



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

ANALISI DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DI UN PARCO  
EDIFICI DEL TERZIARIO (POLITECNICO DI MILANO, CAMPUS CITTÀ  
STUDI E CAMPUS BOVISA), CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AL  
POTENZIALE DI RIDUZIONE DEGLI CONSUMI ELETTRICI IN FASE  
D'USO

*S. Ferrari, V. Zanotto, M. Bonomi, M. Baldinazzo*



**POLITECNICO DI MILANO**  
**DIPARTIMENTO DI ENERGIA**

Report RdS/2010/191

Analisi delle prestazioni energetiche di un parco edifici del terziario, con particolare riferimento al potenziale di riduzione dei consumi elettrici in fase d'uso

S. Ferrari, V. Zanotto, M. Bonomi, M. Baldinazzo (Politecnico di Milano, campus Città degli Studi e campus Bovisa)

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.

## PREMESSA

L'attività di calcolo dei benchmark è stata svolta attraverso un set di simulazioni dinamiche condotte su edifici-tipo collocati nel contesto climatico italiano. E' stato inoltre realizzato uno studio per la definizione di indici di applicabilità e di potenzialità di componenti di impianto innovative, con particolare riferimento al contenimento dei consumi elettrici in fase d'uso.

Il rapporto contiene le seguenti parti:

- 1) Analisi delle prestazioni energetiche di un parco edifici del terziario (Politecnico di Milano, campus Città Studi e campus Bovisa), con particolare riferimento al potenziale di riduzione degli consumi elettrici in fase d'uso.
- 2) Definizione di un metodo di stima dell'indice "stato medio energetico" di un parco edilizio al fine di individuare le priorità di intervento mirate al contenimento degli consumi energetici dei singoli edifici.
- 3) Simulazioni dinamiche di edifici-tipo al fine di definire i benchmark cui riferire il potenziale dato dagli interventi di contenimento dei consumi.

## **1 Analisi delle prestazioni energetiche di un parco edifici del terziario (Politecnico di Milano, campus Città Studi e campus Bovisa), con particolare riferimento al potenziale di riduzione degli consumi elettrici in fase d'uso**

Lo studio è stato svolto al fine di valutare diversi scenari di riduzione degli sprechi energetici a seguito di interventi mirati ad una gestione “comfort on demand” dell’energia erogata negli spazi vissuti del parco edifici del Politecnico di Milano.

Nell’abitare gli edifici, infatti, sono diversi i comportamenti abituali dell’utenza che comportano inutili sprechi di energia. Ad esempio: l’illuminazione artificiale viene inizialmente attivata quando se ne presenta la necessità, ma non è abitudine diffusa la disattivazione della stessa dal momento in cui la disponibilità di illuminazione naturale sia aumentata fino a garantire, senza necessità di alcuna integrazione “artificiale”, un sufficiente livello di illuminamento degli spazi. Oppure, sovente capita di uscire dal proprio ufficio, per un intervallo di tempo più o meno prolungato, dimenticando di disattivare il sistema di illuminazione artificiale. E ancora, i dispositivi di oscuramento, attivati quando la radiazione solare diretta comporta abbagliamento agli occupanti, raramente vengono disattivati nel momento in cui la causa del discomfort non è più presente (e l’illuminazione artificiale resta attivata). Molteplici potrebbero essere anche gli esempi di “abusi” che comportano maggiori consumi per il riscaldamento o il raffrescamento degli ambienti: finestre aperte per ricambiare l’aria con terminali dell’impianto di condizionamento attivati (il che comporta, tra l’altro, il perdurare dei ricambi d’aria oltre lo stretto necessario visto che la compensazione termica data dai terminali attivi ritarda la sensazione di discomfort che “ricorda” all’utente di chiudere le finestre), ambienti condizionati senza presenza di persone, ecc.

Tali aspetti, troppo spesso trascurati, sono in realtà responsabili di effetti energetico-ambientali assai rilevanti.

Da un lato, come emerge dagli esempi riportati, essi sono prevalentemente riconducibili ad atteggiamenti di noncuranza da parte degli utenti (particolarmente accentuata nel caso in cui gli stessi non siano intestatari della bolletta energetica, come avviene negli edifici pubblici) ma, dall’altro lato, essi sono anche dovuti alla mancanza di adeguati sistemi di regolazione e controllo dell’erogazione energetica locale. Ad esempio, capita spesso di trovarsi in un ambiente eccessivamente riscaldato, privo di termostato di regolazione autonomo, e di dover provvedere al “raffrescamento” aprendo le finestre della stanza. Oppure di disporre di un solo interruttore che comanda la totalità dei corpi illuminanti presenti in ambiente quando, diversamente, in alcune giornate o momenti della giornata, sarebbe sufficiente attivare parzialmente le lampade per raggiungere il livello di illuminamento desiderato.

