



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Indici di benchmark di consumo
per tipologie di edificio ad uso scolastico.
Applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani

L. Pagliano, M. Pietrobon, P. Zangheri



POLITECNICO DI MILANO
DIPARTIMENTO DI ENERGIA

Report RdS/2010/192

INDICI DI BENCHMARK DI CONSUMO PER TIPOLOGIE DI EDIFICIO AD USO SCOLASTICO.
APPLICABILITÀ DI TECNOLOGIE INNOVATIVE NEI DIVERSI CLIMI ITALIANI

L. Pagliano, M. Pietrobon, P. Zangheri

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.

Indice

1	Introduzione	5
2	Contesti climatici	7
3	Edificio rappresentativo	7
3.1	Geometria	8
3.2	Suddivisione in zone termiche	10
3.3	Elementi costruttivi	11
3.4	Modello d'uso	13
3.5	Apporti termici interni	13
3.5.1	Occupazione delle persone	13
3.5.2	Illuminazione artificiale	16
3.5.3	Apparecchiature elettriche	16
3.6	Flussi d'aria	17
3.6.1	Ventilazione meccanica	17
3.6.2	Infiltrazioni d'aria	17
3.7	Impianto di climatizzazione	18
4	Prestazioni energetiche degli edifici base	19
5	Azioni di miglioramento delle prestazioni energetiche	20
6	Risultati ed analisi	21
7	Riferimenti bibliografici	36
7.1	Norme tecniche e di legge	36
7.1	Pubblicazioni	37

Figure

f. 1.	Vista prospettica dell'edificio (vista da Sud-Ovest).	8
f. 2.	Vista prospettica dell'edificio (vista da Nord-Est).	8
f. 3.	Planimetria.	9
f. 4.	Suddivisione del modello in zone termiche.	10

Tabelle

t. 1.	Tecnologie applicate per la stima del potenziale di risparmio di energia	6
t. 2.	Principali parametri climatici – Periodo invernale.	7
t. 3.	Principali parametri climatici – Periodo estivo	7
t. 4.	Trasmittanze termiche (U) dei componenti dell'involucro edilizio del caso base – per tutti i climi	11
t. 5.	Trasmittanze termiche (U) dei componenti edilizi interni – per tutti i climi	12
t. 6.	Orari di occupazione delle zone dell'edificio, nella settimana tipo.	14
t. 7.	Impianto di climatizzazione: orari di funzionamento e temperature di set-point	18
t. 8.	Impianto di riscaldamento: periodo di funzionamento.	18
t. 9.	Richiesta di energia utile per riscaldamento (Q_H) e raffrescamento (Q_C) [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$] nel caso base	19
t. 10.	Azioni applicate per il miglioramento delle prestazioni energetiche.	20
t. 11.	Richiesta di energia utile per riscaldamento (Q_H) e raffrescamento (Q_C) [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$]	34
t. 12.	Richiesta di energia utile per riscaldamento (Q_H) e raffrescamento (Q_C) [$\text{kWh}/(\text{m}^3\text{a})$]	35

(segue)

Grafici

g. 1. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [%] - Milano.	22
g. 2. Richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [kWh/(m ² a)] - Milano.	23
g. 3. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [%] – Milano.	24
g. 4. Richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [kWh/(m ² a)] – Milano.	25
g. 5. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [%] – Roma.	26
g. 6. Richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [kWh/(m ² a)] – Roma.	27
g. 7. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [%] – Roma.	28
g. 8. Richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [kWh/(m ² a)] – Roma.	29
g. 9. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [%] – Palermo.	30
g. 10. Richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [kWh/(m ² a)] – Palermo.	31
g. 11. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [%] – Palermo.	32
g. 12. Richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [kWh/(m ² a)] – Palermo.	33

1 Introduzione

Nel presente studio si è analizzato il fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento di un edificio campione del settore edilizio scolastico.

In particolare, la analisi è stata condotta attraverso i seguenti passi metodologici:

- Individuare e caratterizzare un edificio scolastico rappresentativo dello stock edilizio.
- Condurre un'analisi approfondita attraverso simulazioni dinamiche del modello d'edificio.
 - Costruire la geometria edilizia campione, opportunamente suddivisa per zone termiche, e definire i componenti costruttivi, i livelli dei carichi interni e i regimi di utilizzo nell'ambiente di simulazione.
 - Individuare gli indici di fabbisogno energetico (energy need) per il riscaldamento e il raffrescamento e confronto con dati bibliografici al fine di verificare il modello.
 - Sviluppare per diversi contesti climatici italiani (Milano, Roma e Palermo) delle analisi (tabella seguente) atte a stimare il potenziale di risparmio delle principali tecnologie impiegabili. In particolare sono stati considerati questi campi tecnologici di intervento:
 - riscaldamento: isolamento termico delle superfici opache, isolamento termico delle superfici trasparenti, riduzione della permeabilità all'aria dell'involucro edilizio, strategie di recupero del calore;
 - raffrescamento: installazione di protezioni solari e vetrocamere a controllo solare, isolamento delle superfici opache, adozione di strategie di ventilazione meccanica notturna.

In particolare, il modello di edificio tipico considerato e per tre diversi contesti climatici italiani (Milano, Roma e Palermo) sono state svolte delle analisi di sensitività atte a stimare il potenziale di risparmio delle principali tecnologie impiegabili.

Le azioni di risparmio energetico valutate e il numero delle loro variazioni sono indicate nella tabella seguente.

t. 1. Tecnologie applicate per la stima del potenziale di risparmio di energia.

Categoria energetica	Funzione obiettivo	Caso Base	Tecnologia	Numero variazioni (compreso caso base)	Contesti climatici
Riscaldamento	Fabbisogni energetici di riscaldamento (con Temperatura di Setpoint)	1 edificio scolastico rappresentativo dello stock edilizio	Isolamento termico sup. opache	3	3
			Isolamento termico sup. trasparenti	3	
			Permeabilità all'aria dell'involucro	3	
			Recupero del calore	3	
Raffrescamento	Fabbisogni energetici di raffrescamento (con Temperatura di Setpoint)		Controllo solare	3	3
			Riflettanza involucro	3	
			Permeabilità all'aria dell'involucro e Ventilazione meccanica notturna	3	
			Isolamento termico sup. opache	3	
		Riduzione carico termico da illuminazione	2		

2 Contesti climatici

Nelle simulazioni del presente studio, si sono considerate le località climatiche di Milano, Roma e Palermo, quali centri considerevoli, come rappresentative in modo medio delle principali condizioni climatiche del territorio italiano.

Di seguito si riportano alcuni parametri sintetici caratteristici dei tre climi.

t. 2. Principali parametri climatici – Periodo invernale.

Periodo INVERNALE (Novembre - Dicembre - Gennaio - Febbraio)							
Climi	Zona Climatica	Gradi Giorno Invernali ⁱ	Temperatura media [°C]	Temperatura minima [°C]	Velocità media del vento [m/s]	Umidità relativa media [%]	Irradiazione solare diretta media [Wh/m ²]
Milano	E	2404	2.8	-11.0	0.7	79%	1263
Roma	D	1415	9.9	-4.0	4.1	79%	2048
Palermo	B	751	13.9	4.8	4.3	73%	2143

t. 3. Principali parametri climatici – Periodo estivo.

Periodo ESTIVO (Giugno - Luglio - Agosto)							
Climi	Zona Climatica (CNR)	Gradi Ora Estivi ⁱⁱ (base 27°C)	Temperatura media [°C]	Temperatura massima [°C]	Velocità media del vento [m/s]	Umidità relativa media [%]	Irradiazione solare diretta media [Wh/m ²]
Milano	7	482	21.7	32.6	1.0	71%	4855
Roma	3	568	23.3	31.8	3.3	75%	4918
Palermo	1	842	25.1	34.0	3.3	74%	6471

3 Edificio rappresentativo

Si è considerato un edificio che per caratteristiche geometriche e dimensionali e per tipologia di spazi e funzioni ospitate possa essere rappresentativo dello stock edilizio scolastico in Italia.

Per dimensioni ed importanza, in particolare si è considerato un edificio adibito a scuola media superiore.

Si è fatto riferimento ad un edificio reale rispondente a queste caratteristiche, del quale si sono analizzati le dimensioni degli spazi e tutti gli aspetti necessari alle simulazioni, partendo dalle tavole grafiche che lo rappresentano e da rilievi sul campo. In seguito le caratteristiche di dettaglio sono state espresse e ampliate in modo da rendere l'analisi generale e rappresentativa di questa tipologia edilizia.

Di seguito, vengono descritte nel dettaglio le caratteristiche del modello di base sviluppato.

Il modello è stato implementato nell'ambiente di calcolo del software di simulazione energetica dinamica EnergyPlus (versione 5.0, Aprile 2010).

Lo strumento di calcolo è stato utilizzato per lo svolgimento dei calcoli.

ⁱ Valori riportati dal Decreto Legge n. 412/1993.

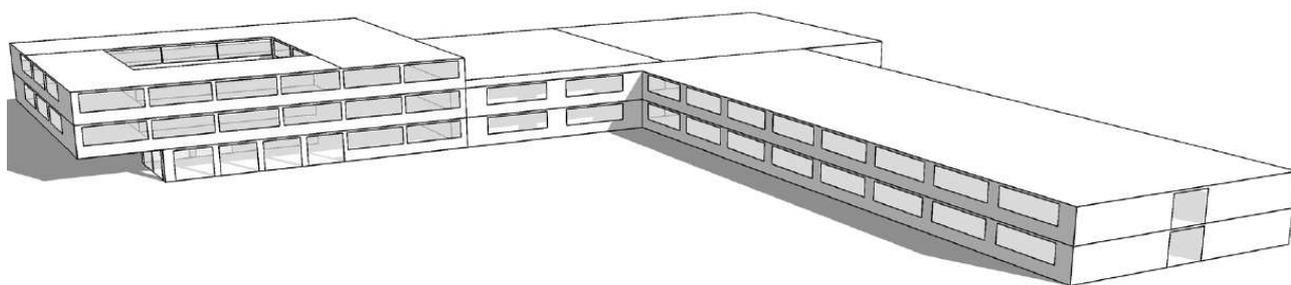
ⁱⁱ Valori riportati dal riepilogo del file climatico "Energyplus Weather File (epw)" della località considerata.

3.1 Geometria

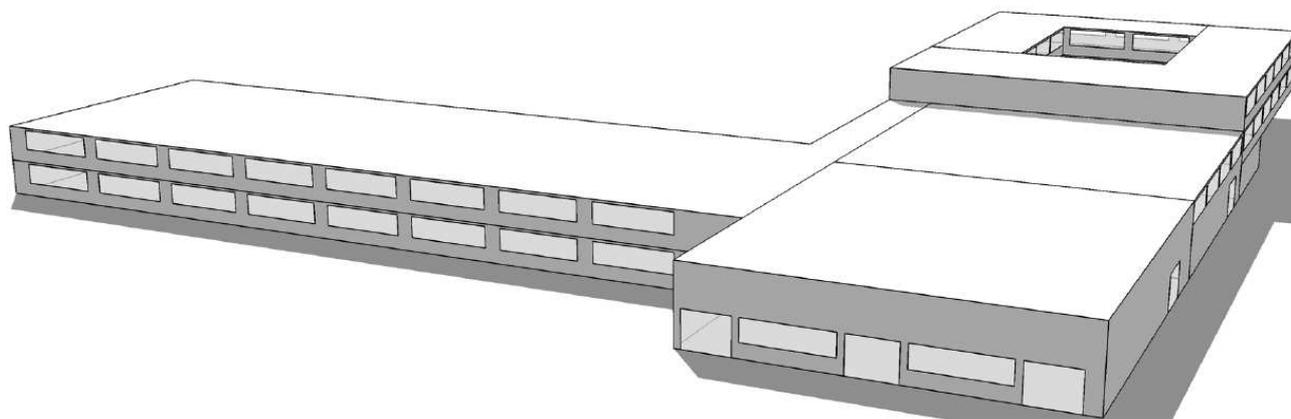
L'edificio è uno stabile di grandi dimensioni, adibito ad uso scolastico per una scuola media superiore. L'edificio ha un'ampia copertura piana e superfici esposte nei diversi orientamenti principali in modo omogeneo.

