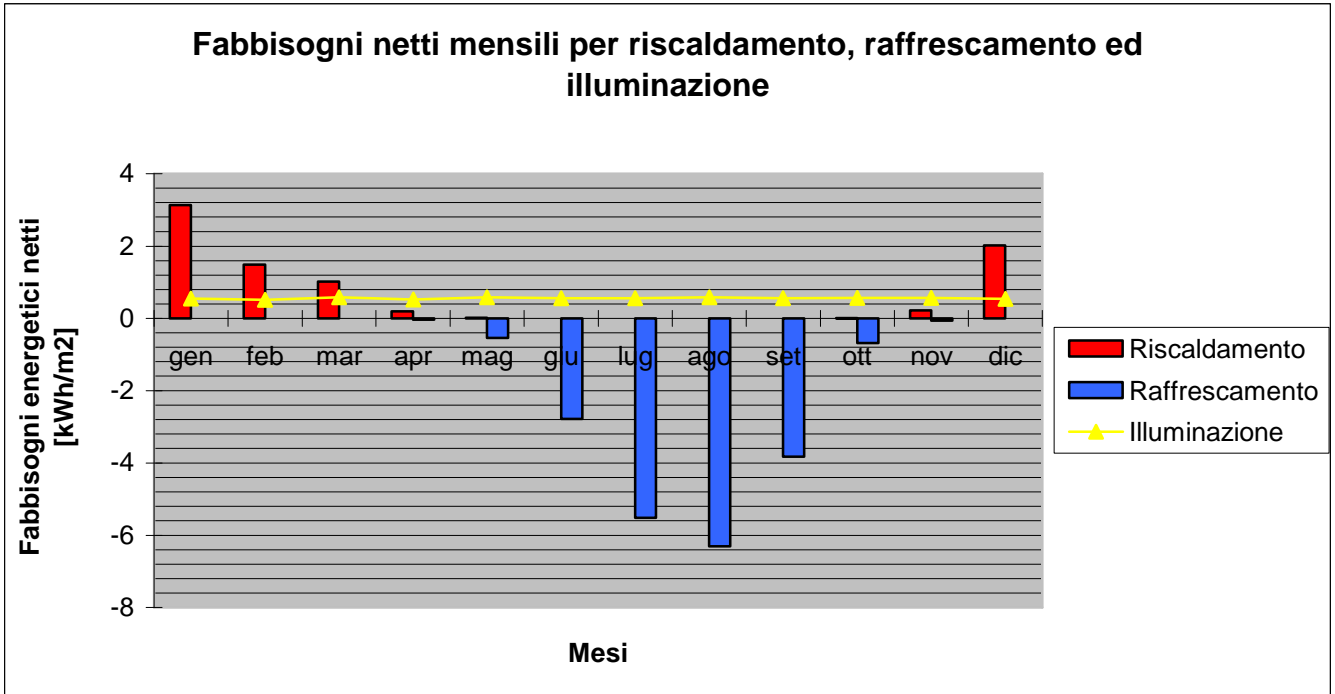
Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, contesto a alta densità urbana



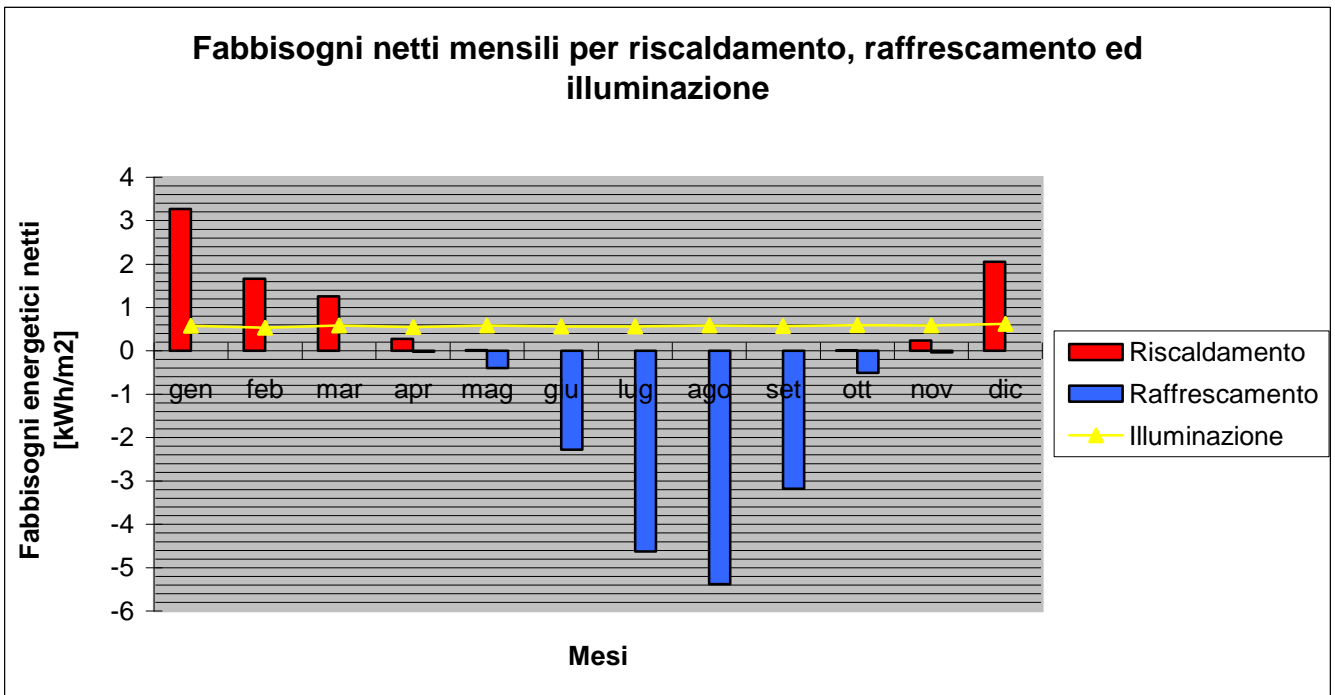
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana



Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana

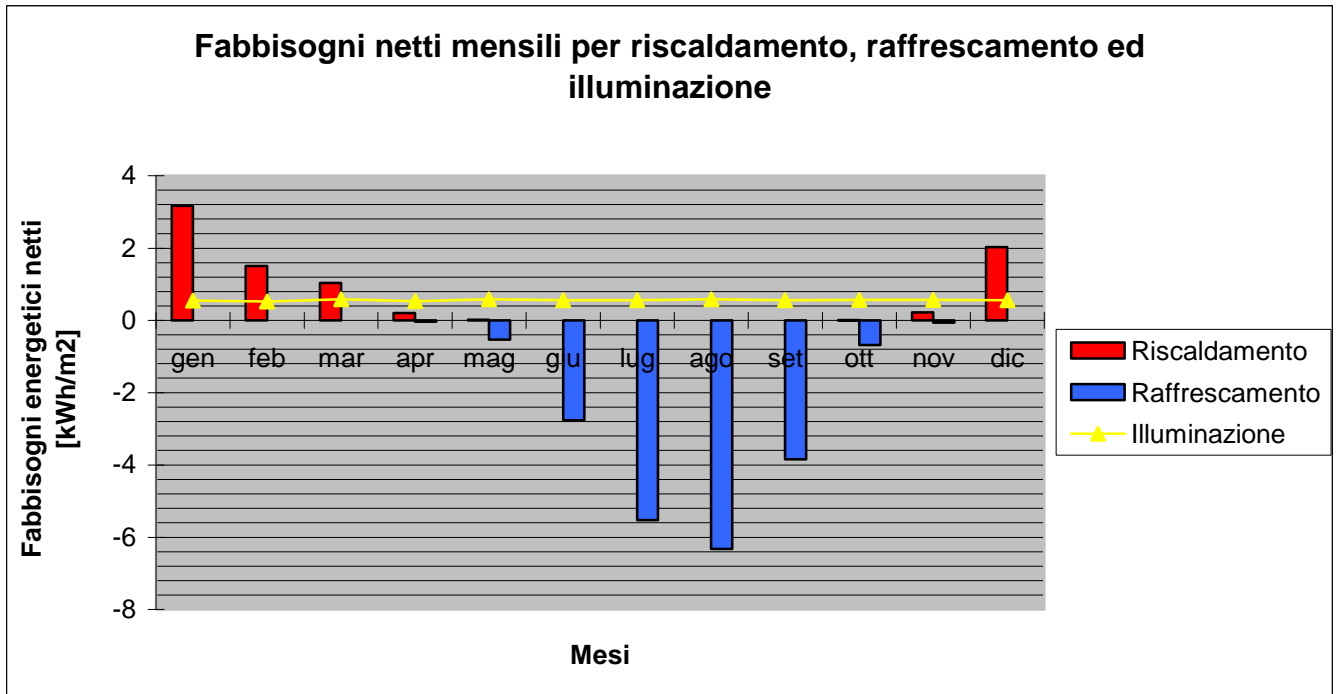




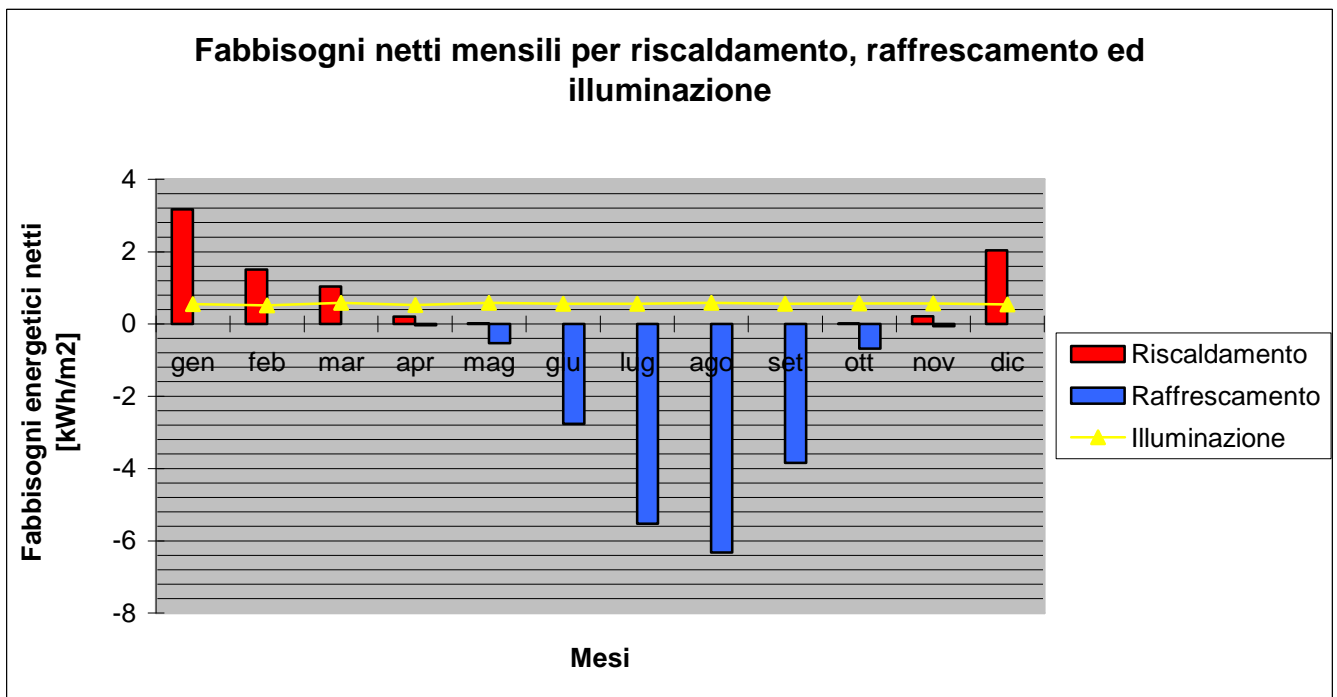
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a alta densità urbana



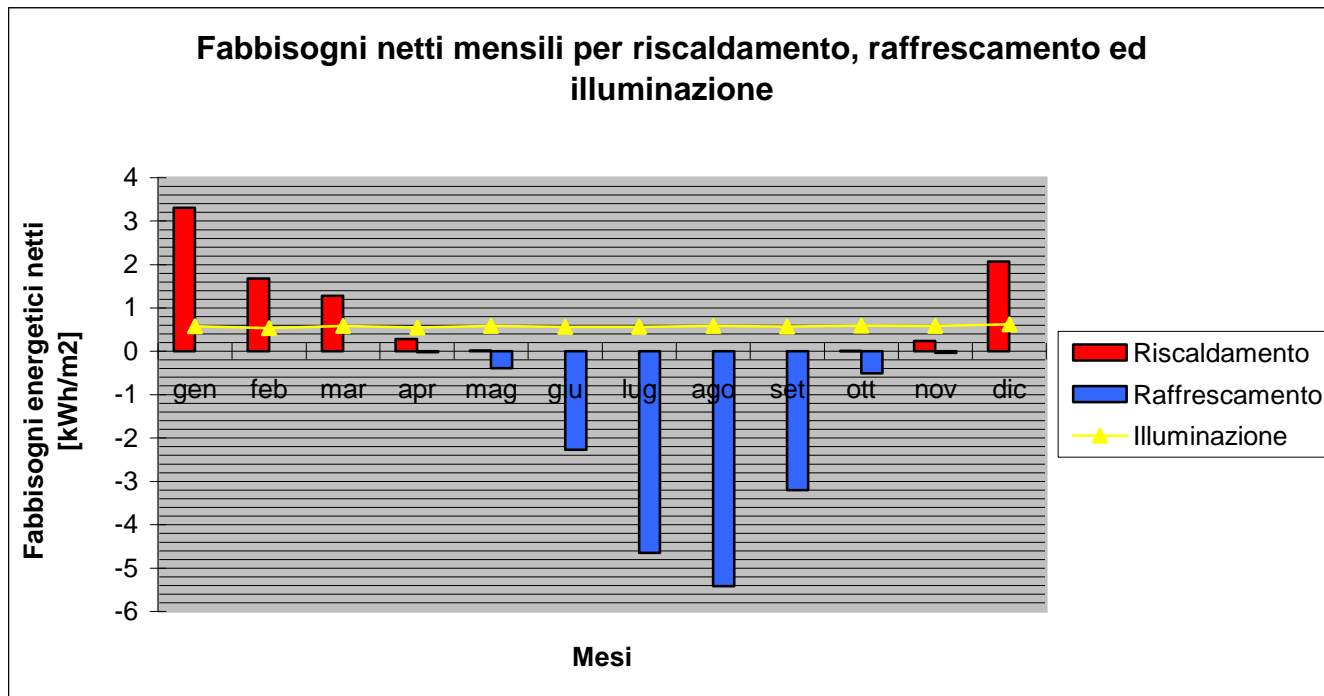
Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a bassa densità urbana

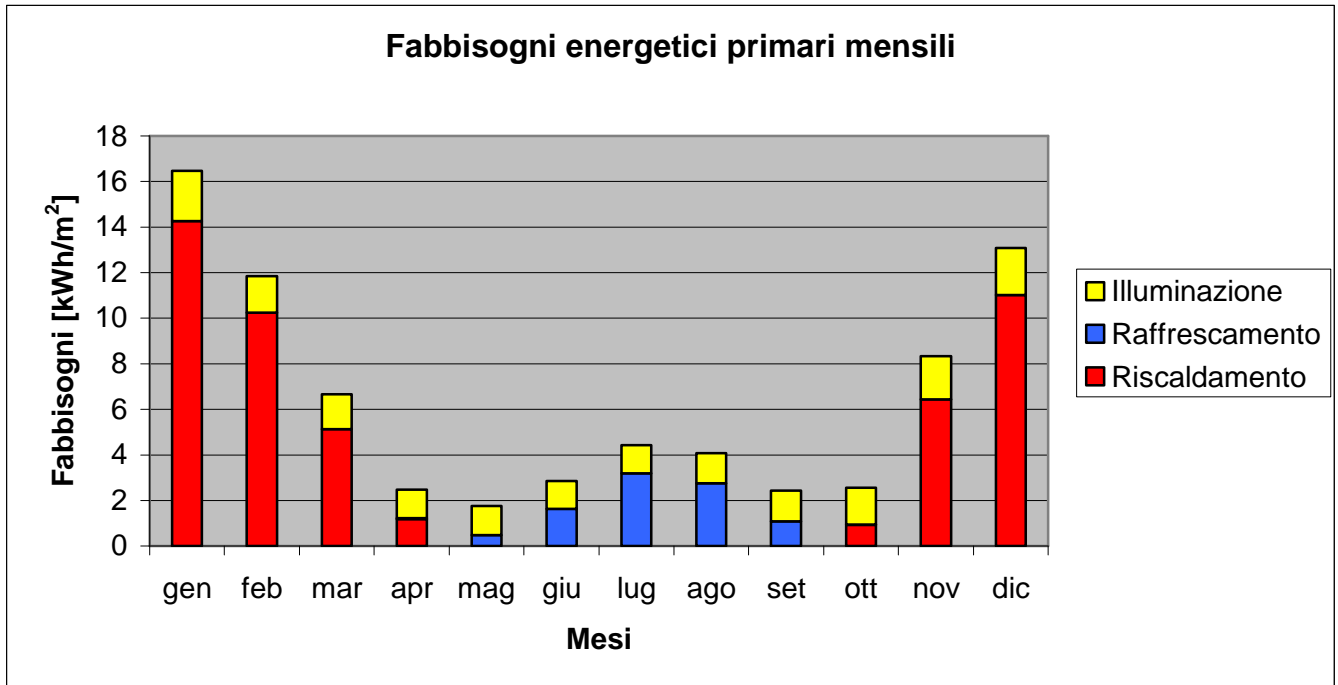


Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

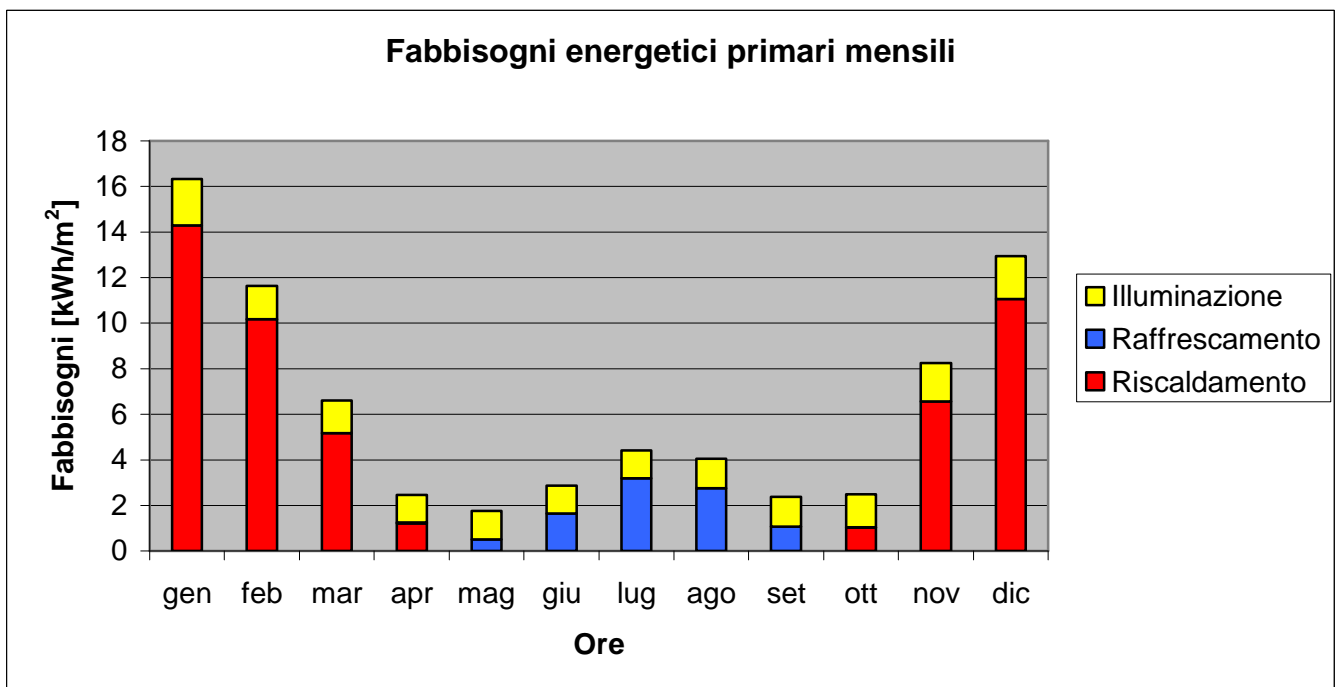
RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

### RICHIESTA DI ENERGIA PRIMARIA

Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto ad alta densità urbana



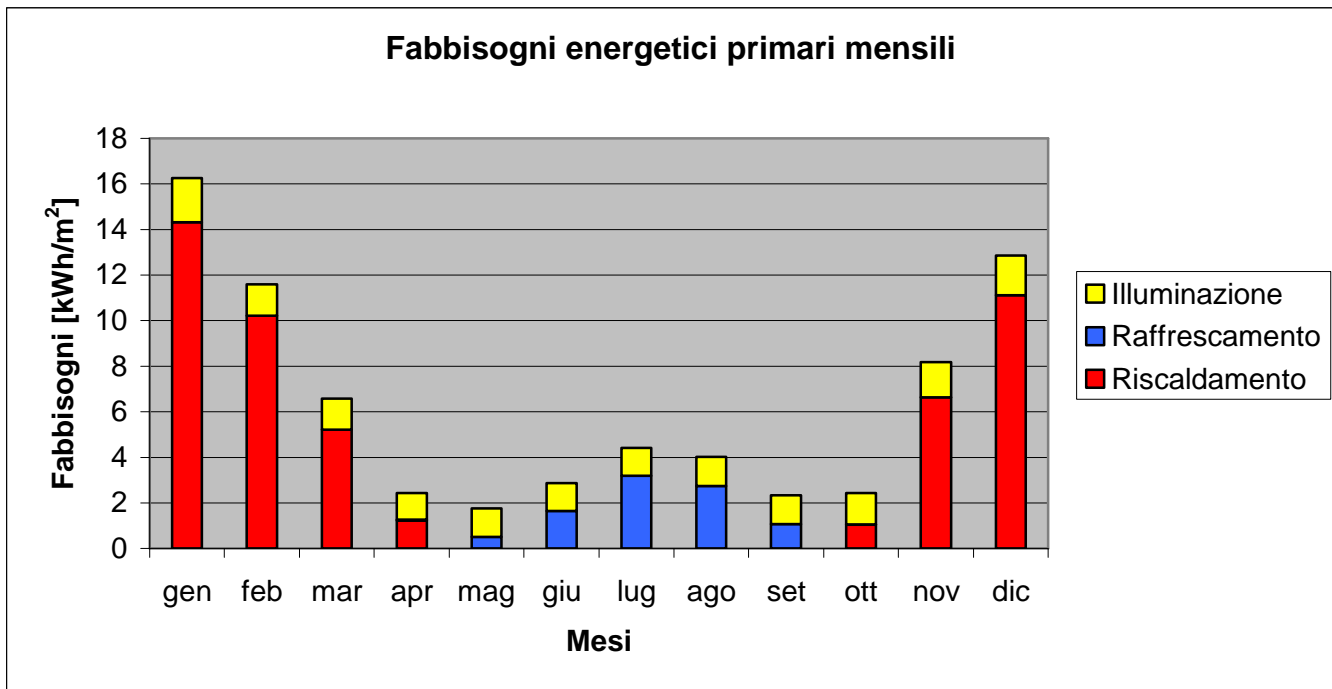
Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