Ai fini del presente studio è stata condotta una prima indagine-pilota negli ambienti interni ai ventisette edifici del Campus Leonardo, Bonardi, Bassini e Golgi Clericetti (per un totale di circa 3.700 ambienti), successivamente estesa ai 30 edifici del Campus Bovisa (Durando e La Masa) con lo scopo di poter stimare il potenziale di riduzione degli sprechi energetici (per altri 3200 ambienti circa).

L'indagine svolta sulle caratteristiche d'uso e sulle dotazioni impiantistiche-tecnologiche degli ambienti considerati, ha portato alla definizione di un elevato numero di informazioni che, per esigenze di praticità, sono state organizzate in un Data-Base su supporto informatico, ad integrazione di quello già in possesso dell'Area Tecnico Edilizia. La struttura dinamica del Data-Base è stata concepita per consentirne successivi aggiornamenti ed implementazioni.

Sulla base dei dati rilevati è stato possibile individuare le principali cause di sprechi di energia e definire possibili strategie di intervento mirate al miglioramento funzionale delle dotazioni impiantistiche a livello di singolo ambiente.

In funzione delle caratteristiche degli ambienti analizzati, e delle strategie di riduzione dei consumi ipotizzate, è stato possibile valutare il potenziale risparmio energetico e la riduzione delle emissioni ad effetto serra conseguibili. Infine, l'analisi ha consentito di individuare le migliori strategie di intervento dal punto di vista dei tempi di ritorno dell'investimento, al fine di suggerire le priorità d'azione da contemplare nella pianificazione economica di gestione e manutenzione del parco edifici in esame.

## **2 Definizione di un metodo di stima dell'indice "stato medio energetico" di un parco edilizio al fine di individuare le priorità di intervento mirate al contenimento degli consumi energetici dei singoli edifici.**

Il modello di stato medio energetico (SME) definito con lo studio ingloba le soluzioni progettuali individuate e descritte nella relazione "Analisi delle prestazioni energetiche di un parco edifici del terziario (Politecnico di Milano, campus Città Studi e campus Bovisa), con particolare riferimento al potenziale di riduzione degli consumi elettrici in fase d'uso". Il riferimento alle specifiche caratteristiche del patrimonio edilizio del Politecnico di Milano, all'interno del quale il modello viene calato e per il quale valuta lo stato dei sistemi di attivazione e gestione delle forniture energetiche locali di ogni singolo ambiente, consente di ricondurre ad un caso applicativo reale. In modo del tutto analogo la metodologia individuata potrebbe essere applicata ad altri parchi edilizi, anche avvalendosi di informazioni energetico-prestazionali diverse da quelle esemplificate per il caso in esame.

La determinazione dello Stato Medio Energetico (SME) muove dalla volontà di considerare gli obiettivi da conseguire in termini di contenimento dei consumi energetici e riduzione delle emissioni in sede di programmazione strategica per lo sviluppo e il mantenimento di un patrimonio immobiliare.

Di seguito si riassume per punti la metodologia impiegata per determinare lo stato medio energetico.

- 1) Gli spazi costituenti il patrimonio edilizio in esame sono stati raggruppati come primo livello in quattro macro categorie: aule, uffici, spazi comuni, locali tecnici. Per ognuna delle differenti macro-destinazioni d'uso sono state esaminate le strategie di intervento possibili agli effetti della riduzione dei consumi energetici.

### ***Interventi semplici***

- 1 sensori apertura finestra
- 2 sensori di presenza
- 3 apertura tende interne differenziata
- 4 sensory daylight (dimming)
- 5 sensory daylight (ON-OFF)
- 6 ripartizione accensione luci migliore
- 7 regolazione locale terminali
- 8 temporizzatore