Presenta una buona percentuale di superficie vetrata nella porzione di involucro verticale, soprattutto per i volumi che ospitano le aule e le funzioni correlate e gli uffici amministrativi, come richiesto dalle esigenze di comfort visivo in tali ambienti per le funzioni svolte (studio, lettura, laboratori, lavoro di ufficio, etc.).

L'orientamento dell'edificio e le caratteristiche geometriche e dimensionali sono presentati nelle immagini di seguito.



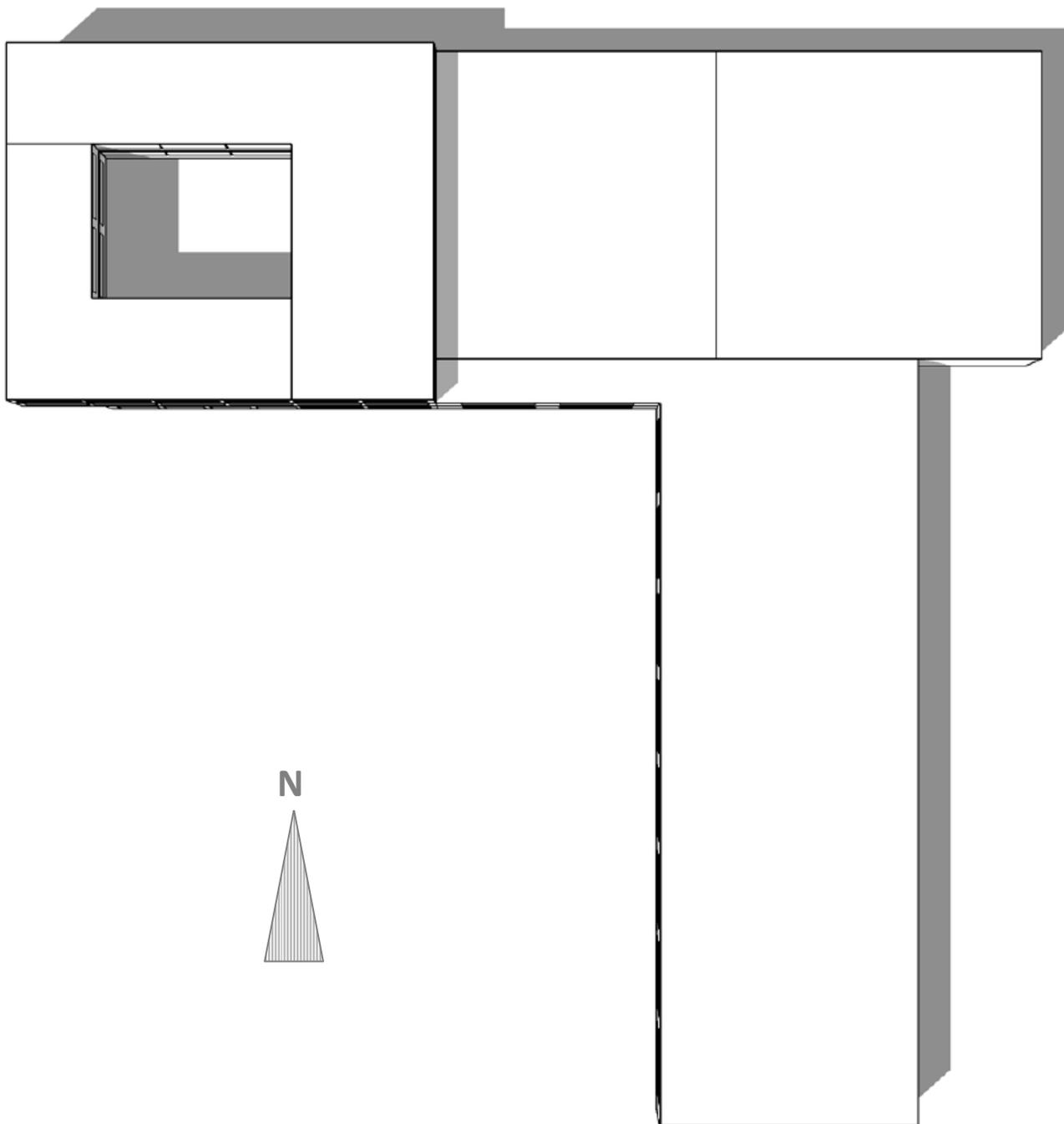
f. 1. Vista prospettica dell'edificio (vista da Sud-Ovest).



f. 2. Vista prospettica dell'edificio (vista da Nord-Est).

Gli spazi dell'edificio si articolano su una superficie complessiva di circa 7 280 metri quadrati, per un volume totale pari a circa 26 319 metri cubi.

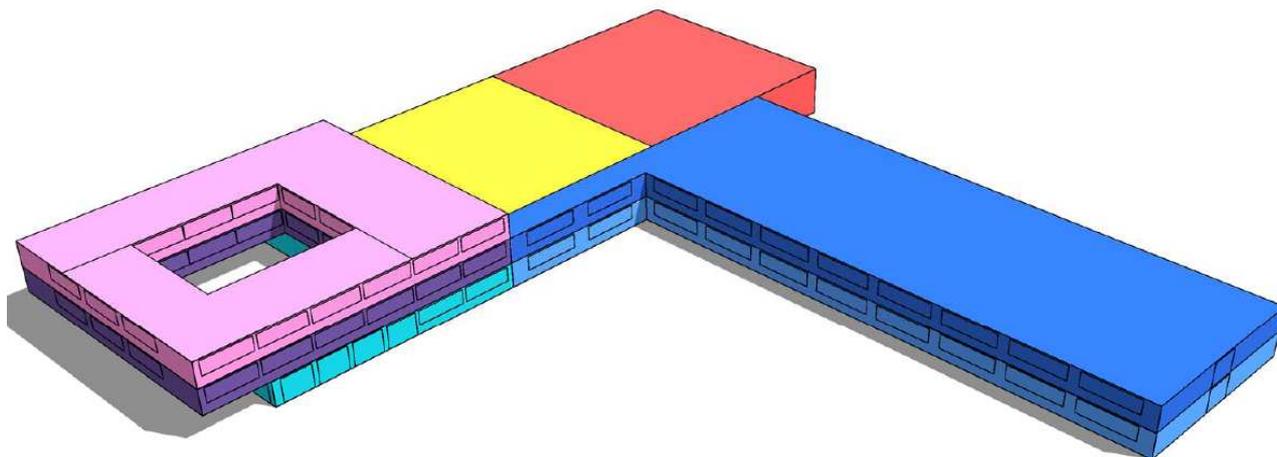
Gli spazi adibiti ad auditorium e palestra si sono considerati con un valore medio dell'altezza interna netta pari a 6 metri, mentre per tutti gli altri spazi di 3 metri.



f. 3. Planimetria.

3.2 Suddivisione in zone termiche

Il modello è stato suddiviso nelle zone termiche omogenee per funzione, tipologia, modello d'uso ed esposizione termica, come indicato dai diversi colori nella figura di seguito.



f. 4. Suddivisione del modello in zone termiche.

Le zone termiche omogenee individuate risultano le seguenti

- (01) Ingresso / servizio con aule, piano terra (colore azzurro ciano);
- (02) Aule e laboratori, piano primo (corpo di fabbrica amministrativo con affaccio centrale – colore viola);
- (03) Uffici amministrativi, piano secondo (corpo di fabbrica amministrativo con affaccio centrale – colore rosa);
- (04) Palestra e servizi annessi (colore giallo);
- (05) Auditorium e servizi ad uso non continuativo, quali biblioteca / sala lettura, laboratorio, etc. (colore rosso);
- (06) Aule, piano terra (corpo di fabbrica allungato – colore blu chiaro);
- (07) Aule, piano primo (corpo di fabbrica allungato – colore blu scuro).

3.3 Elementi costruttivi

I componenti edilizi degli edifici base, quali pareti, coperture, solai, sono stati scelti in modo da essere rappresentativi di alcune delle soluzioni tecniche più comunemente utilizzate negli ultimi decenni nel contesto edilizio italiano.

I materiali adottati, l'ordine di posa, gli ingombri degli elementi costruttivi sono comuni in molti edifici in Italia, ad uso scolastico e, più in generale, occupati per attività del settore terziario e non. Anche le loro prestazioni termiche, in particolare i valori di trasmittanza termica (U) e di capacità termica per unità di superficie possono rappresentare situazioni tipiche in edifici costruiti nei decenni passati.

t. 4. Trasmittanze termiche (U) dei componenti dell'involucro edilizio del caso base – per tutti i climi.

Componente	U [W/(m ² K)]
PARETE ESTERNA “-”	1.10
Stratigrafia	Spessore [cm]
ESTERNO	
Intonaco	3
Mattoni forati in laterizio – sp. 12 cm	12
Intercapedine d'aria non ventilata	5
Mattoni forati in laterizio – sp. 8 cm	8
Intonaco	2
INTERNO	
TOT.	30

Componente	U [W/(m ² K)]
COPERTURA “-”	1.41
Stratigrafia	Spessore [cm]
ESTERNO	
Guaina bituminosa	1
Massetto cementizio	8
Solaio latero-cementizio – sp. 24+6 cm	30
Intonaco	2
INTERNO	
TOT.	41

Componente	U [W/(m ² K)]
SOLAIO SU TERRENO “-”	2.83^{III}
Stratigrafia	Spessore [cm]
ESTERNO	
Massetto in calcestruzzo	20
Massetto cementizio (con rivestimento superficiale)	8
INTERNO	
TOT.	28

Componente	U [W/(m ² K)]
INFISSI ESTERNI “-”	5.74
Descrizione	

^{III} Il valore riportato si riferisce alla trasmittanza termica U del solo componente edilizio, senza considerare l'effetto termico del terreno sottostante. Nelle simulazioni eseguite in seguito il presente componente edilizio viene correttamente accoppiato con il terreno.

Vetro singolo 4 mm, vetro normale con emissività normale di 0.89 + Telaio metallico senza taglio termico.

(segue)

Componente	U [W/(m ² K)]
SOLAIO SU SPAZIO APERTO “-”	1.54
Stratigrafia	Spessore [cm]
ESTERNO	
Intonaco	2
Solaio latero-cementizio – sp. 24+6 cm	30
Massetto cementizio (con rivestimento superficiale)	8
INTERNO	
TOT.	40

t. 5. Trasmittanze termiche (U) dei componenti edilizi interni – per tutti i climi.

Componente	U [W/(m ² K)]
PARETE INTERNA – sp. 16	1.63
Stratigrafia	Spessore [cm]
Intonaco	2
Mattoni forati in laterizio – sp. 12 cm	12
Intonaco	2
TOT.	16

Componente	U [W/(m ² K)]
PARETE INTERNA – sp. 12	1.98
Stratigrafia	Spessore [cm]
Intonaco	2
Mattoni forati in laterizio – sp. 8 cm	8
Intonaco	2
TOT.	12

Componente	U [W/(m ² K)]
SOLAIO INTERNO	1.35
Stratigrafia	Spessore [cm]
Intonaco	2
Solaio latero-cementizio – sp. 24+6 cm	30
Massetto cementizio (con rivestimento superficiale)	8
TOT.	40

Componente	U [W/(m ² K)]
PORTA INTERNA	1.69
Descrizione	
Porta in legno – spessore 5 cm	

3.4 Modello d'uso

Tutti i parametri del calcolo energetico relativi al modello d'uso e al regime di utilizzo sono stati definiti nei valori tipici per un edificio scolastico rappresentativo del tipo considerato, in accordo alla norme tecniche di riferimento.

In seguito verranno indicati nel dettaglio i valori relativi

- occupazione dei diversi spazi;
- gli apporti termici interni dovuti a persone, illuminazione artificiale e apparecchiature;
- la presenza e l'uso di protezioni solari (tende, etc.);
- i flussi d'aria per ventilazione ed infiltrazione;
- le temperature di regolazione e gli orari di funzionamento dell'impianto per la climatizzazione estiva ed invernale.

3.5 Apporti termici interni

3.5.1 Occupazione delle persone

Per determinare i livelli di occupazione e i relativi periodi nel corso dell'anno si è fatto riferimento agli orari e ai livelli di affollamento tipici di una scuola media superiore di indirizzo assimilabile al tipo di un istituto tecnico.