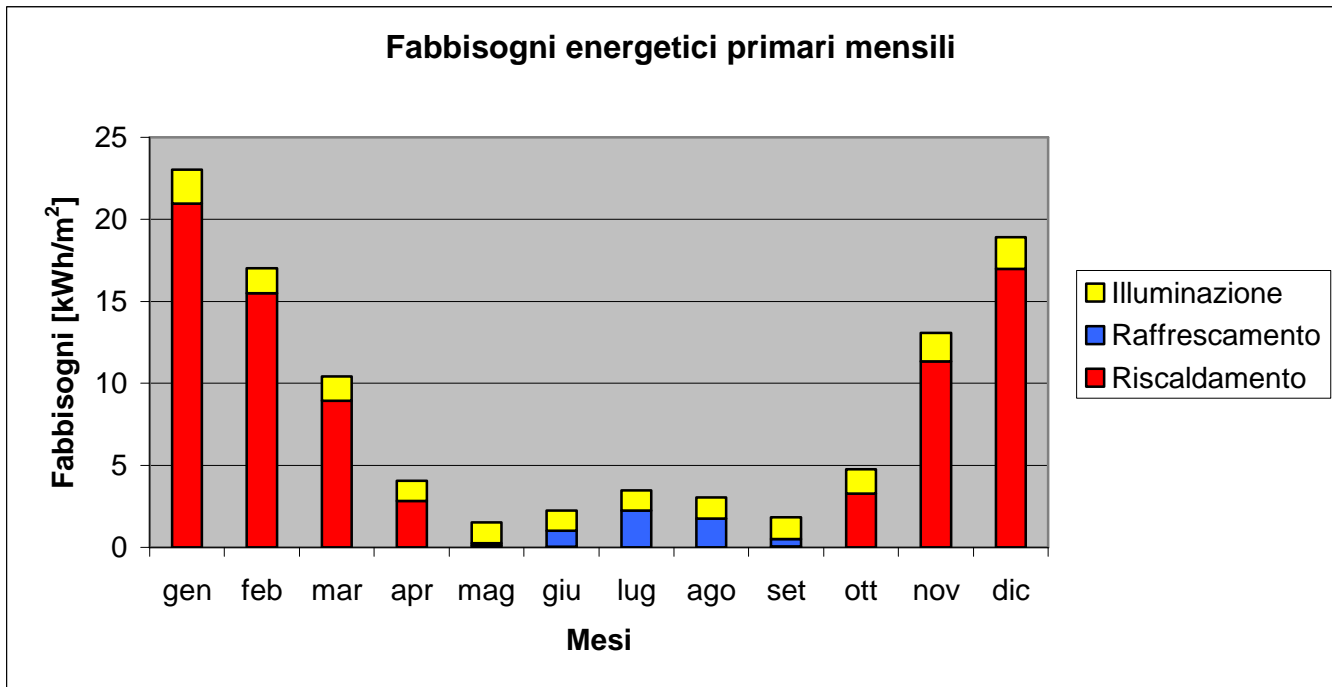
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana



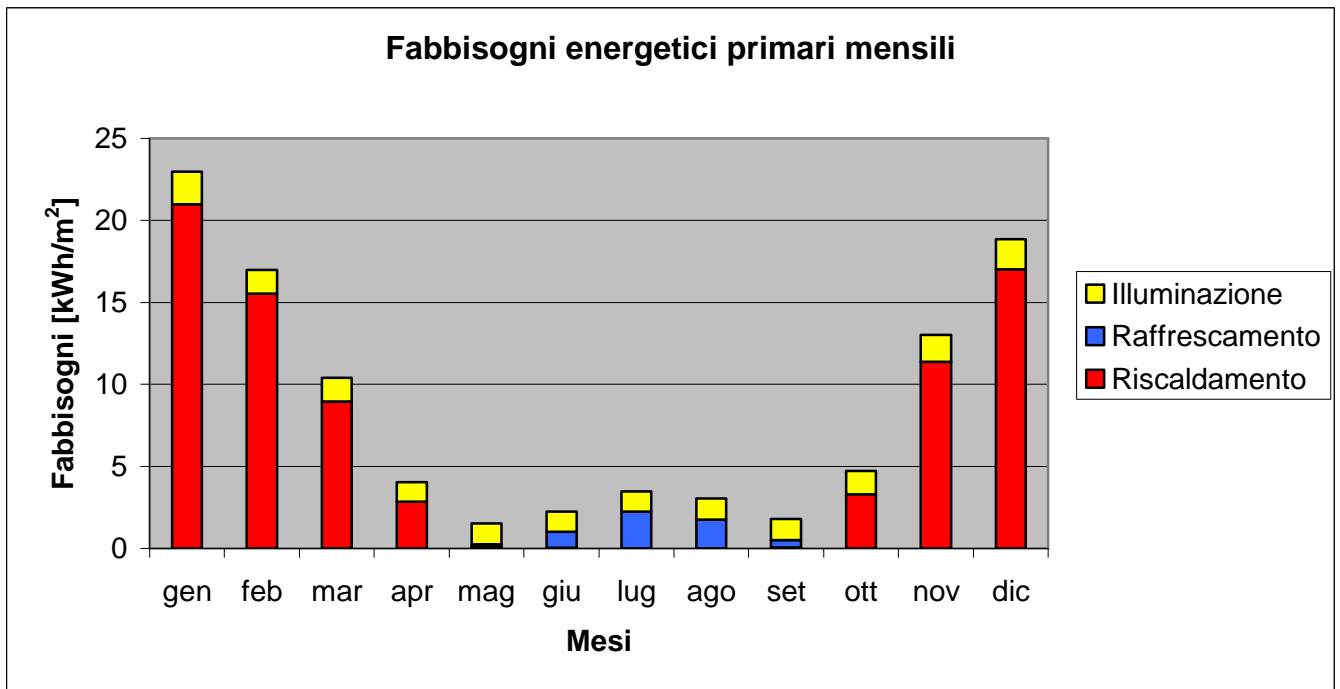
Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto a alta densità urbana



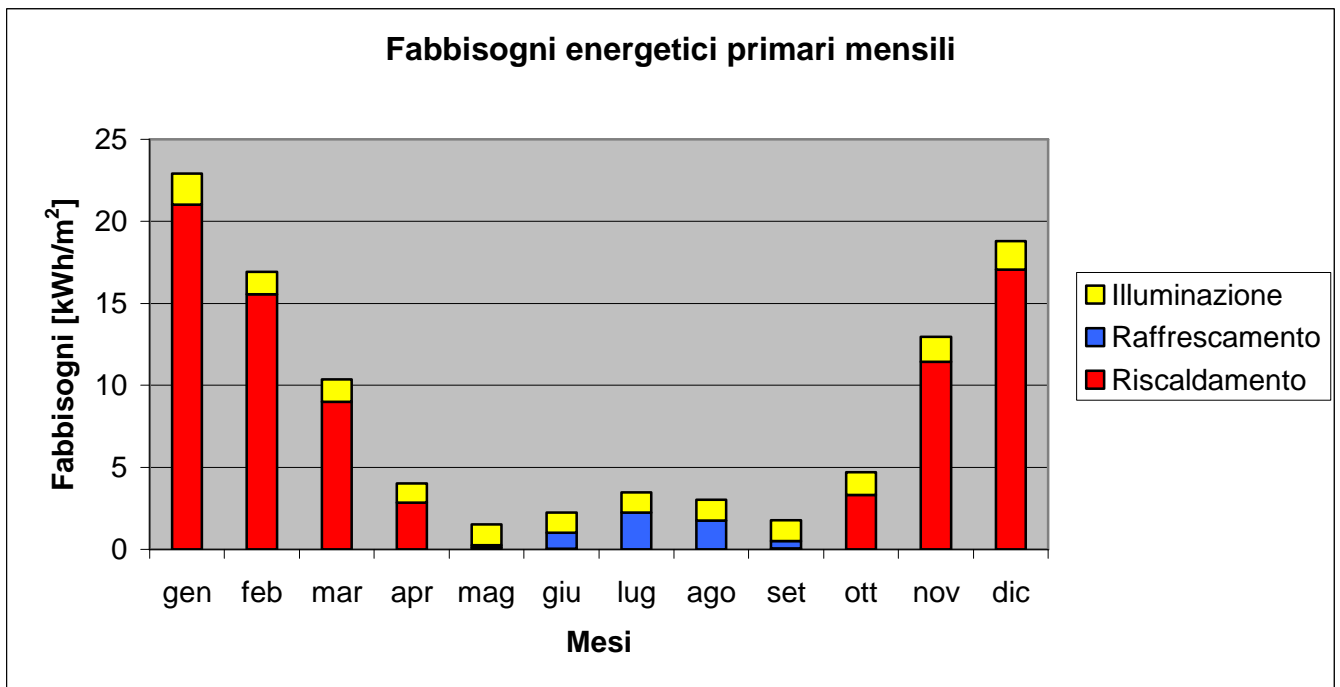
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana



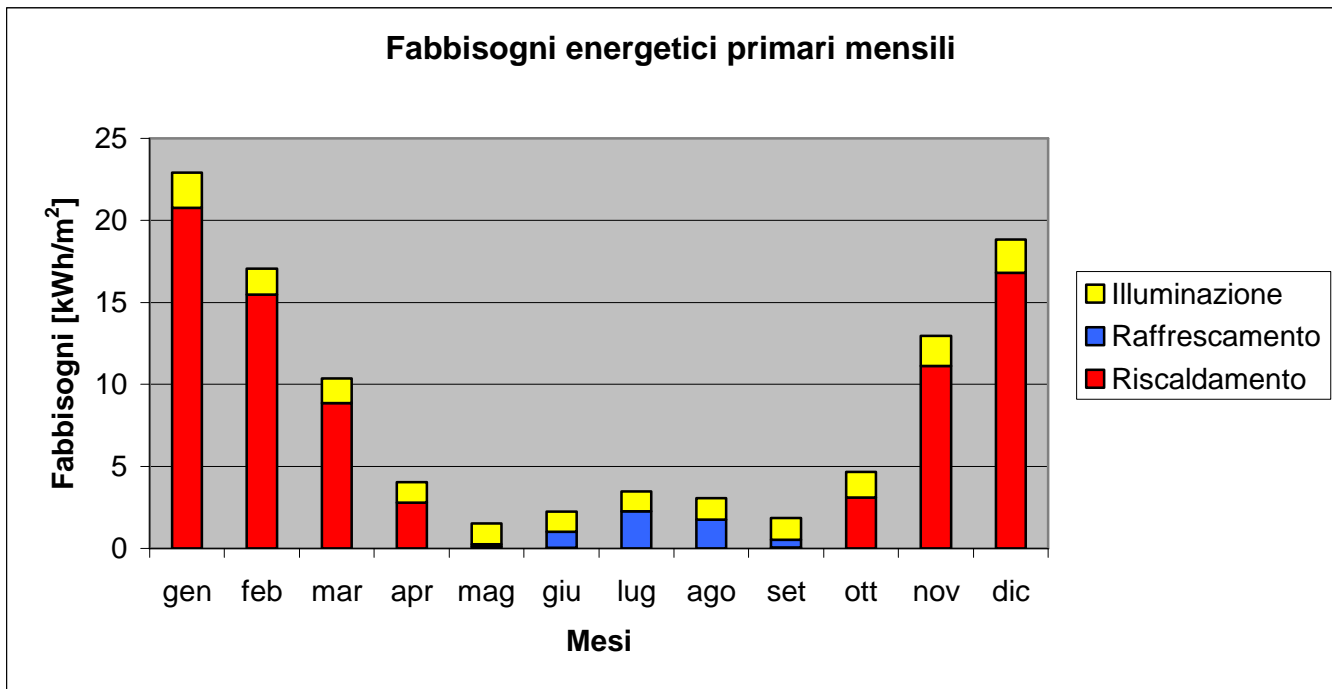
Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana



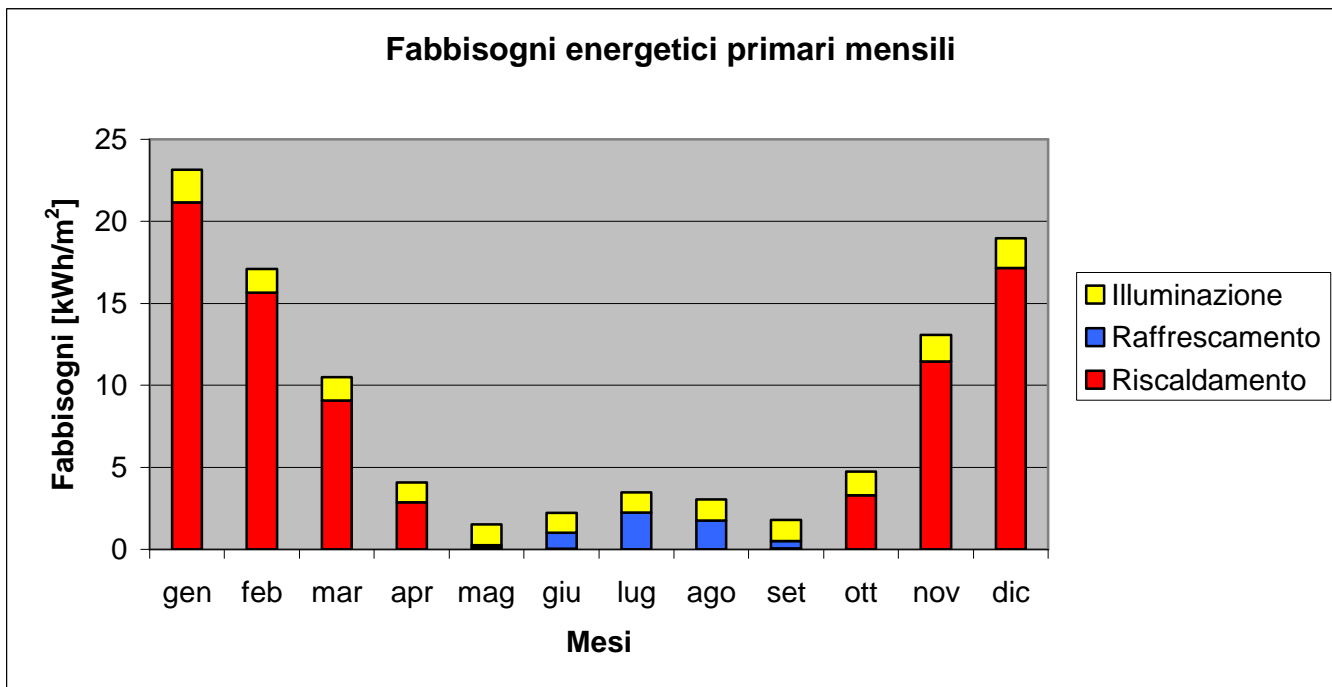
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio storico, contesto a alta densità urbana



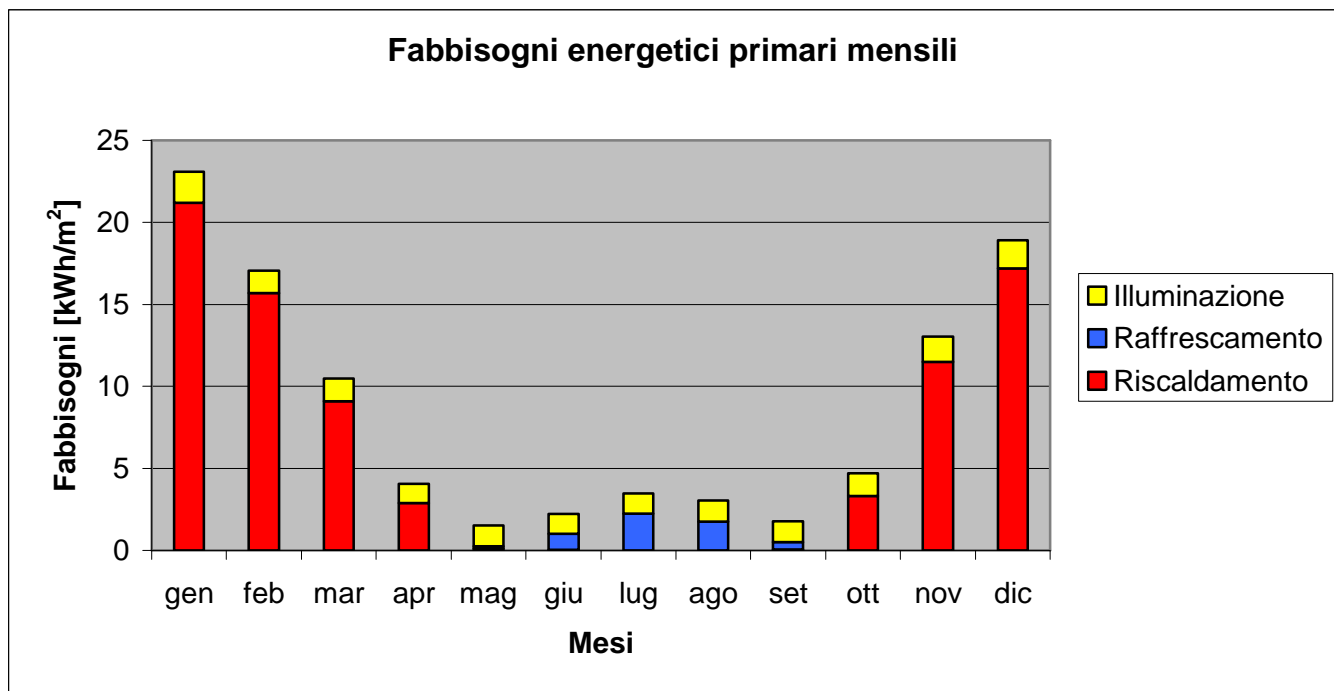
Collocazione Milano, edificio storico, contesto a media densità urbana



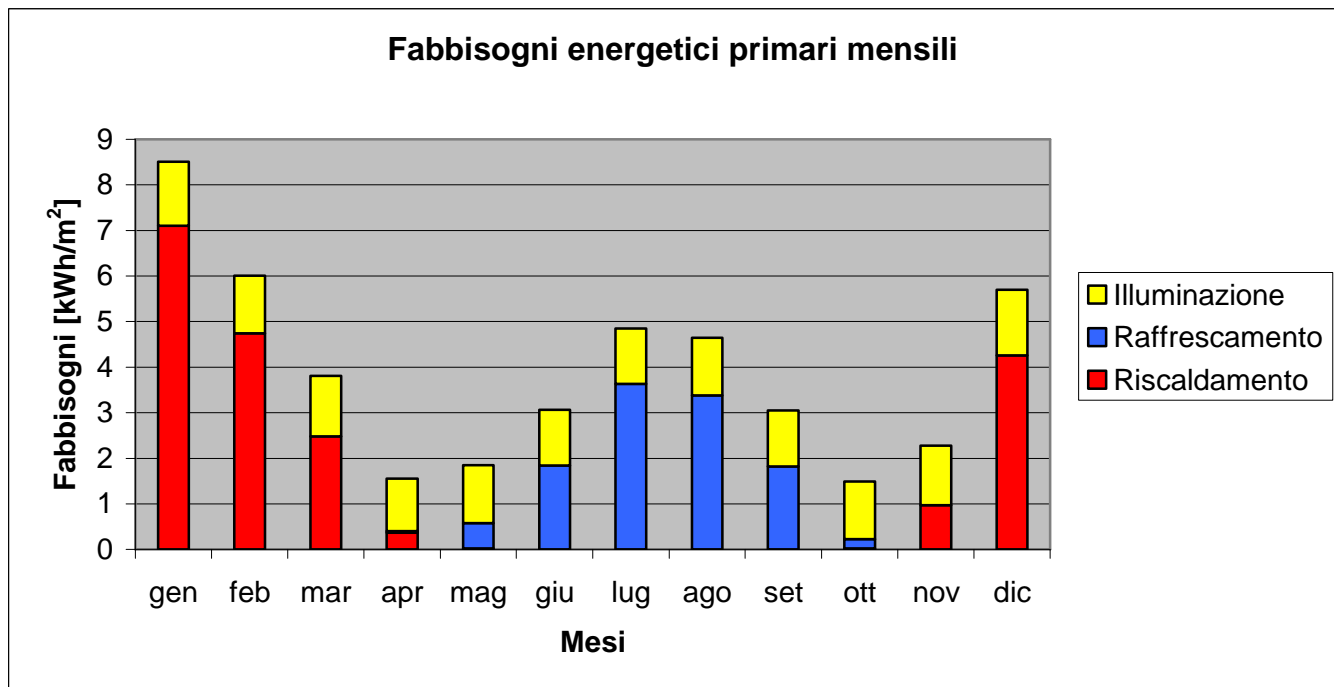
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio storico, contesto a bassa densità urbana



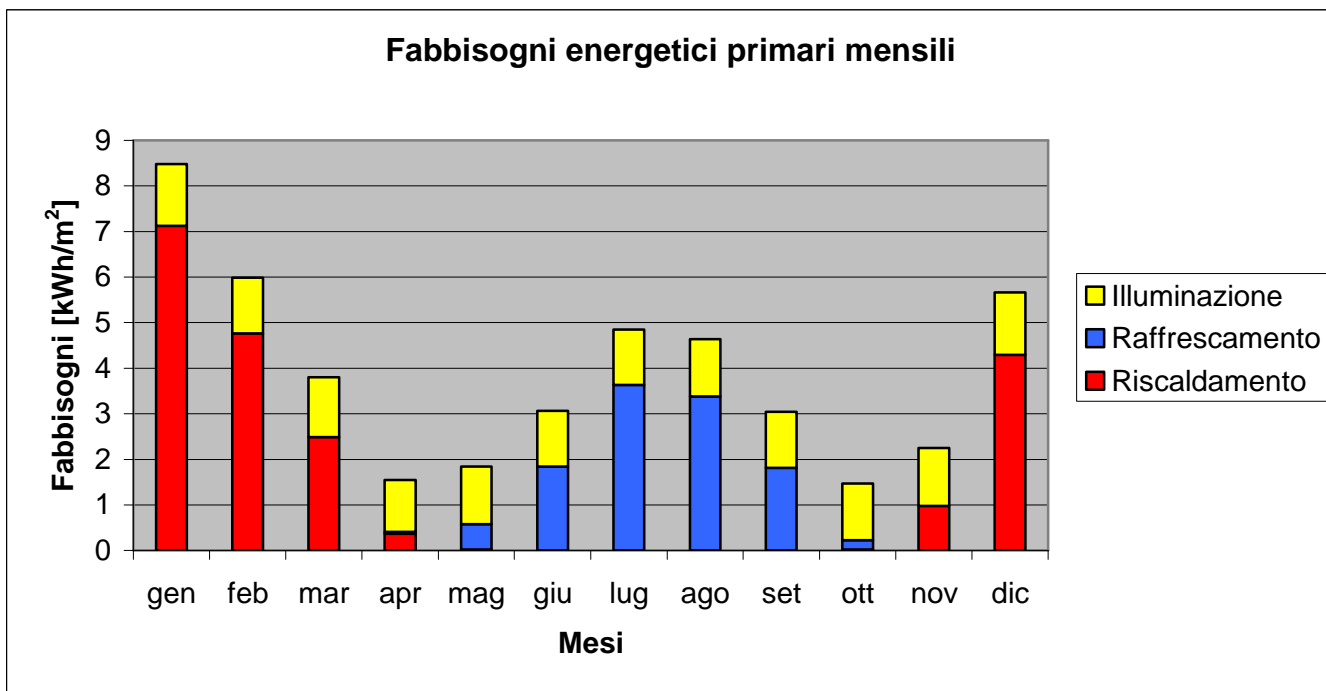
Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a alta densità urbana