### *interventi composti*

- 9 sensori apertura finestra; sensori di presenza
- 10 sensori di presenza; apertura tende interne differenziata
- 11 sensori di presenza; sensory daylight (dimming)
- 12 sensori di presenza; sensory daylight (ON-OFF)
- 13 sensori di presenza; ripartizione accensione luci migliore
- 14 apertura tende interne differenziata; sensory daylight (dimming)
- 15 apertura tende interne differenziata; sensory daylight (ON-OFF)
- 16 apertura tende interne differenziata; ripartizione accensione luci migliore
- 17 sensory daylight (dimming); ripartizione accensione luci migliore
- 18 sensory daylight (ON-OFF) ; ripartizione accensione luci migliore
- 19 sensori di presenza; apertura tende interne differenziata; sensory daylight (dimming)
- 20 sensori di presenza; apertura tende interne differenziata; sensory daylight (ON-OFF)
- 21 sensori di presenza; apertura tende interne differenziata; ripartizione accensione luci migliore
- 22 sensori di presenza; sensory daylight (dimming); ripartizione accensione luci migliore
- 23 sensori di presenza; sensory daylight (ON-OFF) ; ripartizione accensione luci migliore
- 24 apertura tende interne differenziata; sensory daylight (dimming); ripartizione accensione luci migliore
- 25 apertura tende interne differenziata; sensory daylight (ON-OFF) ; ripartizione accensione luci migliore
- 26 sensori di presenza; apertura tende interne differenziata; sensory daylight (dimming); ripartizione accensione luci migliore
- 27 sensori di presenza; apertura tende interne differenziata; sensory daylight (ON-OFF) ; ripartizione accensione luci migliore

I diversi interventi sono stati quindi classificati in relazione al potenziale di riduzione del fabbisogno di energia primaria:

- per il riscaldamento (H – heating);
- per il raffrescamento (C – cooling);
- per l'illuminazione (L – lighting).

2) Per ognuna delle quattro macro-destinazioni d'uso sono stati individuati gli ambienti-tipo aventi caratteristiche medie rappresentative del patrimonio edilizio del Politecnico di Milano (Campus Città Studi e Campus Bovisa);

3) Per ognuno dei quattro ambienti rappresentativi si è determinato lo stato dei sistemi di attivazione e gestione delle forniture energetiche locali, in relazione al massimo potenziale di riduzione del fabbisogno di energia primaria ottenibile attraverso l'applicazione delle strategie di intervento esaminate;

4) È stata definita una scheda per il confronto tra lo stato medio dei sistemi di attivazione dell'ambiente di riferimento e lo stato specifico dell'ambiente in esame. La scheda, rappresentante lo stato medio energetico, consente di ottenere un punteggio sintetico che indica di quanto l'ambiente in esame si discosta dall'ambiente di riferimento.

### **3 Simulazioni dinamiche di edifici-tipo al fine di definire i benchmark cui riferire il potenziale dato dagli interventi di contenimento dei consumi.**

Lo studio svolto vuole contribuire ad individuare metodi e sistemi per l'ottimizzazione energetica del sistema edificio impianto del parco nazionale.

A tale scopo sono state svolte delle simulazioni dinamiche su modelli edilizi ad uso ufficio riconducibili a edifici esistenti e a nuovi edifici, al fine di confrontarne le prestazioni ed evidenziarne le criticità.

La metodologia utilizzata per svolgere l'analisi, in particolare, può riassumersi nei seguenti punti:

- individuazione dei dati climatici appropriati al fine di ricondurre le analisi alla variabilità delle condizioni nazionali
- definizione di un edificio-tipo su cui effettuare le analisi al variare dei parametri caratterizzanti
- definizione di un set di varianti da applicare all'edificio-tipo sulla base di specifiche tecnologie costruttive, assegnate per diversa epoca di costruzione e collocazione sul territorio nazionale;
- valutazione dei fabbisogni per la climatizzazione dei modelli tramite simulazioni dinamiche effettuate con il software TRNSYS;
- implicazioni sui consumi energetici riconducibili agli impianti di climatizzazione, facendo riferimento ad una tipologia-base convenzionale, secondo l'approccio standard riportato nelle specifiche tecniche UNI TS 11300-2 e -3.

Ai fini delle simulazioni dinamiche è stato definito un edificio-tipo per uffici in linea, caratterizzato da 6 piani fuori terra.

Le aperture vetrate sono localizzate sulle facciate principali, per consentire valutazioni di sensibilità sugli effetti dovuti ai diversi orientamenti. Il set di simulazioni, infatti, ha previsto sia l'ipotesi di orientamento Nord-Sud che quella Est-Ovest.

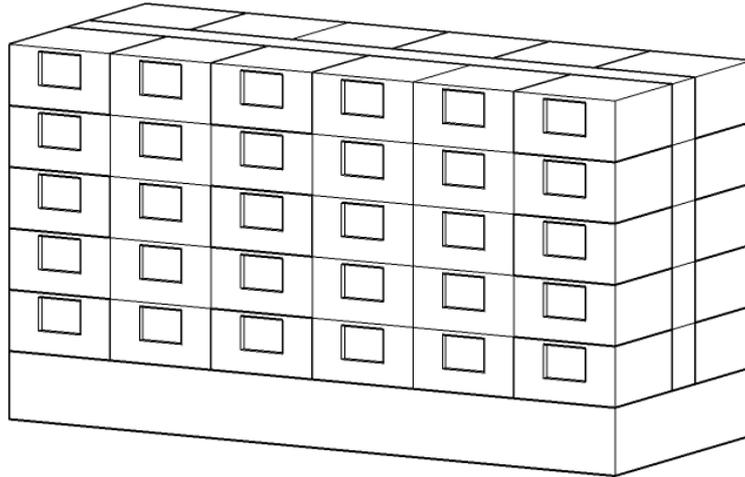


Figura 1: Rappresentazione tridimensionale dell'edificio tipo, con suddivisione dei diversi ambienti.