Inoltre si sono considerati gli orari di occupazione possibili per gli uffici amministrativi della scuola stessa e l'apertura nel ardo pomeriggio e alla sera di una porzione delle aule per attività didattiche dei corsi serali e/o di attività extrascolastiche della collettività, ospitate nell'edificio stesso.

Anche gli spazi della palestra vengono occupati in corrispondenza dello svolgimento delle attività didattiche dei corsi diurni e alla sera dalle ore 21 alle 21, per attività sportive extrascolastiche.

Si è considerato che gli orari di apertura e l'occupazione descritti possono essere rappresentativi non solo per una scuola media superiore del tipo di un istituto tecnico, ma anche di altre tipologie ed indirizzi di scuole che presentano regimi di occupazione simili.

L'apertura serale di una parte ridotta dell'edificio consente di valutare il fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento e le relative riduzioni, senza incorrere in stime troppo conservative o riduttive. Allo stesso tempo, si è evitato di rappresentare nel modello di edificio regimi di occupazione poco diffusi e inusuali.

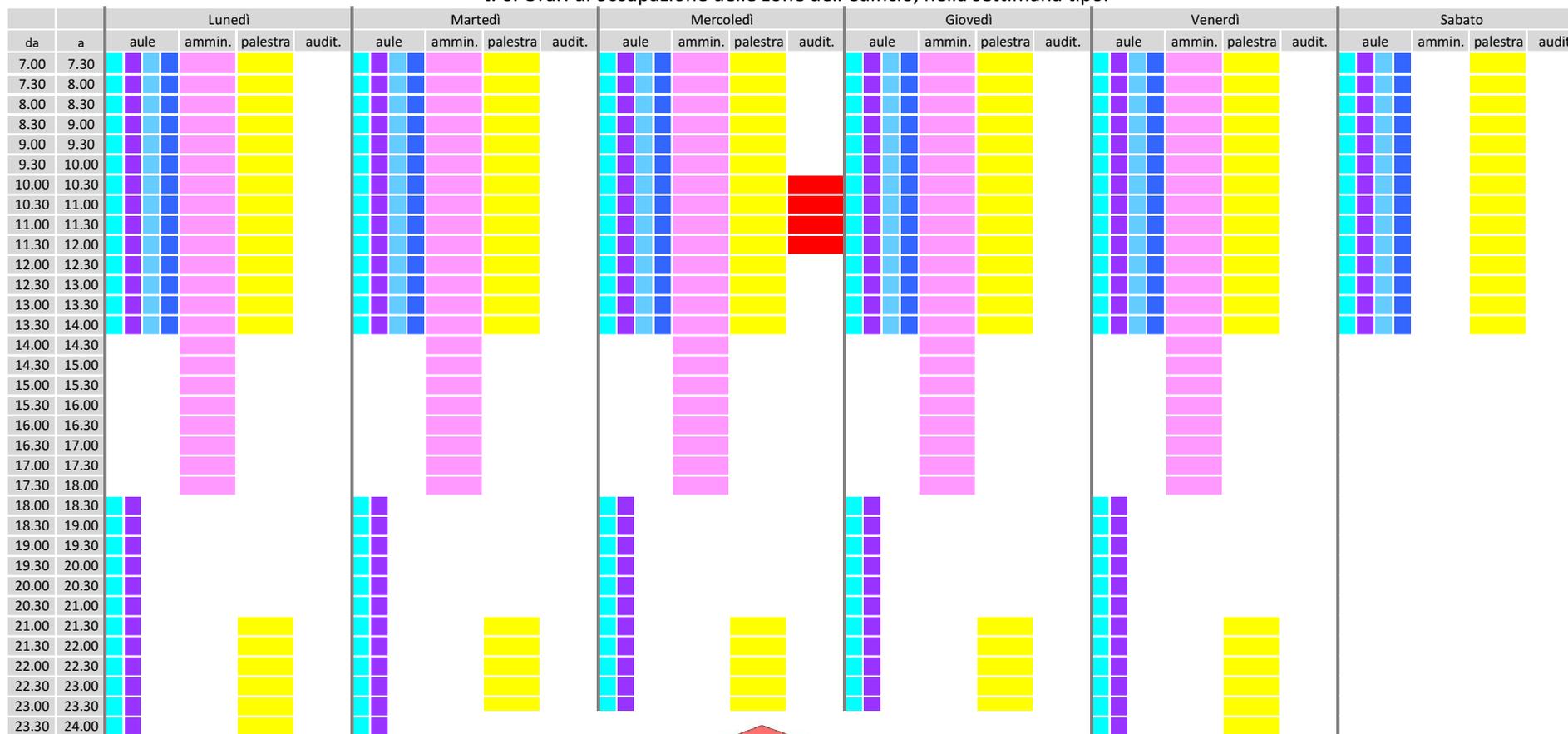
In particolare, nei periodi di apertura, nelle zone termiche descritte si sono considerati i valori massimi di occupazione elencati di seguito:

- nelle zone adibite principalmente all'attività didattica (aule, laboratori didattici, etc.) – zone (01), (02), (06) e 07: 6.27 m²/persona,
- nella zona (03), adibita agli uffici amministrativi e agli ambienti per i solo insegnanti: un'occupazione massima di 30 persone,
- nella zona (04), adibita a palestra scolastica: un'occupazione massima di 30 persone,
- nella zona (05), adibita ad auditorium scolastico / *aula magna*: un'occupazione massima di 500 persone.

Tali valori sono da considerare complessivi in ciascuna zona termica indicata, considerando anche le zone di servizio e comunicazione.

La tabella presentata di seguito, mostra gli orari di occupazione (celle colorate) delle diverse zone considerate, nel corso della settimana tipo.

t. 6. Orari di occupazione delle zone dell'edificio, nella settimana tipo.



Nella tabella sopra riportata, per ciascun giorno le quattro colonne relative alle zone adibite ad aule riguardano nell'ordine le zone (01), (02), (06) e (07). Il termine "ammin." Indica la zona (03) adibita ad uffici amministrative e degli insegnanti, "palestra" la zona (04) e "audit." La zona (05) che ospita l'auditorium scolastico.

Nel corso della Domenica non si svolgono attività nell'edificio, pertanto non risulta occupato.

In aggiunta, nel corso dell'anno si sono considerati i periodi di vacanza tipici della scuola, per le attività didattiche e assimilabili e per le relative attività amministrative. In tali periodi di vacanza si è considerata la struttura scolastica chiusa e quindi priva di occupazione rilevante.

In particolare si sono considerati i seguenti principali periodi di vacanza:

- 8 Dicembre,
- periodo natalizio – dal 24 Dicembre al 6 Gennaio,
- periodo pasquale – dal 10 al 16 Aprile,
- 25 Aprile,
- 1 Maggio,
- 2 Giugno,
- periodo estivo di chiusura totale – dall'1 al 31 Agosto.

In particolare, per tutte le zone, l'occupazione della settimana tipo si ripete nei periodi non di vacanza dal 15 Settembre al 15 Giugno.

In aggiunta le zone del corpo di fabbrica amministrativo, che comprendono le zone (01), (02) e (03), adibite rispettivamente ad ingresso – servizi generali – aule e uffici amministrativi, hanno occupazione durante tutto l'anno, ad eccezione dei periodi di vacanza elencati sopra. Questo è dovuto allo svolgersi delle attività degli esami a fine anno e delle attività amministrative.

La zona (06), adibita ad aule, ha occupazione anche dal 15 Giugno al 31 Luglio, per lo svolgimento degli esami conclusivi e attività simili.

Per le diverse zone termiche, in funzione delle attività svolte si sono considerati i seguenti valori di apporti termici totali dovuti alle persone:

- nelle zone adibite principalmente all'attività didattica (aule, laboratori didattici, etc.) – zone (01), (02), (06) e 07: 100 W/persona,
- nella zona (03), adibita agli uffici amministrativi e agli ambienti per i solo insegnanti: 105 W/persona,
- nella zona (04), adibita a palestra scolastica: 300 W/persona,
- nella zona (05), adibita ad auditorium scolastico / aula magna: 100 W/persona.

I valori indicati per gli apporti termici totali dovuti alle persone sono rappresentativi di attività da seduti da ufficio o aula scolastica, o assimilabili, ad eccezione della palestra dove si è considerato lo svolgimento di un'attività fisica di media intensità, per una valore corrispondente di 300 W/persona. Questo permette di rappresentare in modo medio le possibili attività svolte nei diversi ambienti dell'edificio scolastico.

3.5.2 Illuminazione artificiale

Per determinare gli apporti termici dovuti all'uso dell'impianto di illuminazione si sono considerati i valori di potenza elettrica installata nell'edificio di riferimento. In particolare, si è considerato un valore medio relativo alle diverse zone termiche individuate pari a 9 W/m^2 . Questo valore medio è stato determinato considerando la distribuzione degli spazi e delle corrispondenti funzioni nell'edificio tipico, con le diverse esigenze di illuminazione e comfort visivo.

In generale, l'illuminazione si considera in funzione nei periodi di occupazione degli ambienti dell'edificio, e per le zone di comunicazione e servizio (corridoi, scale, servizi igienici, etc.), dal 15 Ottobre al 15 Aprile, nelle prime ore di occupazione nella mattina, dalle ore 7 alle 10, e nelle ore di occupazione durante il tardo pomeriggio e la sera, nelle zone dove sono previste, in particolare dalle ore 17 alle 18 per gli uffici dell'amministrazione e dalle 18 alle 24, nelle zone con apertura serale, quali un porzione di aule (per corsi serali) e la palestra (per attività sportive esterne alla scuola).

Nelle fasce orarie e nei periodi indicati, si è considerata in funzione l'illuminazione artificiale solo quando nella zona considerata c'è occupazione.

3.5.3 Apparecchiature elettriche

Per la determinazione degli apporti termici dovuti ad apparecchiature elettriche utilizzate negli ambienti dell'edificio, si sono considerate possibili dotazioni tipiche di apparecchiature e componenti elettroniche.

In particolare, in ciascuna delle due zone (06) e (07), adibite ad aule, si è considerata la presenza di laboratori didattici di tipo informatico / linguistico o assimilabili, con la presenza rispettivamente di 30 computer completi di unità e monitor, una stampante, e di un piccolo server. Inoltre in ciascuna di queste due zone si è considerata la presenza di una macchina fotocopiatrice di dimensioni medio - grandi a disposizione degli studenti e dei docenti. Si è scelto di prendere in considerazione questo tipo di laboratori, in quanto si sono considerati frequentemente presenti in scuole di diverso livello (medie superiori ed inferiori, elementari, etc.) ed indirizzo.

Nella zona (03), la quale ospita gli uffici amministrativi e le aule per i soli docenti, si è considerata una possibile tipica dotazione da ufficio, in funzione del layout distributivo degli spazi nell'edificio scolastico reale a cui ci si è riferiti. In particolare si è considerata la presenza dei tipi di apparecchiature elencati di seguito, con i rispettivi valori di potenza elettrica:

- 12 computer completi da ufficio (50 W/pezzo),
- 12 schermi per computer (30 W/pezzo)
- 5 stampanti (100 W/pezzo),
- 1 macchina fotocopiatrice (500 w/pezzo),
- 1 server di piccole dimensioni per uffici (60 W/pezzo).

3.6 Flussi d'aria

3.6.1 Ventilazione meccanica

L'edificio considerato è dotato di un impianto di ventilazione meccanica in funzione nelle ore di occupazione dell'edificio.

L'impianto fornisce le portate riportate di seguito, allo scopo di garantire le condizioni di igiene dell'aria interna.

- Aule 7 l/s per persona,
- Laboratori didattici (tipo informatica, lingue, etc.) 7 l/s per persona,
- per gli uffici 10 l/s per persona,
- per la palestra 10 l/s per persona,
- per l'auditorium 7 l/s per persona.
- Per i servizi igienici 8 volumi all'ora (considerando il volume effettivo dei servizi igienici, esclusi gli antibagni)

Questi valori delle portate di ventilazioni sono in linea con i valori medi per uffici e sale riunioni, indicati nella norma [EN 15251:2007-08], per edifici appartenenti alla Categoria III di comfort, categoria tipica per edifici esistenti.

3.6.2 Infiltrazioni d'aria

Nell'edificio base, di riferimento, le infiltrazioni d'aria attraverso l'involucro edilizio sono state mediamente assunte pari a 2.5 volumi all'ora per una differenza di pressione pari a 50 Pa (n_{50}), che corrispondono a circa 0.6 volumi all'ora in condizioni medie (per una differenza di pressioni di riferimento di 4 Pa).