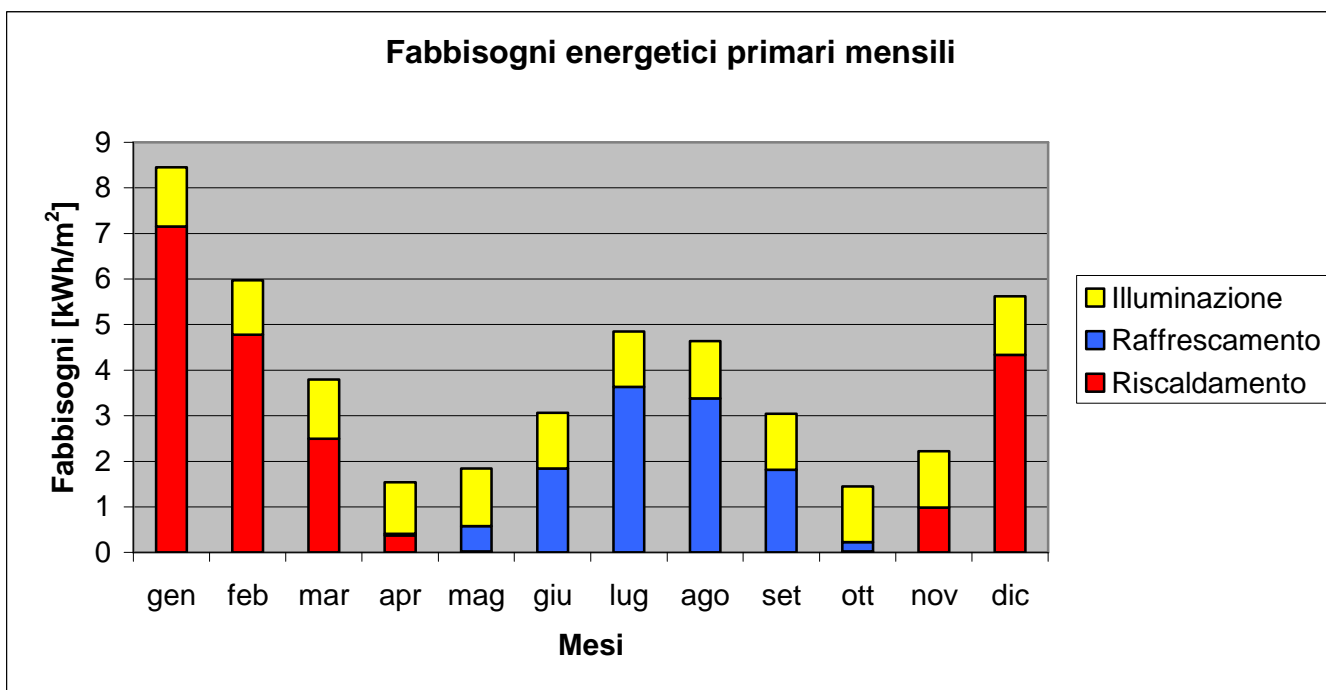
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana

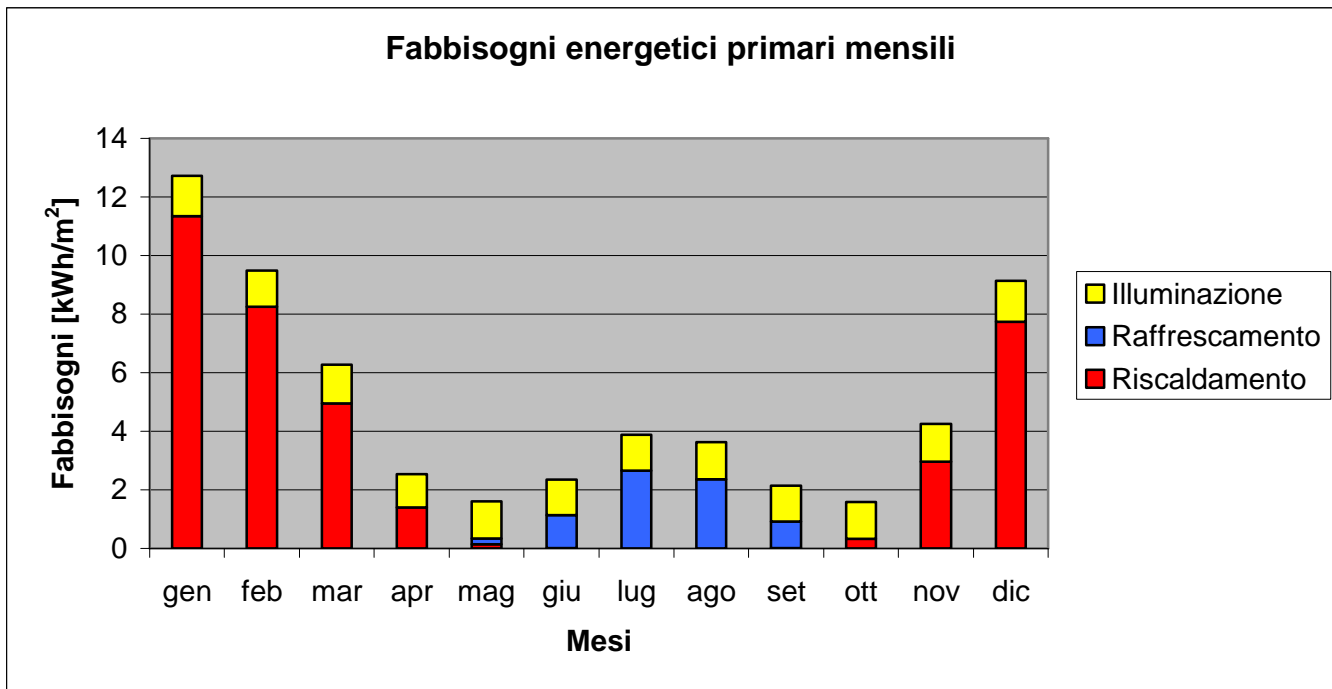




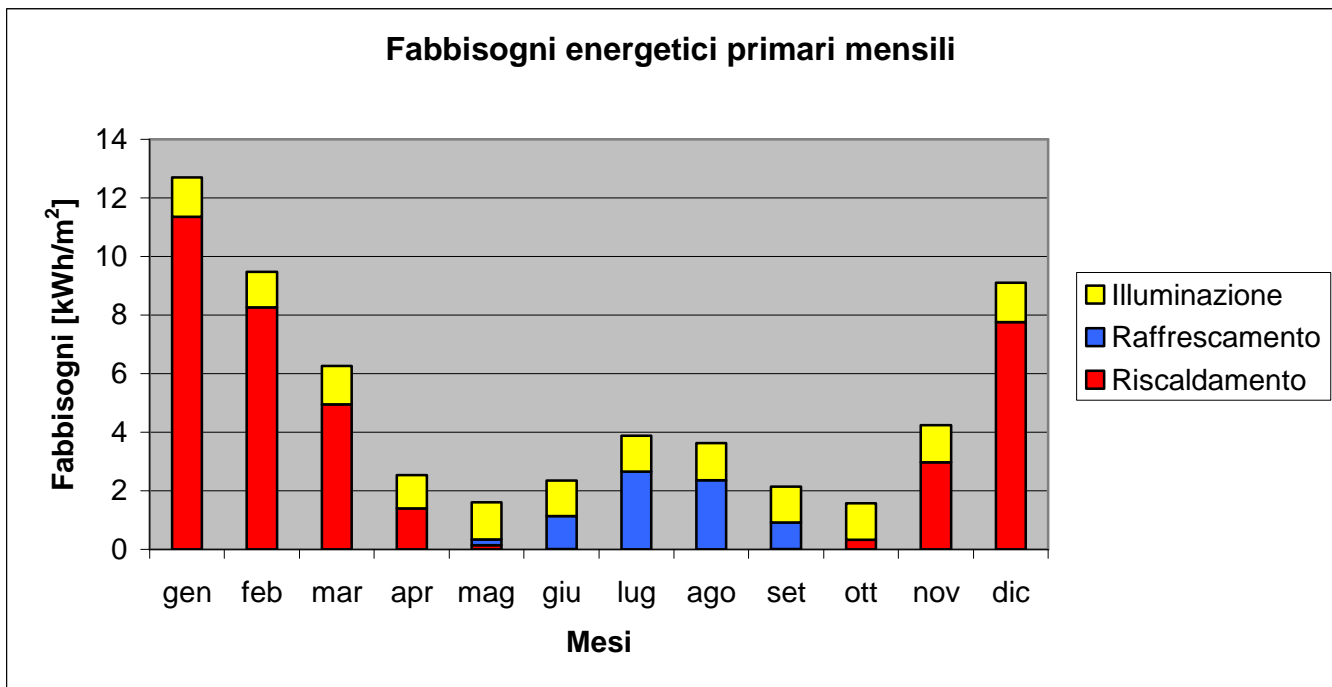
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto a alta densità urbana



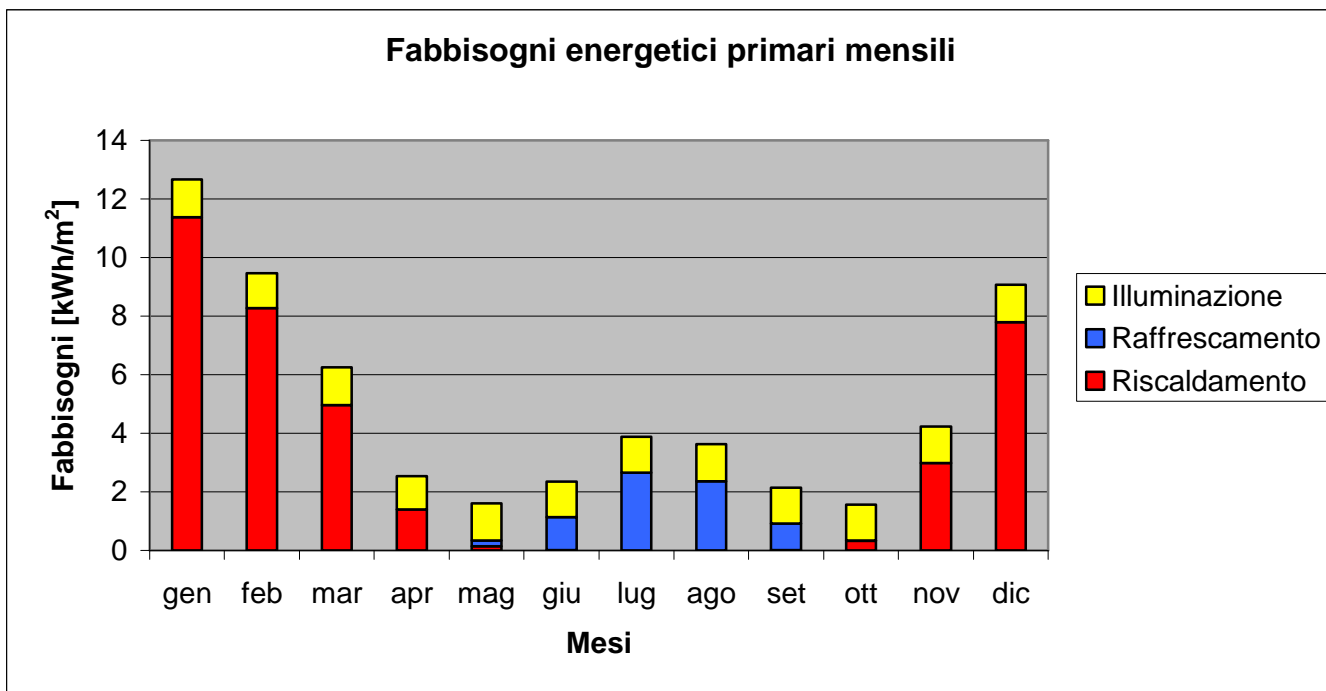
Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana



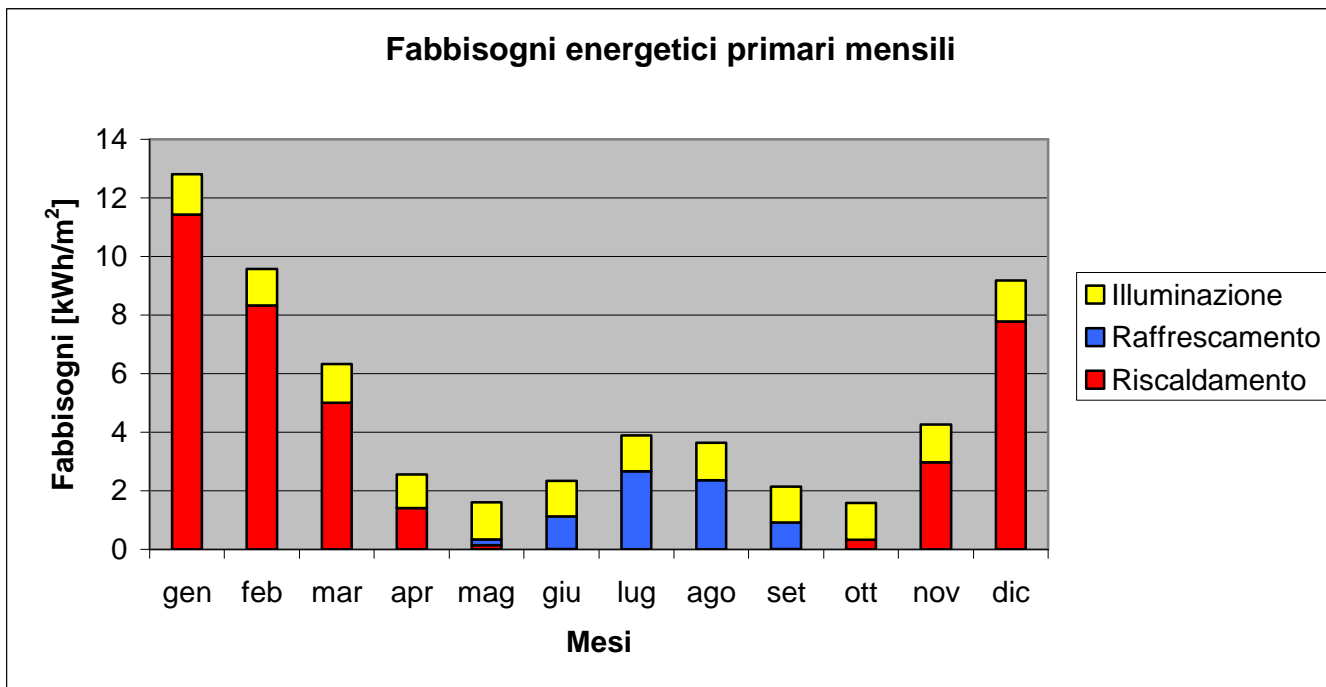
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana



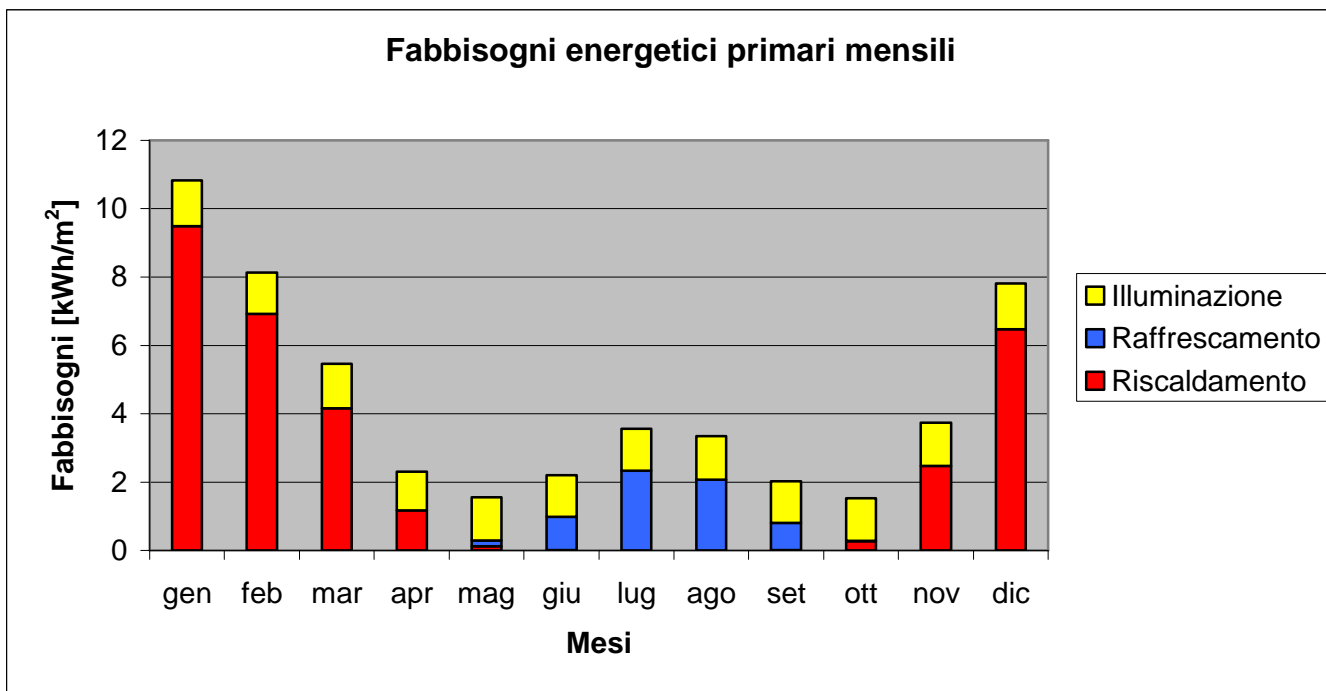
Collocazione Roma, edificio storico, contesto a alta densità urbana



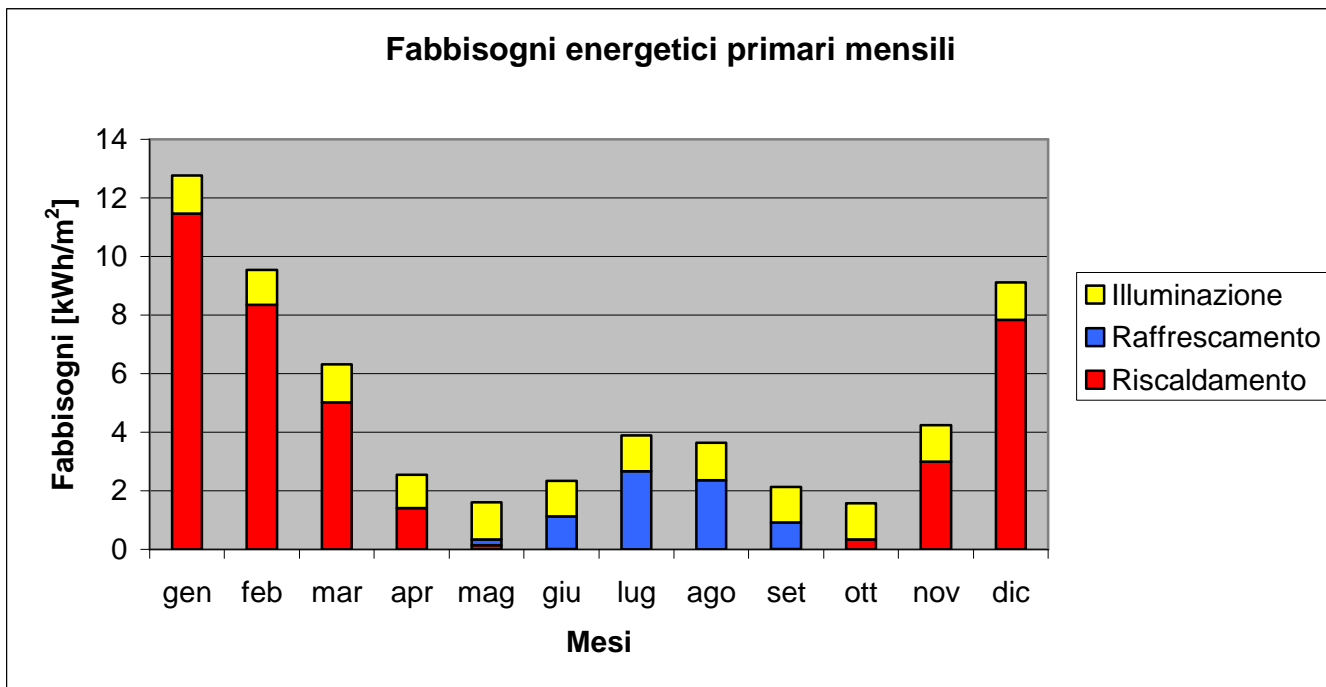
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Collocazione Roma, edificio storico, contesto a media densità urbana