Le varianti apportate all'edificio-tipo per definire il set di simulazioni sono di tipo tecnologico-costruttivo, e riguardano la percentuale di superficie vetrata e le soluzioni d'involucro opaco verticale. Tali caratteristiche sono state selezionate al fine di considerare realtà edilizie riconducibili a diverse epoche di costruzione e a diversi rapporti superficie vetrata/superficie opaca.

In particolare, dunque, sono state considerati:

- due edifici di nuova costruzione, che rispettano le più recenti indicazioni di legge:
  - con tecnologia muraria convenzionale;
  - con parete completamente vetrata;
- due edifici esistenti risalenti agli anni '60-'70:
  - con tecnologia muraria convenzionale;
  - con muratura a sandwich isolato;
- un edificio esistente storico, con tecnologia costruttiva tradizionale.

Al fine di considerare una generica prestazione impiantistica, si è fatto riferimento alle modalità di valutazione dei rendimenti delle componenti dell'impianto e dei consumi elettrici dovuti agli ausiliari suggerite dalla specifica tecnica UNI TS 11300.

Come impianto convenzionale è stato considerato un sistema a ventilconvettori a 4 tubi, dedicati a riscaldamento e raffrescamento, alimentati da caldaia a gas e da macchina frigorifera centralizzati.

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento, sono stati ipotizzati sistemi di generazione e distribuzione diversi a seconda dell'epoca di costruzione dell'edificio, sulla base dei dati di riferimento riportati all'interno della UNI TS 11300-2.

Per il raffrescamento è stato ipotizzato l'utilizzo di rete di distribuzione, terminali di emissione e sistema di regolazione analoghi a quanto ipotizzato per il riscaldamento, assumendo quindi i dati di

riferimento riportati all'interno della UNI TS 11300-3. Per quanto riguarda la macchina frigorifera, diversamente, la specifica tecnica prevede una valutazione del rendimento mensile basata sulle curve di efficienza fornite dai produttori: per generalizzare, ai fini del presente studio, è stato assegnato un coefficiente di prestazione stagionale pari a 2. La valutazione dei consumi elettrici dovuti agli ausiliari della macchina frigorifera è stata svolta su base mensile in relazione alla taglia del frigorifero, alle ore di funzionamento e al fattore di carico dell'impianto, come indicato dalla specifica tecnica.

Per ricondurre ai consumi elettrici dovuti agli ausiliari per emissione e distribuzione (ventilatori dei ventilconvettori e pompe di circolazione del sistema idronico) sono stati stimati (per ciascun ufficio):

- portata d'aria media di 300 m<sup>3</sup>/h;
- portate di fluido vettore di 900 dm<sup>3</sup>/h durante il periodo di riscaldamento e di 700 dm<sup>3</sup>/h durante il periodo di raffrescamento.

Il fabbisogno di climatizzazione della stagione invernale e di quella estiva degli edifici simulati è stato valutato sull'intero arco dell'anno, non vincolando alle limitazioni del periodo di riscaldamento ex D.P.R. 412, in modo analogo a quanto previsto dalla specifica tecnica UNI TS 11300-1 per valutazioni adattate all'utenza.

Sulla scorta di questo approccio, al fine di agevolare eventuali estrapolazioni volte ad estendere i risultati dello studio a specifiche località di cui siano noti i dati climatici orari, sono stati calcolati i valori di gradi-giorno di riscaldamento (base 20°C) e di raffrescamento (base 26°C) per le tre località considerate. Per includere l'effetto climatico dovuto alla radiazione solare, è stato utilizzato, quale valore di temperatura esterna di riferimento, il dato di temperatura aria-sole calcolata su superficie orizzontale.

Le simulazioni del fabbisogno termico dell'edificio, e le conseguenti valutazioni di consumi energetici relativi al sistema edificio-impianto, sono state effettuate impostando la domanda termica e frigorifera per i soli intervalli di occupazione dell'edificio, mentre per le restanti ore il sistema edilizio è stato considerato in condizioni di free-floating.