Questi valori di infiltrazione d'aria corrispondono ad una classe di tenuta all'aria media dell'involucro edilizio secondo dalla norma [prEN 12831–2000-08 E].

3.7 Impianto di climatizzazione

Nei modelli di edifici simulati si è rappresentato un impianto di climatizzazione ad aria, il quale controlla la temperatura degli ambienti climatizzati. L'impianto funziona con completo ricircolo dell'aria (il rinnovo dell'aria interna viene simulato per mezzo del sistema di ventilazione meccanica di cui sopra).

L'impianto di climatizzazione immette o asporta energia dagli ambienti interni nei periodi e con le temperature dell'aria di set-point degli ambienti interni indicati nella tabella di seguito.

t. 7. Impianto di climatizzazione: orari di funzionamento e temperature di set-point.

IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE: TEMPERATURE DI SET POINT [°C]		
	in ore con occupazione	in ore senza occupazione
riscaldamento	20	10
raffrescamento	26	free floating

Al fine di valutare la richiesta di energia utile (energy need) per riscaldamento e raffrescamento complessiva di tutto l'anno, tenendo conto anche di eventuali periodi di sovra riscaldamento degli ambienti interni in periodo invernale, con conseguente necessità di raffrescare, si è simulato un impianto che consente il raffrescamento durante tutto l'anno, mentre il riscaldamento è consentito solo nei rispettivi periodi previsti nelle diverse zone climatiche, in osservanza alla legge [DPR 412/93].

Impianti di questo tipo possono essere utilizzati comunemente negli edifici ad uso terziario o simili.

Per la sola zona (04) adibita a palestra non è prevista la climatizzazione estiva.

t. 8. Impianto di riscaldamento: periodo di funzionamento.

Località	Zona climatica	Periodo di riscaldamento
Milano	E	Dal 15 Ottobre al 15 Aprile
Roma	D	Dal 1° Novembre al 15 Aprile
Palermo	B	Dal 1° Dicembre al 31 Marzo

Secondo [DPR 412/93].

4 Prestazioni energetiche degli edifici base

Si presentano i risultati in termini di richiesta di energia utile per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio base di riferimento, rispettivamente nelle tre condizioni climatiche considerate.

I risultati sono stati normalizzati in funzione della superficie climatizzata. Per questo i risultati relativi al raffrescamento sono divisi per la superficie totale con l'esclusione della superficie relative alla zona della palestra, la quale come si è detto non è raffrescata, ma solo riscaldata.

t. 9. Richiesta di energia utile per riscaldamento (Q_H) e raffrescamento (Q_C) [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$] nel caso base.

		MILANO		ROMA		PALERMO	
		Q_H	Q_C	Q_H	Q_C	Q_H	Q_C
		[$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$]					
Caso Base	-	78.4	3.2	37.0	4.6	13.4	6.4

Si nota come la richiesta di energia utile per il riscaldamento sia piuttosto elevata e in linea con l'ordine di grandezza relativo allo stock edilizio esistente in Italia.

Allo stesso tempo la richiesta di energia utile per il raffrescamento risulta contenuta nei tre climi considerati. Questo è da ricercare nel fatto che l'edificio presenta una forma caratterizzata da uno sviluppo prevalentemente in orizzontale, con una considerevole esposizione al terreno: questo consente alla maggior parte delle zone termiche e a quelle più estese di scambiare calore in maniera agevole col terreno, sfruttando la sua temperatura più bassa, nel periodo di raffrescamento, per scaricare in esso il calore indesiderato.

Un altro aspetto che influisce sui risultati in termini di energia utile per il raffrescamento è il regime di utilizzo dell'edificio considerato, tipico delle strutture scolastiche: come si può notare dai paragrafi precedenti nel periodo dal 15 Giugno al 15 Settembre gran parte delle zone termiche dell'edificio non è utilizzata dagli occupanti e non c'è richiesta di raffrescamento all'impianto di climatizzazione, per la chiusura estiva della scuola. Pertanto, in corrispondenza del periodo più caldo dell'anno nei climi italiani, non si ha richiesta di raffrescamento.

Lo stesso ragionamento può essere fatto anche in riferimento all'orario giornaliero, per il quale gran parte dell'edificio è utilizzato dalle ore 7 alle ore 14, evitando alcune delle ore del pomeriggio.

È da considerare come regimi di utilizzo diversi da quelli tipici per un edificio scolastico che si è cercato di rappresentare possono portare a risultati differenti anche per la richiesta di energia utile per il raffrescamento: ad esempio l'utilizzo più frequente di spazi scolastici quali aule e auditorium in orari non scolastici per attività non attribuibili alla scuola stessa, ma per servizi e spazi richiesti dalla collettività, potrebbero portare ad aumentare le ore di funzionamento dell'impianto di climatizzazione in regime estivo, con un conseguente aumento della richiesta di energia utile per il raffrescamento.

5 Azioni di miglioramento delle prestazioni energetiche

Nelle tabelle riportate di seguito, nel presente paragrafo, vengono descritte le variazioni apportate all'edificio base, di riferimento.

Ciascuna famiglia di variazioni, indicata di seguito con il termine "AZIONE" (ad es. "Isolamento termico sup. opache", "Recupero del calore", etc.) sono state applicate singolarmente agli edifici base. Si è valutato così l'effetto termico che ciascuna azione, attuata singolarmente, ha sull'edificio base considerato.

I valori di permeabilità all'aria dell'involucro sono espressi per una differenza di pressione tra ambiente interno ed esterno di 50 Pa (valore di riferimento).

t. 10. Azioni applicate per il miglioramento delle prestazioni energetiche.

AZIONI		VARIAZIONI				
DESCRIZIONE	CODICE	NOTE	VALORI			U.M.
Isolamento termico superfici opache	-	pareti esterne	1.10			W/(m ² K)
		copertura	1.41			W/(m ² K)
		solaio su terreno	2.83			W/(m ² K)
	o	pareti esterne	0.34 Milano	0.36 Roma	0.48 Palermo	W/(m ² K)
		copertura e solaio su spazio aperto	0.30 Milano	0.32 Roma	0.38 Palermo	W/(m ² K)
		solaio su terreno	2.83			W/(m ² K)
	+	pareti esterne	0.20			W/(m ² K)
		copertura e solaio su spazio aperto	0.20			W/(m ² K)
		solaio su terreno	2.83			W/(m ² K)
Isolamento termico superfici trasparenti	-	finestre	5.74			W/(m ² K)
	o	finestre	2.20 Milano	2.40 Roma	3.00 Palermo	W/(m ² K)
	+	finestre	1.10			W/(m ² K)
Permeabilità all'aria dell'involucro	-	n ₅₀	2.50			1/h
	o	n ₅₀	1.00			1/h
	+	n ₅₀	0.60			1/h
Recupero del calore nella ventilazione meccanica	-	efficienza recuperatore	0			%
	o	efficienza recuperatore	60			%
	+	efficienza recuperatore	80			%
Controllo solare	-	fattore solare	0.85			-
	o	fattore solare	0.30			-
	+	fattore solare	0.15			-
Riflettanza copertura	-	-	0.10			-
	o	-	0.50			-
	+	-	0.70			-
Ventilazione meccanica notturna	-	-	0.00			1/h
	o	-	1.75			1/h
	+	-	6.00			1/h
Riduzione carico termico da	-	-	9			W/m ²

illuminazione	+	-	7	W/m ²
---------------	---	---	---	------------------

In generale, si sono considerate azioni applicabili in modo diffuso sia in edifici di nuova costruzione che in edifici esistenti, nei quali si interviene con opere di ristrutturazione e riqualificazione.

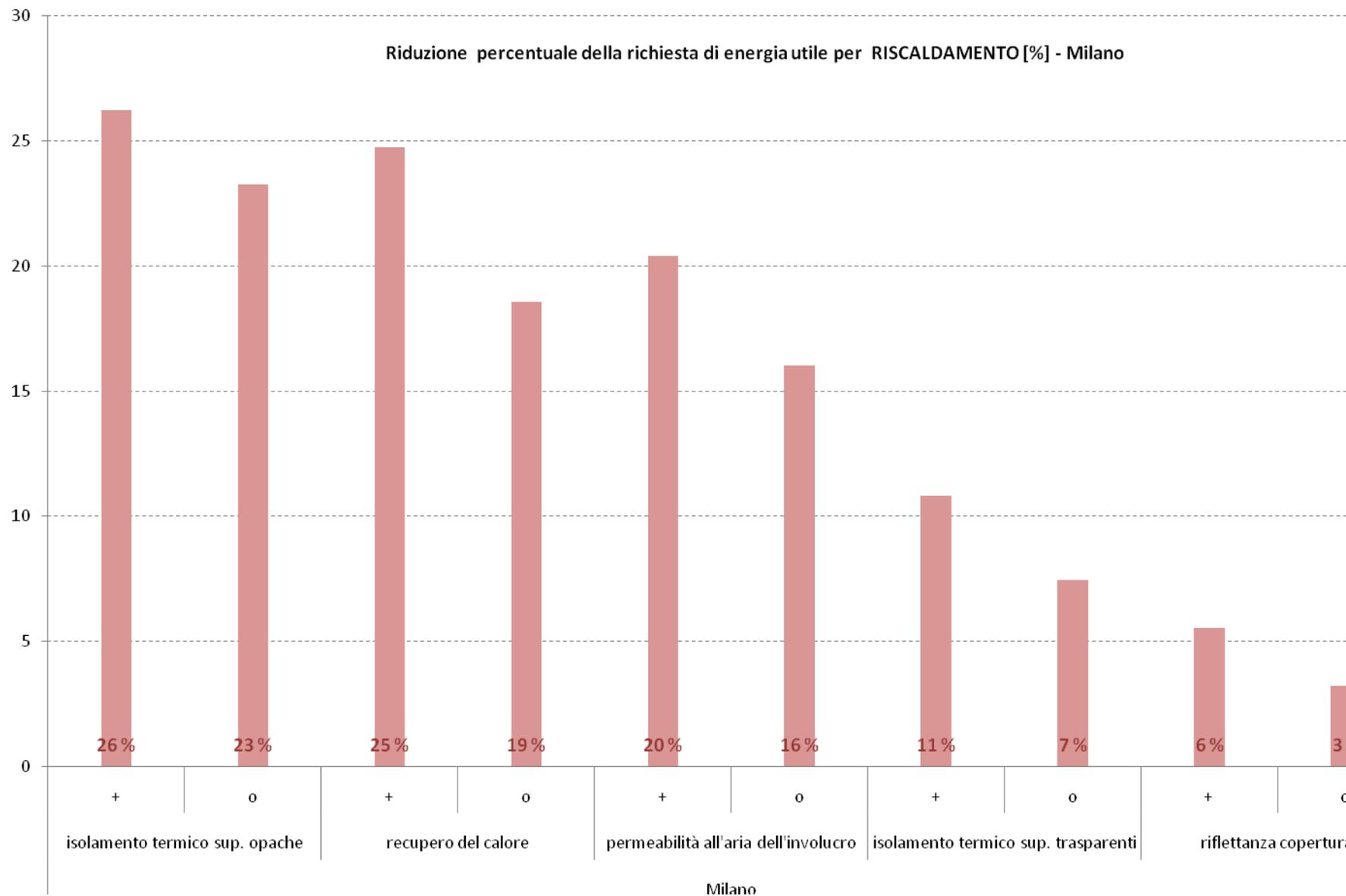
Per questo ad esempio, nell'azione di miglioramento dell'isolamento termico delle superfici opache, si è considerato di applicare l'isolamento termico in tutti i componenti edilizi opachi dell'involucro edilizio, ad eccezione del basamento, dove l'applicazione dell'isolamento termico, in edifici esistenti, è più difficoltoso e meno frequente, per le difficoltà operative e i limiti di ingombro e di riduzione delle altezze nette dei locali al piano terra. Inoltre, nello specifico, si è visto che il contatto col terreno di un'ampia porzione della superficie dell'edificio, per mezzo di superfici che consentano lo scambio termico con il terreno stesso, nonostante porti ad un aumento delle dispersioni invernali, porta anche ad una riduzione della richiesta di energia utile per il raffrescamento.