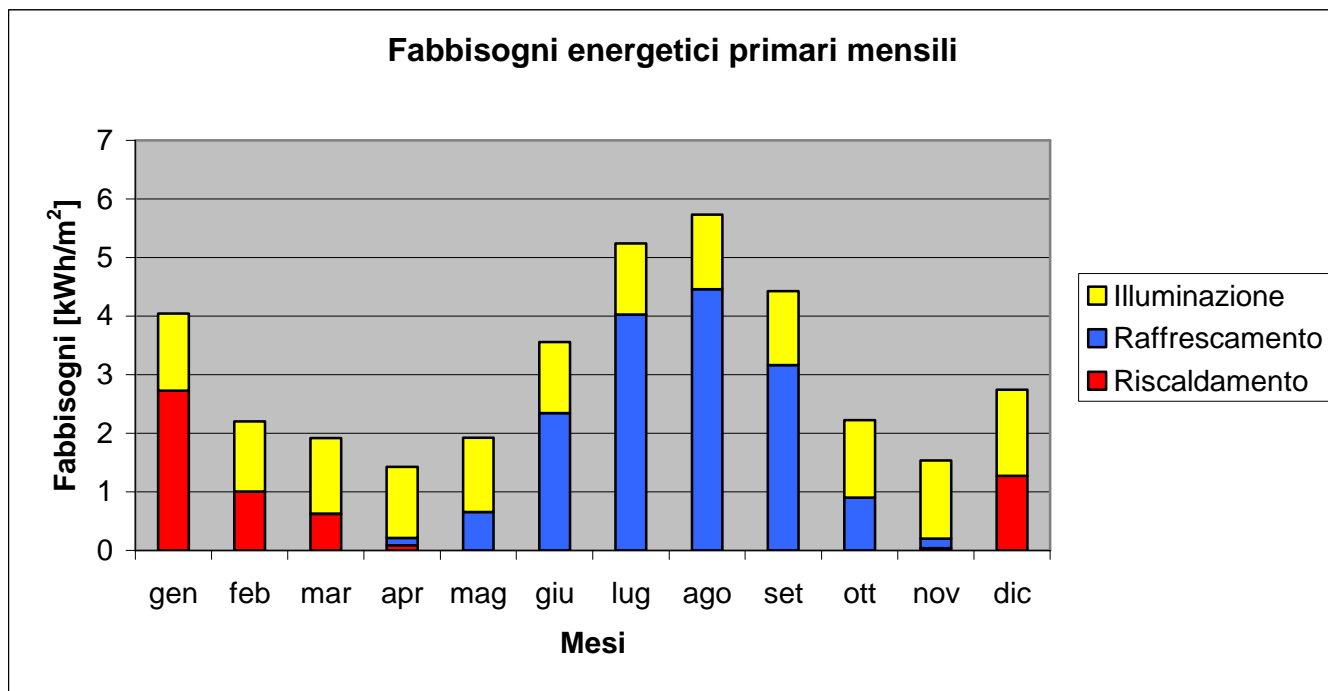
Collocazione Roma, edificio storico, contesto a bassa densità urbana



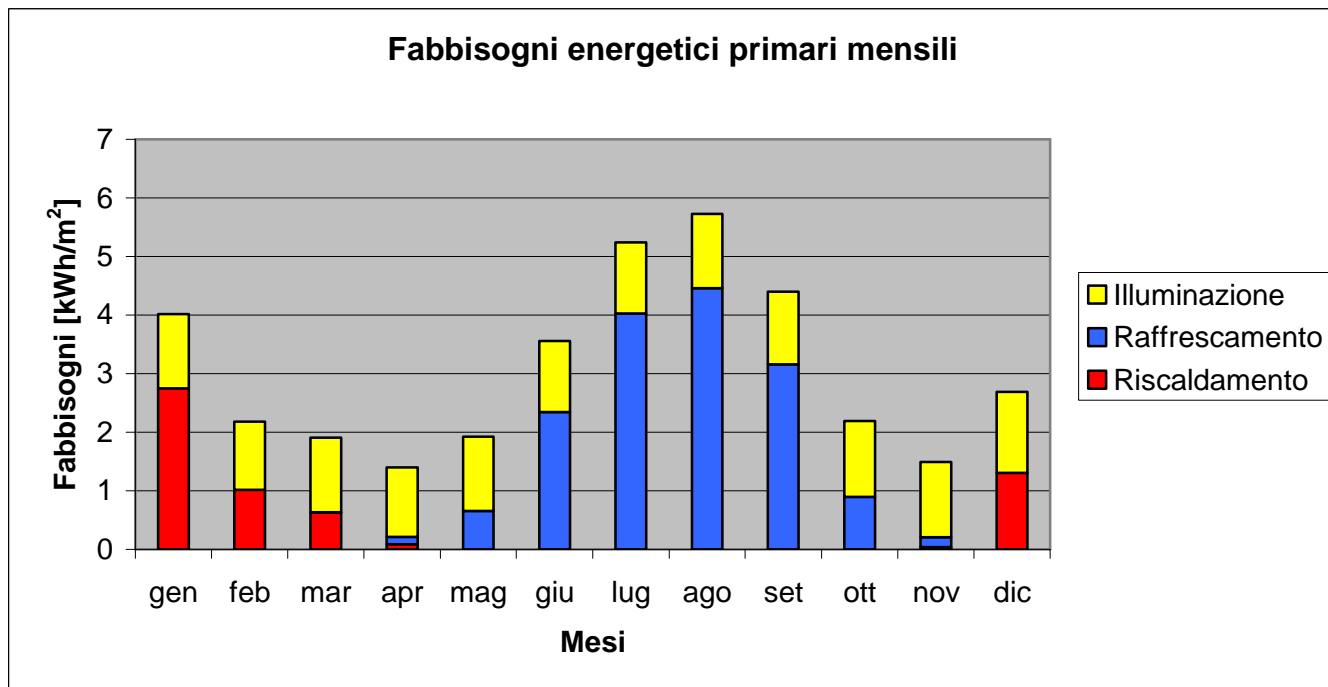
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a alta densità urbana



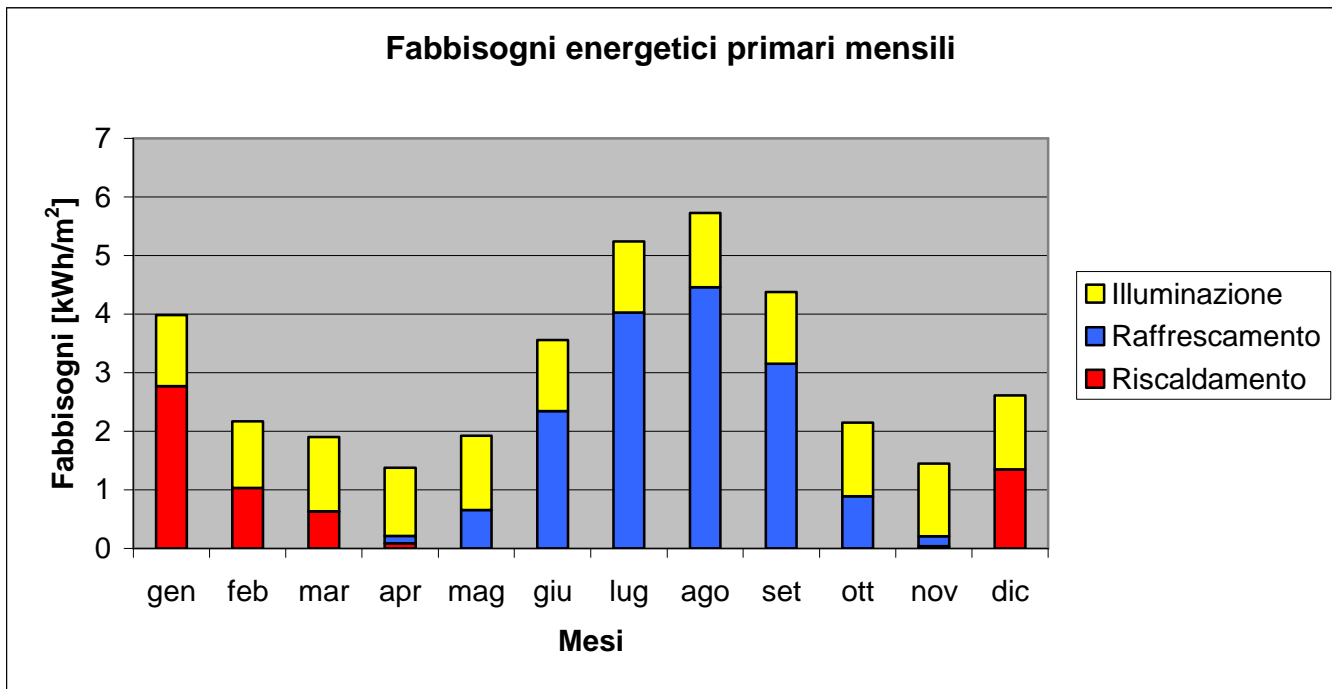
Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a media densità urbana



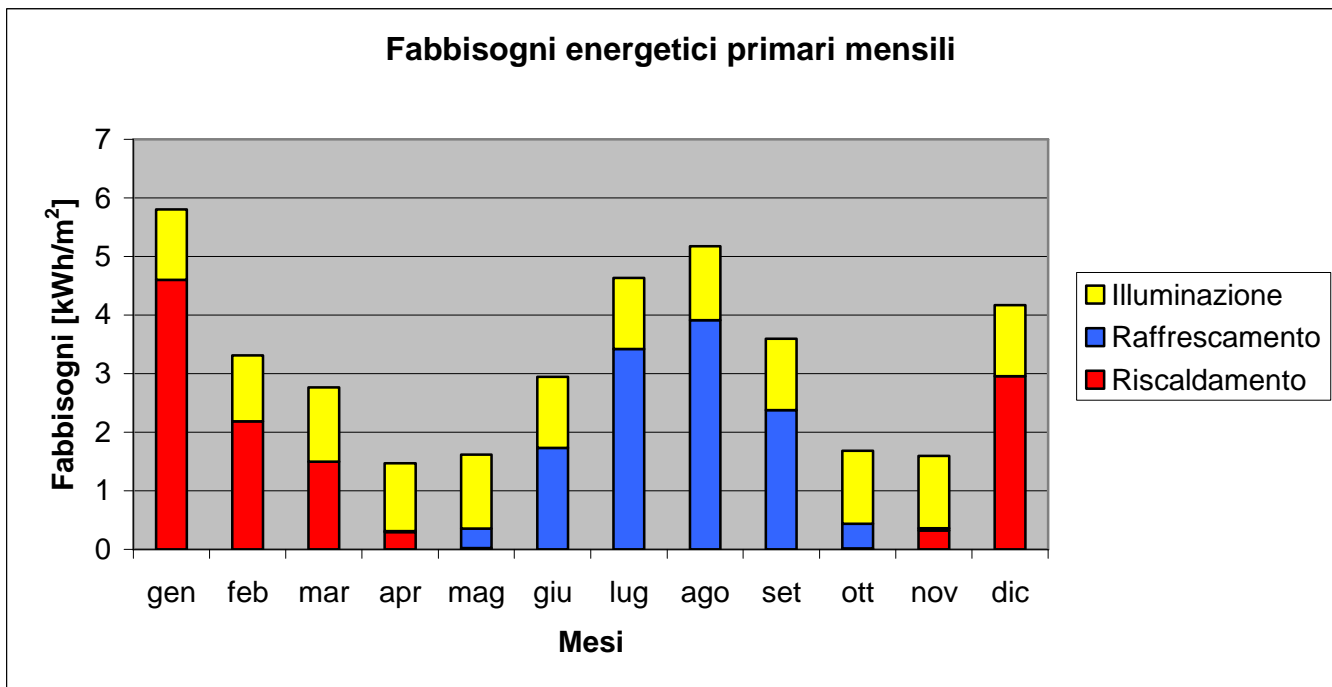
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, contesto a bassa densità urbana



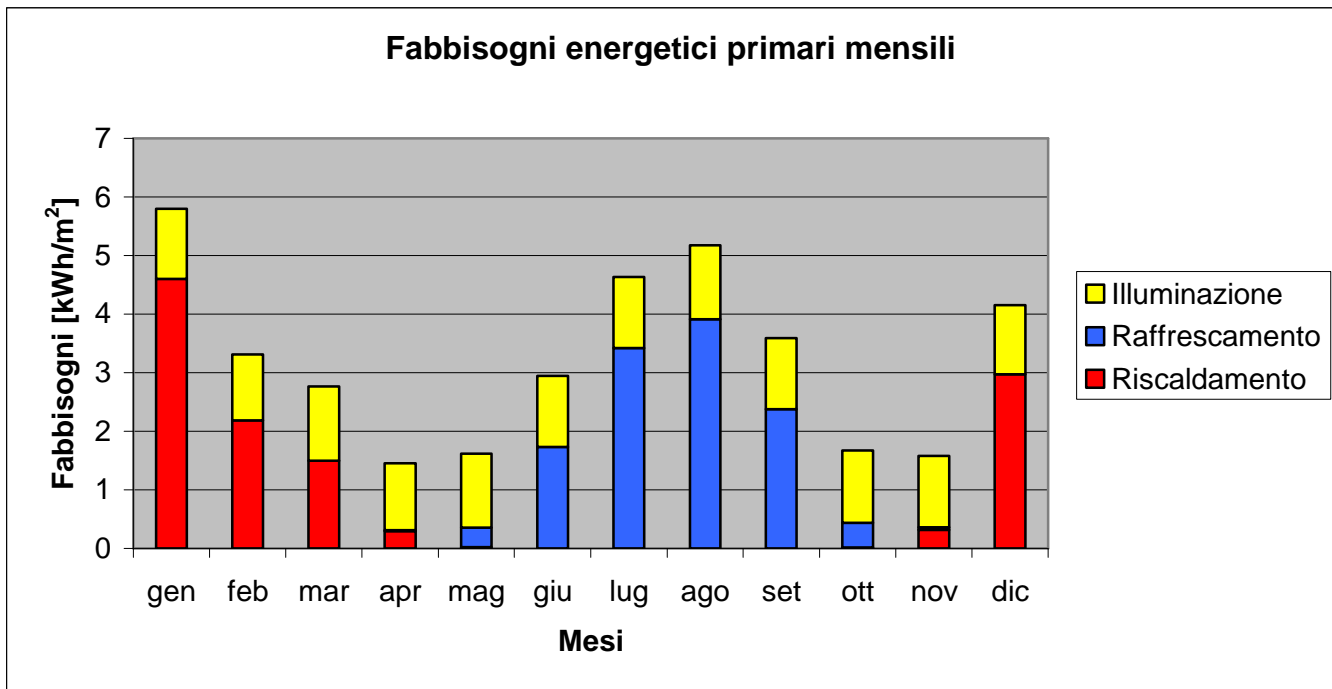
Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, contesto a alta densità urbana



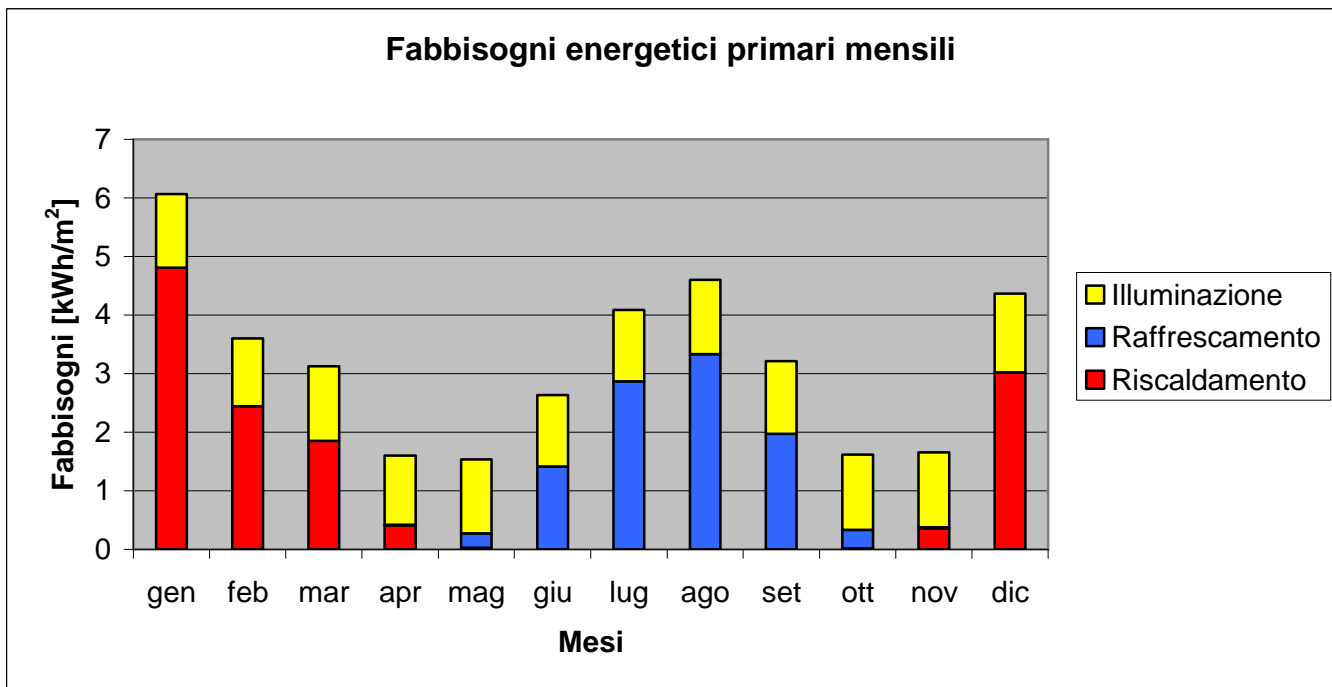
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo o, edificio anni '60-'70, contesto a media densità urbana



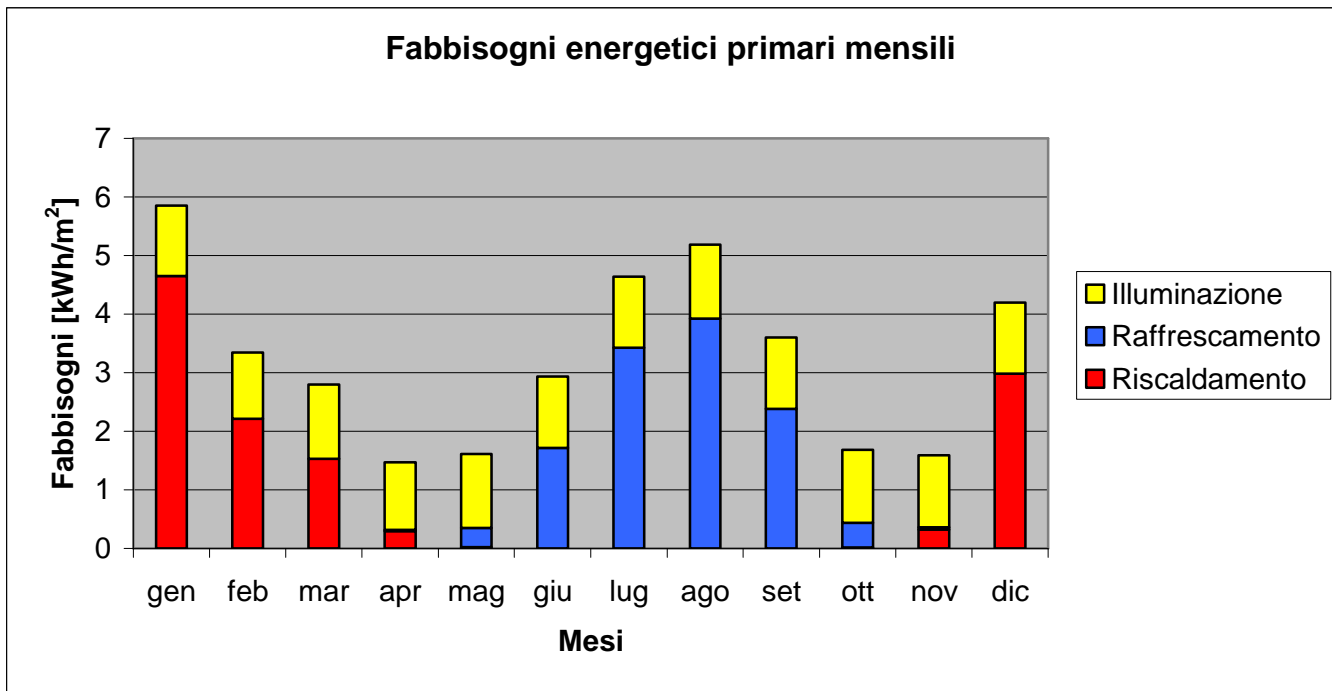
Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, contesto a bassa densità urbana



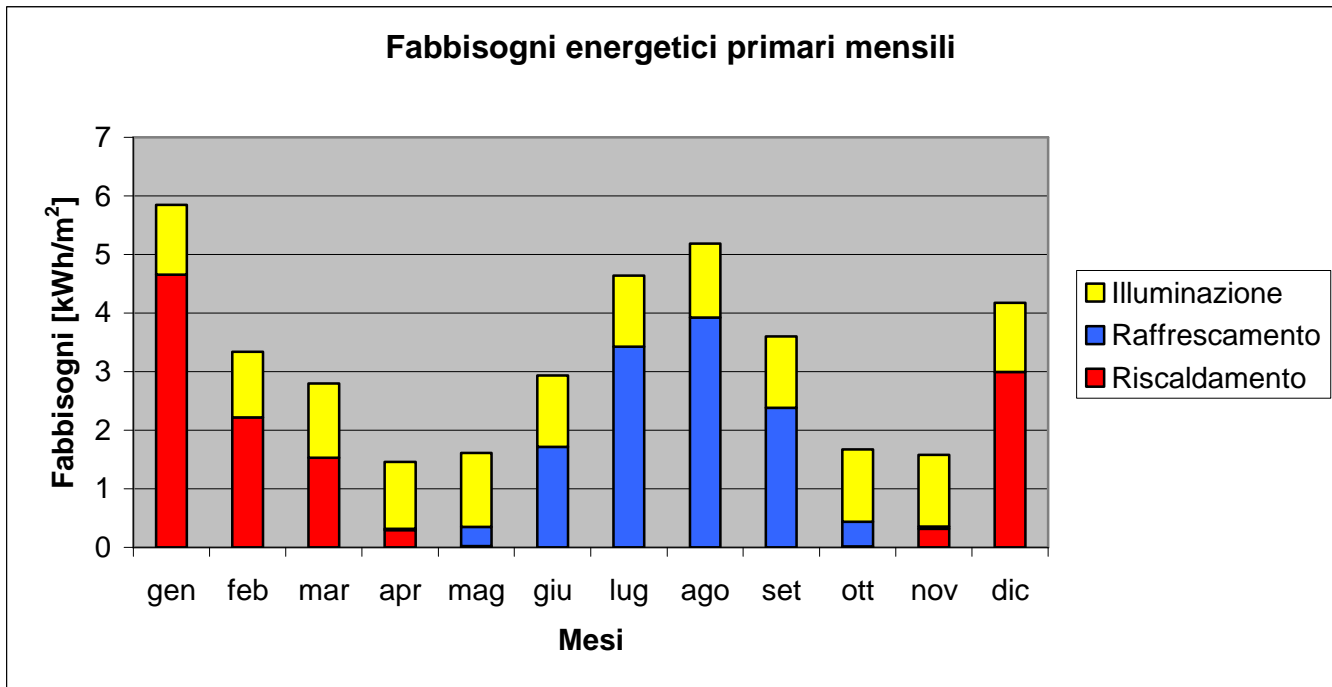
Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a alta densità urbana



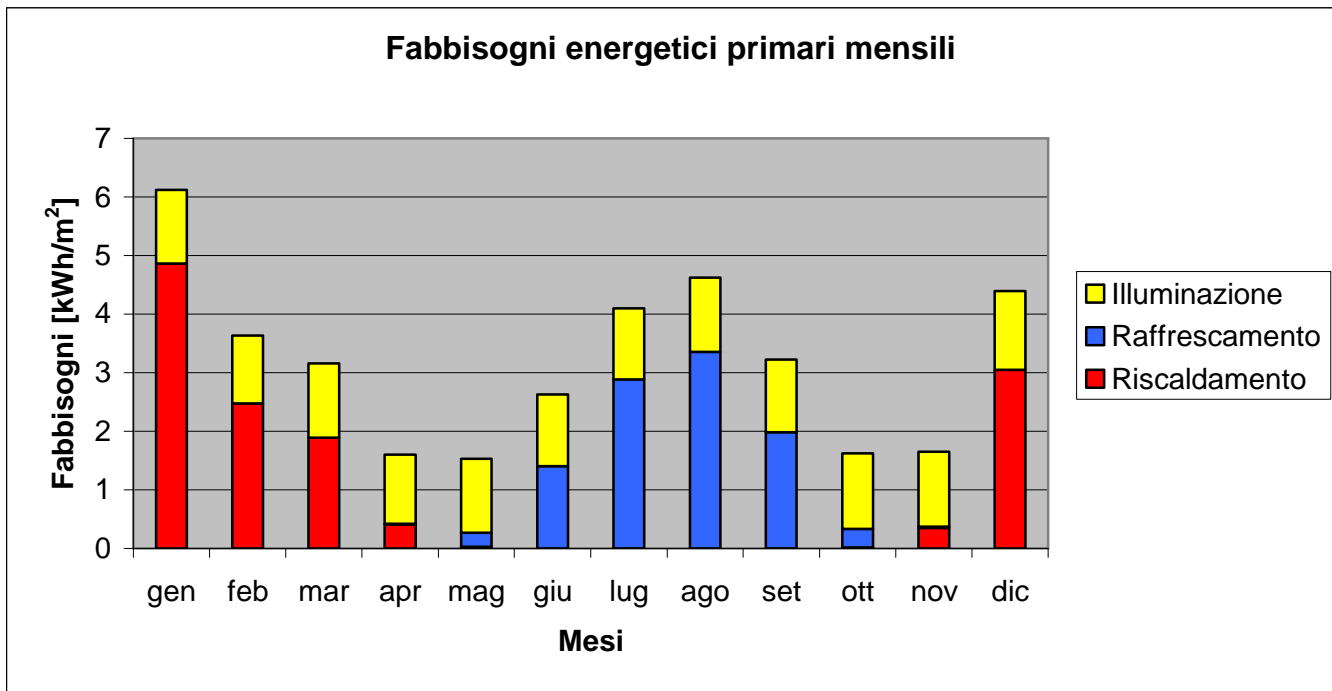
Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a media densità urbana



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio storico, contesto a bassa densità urbana





Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **RISPARMI OTTENIBILI ATTRAVERSO L'USO DI TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE INNOVATIVE**

L'impiego di soluzioni impiantistiche innovative può garantire un sensibile risparmio di energia primaria sia per quanto riguarda la fase di riscaldamento invernale che per la fase di raffrescamento estivo. Nella fattispecie, per le differenti tipologie di edifici presi in considerazione si ipotizzano le seguenti soluzioni:

- per il riscaldamento invernale, sostituzione della caldaia tradizionale con caldaia a condensazione ad alta efficienza, con regolazione climatica centralizzata, e collocazione di valvole termostatiche ad alta inerzia termica (a gas o a liquido) sui terminali di emissione dei singoli ambienti (rendimento medio globale stagionale: 82%)
- per il raffrescamento estivo, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche verticali o orizzontali o, qualora possibile, pompa di calore del tipo acqua-acqua che sfrutti acqua di falda come pozzo termico di scambio; la scelta di tali tecnologie impiantistiche è dettata dalla volontà di avere una macchina termica in grado di garantire COP medio pari a 4 durante tutta la stagione di funzionamento. È da sottolineare come l'applicabilità di una di queste soluzioni debba valutarsi caso per caso, in rapporto alle caratteristiche e alla caratterizzazione geologica del sito.