La prima valutazione di confronto tra le tecnologie costruttive considerate è stata effettuata sulla base del fabbisogno di energia termica o frigorifera richiesto dagli edifici per mantenere le condizioni ambientali interne nominali (20°C e 26°C di temperatura dell'aria rispettivamente per riscaldamento e raffrescamento, durante gli orari di occupazione). I risultati delle simulazioni su base annua sono riportati nei grafici che seguono.

## Fabbisogno di Riscaldamento [kWh/m<sup>2</sup>]

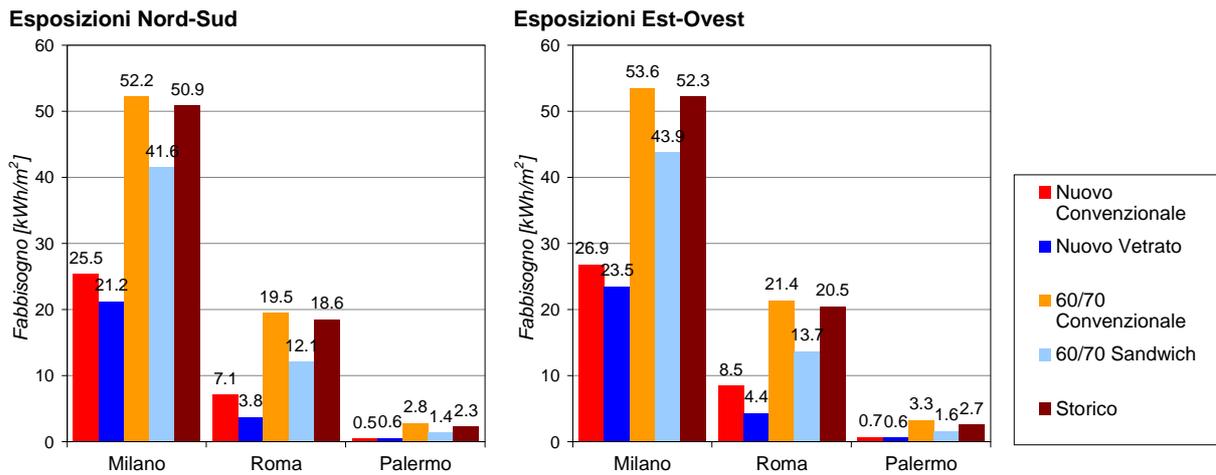


Figura 2: Fabbisogno di riscaldamento, in kWh/m<sup>2</sup>, per le diverse tipologie di edificio considerate.

## Fabbisogno di Raffrescamento [kWh/m<sup>2</sup>]

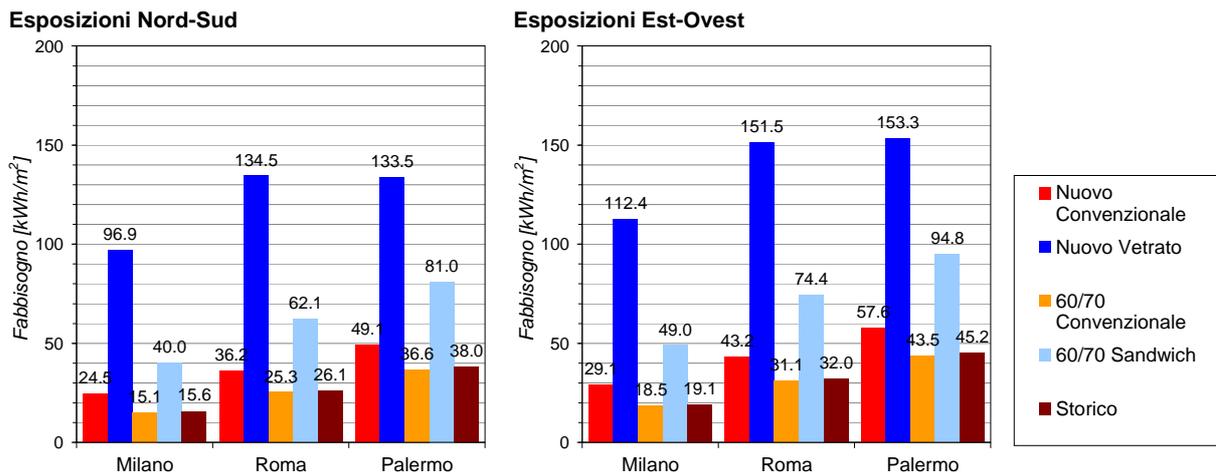


Figura 3: Fabbisogno di raffrescamento, in kWh/m<sup>2</sup>, per le diverse tipologie di edificio considerate.