Nel caso del recupero di calore nella ventilazione meccanica si è deciso di utilizzarlo solo nel periodo di riscaldamento, con l'applicazione di un bypass che evita l'attivazione del sistema di recupero nel periodo estivo. Infatti, alcune simulazioni condotte hanno mostrato che l'applicazione di un recuperatore di calore in periodo di raffrescamento, nelle condizioni considerate, generalmente porta ad una aumento della richiesta di energia utile per il raffrescamento, dovuta al fatto che si riduce l'effetto positivo del raffrescamento offerto dal flusso di aria esterna, nei periodi in cui l'aria esterna ha temperatura minore dell'aria interna e si hanno esigenze di raffrescamento negli ambienti interni.

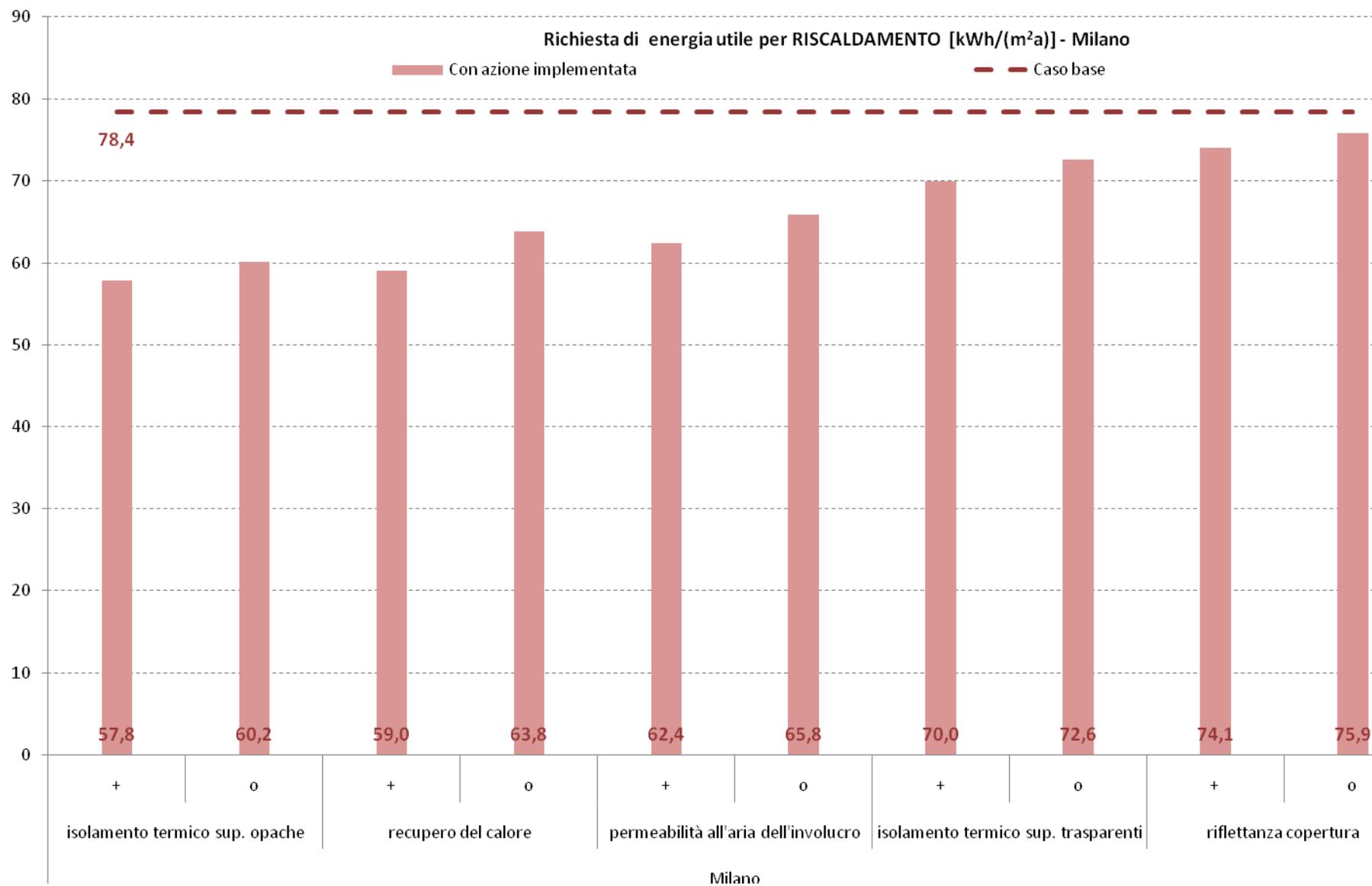
6 Risultati ed analisi

Di seguito si presentano i risultati dello studio, in particolare in termini di richiesta di energia utile (energy need) rispettivamente per il riscaldamento e il raffrescamento e di riduzione percentuale delle stesse rispetto ai valori del caso base di riferimento.

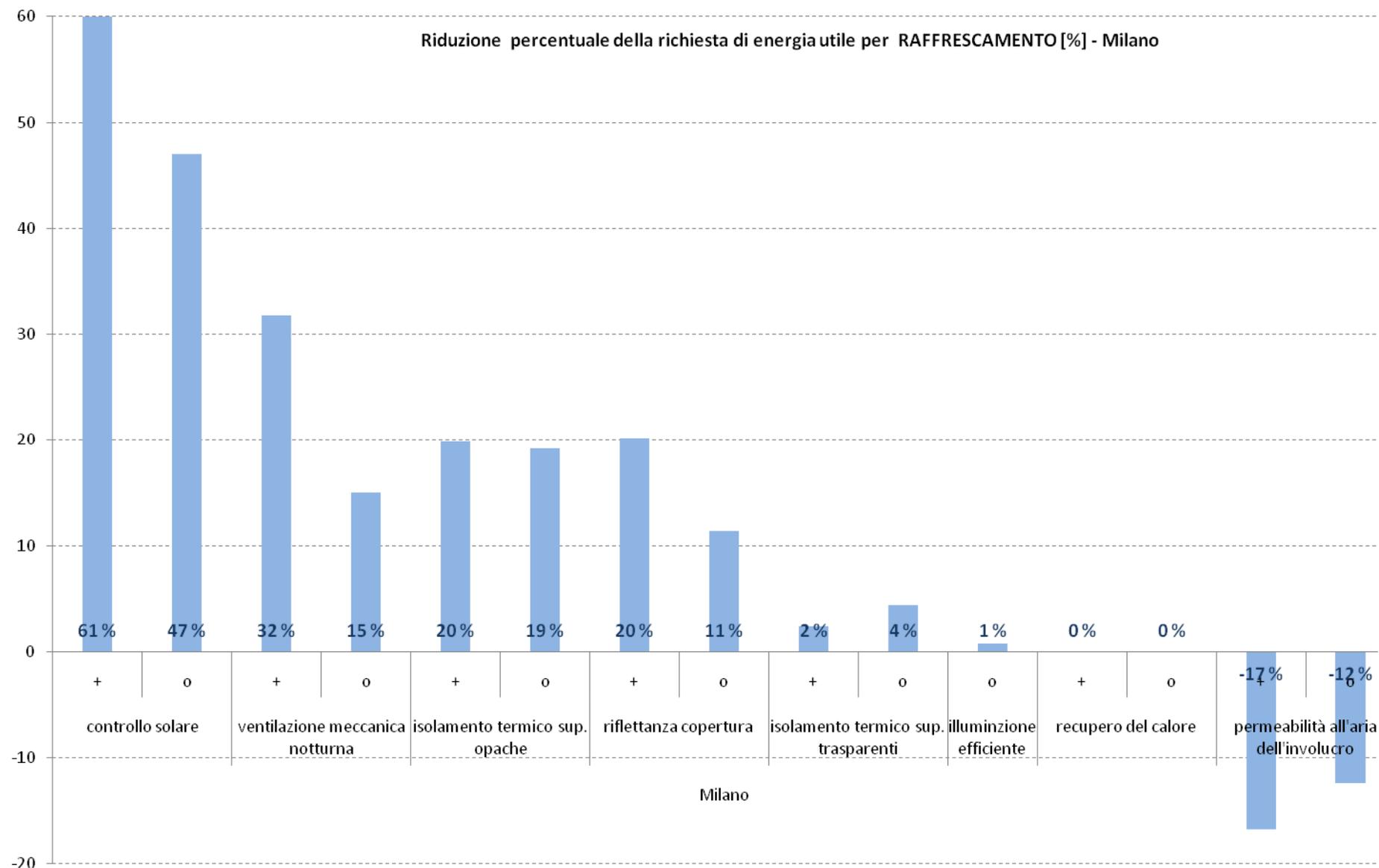
Vengono rappresentati i risultati per l'edificio con applicata singolarmente ciascuna delle azioni considerate per il miglioramento delle prestazioni energetiche.



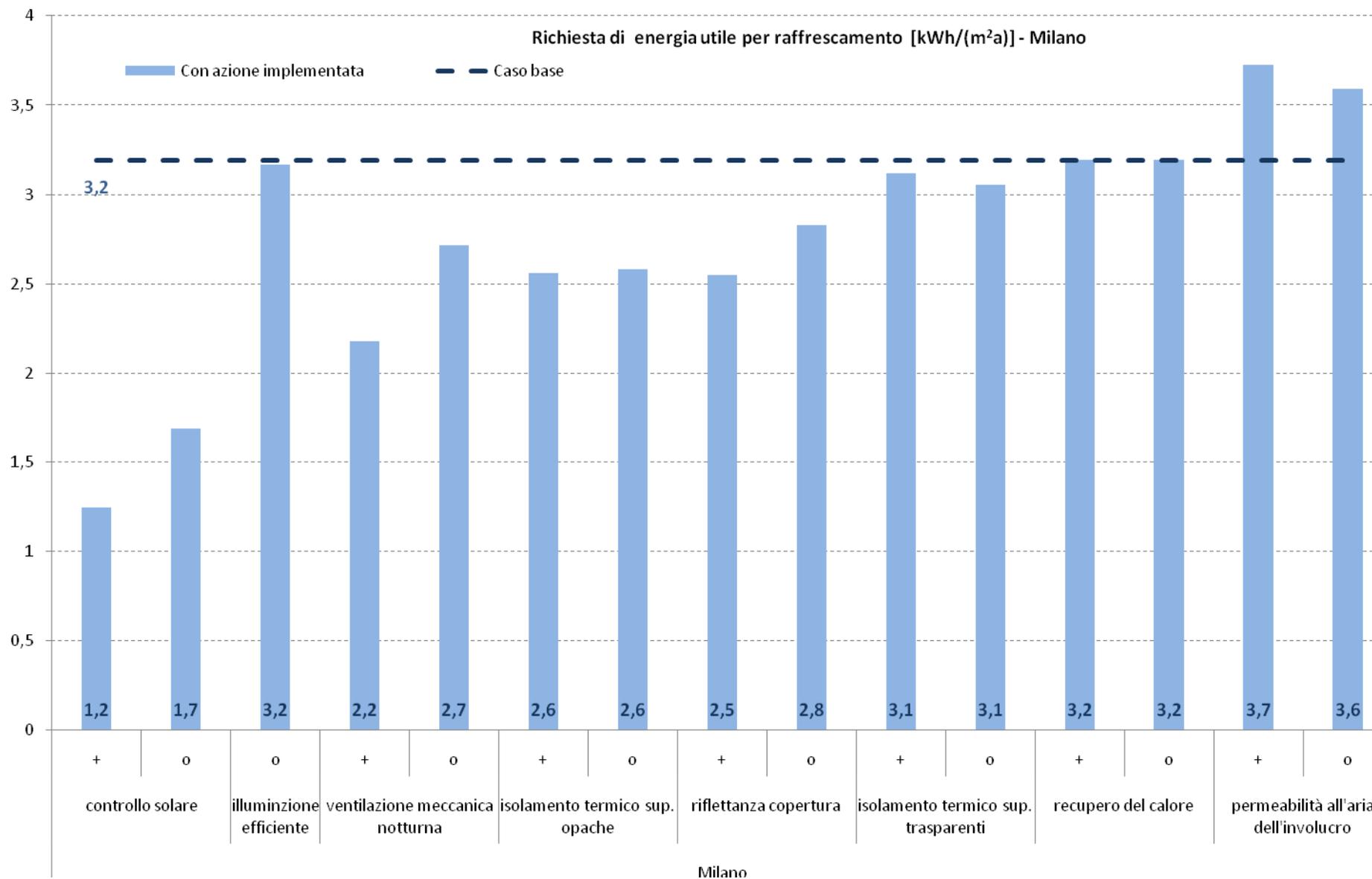
g. 1. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [%] - Milano.