Non si immagina di effettuare sostituzioni dei terminali di emissione collocati nei vari ambienti (ad esempio con pannelli radianti e conseguente installazione di sistema di controllo dell'umidità relativa), essendo questo genere di intervento particolarmente invasivo dal punto di vista edilizio.

I risultati vengono forniti secondo tre differenti ipotesi:

- nel primo caso si immagina di procedere alla sola ristrutturazione dell'impianto termico per riscaldamento invernale e si valuta il conseguente risparmio energetico primario; i terminali di emissione sono in questo caso i radiatori esistenti
- successivamente, si immagina di procedere all'installazione della pompa di calore a sonde geotermiche (o ad acqua di falda) e di affidare ad essa la sola fase di raffrescamento estivo, impiegando dei ventilconvettori come terminali di emissione in ambiente; vengono così valutati e quantificati i risparmi di energia primaria ottenibili
- infine, si immagina di installare una pompa di calore a sonde geotermiche (o ad acqua di falda) e di affidare ad essa tanto la fase di raffrescamento estivo quanto la fase di riscaldamento invernale, impiegando come terminali di emissione dei ventilconvettori; possono così essere valutati e quantificati i risparmi di energia primaria ottenibili

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.”

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

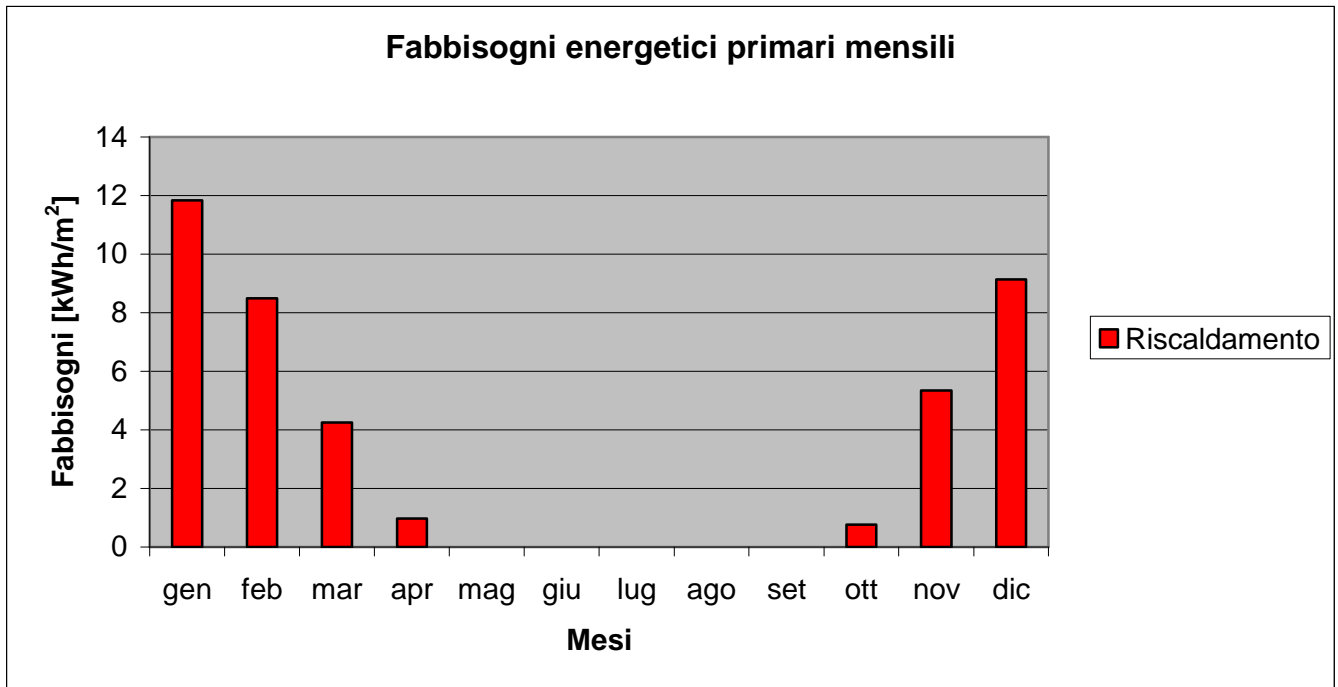
---

Per ogni soluzione impiantistica, il cui effetto viene valutato nei soli casi ad alta densità urbana, considerati come esemplificativi, viene proposto l'andamento mensile del fabbisogno energetico annuo e viene evidenziato il risparmio energetico ottenibile.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

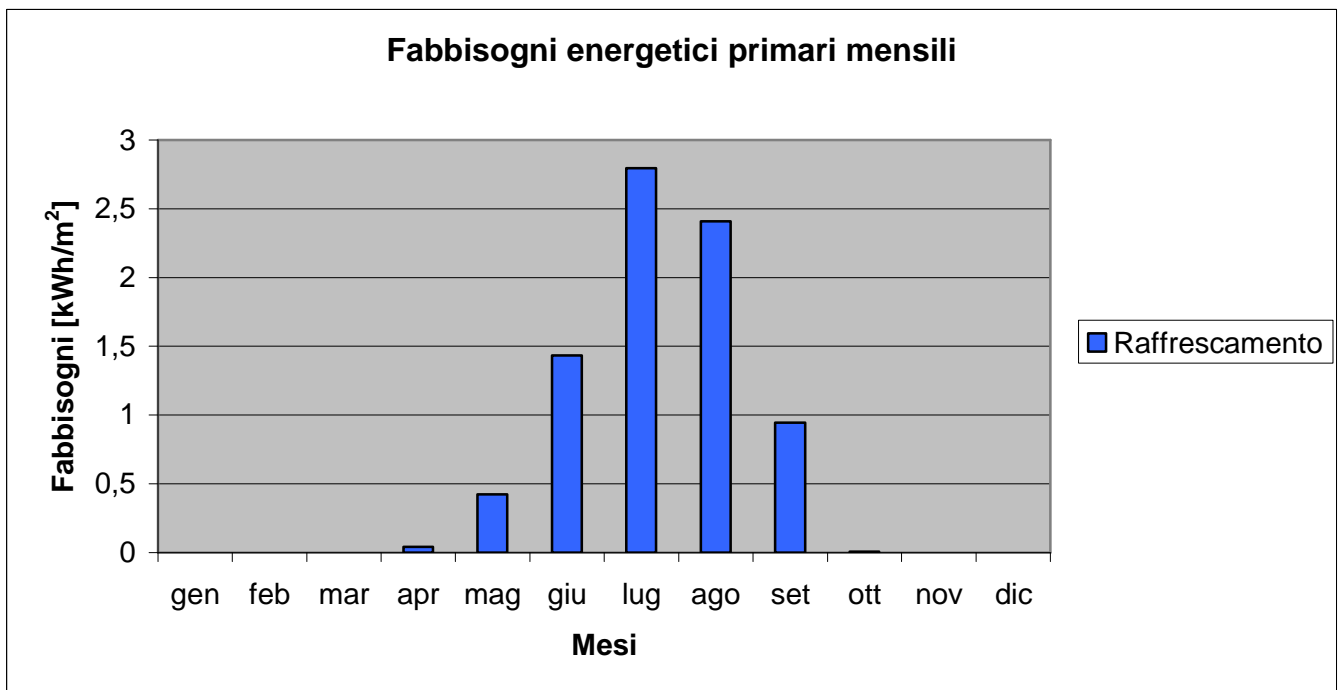
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
8,40

Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

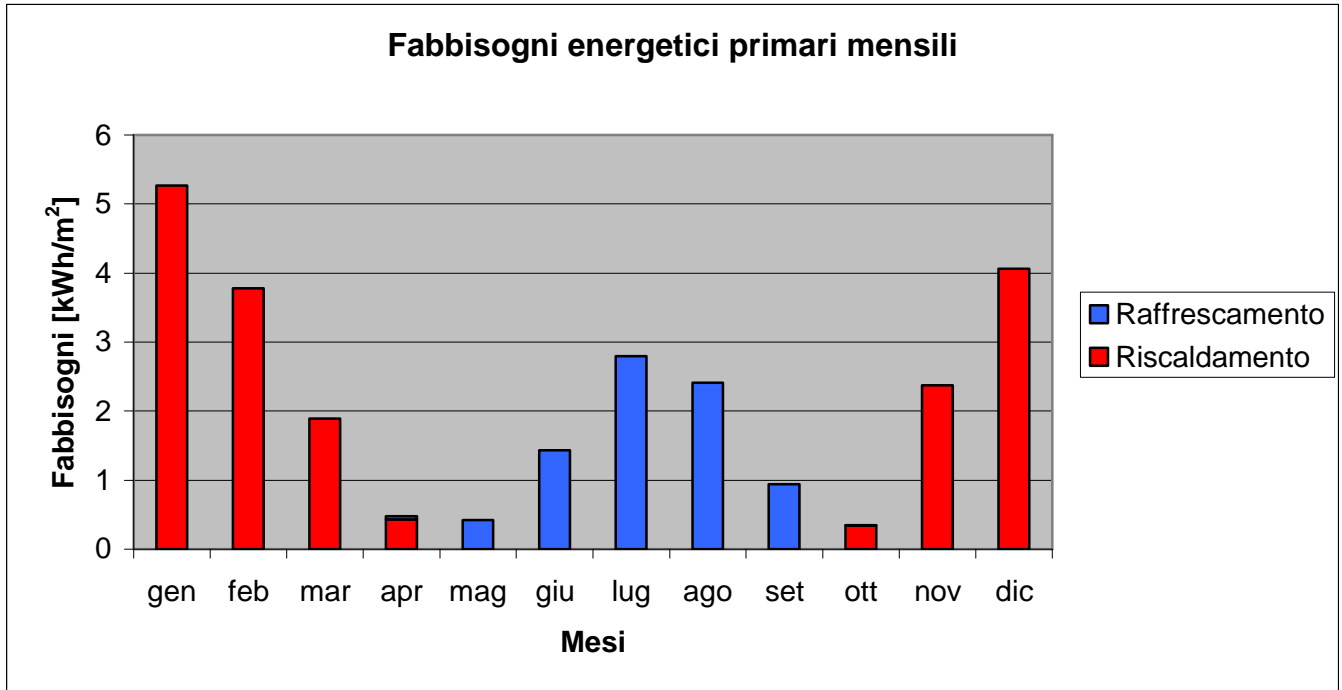
---

1,15

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio ex 192/2005, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)

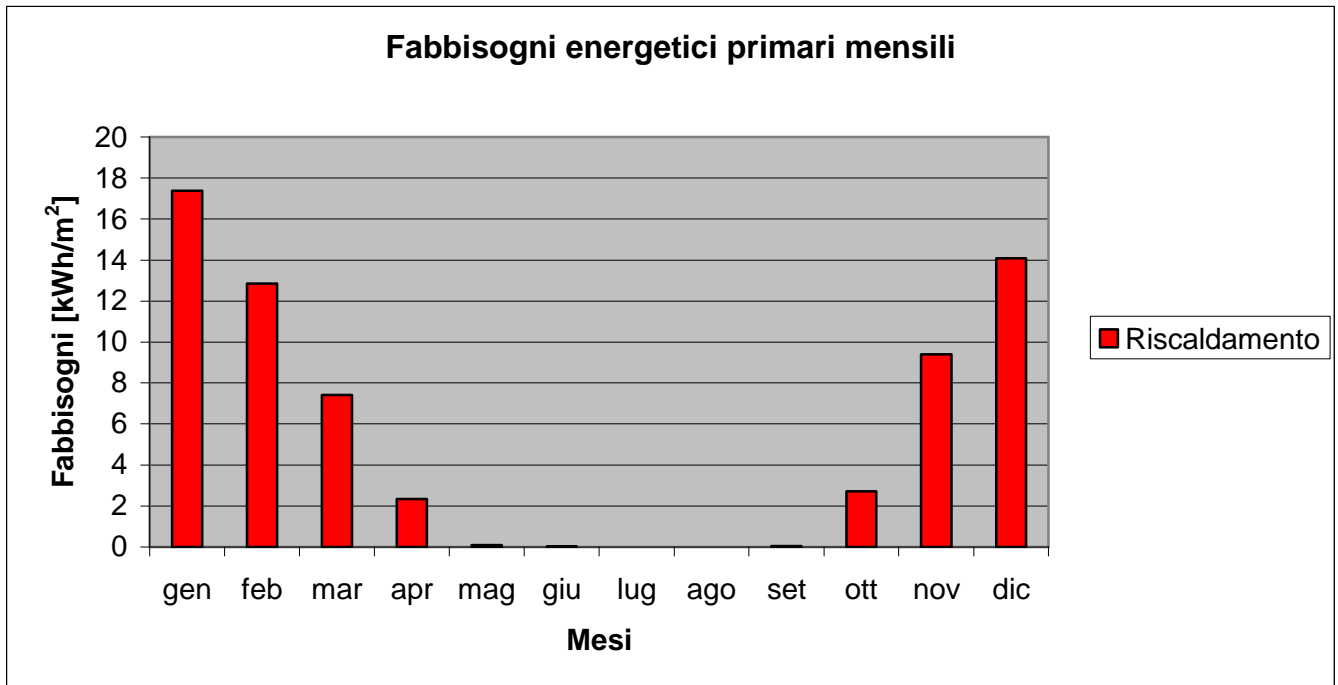


Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
32,20

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

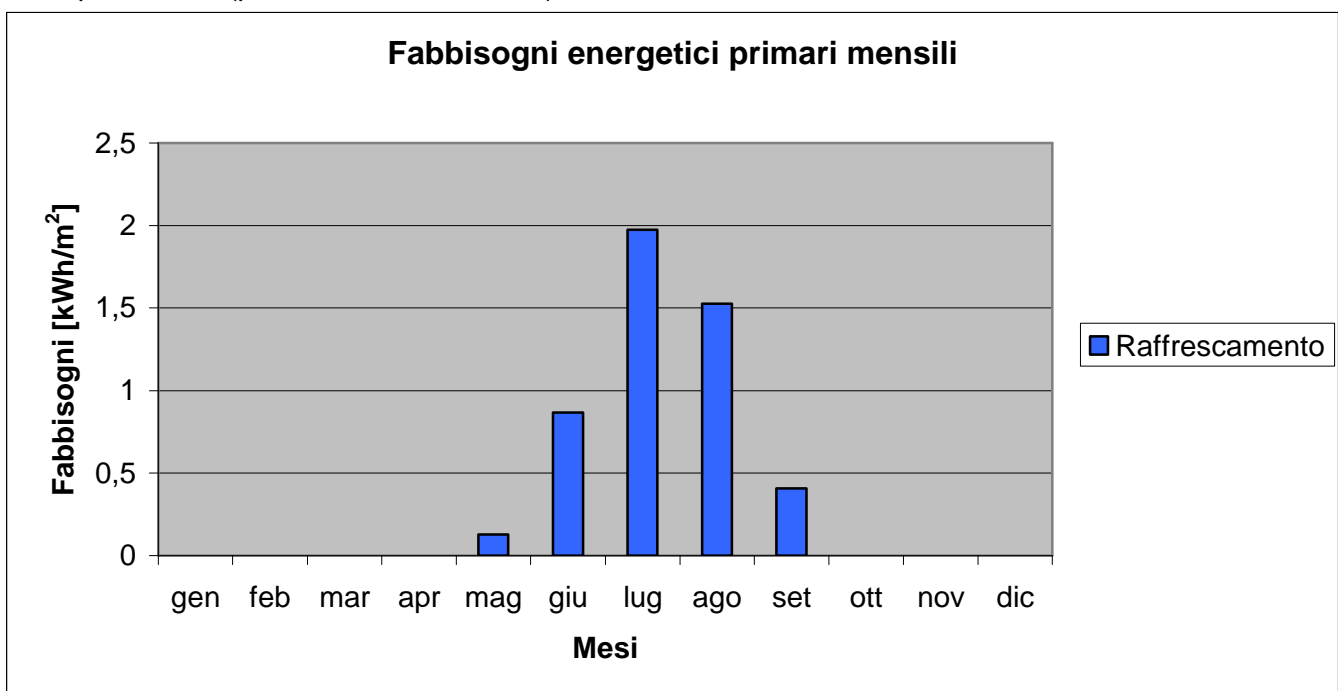
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
13,66

Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

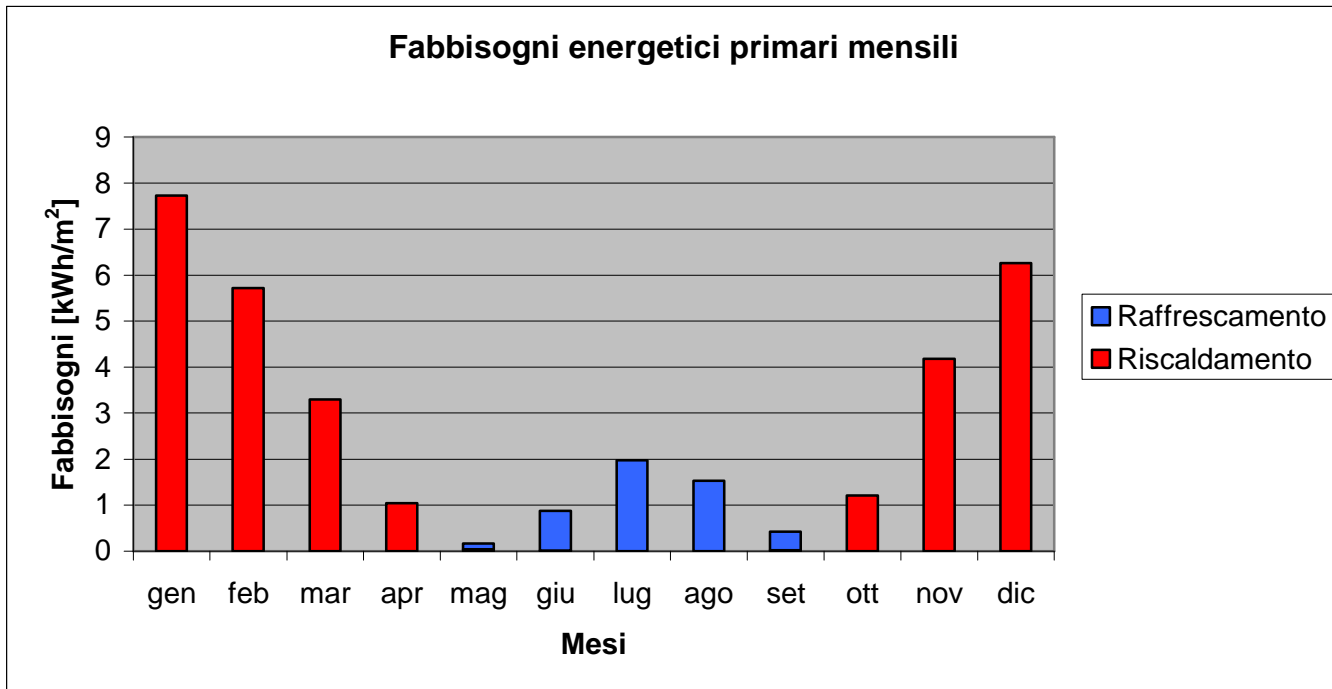
---

0,70

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio anni '60-'70, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)