Allo scopo di valutare quali differenze prestazionali estive possano essere riconducibili all'utilizzo di elementi ombreggianti, è stato effettuato un approfondimento d'analisi per l'installazione di veneziane mobili interne ed esterne sul caso "edificio convenzionale di nuova costruzione".

I dimensionamenti dei generatori degli impianti di climatizzazione sono stati effettuati applicando un fattore 1.5 rispetto al picco della domanda rilevato con le simulazioni dinamiche degli edifici.

In Figura 4 sono riportati i dimensionamenti relativi ai gruppi termici per il riscaldamento invernale.

### Taglia della caldaia [kW]

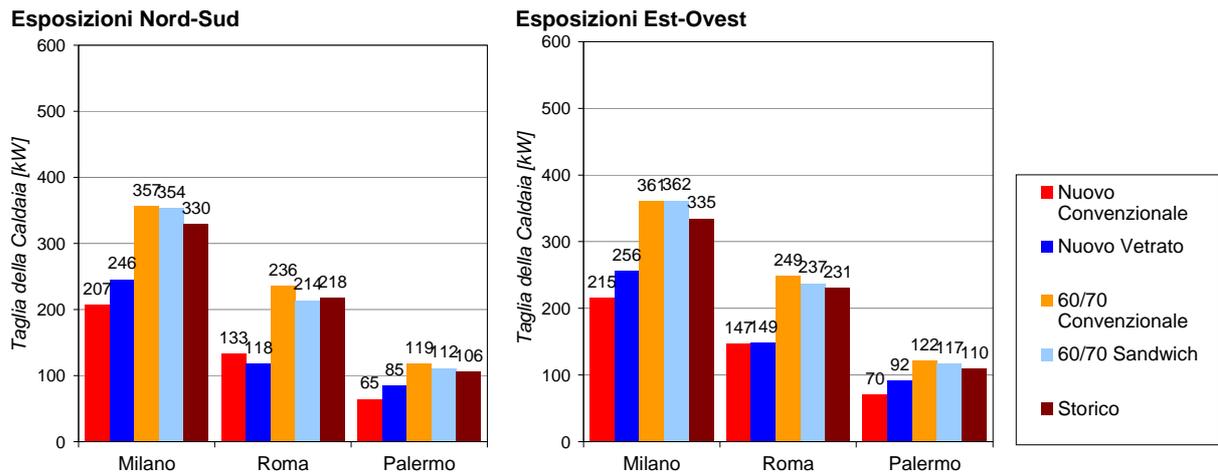


Figura 4: Taglie, in kW, delle caldaie richieste dalle diverse tipologie di edificio considerate.

In Figura 5 sono invece rappresentati i dimensionamenti relativi gruppi frigoriferi per il raffrescamento estivo.

### Taglia della macchina frigorifera [kW]

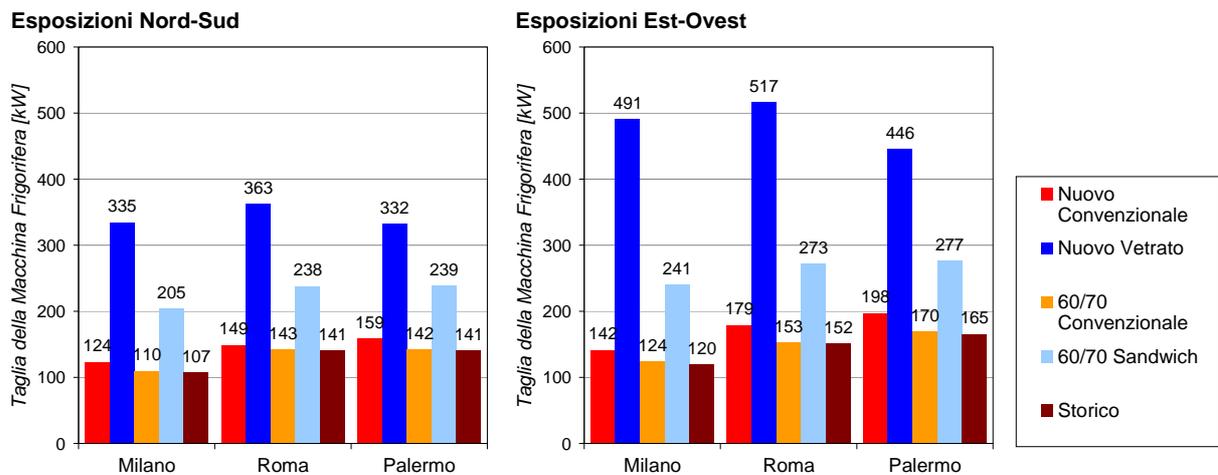


Figura 5: Taglie, in kW, delle macchine frigorifere richieste dalle diverse tipologie di edificio

A partire dai valori di fabbisogno energetico determinati con le simulazioni dinamiche TRNSYS, sono stati elaborati i valori di consumo di energia, per il riscaldamento invernale e per il raffrescamento estivo, secondo l'impiantistica di base descritta in precedenza, avvalendosi dell'approccio standard contemplato dalle specifiche tecniche UNI TS 11300-2 e UNI TS 11300-3. Sulla base della medesima specifica tecnica, sono stati anche valutati i consumi di energia elettrica dovuti agli ausiliari degli impianti di climatizzazione, oltre a quelli dovuti ad illuminazione e alle apparecchiature elettriche.