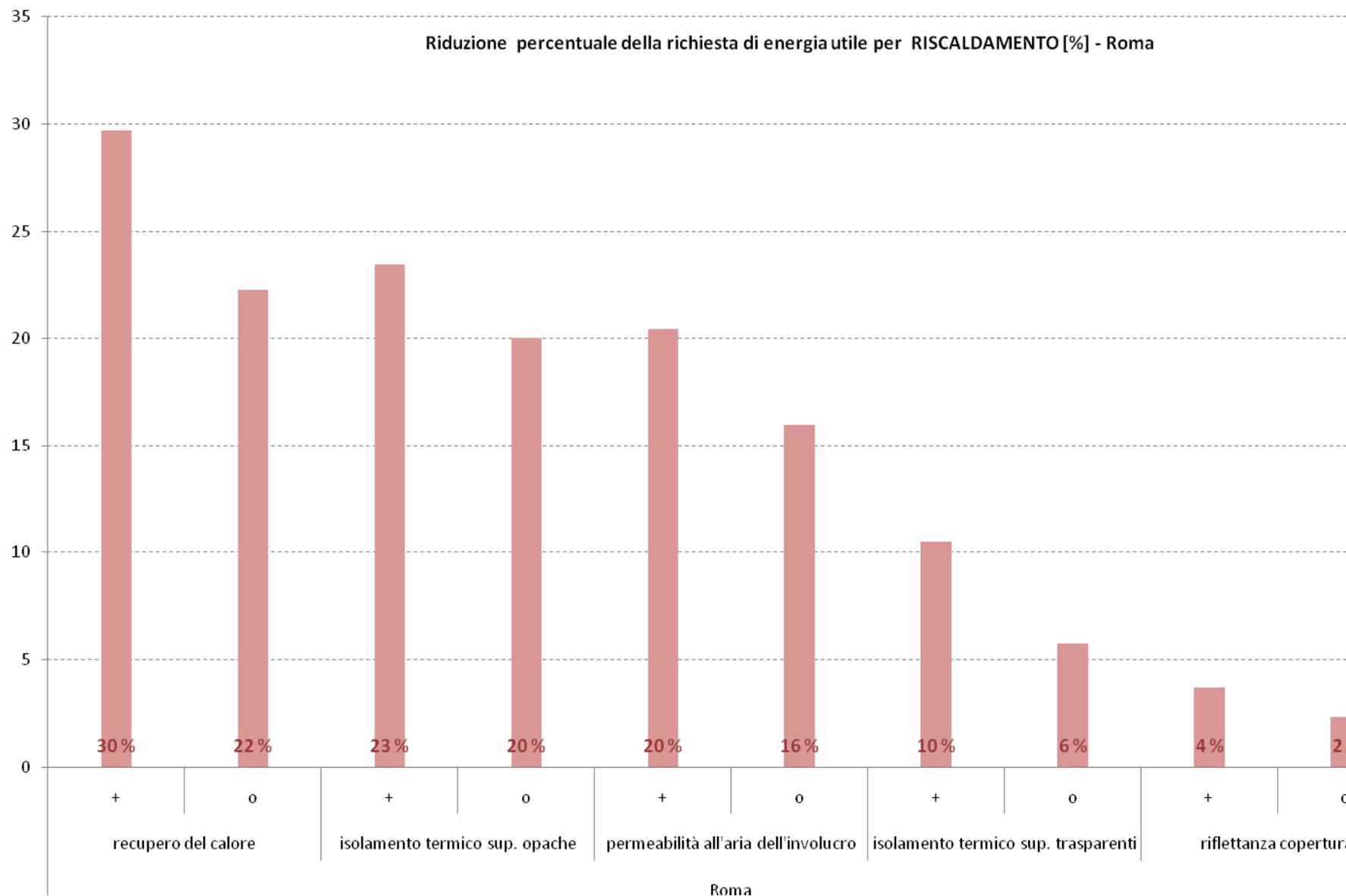
g. 2. Richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [kWh/(m²a)] - Milano.



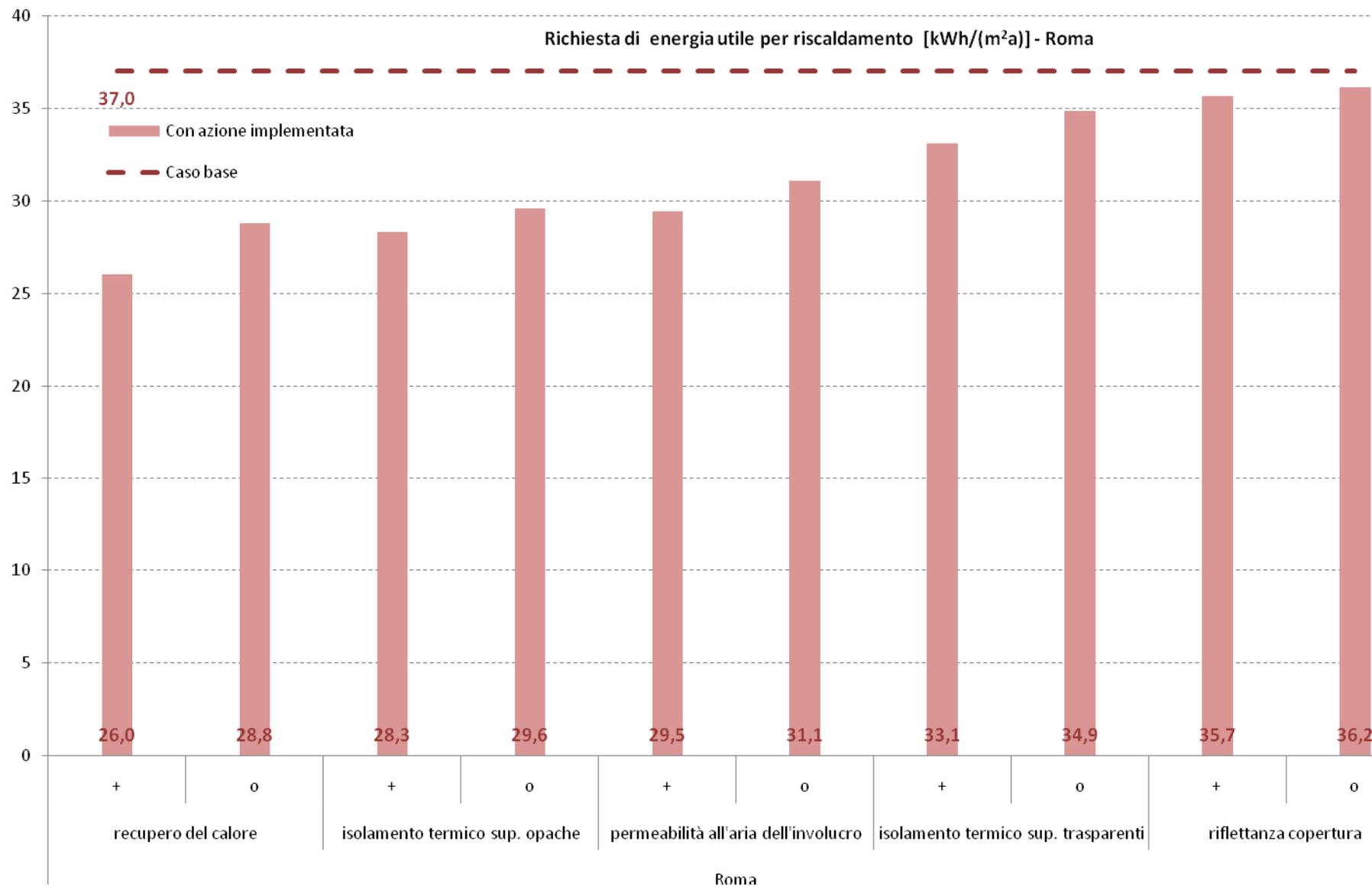
g. 3. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [%] – Milano.



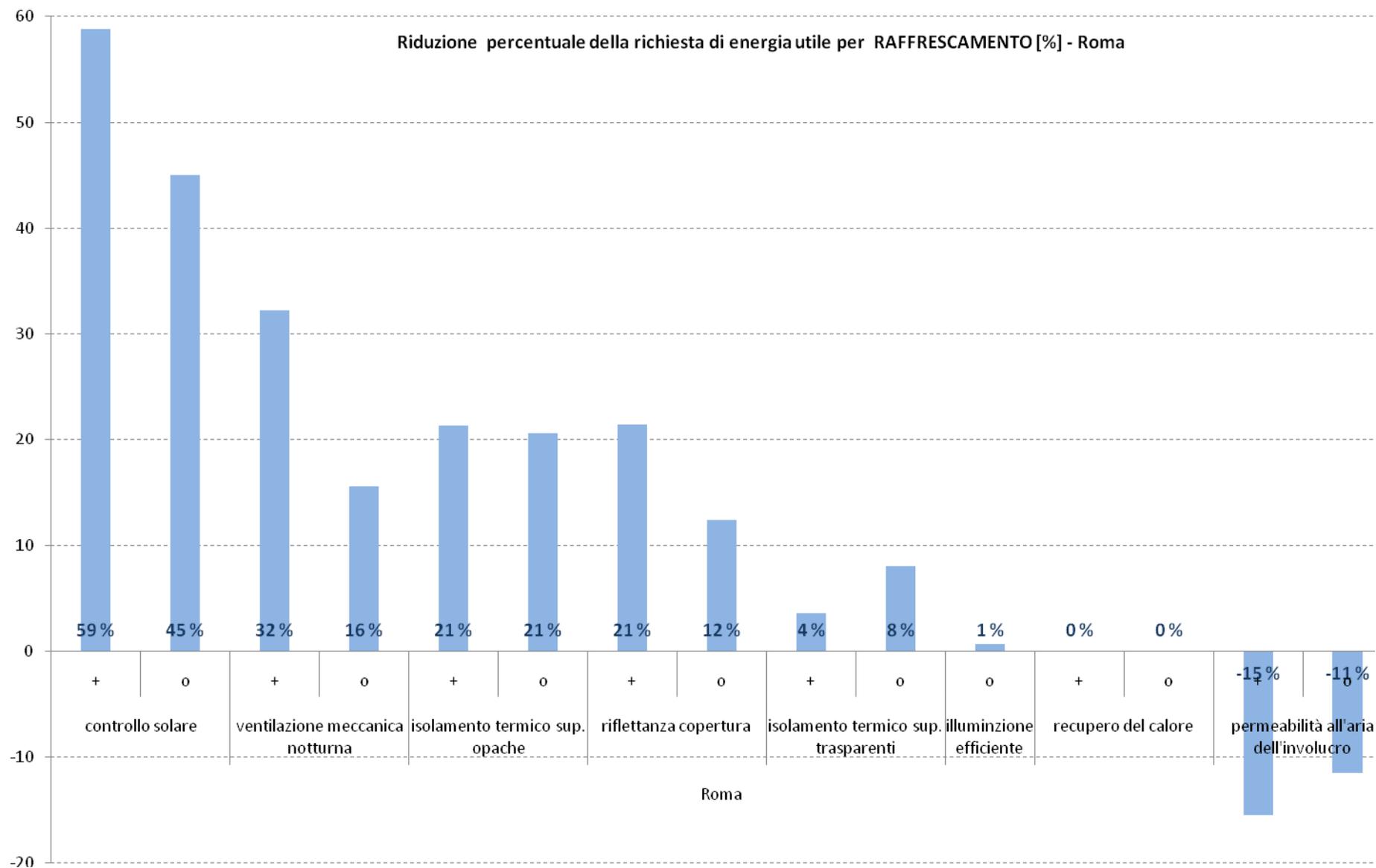
g. 4. Richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [kWh/(m²a)] – Milano.