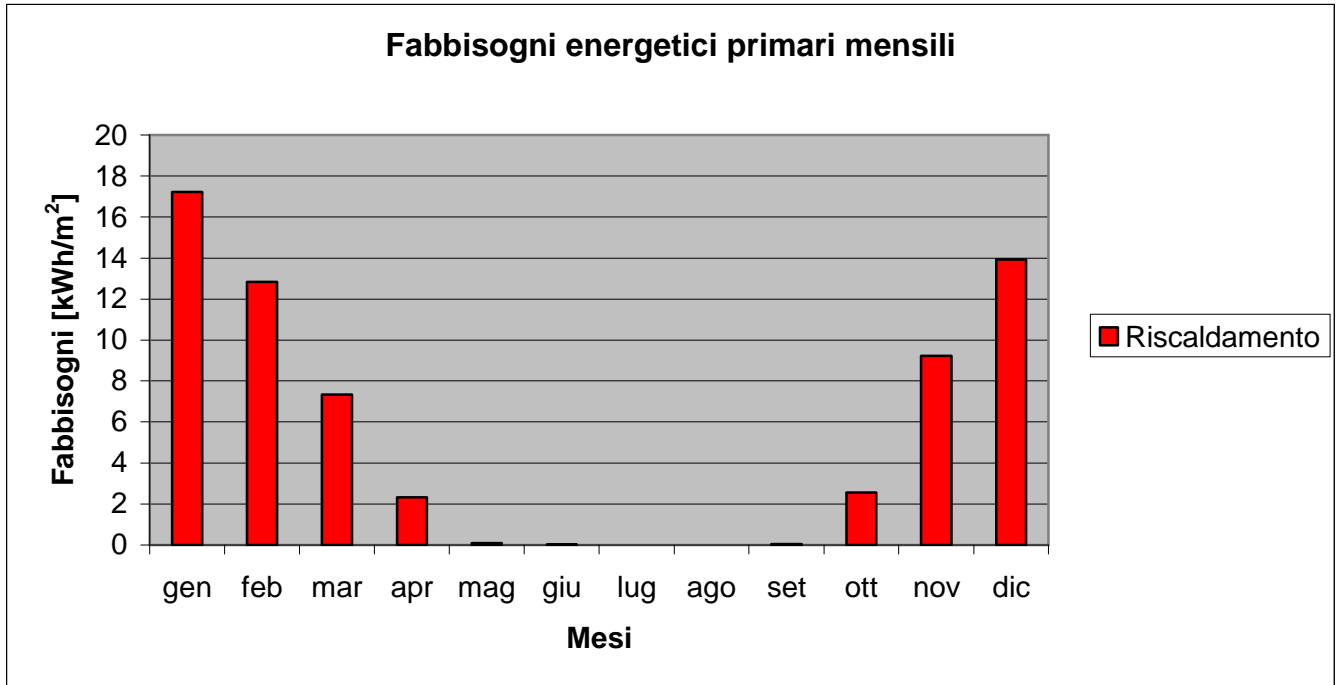
Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
51,19



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

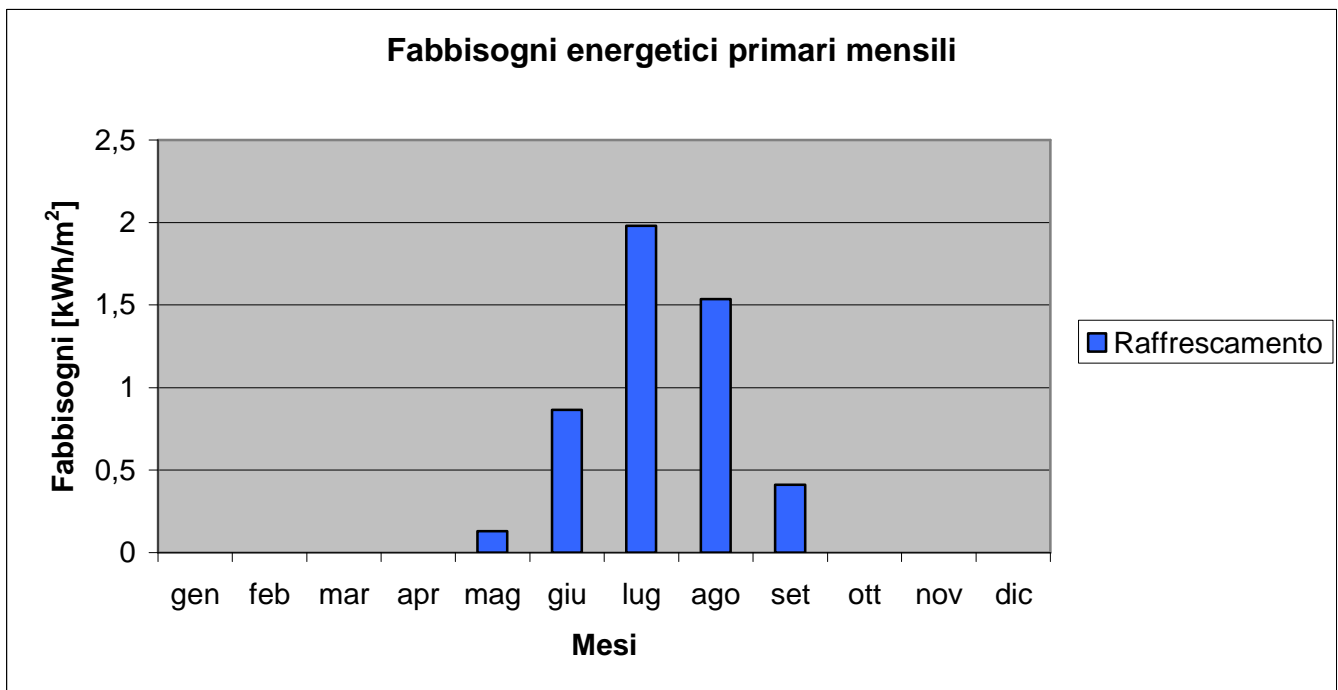
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio storico, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
13,51

Collocazione Milano, edificio storico, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

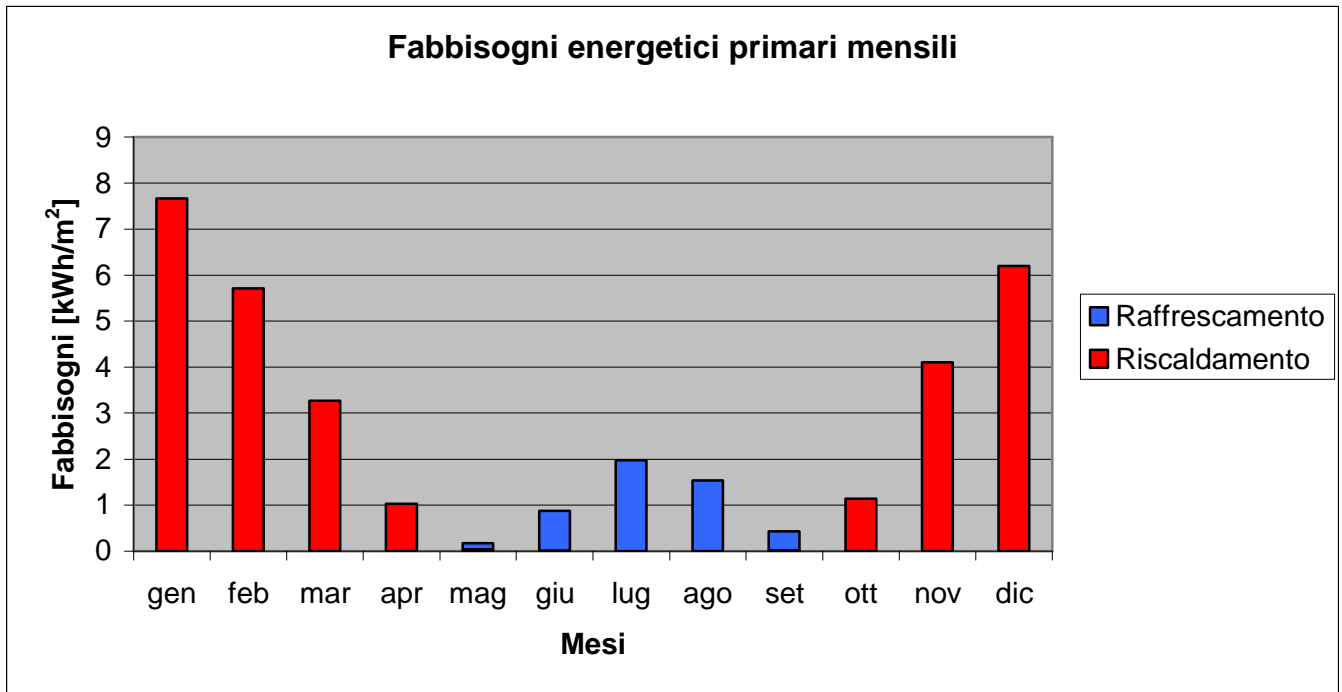
---

0,70

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Milano, edificio storico, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)

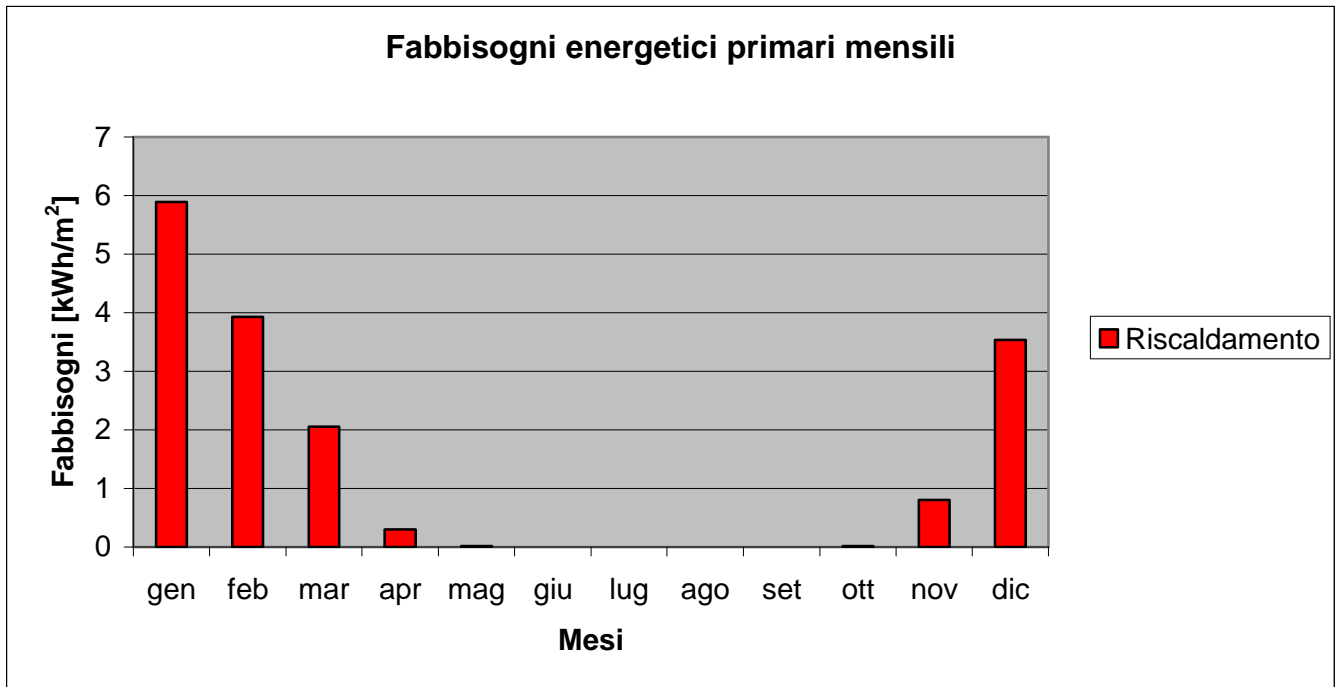


Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
50,66

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

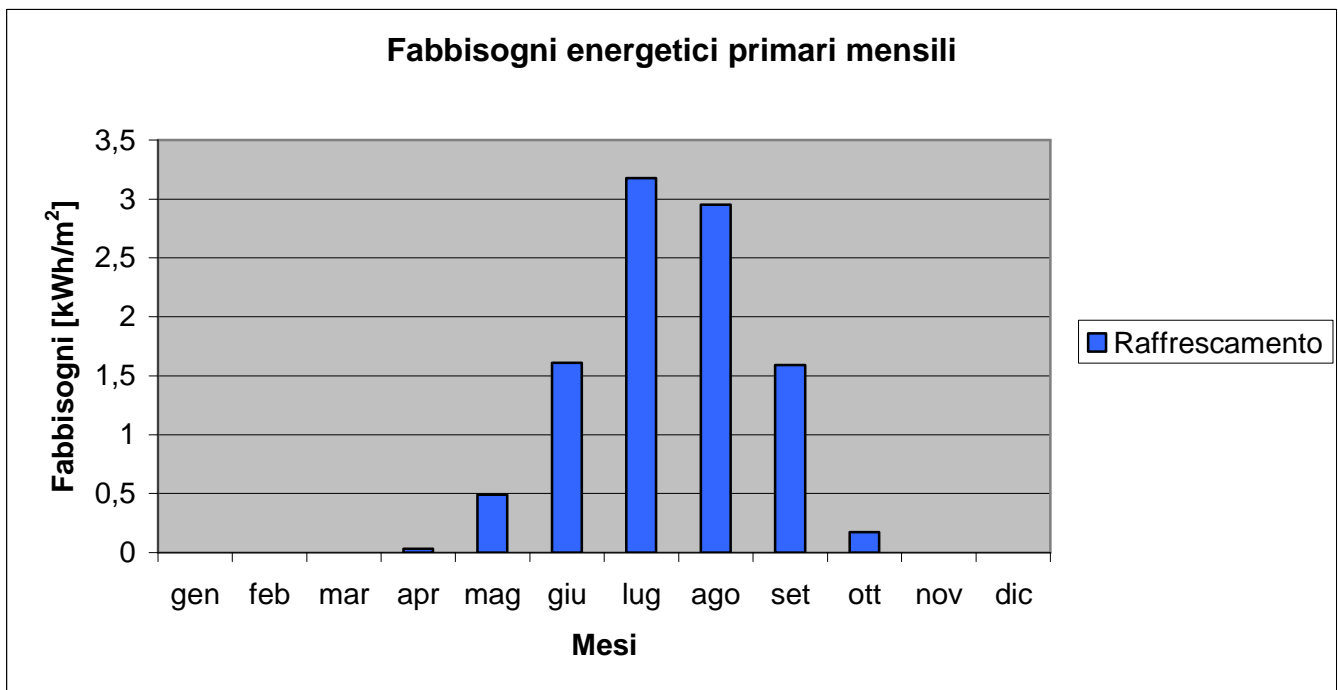
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
3,41

Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

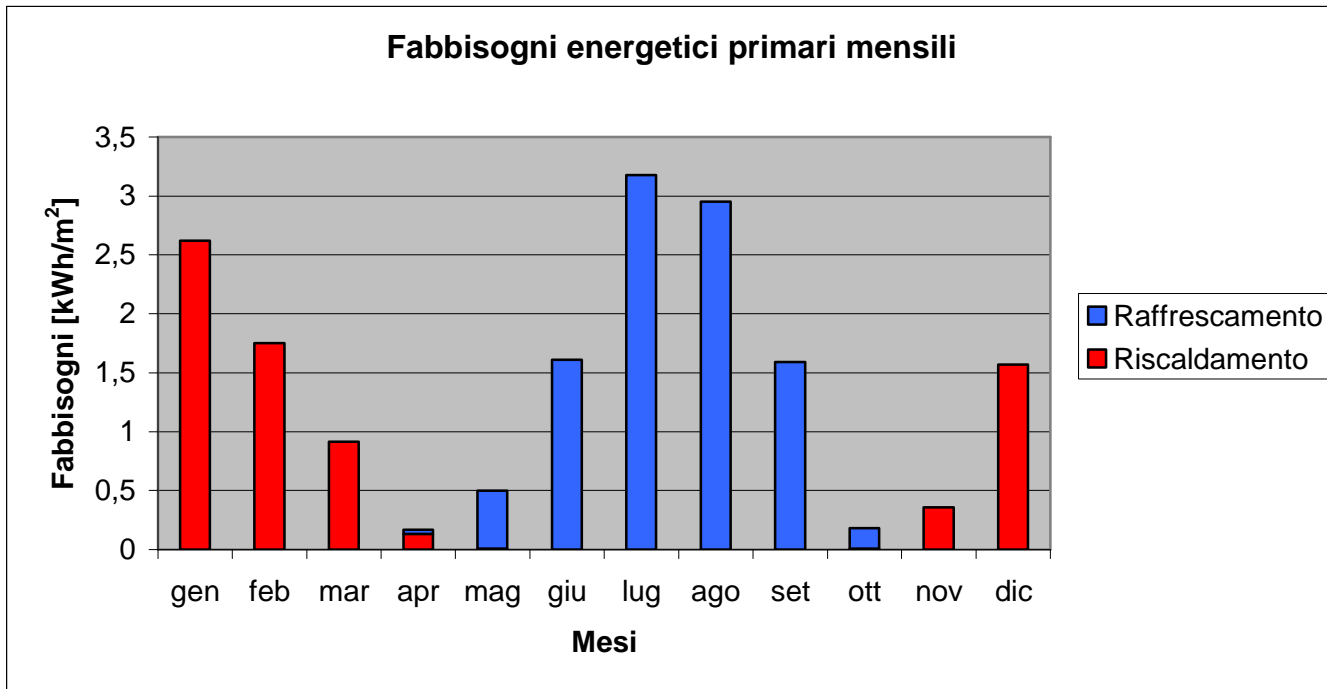
---

1,43

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio ex 192/2005, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)

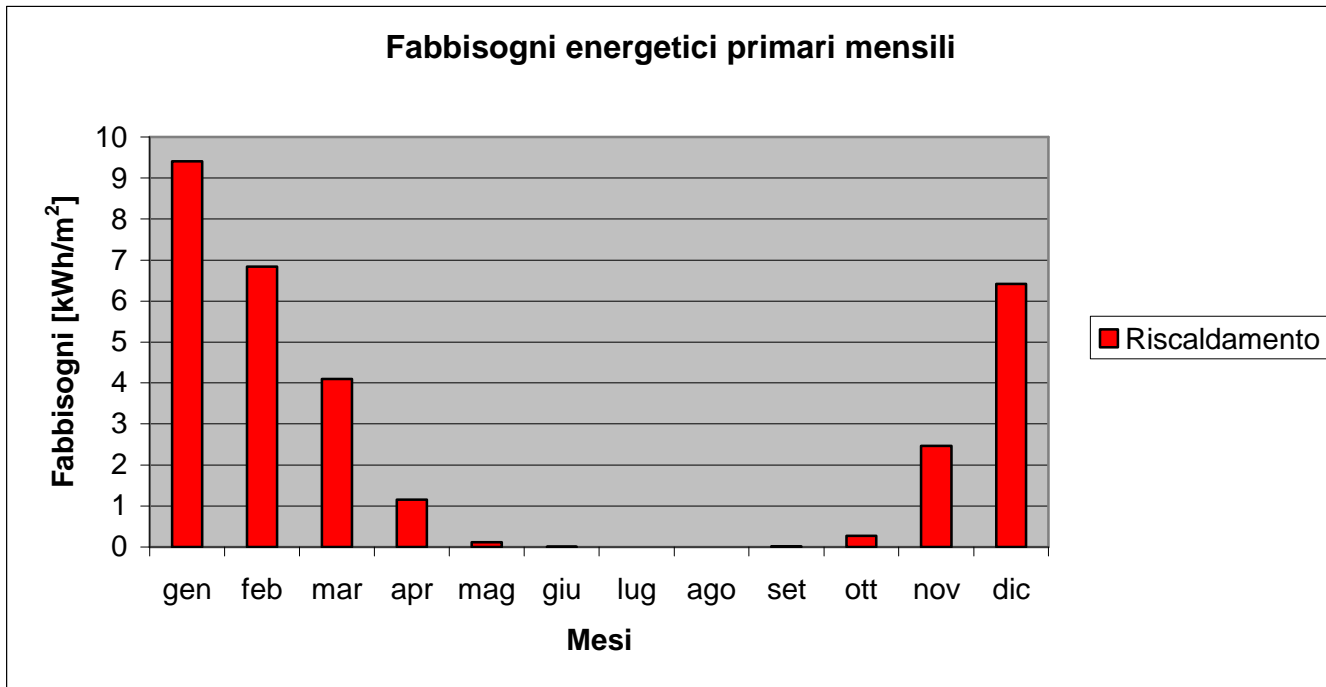


Risparmio di energia primaria in kWh/m² anno:  
14,03

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

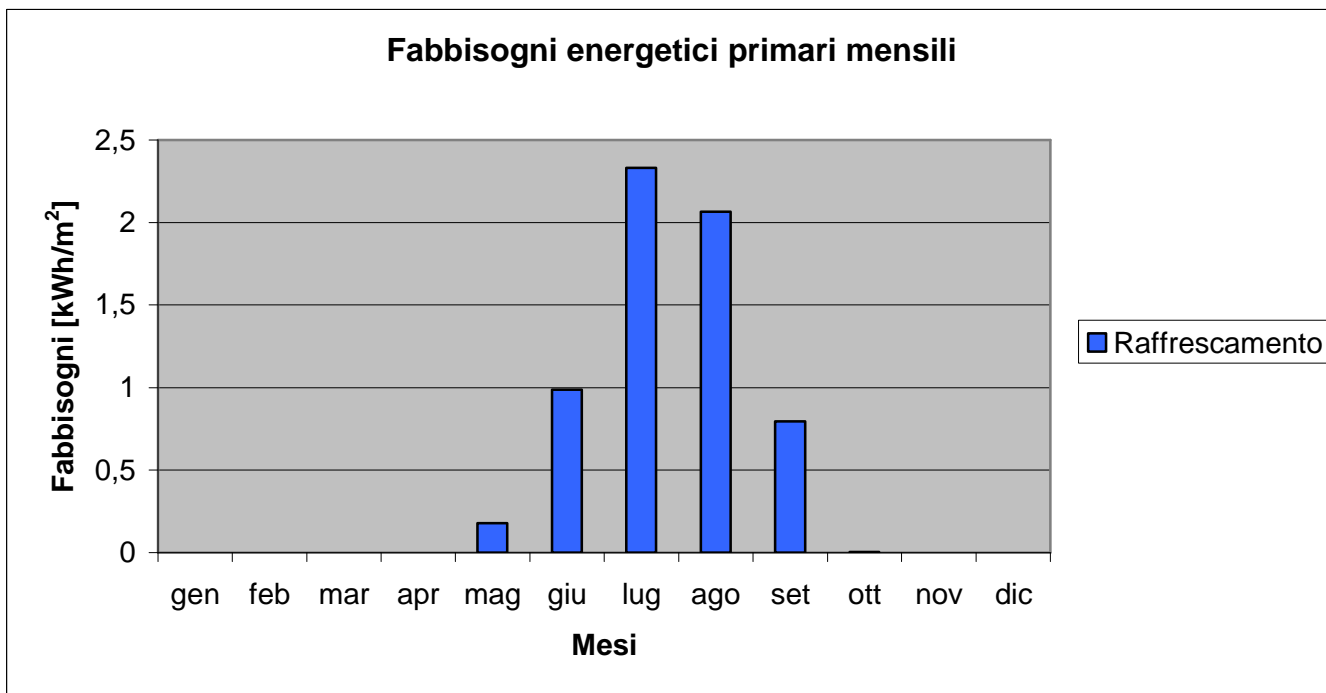
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m² anno:  
6,34

Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m² anno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

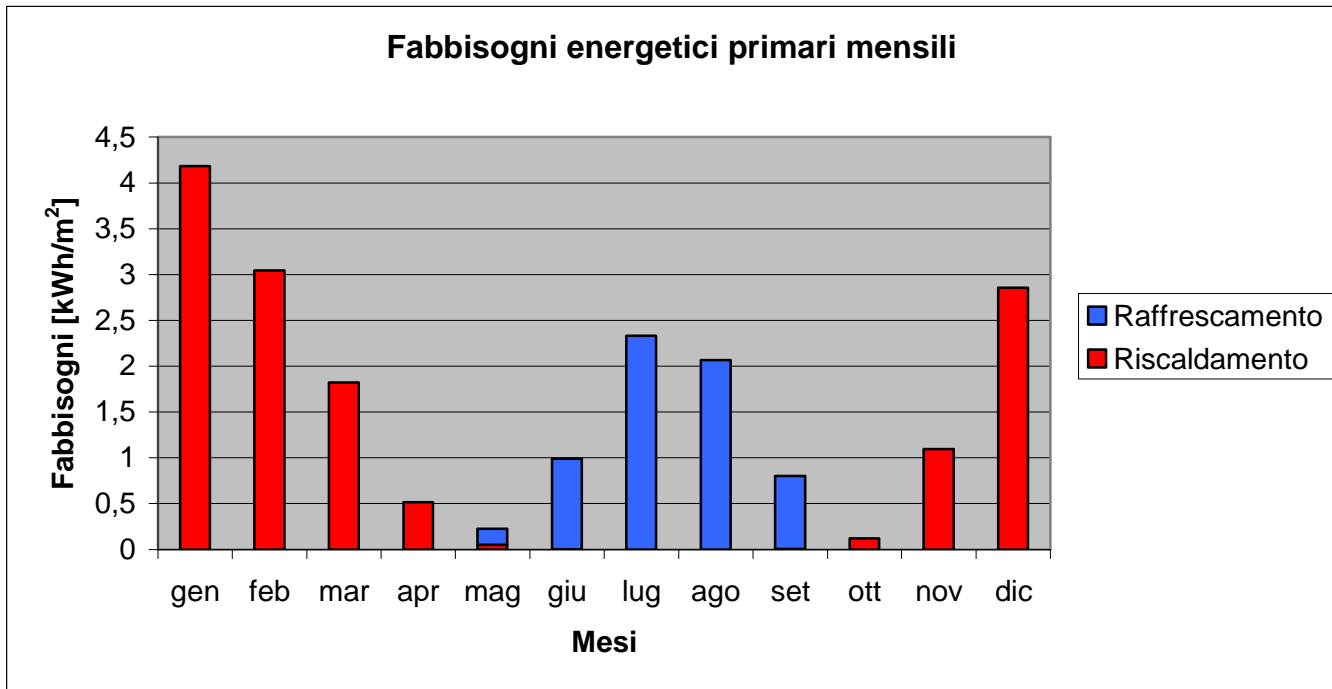
0,91



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio anni '60-'70, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)

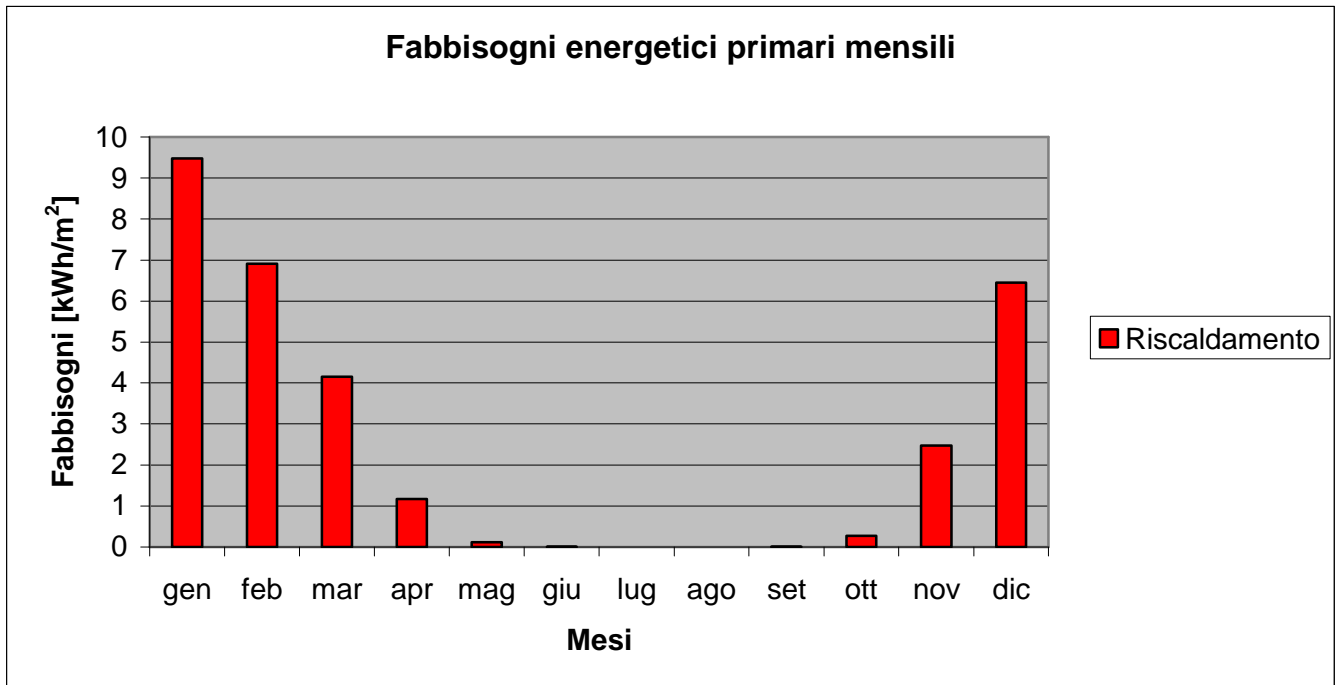


Risparmio di energia primaria in kWh/m² anno:  
24,34

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

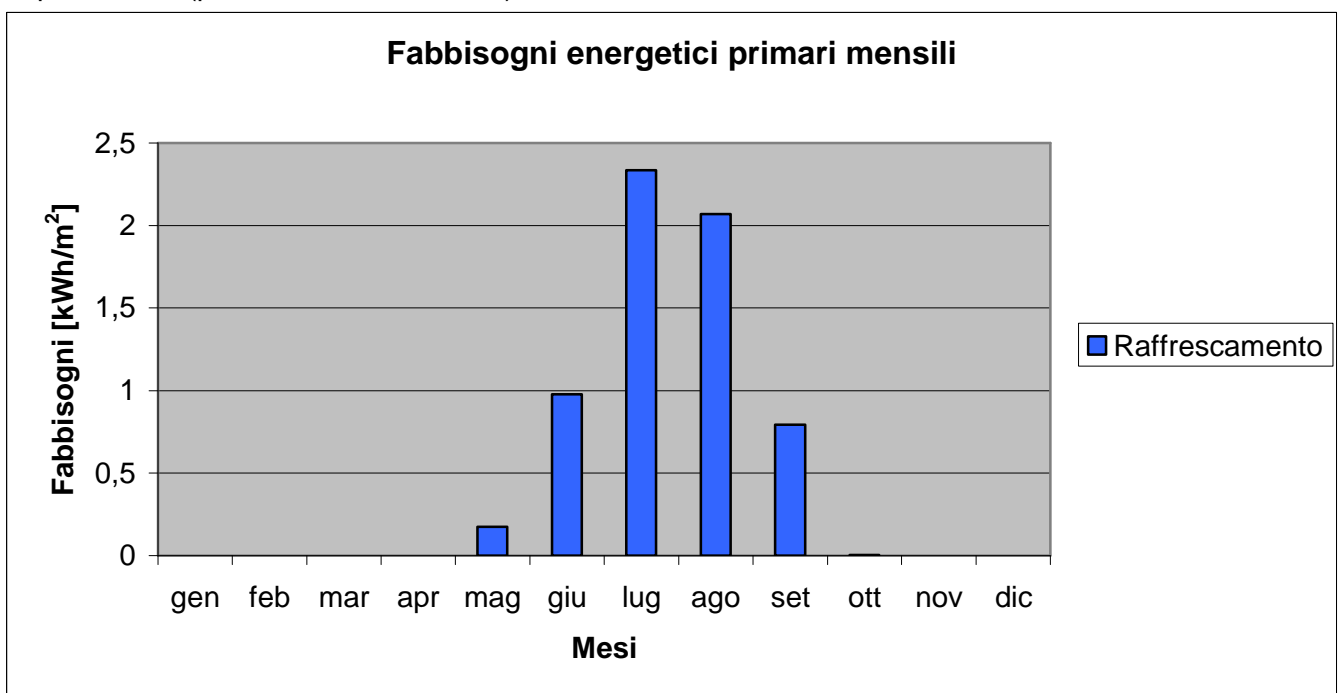
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio storico, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
6,39

Collocazione Roma, edificio storico, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

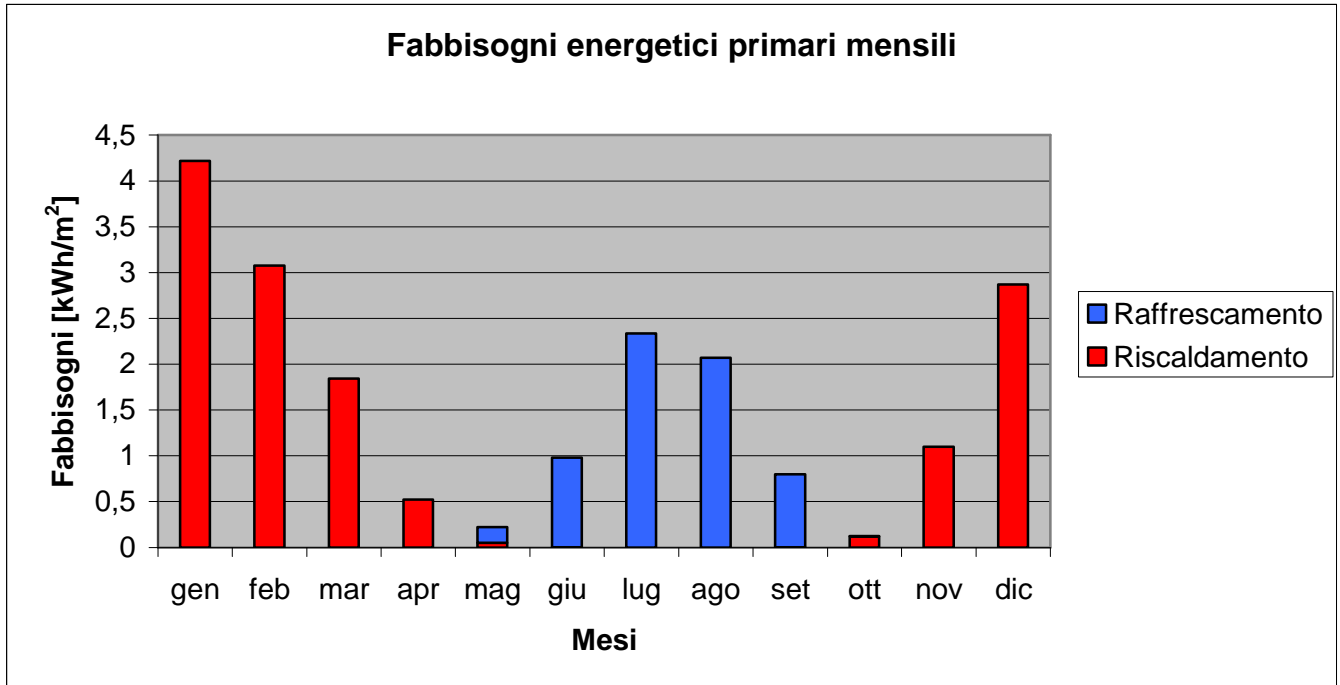
---

0,91

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Roma, edificio storico, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)

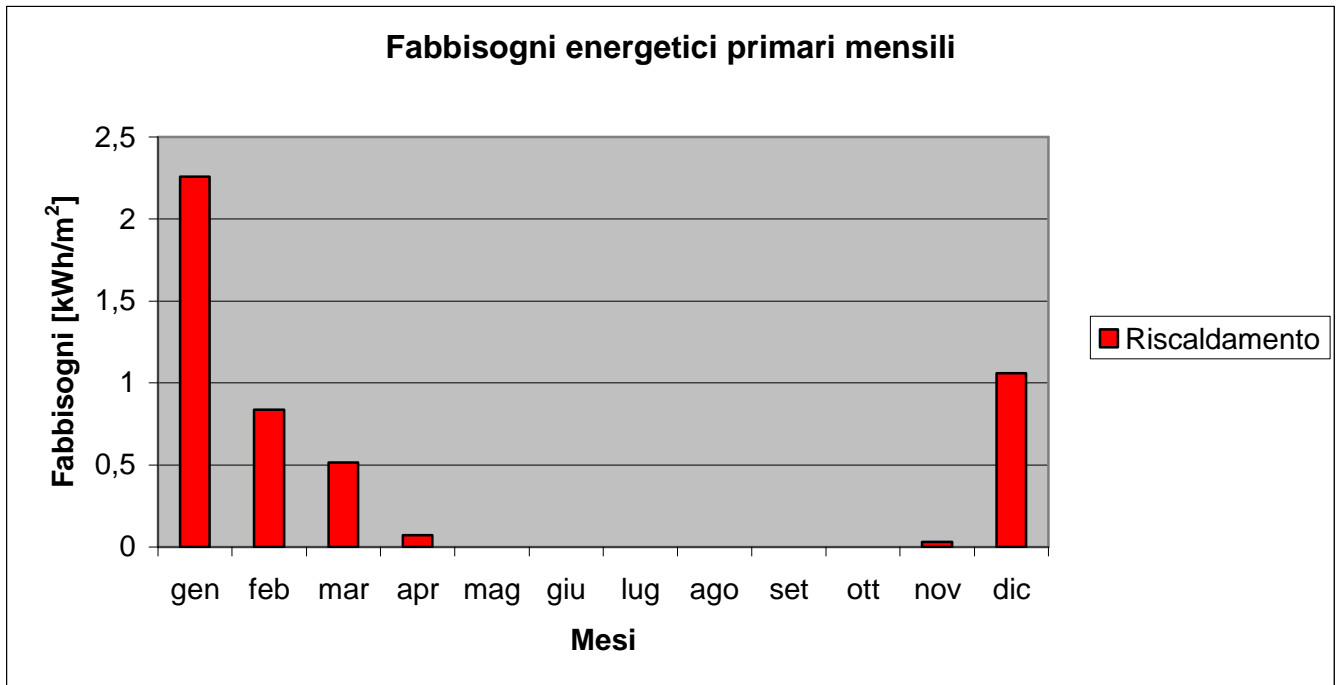


Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
24,53

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

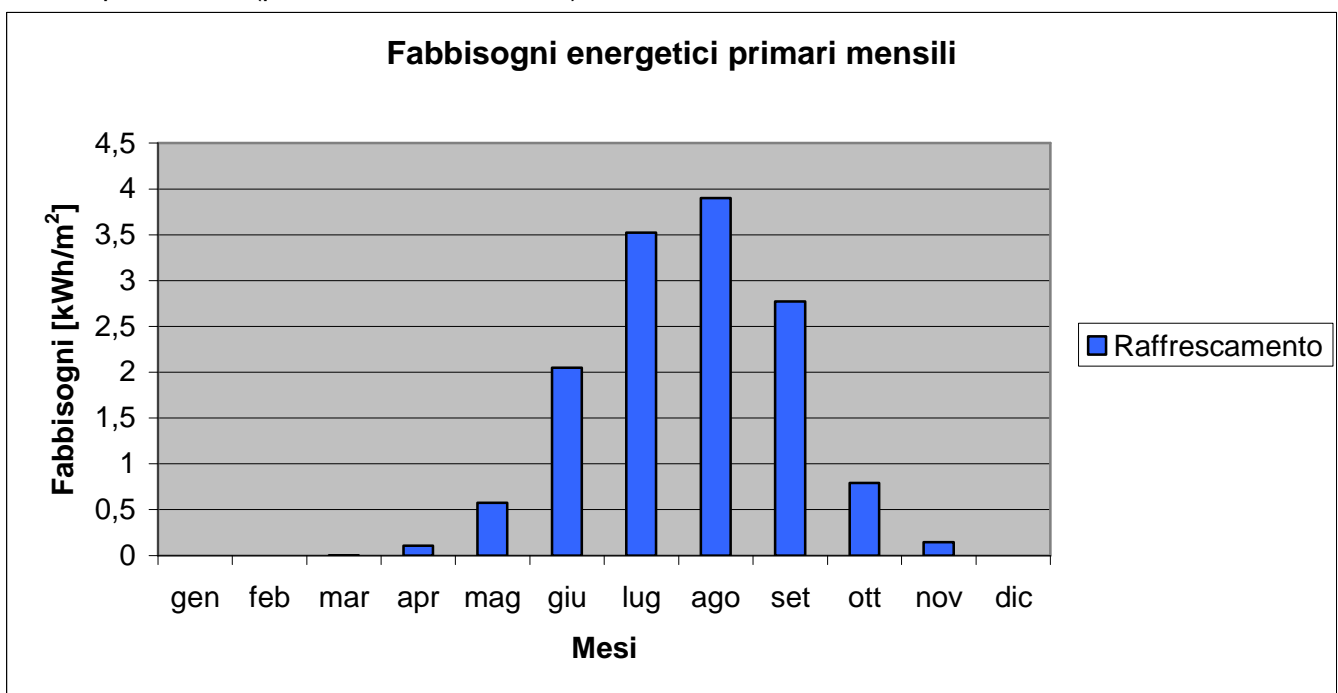
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
0,98

Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.”

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

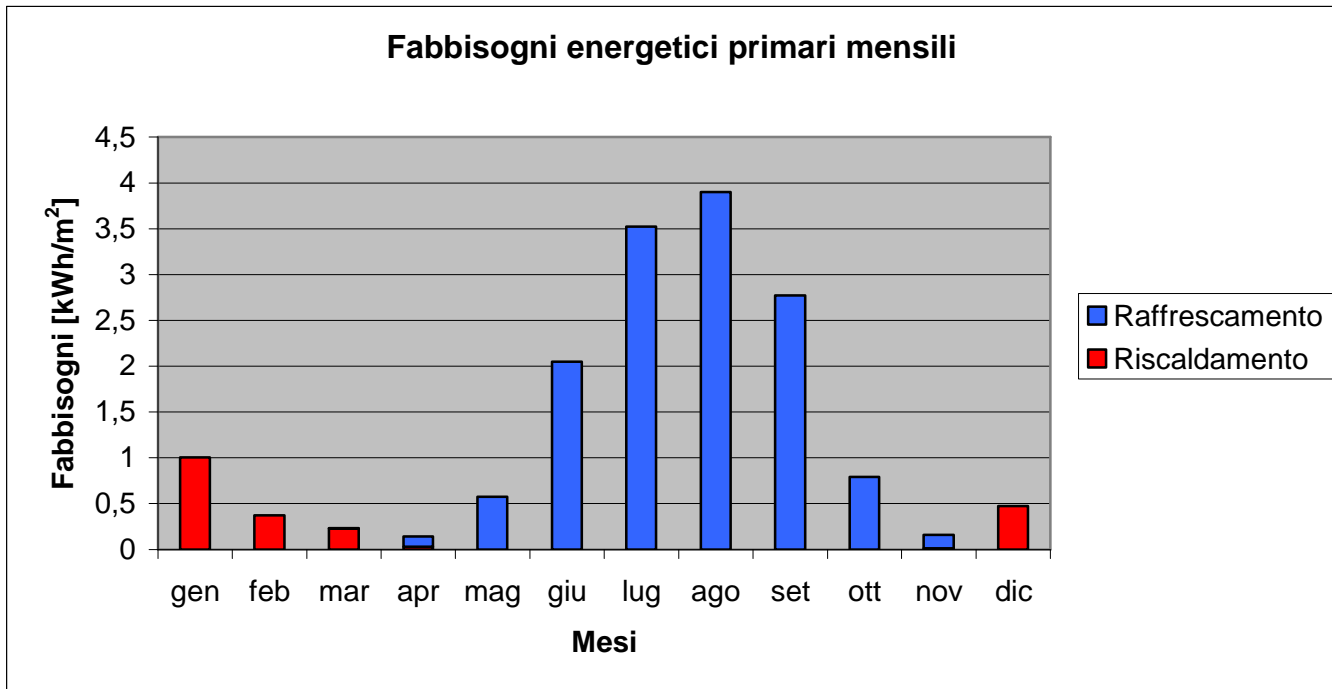
---

1,98

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio ex 192/2005, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)