Valutazioni di dettaglio sono state infine effettuate sulla composizione dei consumi elettrici dovuti agli ausiliari d'impianto, per evidenziare la quota relativa al sistema di generazione frigorifera: se da un lato, infatti, i consumi elettrici per la distribuzione (pompe di circolazione) ed emissione (ventilatori dei ventilconvettori) sono simili per entrambe le stagioni di riscaldamento e raffrescamento, quelli associati alla generazione termica e frigorifera (ventilatori del condensatore) cambiano molto.

Le elaborazioni condotte nel complesso non pretendono di dare una visione esaustiva del comportamento energetico degli edifici del terziario del parco nazionale, ma possono contribuire a determinare un punto di partenza da cui muovere ulteriori approfondimenti. Il parco edifici italiano è variegato sia dal punto di vista degli involucri edilizi che da quello impiantistico, e presenta particolari criticità connesse ai casi in cui siano presenti ampie superfici vetrate, anche nel caso di nuove costruzioni. Con le tipologie edilizie contemplate nello studio si è voluto calibrare un set di indici di benchmark energetici rappresentativi di situazioni estreme ed intermedie (dalle epoche storiche, alle condizioni climatiche, all'estensione della quota di superficie trasparente dell'involucro): dagli esiti di queste valutazioni potrebbero essere desunti, con interpolazioni di prima analisi, valori energetico-prestazionali riconducibili ad altri casi (diverse soluzioni edilizie o contesti climatici). La metodologia illustrata potrebbe inoltre essere adottata per estendere la matrice delle simulazioni dettagliate (ad esempio, contemplando specifiche tipologie impiantistiche).

Nel seguito si riportano alcuni grafici esemplificativi da cui poter estrapolare valori di fabbisogno termico per altre località climatiche, con riferimento ai Gradi Giorno nominali (ex D.P.R 412) o a quelli desumibili, contemplando l'apporto di radiazione solare, dai dati climatici orari.

## Correlazione Fabbisogno di Riscaldamento [kWh/m<sup>2</sup>] e Gradi-Giorno Nominali (ex DPR 412)

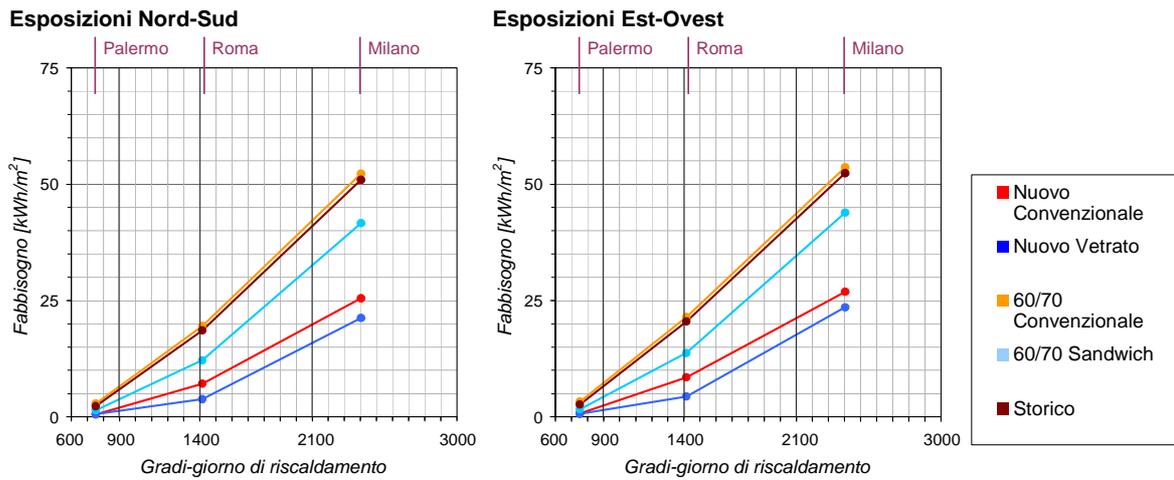


Figura 6: Fabbisogno di riscaldamento, in kWh/m<sup>2</sup>, in funzione dei gradi-giorno invernali ex D.P.R. 412 per le diverse tipologie di edificio considerate.