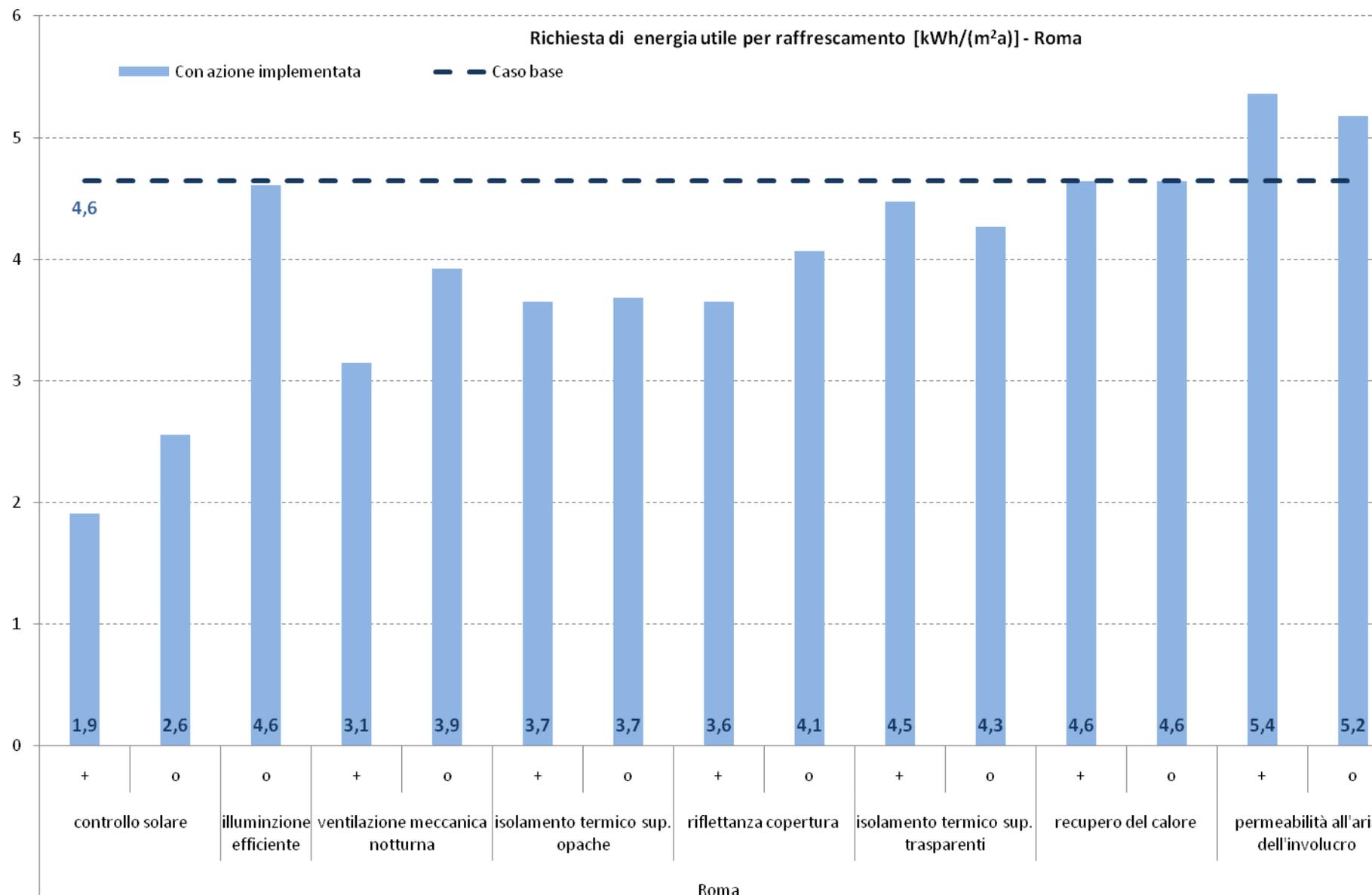
g. 5. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [%] – Roma.



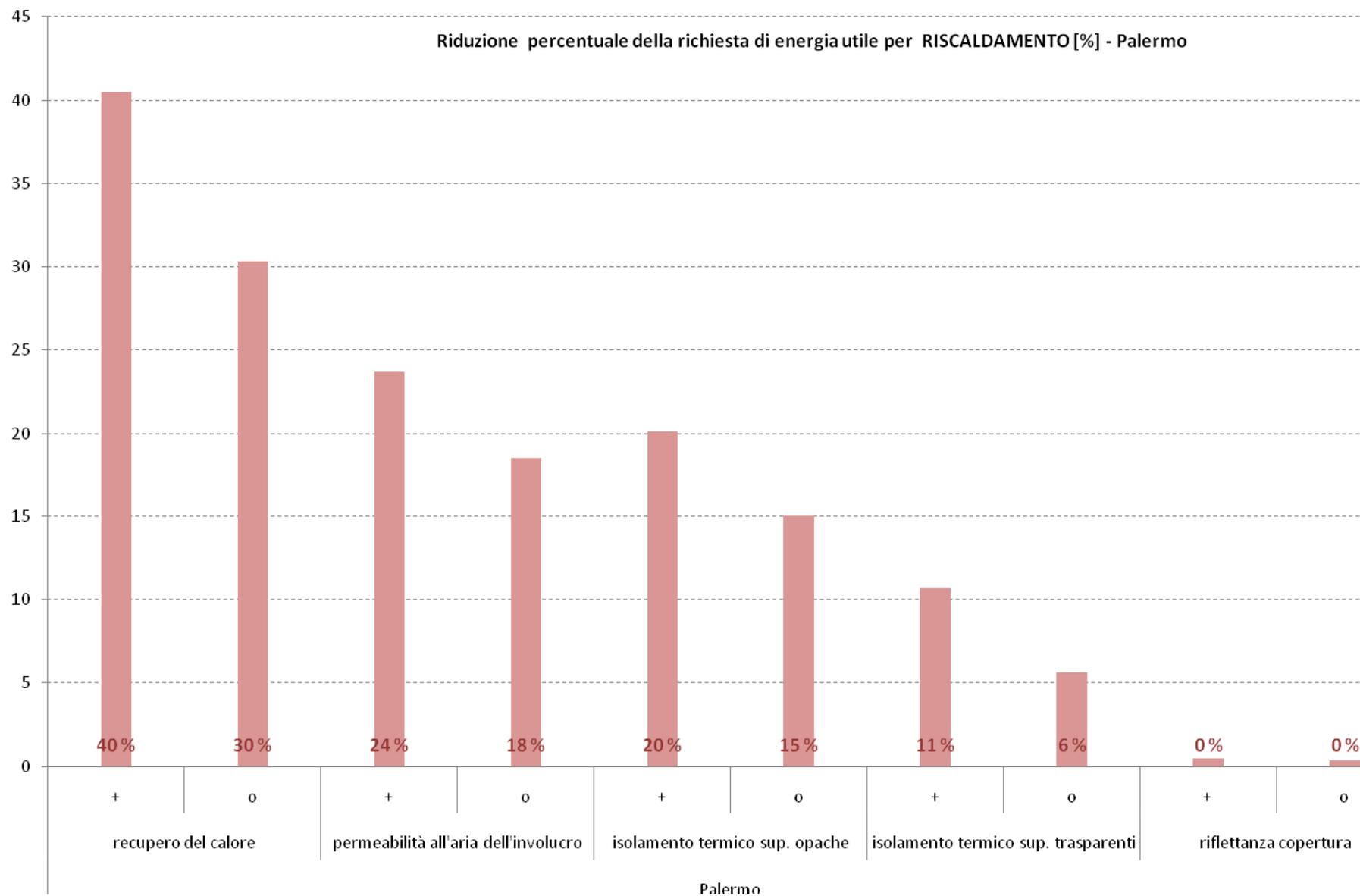
g. 6. Richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [kWh/(m²a)] – Roma.



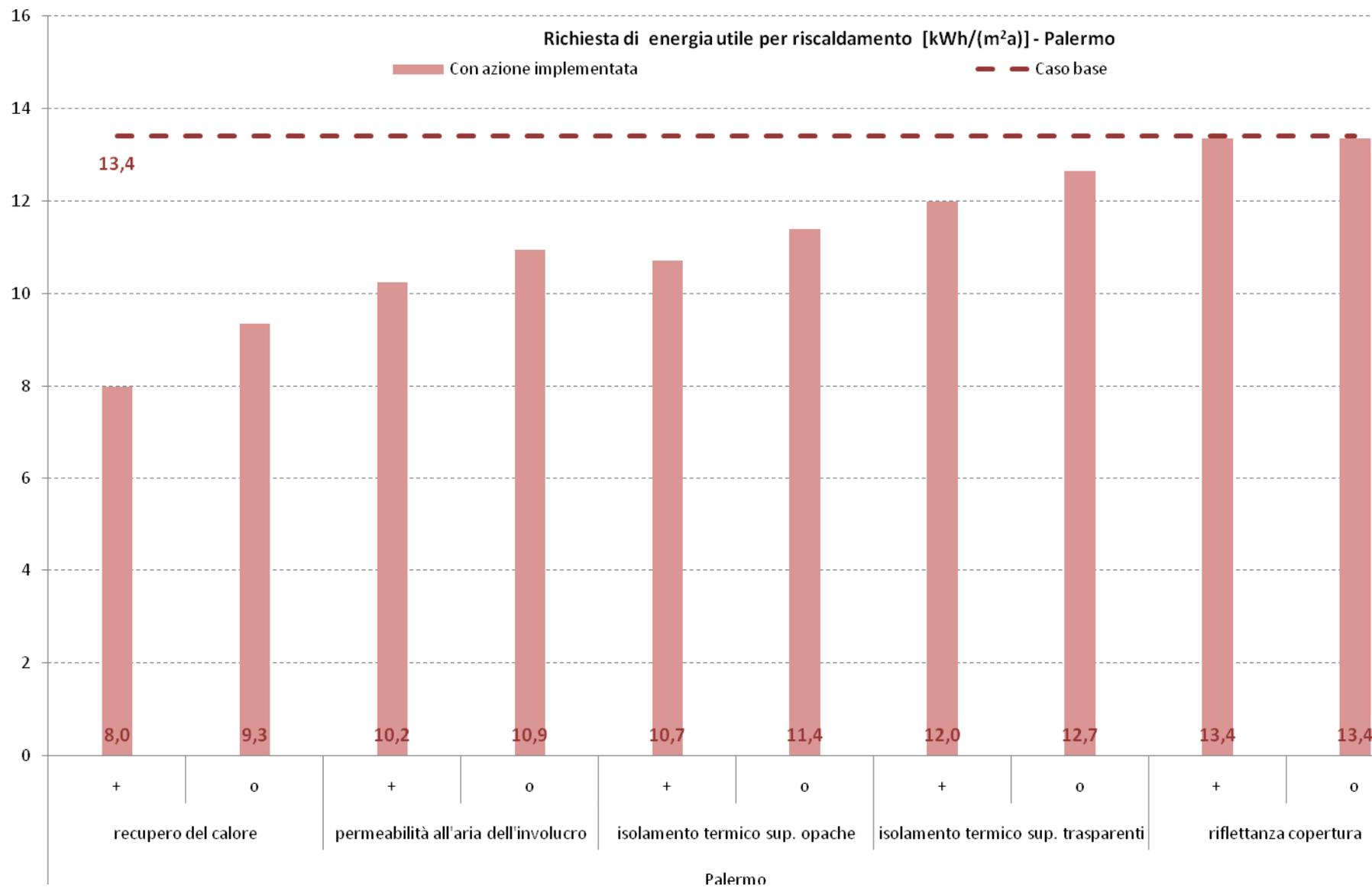
g. 7. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [%] – Roma.