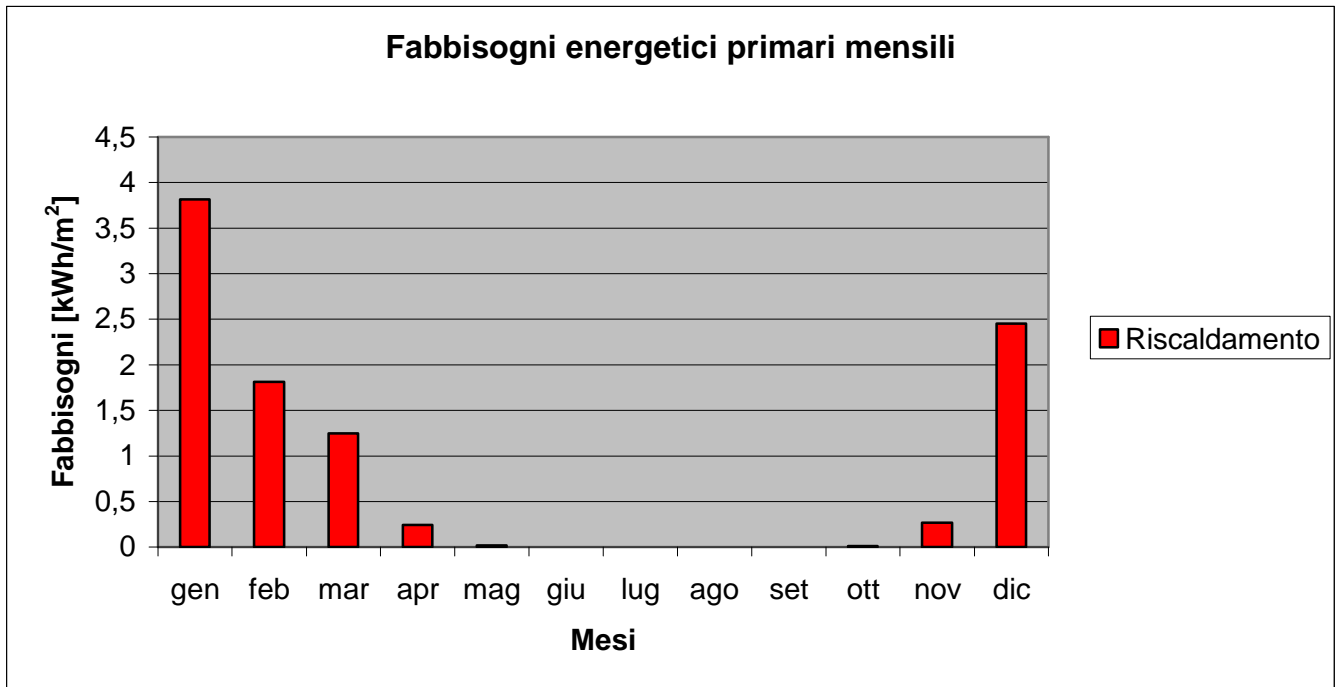


Risparmio di energia primaria in kWh/m² anno:  
5,61

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

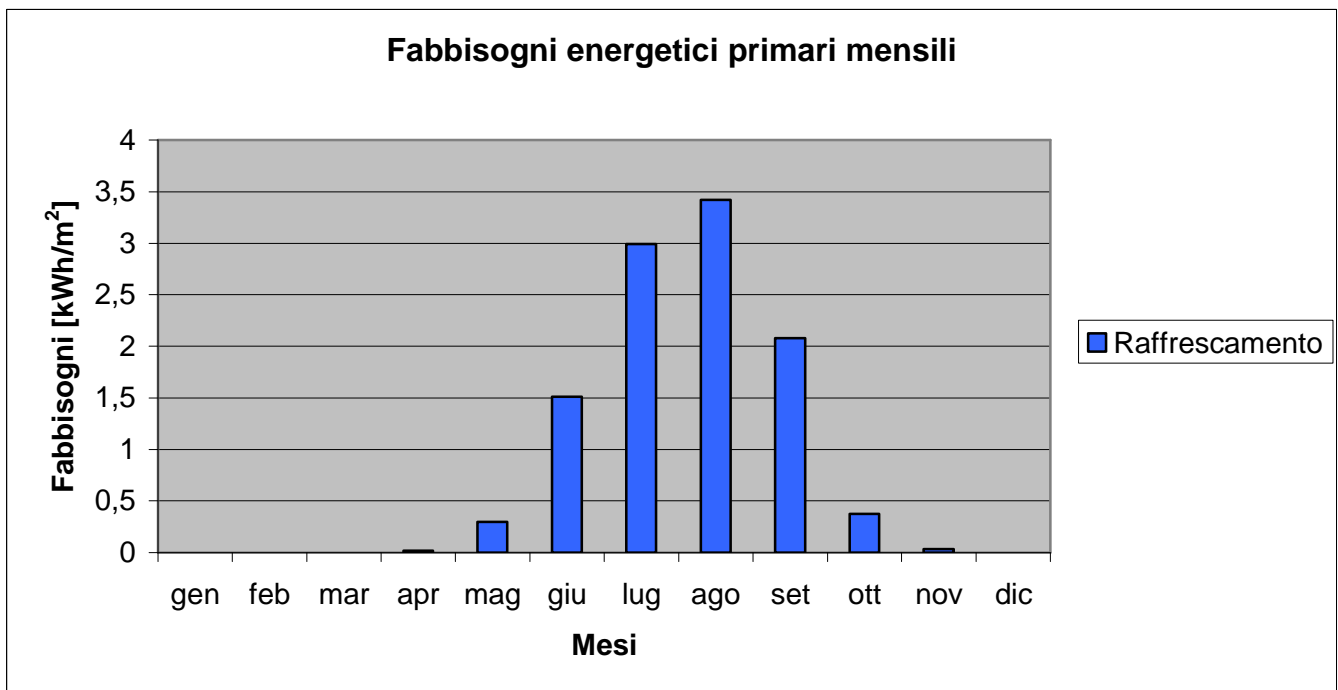
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
2,03

Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

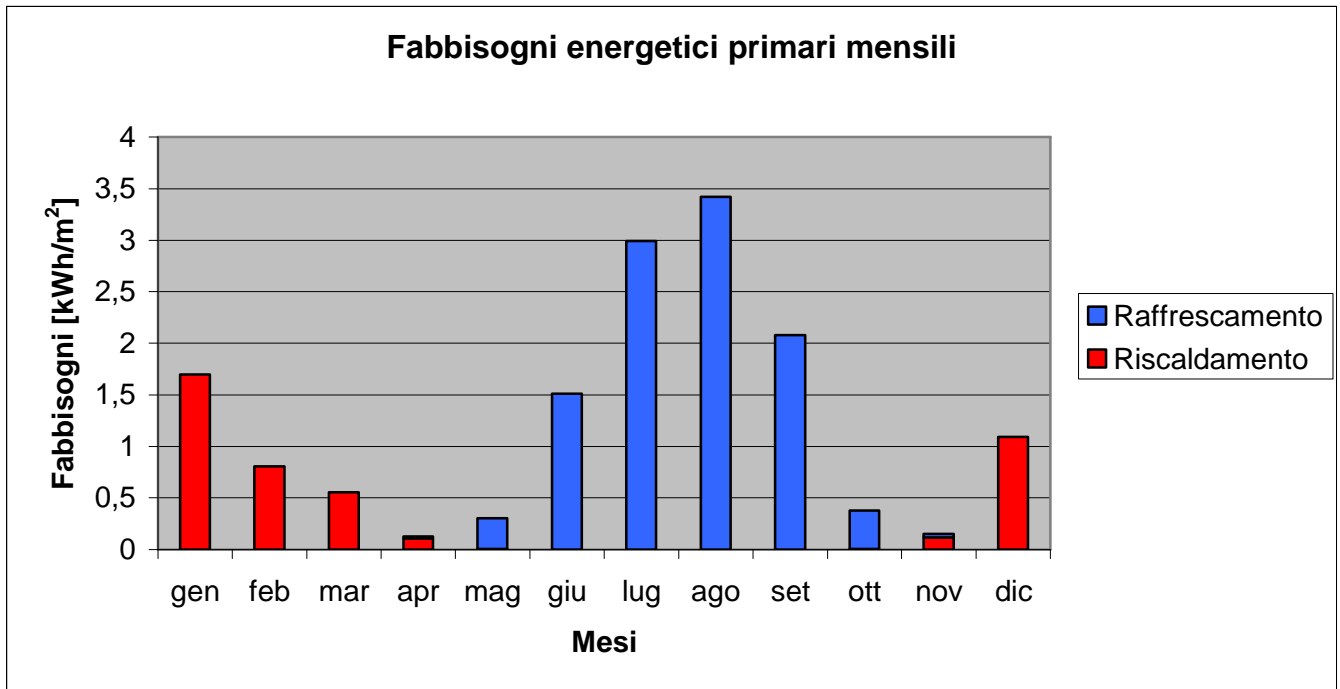
---

1,53

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio anni '60-'70, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)

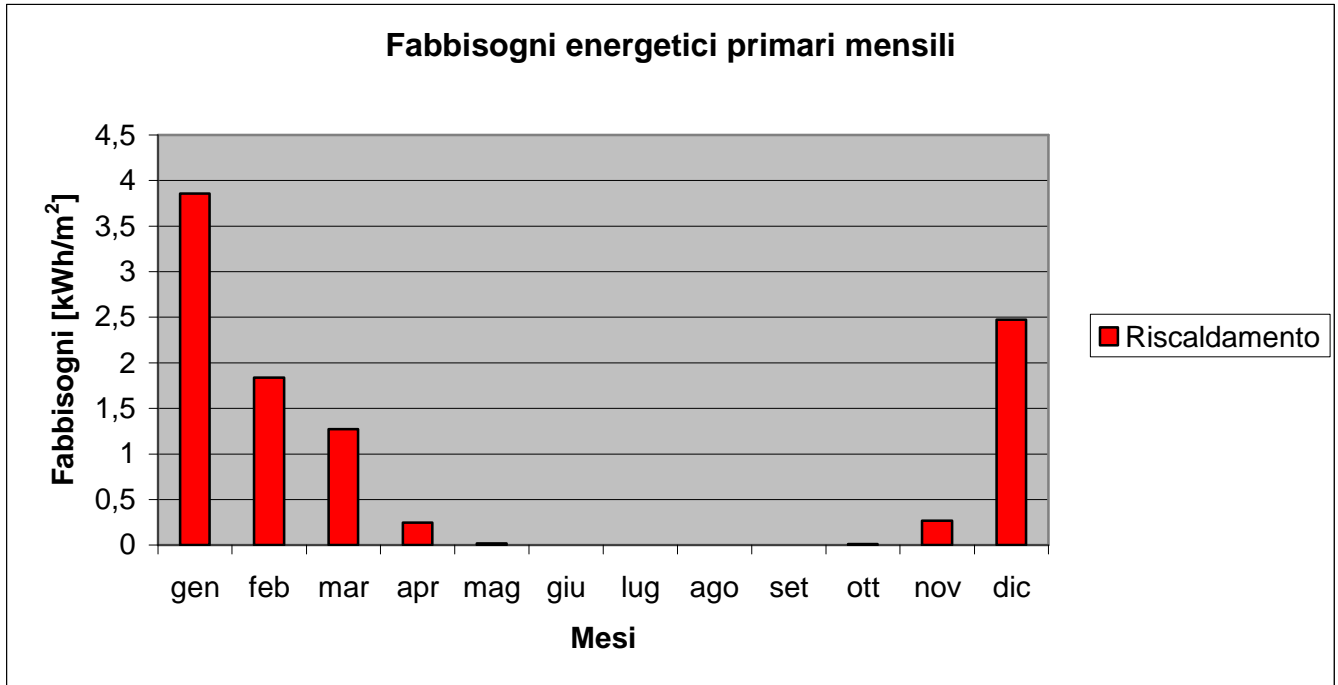


Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
9,04

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

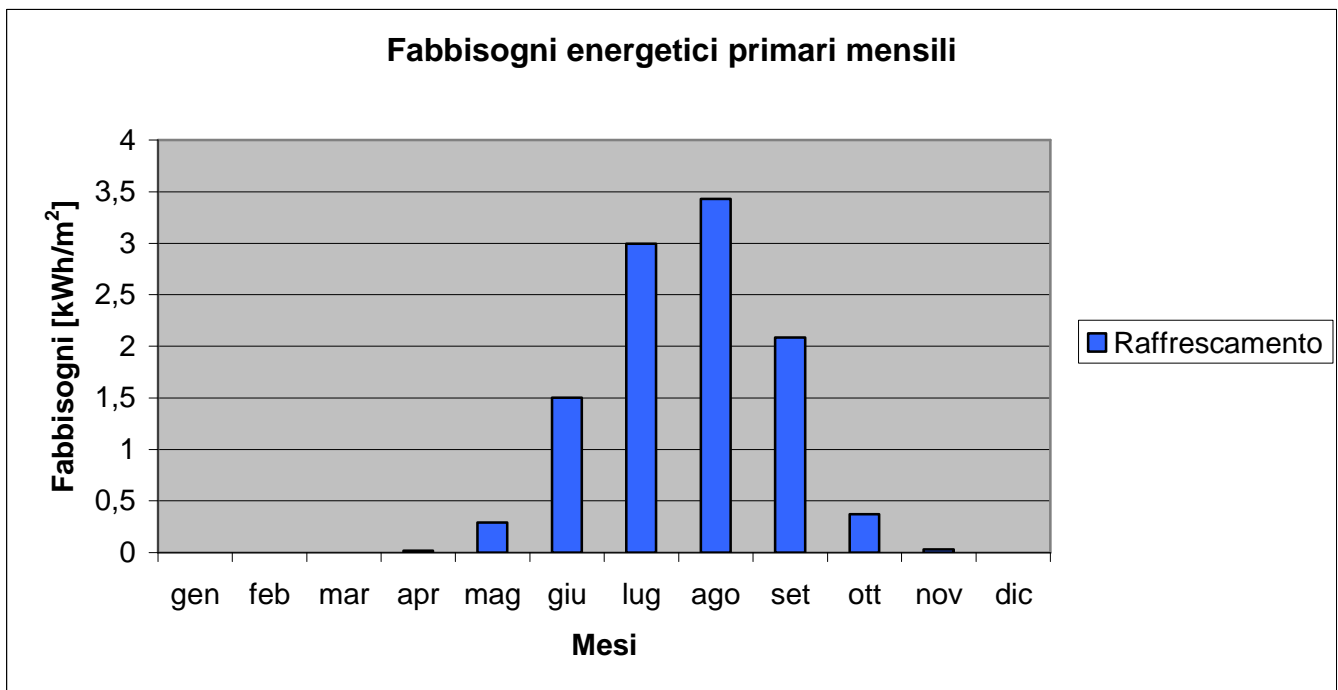
**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio storico, installazione di caldaia a condensazione e valvole termostatiche sui singoli terminali



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:  
2,05

Collocazione Palermo, edificio storico, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per solo raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m<sup>2</sup> anno:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.”

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

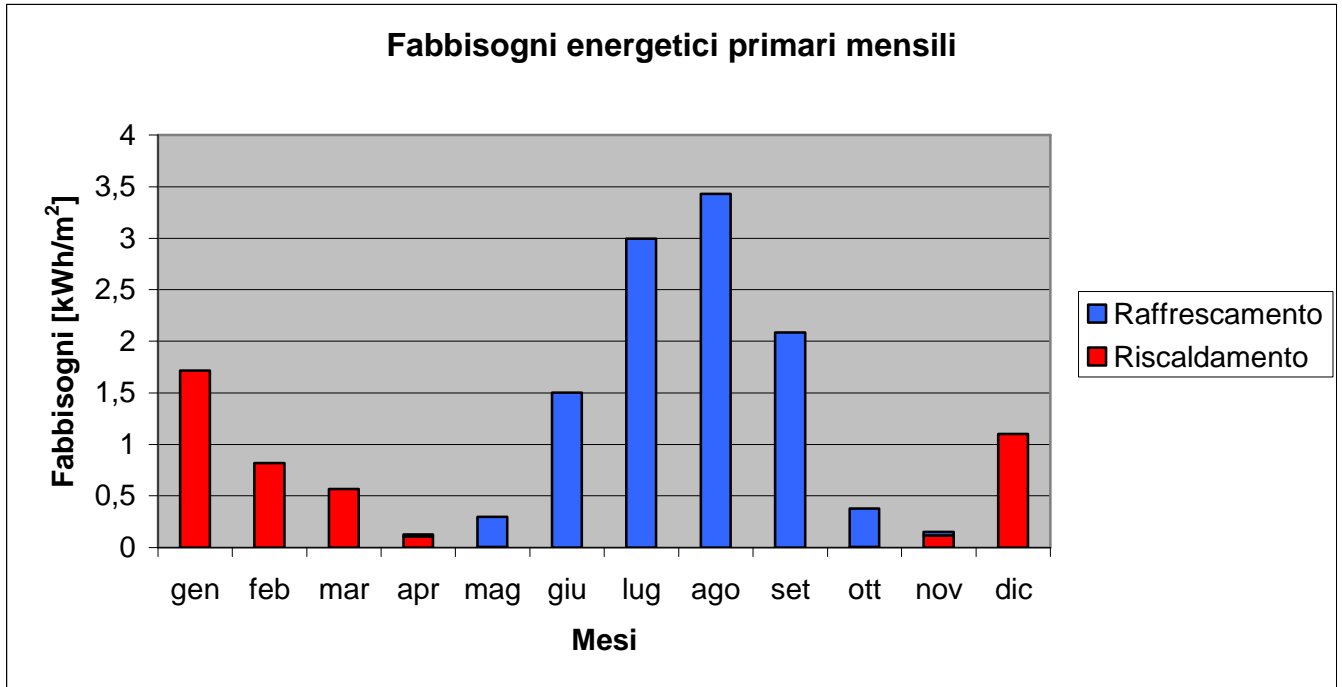
---

1,53

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

Collocazione Palermo, edificio storico, installazione di pompa di calore a sonde geotermiche o ad acqua di falda (per riscaldamento e raffrescamento)



Risparmio di energia primaria in kWh/m² anno:

9,12

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

*Interventi per l'impiego delle tecnologie solari fotovoltaica e termica*

Viene ora valutato, per le diverse collocazioni dell'edificio modello prescelto, la superficie di pannelli fotovoltaici necessaria per garantire l'approvvigionamento di energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno precedentemente determinato per illuminazione artificiale degli ambienti.

Si suppone di poter sempre collocare i pannelli fotovoltaici con esposizione sud e inclinazione ottimale pari a 35°.

Per ogni collocazione, viene effettuata anche un'analisi economica di massa, stimando pari a 400 euro/m<sup>2</sup> il costo di fornitura ed installazione dell'impianto fotovoltaico.

	IRRAGIAMENTO SUL PANNELLO [kWh/m <sup>2</sup> anno]		
	MILANO	ROMA	PALERMO
GENNAIO	31,34	50,64	61,35
FEBBRAIO	49,00	66,00	78,89
MARZO	91,55	106,90	121,45
APRILE	124,47	140,96	153,80
MAGGIO	154,97	179,53	190,11
GIUGNO	165,62	188,32	202,19
LUGLIO	182,70	203,16	208,18
AGOSTO	149,39	175,99	188,39
SETTEMBRE	105,89	130,39	143,94
OTTOBRE	66,97	94,85	104,50
NOVEMBRE	34,87	56,38	71,00
DICEMBRE	27,25	43,62	55,09

	ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA [kWh/m <sup>2</sup> ]		
	MILANO	ROMA	PALERMO
GENNAIO	4,00	6,46	7,82
FEBBRAIO	6,25	8,41	10,06
MARZO	11,67	13,63	15,48
APRILE	15,87	17,97	19,61
MAGGIO	19,76	22,89	24,24
GIUGNO	21,12	24,01	25,78
LUGLIO	23,29	25,90	26,54
AGOSTO	19,05	22,44	24,02
SETTEMBRE	13,50	16,63	18,35
OTTOBRE	8,54	12,09	13,32
NOVEMBRE	4,45	7,19	9,05

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

DICEMBRE	3,47	5,56	7,02
TOTALE	150,96	183,19	201,31

	FABBISOGNI		
	MI_192_H	MI_6070_H	MI_1930_H
		19519	18722
AREA PV [m <sup>2</sup> ]	129	124	127
COSTO [euro]	51720	49607	50883
	RM_192_H		
	RM_192_H	RM_6070_H	RM_1930_H
		16151	15993
AREA PV [m <sup>2</sup> ]	107	106	106
COSTO [euro]	42796	42377	42377
	PA_192_H		
	PA_192_H	PA_6070_H	PA_1930_H
		16142	15364
AREA PV [m <sup>2</sup> ]	107	102	102
COSTO [euro]	42770	40709	40709

Viene infine valutata la superficie di pannelli solari termici necessari a coprire almeno il 50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria dell'edificio scolastico scelto a modello. Tale fabbisogno è, coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente (Norma UNI/TS 11300-2) indipendente dalla collocazione dell'edificio ma dipendente solo dalla dimensione e dalla destinazione d'uso del medesimo. Tale fabbisogno risulta essere per l'edificio scolastico scelto come riferimento sempre uguale, indipendentemente dal fatto che questo sia collocato a Milano, Roma o Palermo. Tale fabbisogno può essere calcolato in coerenza a quanto previsto da paragrafo 5.2 di Norma UNI/TS 11300-2:2008 come:

$$Q_{h,w} = \sum_i \rho \cdot c \cdot V_w (\theta_{er} - \theta_o) \cdot G \tag{9}$$

dove:

- $\rho$  è la massa volumica dell'acqua [kg/m<sup>3</sup>]
- $c$  è il calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [Wh/kg°C]
- $V_w$  volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m<sup>3</sup>/G]

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

$\theta_{er}$  è la temperatura di erogazione (supposta 40°C) [° C]

$\theta_o$  è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda (15°C) [°C]

G numero dei giorni del periodo di calcolo [G]

$V_w$  risulta pari a:

$$V_w = a \cdot Nu$$

dove:

a per le scuole superiori non è indicato, e si impiega per analogia 0,2 l/m<sup>2</sup> G (valore previsto per gli uffici)

Nu è la dimensione dell'edificio scolastico (1000 m<sup>2</sup>)

In base a tali dati, il fabbisogno netto annuo di energia per acqua calda sanitaria risulta pari a 1394 kWh/anno, supponendo un periodo di calcolo pari a 240 giorni (pari al numero di giorni minimo per un anno scolastico aumentato di un periodo corrispondente agli esami di maturità).

Sulla base del fabbisogno così determinato, si determina la superficie di pannelli solari termici necessari a coprirne almeno il 50%, ipotizzando una collocazione con esposizione sud e inclinazione ottimale pari a 35°. Per ogni collocazione, viene effettuata anche un'analisi economica di massa, stimando pari a 400 euro/m<sup>2</sup> il costo di fornitura ed installazione dell'impianto solare termico. Si ipotizza di impiegare pannelli solari termici del tipo a tubi sottovuoto.

Nel caso di impiego di sistemi solari attivi, non si considera l'ipotesi peggiorativa relativa alla presenza di elementi ombreggianti le superfici di captazione.

	MILANO	ROMA	PALERMO
SUPERFICIE DI PANNELLI SOLARI TERMICI PREVISTA [m <sup>2</sup> ]	2	1	1
ENERGIA PRODOTTA [kWh/anno]	1594	1188	1307
PERCENTUALE DI COPERTURA DEL FABBISOGNO [%]	75%	56%	62%



Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

**RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010**

---

## **lavori scientifici**

- S.P. Corgnati, V. Corrado, Energy Monitoring and Labelling, In: M. Santamuris, D Mumovic, A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering – An integrated approach to energy, health and operational performance, 2009, pp. 35-50, Pub. Earthscan 2009, ISBN: 978-1-84407-596-6
- S.P. Corgnati, F. Ariaudo, L. Rollino, Definizione di un indice semplificato per la previsione dei consumi per il riscaldamento di un patrimonio edilizio esistente a destinazione d'uso prevalentemente scolastica, III Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana Gestione Energia (AIGE) - Parma, 4-5 giugno 2009
- S.P. Corgnati, Le azioni delle amministrazioni locali per il risparmio energetico in edilizia, a cura di Stefano Corgnati collana "Energia e Ambiente" edizioni Celid, settembre 2009, ISBN 978-88-7661-852-9
- S.P. Corgnati, T. Bellone, F. Ariaudo, Previsione dei consumi per il riscaldamento ambientale di edifici esistenti con approccio statistico: il caso delle scuole, Congresso ATI, Montesilvano, settembre 2009
- S.P. Corgnati, F. Ariaudo, M. Filippi, T. Bellone, Energy benchmarking of non-residential building: the case of bank branches, The 10th REHVA World Congress. "Sustainable Energy Use in Building", Antalya, Turkey, 9-12 May 2010, vol.1, pp. 1-8
- F. Ariaudo, Tesi di dottorato di ricerca "L'uso dell'energia in edifici esistenti a destinazione d'uso residenziale, scolastica e per uffici - Metodologie di raccolta e di elaborazione dei dati e tecniche di benchmarking energetico", tutori: prof. M. Filippi, ing. S. P. Corgnati, Torino, 17 maggio 2010