## Correlazione Fabbisogno di Riscaldamento [kWh/m<sup>2</sup>] e Gradi-Giorno calcolati (ex file clima)

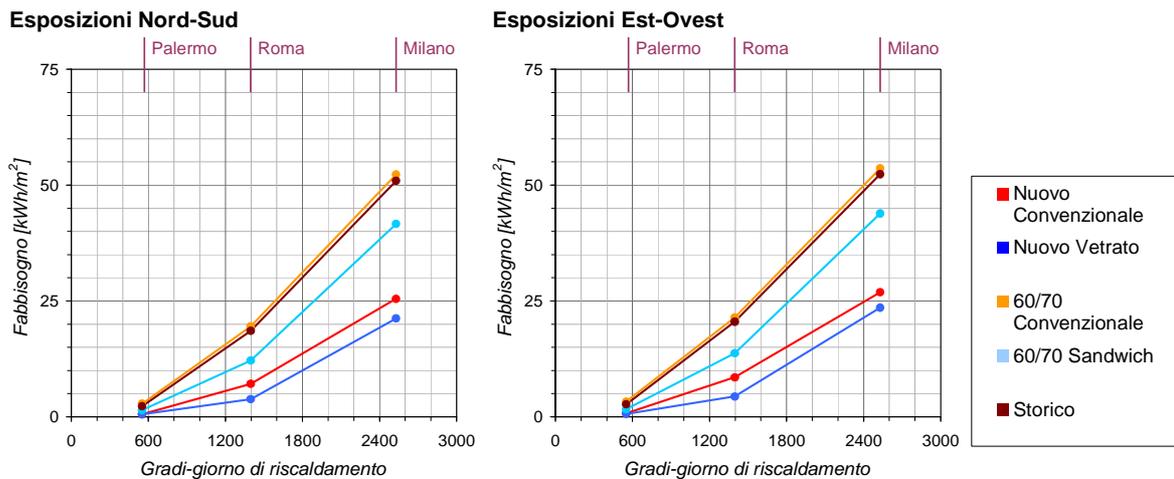


Figura 7: Fabbisogno di riscaldamento, in kWh/m<sup>2</sup>, in funzione dei gradi-giorno invernali per le diverse tipologie di edificio considerate.

## Correlazione Fabbisogno di Raffrescamento [kWh/m<sup>2</sup>] e Gradi-Giorno calcolati (ex file clima)

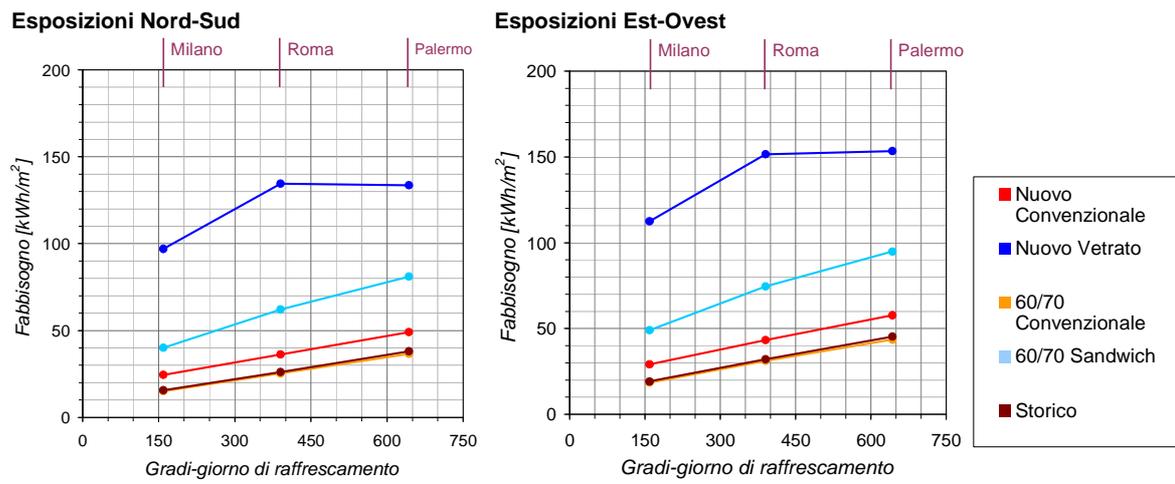


Figura 8: Fabbisogno di raffrescamento, in kWh/m<sup>2</sup>, in funzione dei gradi-giorno estivi per le diverse tipologie di edificio considerate.