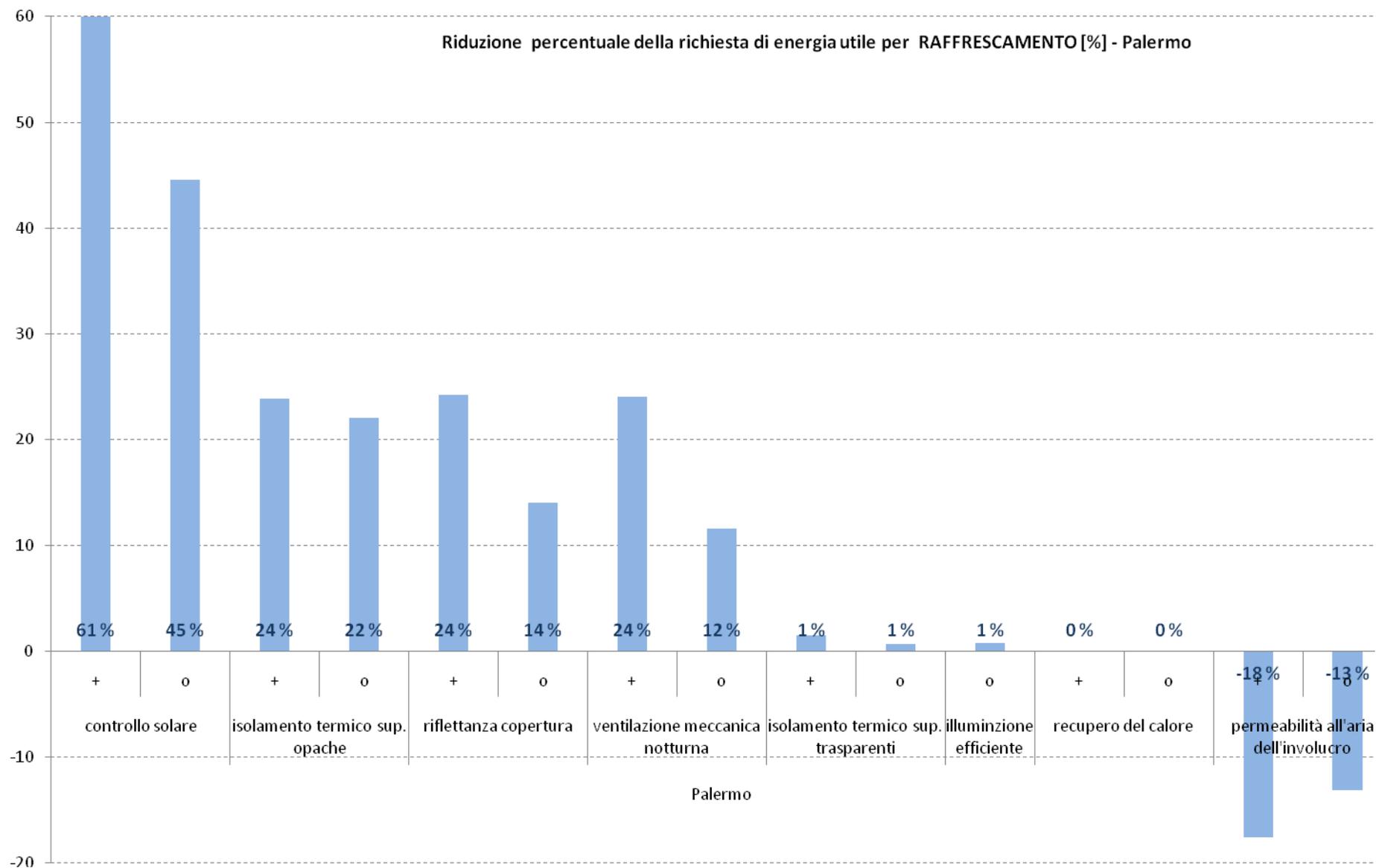
g. 8. Richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [kWh/(m²a)] – Roma.



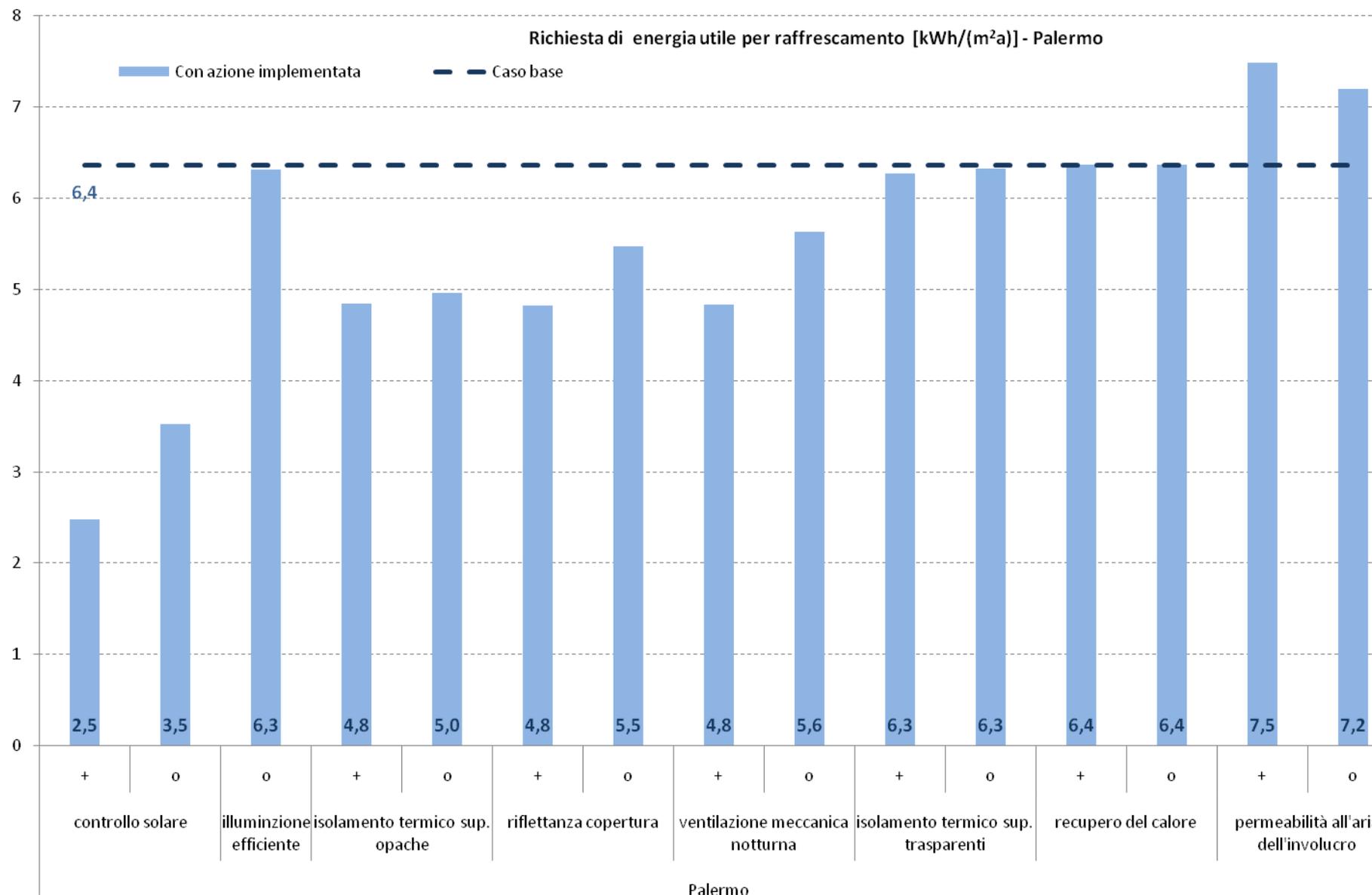
g. 9. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [%] – Palermo.



g. 10. Richiesta di energia utile per RISCALDAMENTO [kWh/(m²a)] – Palermo.



g. 11. Riduzione percentuale della richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [%] – Palermo.



g. 12. Richiesta di energia utile per RAFFRESCAMENTO [kWh/(m²a)] – Palermo.

t. 11. Richiesta di energia utile per riscaldamento (Q_H) e raffrescamento (Q_C) [kWh/(m²a)].

AZIONE IMPLEMENTATA		MILANO		ROMA		PALERMO	
		Q_H	Q_C	Q_H	Q_C	Q_H	Q_C
		[kWh/(m ² a)]					
Caso Base	-	78.4	3.2	37.0	4.6	13.4	6.4
Isolamento termico sup. opache	o	60.2	2.6	29.6	3.7	11.4	5.0
	+	57.8	2.6	28.3	3.7	10.7	4.8
Isolamento termico sup. trasparenti	o	72.6	3.1	34.9	4.3	12.7	6.3
	+	70.0	3.1	33.1	4.5	12.0	6.3
Permeabilità all'aria dell'involucro	o	65.8	3.6	31.1	5.2	10.9	7.2
	+	62.4	3.7	29.5	5.4	10.2	7.5
Recupero del calore nella ventilazione meccanica	o	63.8	3.2	28.8	4.6	9.3	6.4
	+	59.0	3.2	26.0	4.6	8.0	6.4
Controllo solare	o	78.4	1.7	37.0	2.6	13.4	3.5
	+	78.4	1.2	37.0	1.9	13.4	2.5
Riflettanza copertura	o	75.9	2.8	36.2	4.1	13.4	5.5
	+	74.1	2.5	35.7	3.6	13.4	4.8
Ventilazione meccanica notturna	o	78.4	2.7	37.0	3.9	13.4	5.6
	+	78.4	2.2	37.0	3.1	13.4	4.8
Riduzione carico termico da illuminazione	o	79.1	3.2	37.5	4.6	13.7	6.3

Con

Q_H Richiesta di energia utile per riscaldamento

Q_C Richiesta di energia utile per raffrescamento

t. 12. Richiesta di energia utile per riscaldamento (Q_H) e raffrescamento (Q_C) [$\text{kWh}/(\text{m}^3\text{a})$].

AZIONE IMPLEMENTATA		MILANO		ROMA		PALERMO	
		Q_H	Q_C	Q_H	Q_C	Q_H	Q_C
		[$\text{kWh}/(\text{m}^3\text{a})$]					
Caso Base	-	21.7	0.8	10.2	1.2	3.7	1.6
Isolamento termico sup. opache	o	16.6	0.6	8.2	0.9	3.2	1.2
	+	16.0	0.6	7.8	0.9	3.0	1.2
Isolamento termico sup. trasparenti	o	20.1	0.8	9.7	1.1	3.5	1.6
	+	19.3	0.8	9.2	1.1	3.3	1.6
Permeabilità all'aria dell'involucro	o	18.2	0.9	8.6	1.3	3.0	1.8
	+	17.3	0.9	8.1	1.3	2.8	1.9
Recupero del calore nella ventilazione meccanica	o	17.7	0.8	8.0	1.2	2.6	1.6
	+	16.3	0.8	7.2	1.2	2.2	1.6
Controllo solare	o	21.7	0.4	10.2	0.6	3.7	0.9
	+	21.7	0.3	10.2	0.5	3.7	0.6
Riflettanza copertura	o	21.0	0.7	10.0	1.0	3.7	1.4
	+	20.5	0.6	9.9	0.9	3.7	1.2
Ventilazione meccanica notturna	o	21.7	0.7	10.2	1.0	3.7	1.4
	+	21.7	0.5	10.2	0.8	3.7	1.2
Riduzione carico termico da illuminazione	o	21.9	0.8	10.4	1.2	3.8	1.6

Con

Q_H Richiesta di energia utile per riscaldamento

Q_C Richiesta di energia utile per raffrescamento

7 Riferimenti bibliografici

7.1 Norme tecniche e di legge

[D 26/06/09] Decreto 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

[DLGS 192/05] - Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

[DLGS 311/06] - Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n.311 - Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

[DPR 412/93] - Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 - Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10

[EN 15251:2007-08] – European Committee for Standardization – Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – 2007.

[prEN 12831–2000-08 E] – European Committee for Standardization – Valori e parametri nazionali per il calcolo del carico termico di progetto – 2000.

[prEN 15603:2007: E] European Standard prEN 15603 “ Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings”

[SIA V382/1] – Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein – Technical performances for installation of fans and air-conditioners – 1992

[UNI EN 13363-1:2004] – Ente Nazionale Italiano di Unificazione – Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Metodo semplificato - 2004.

[UNI EN 13363-2:2006] – Ente Nazionale Italiano di Unificazione – Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Parte 2: Metodo di calcolo dettagliato - 2006.

[UNI EN ISO 13786:2001] – Ente Nazionale Italiano di Unificazione – Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche, Metodi di calcolo – 2001.

[UNI/TS 11300-1] – Ente Nazionale Italiano di Unificazione – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale - 2008.

7.1 Pubblicazioni

[CNR.1982] – Consiglio Nazionale delle Ricerche – Progetto Finalizzato Energetica – Repertorio delle caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi opachi e trasparenti.
– 1982 – Roma.

[ENERGYPLUS.2008] – EnergyPlus Manual, Version 2.2 – 2008.

[PAGLIANO.2005] – L. Pagliano, P. Zangheri – Climate optimised building parameters for low energy summer comfort under a discomfort index – PALENC 2005