



## Ricerca di Sistema elettrico

Riqualificazione energetica di un  
edificio uso ufficio finalizzata alla  
realizzazione di uno studio di LCA

M. Cellura, F. Guarino, T. M. Gulotta,  
V. La Rocca, S. Longo, P. Signoretti



RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO USO UFFICIO FINALIZZATA ALLA REALIZZAZIONE DI UNO STUDIO DI LCA.

M. Cellura, F. Guarino, T. M. Gulotta, V. La Rocca, S. Longo, (Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici – DEIM)

Settembre 2017

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici"

Tema di ricerca: Edifici a energia quasi zero (nZEB)

Progetto: D.2 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (nZEB)"

Obiettivo c.4 Studio LCA nella riqualificazione energetica nZEB di un edificio uso ufficio

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione tra ENEA e Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici (DEIM) per l'attività di ricerca dal titolo: "Criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative. Riqualificazione energetica di un edificio uso ufficio finalizzata alla realizzazione di uno studio di LCA".

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Paolo Signoretti

Responsabili scientifici DEIM Università degli Studi di Palermo: Prof. Maurizio Cellura, Ing. Sonia Longo

## Indice

SOMMARIO.....	2
NOMENCLATURA.....	3
1 INTRODUZIONE.....	5
1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	7
2 EDIFICIO CAMPIONE.....	9
2.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E TERMOFISICHE.....	9
2.2 DESTINAZIONE D'USO, LIVELLI DI OCCUPAZIONE.....	12
2.3 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE.....	14
2.4 IMPIANTO TERMICO.....	15
2.5 RISULTATI.....	23
3 RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI PRIMO LIVELLO.....	25
3.1 INVOLUCRO.....	25
3.2 IMPIANTO TERMICO.....	31
3.3 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE.....	40
3.4 RISULTATI.....	41
4 EDIFICIO AD ENERGIA QUASI ZERO, NZEB.....	45
4.1 RISTRUTTURAZIONE NZEB.....	45
4.2 INTEGRAZIONE DELLE TECNOLOGIE ALIMENTATE DA FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA.....	47
4.3 RISULTATI.....	50
5 CONCLUSIONI.....	54
ALLEGATO 1 – MATERIALI E TECNOLOGIE PER RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI PRIMO LIVELLO.....	56
ALLEGATO 2 - MATERIALI E TECNOLOGIE PER RAGGIUNGERE IL LIVELLO NZEB.....	61

## Sommario

Il presente report si inserisce nell'ambito dell'accordo di Collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'informazione e Modelli Matematici (DEIM) dell'Università degli Studi di Palermo, per un'attività di ricerca dal titolo "Criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative". Riqualificazione energetica di un edificio uso ufficio finalizzata alla realizzazione di uno studio di LCA", nel contesto del Piano annuale di Realizzazione 2016 del progetto D.2 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (nZEB)"

L'attività prevede la definizione di interventi di riqualificazione energetica di un edificio ad uso ufficio, al fine di renderlo rispondente agli standard previsti dal DM Requisiti Minimi per Edifici Pubblici e alla definizione di nearly Zero Energy Building contenuta nello stesso DM.

In dettaglio, le attività sviluppate comprendono:

1. simulazione termofisica dell'edificio campione nello stato di fatto;
2. simulazione termofisica degli scenari di ristrutturazione importante di primo livello;
3. simulazione termofisica degli scenari di ristrutturazione finalizzati al raggiungimento del target di edificio a energia quasi zero "nZEB";
4. determinazione delle caratteristiche tecniche e delle quantità di materiali, tecnologie e componenti utilizzati negli interventi di ristrutturazione.

L'edificio campione e gli scenari di ristrutturazione sono stati simulati in tre differenti località italiane (Palermo, Roma, Milano).

## Nomenclatura

---

ACS	Acqua calda sanitaria
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ [-]	Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile
$EP_C$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
$EP_{C,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento
$EP_{gl}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione energetica globale dell'edificio. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
$EP_H$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
$EP_{H,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione termica utile per riscaldamento
$EP_L$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale. Questo indice non si calcola per la categoria e.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria e.1(3). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
$EP_T$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione energetica del servizio per il trasporto di persone e cose (impianti ascensori, marciapiedi e scale mobili). Questo indice non si calcola per la categoria e.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria e.1(3)
$EP_V$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione energetica per la ventilazione. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
$EP_W$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
$EP_{W,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria
$g$ [-]	Trasmittanza normale solare
$H'_T$ [W/ (m <sup>2</sup> K)]	Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente
$M_s$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Massa superficiale
$P$ [W]	Potenza elettrica o termica
$S$ [m <sup>2</sup> ]	Superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno

---

---

$U$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Trasmittanza
$\eta_c$ [-]	Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità)
$\eta_H$ [-]	Efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale
$\eta_w$ [-]	Efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria

---

## 1 Introduzione

Il settore dell'edilizia svolge un ruolo chiave nel raggiungimento degli obiettivi europei di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di gas climalteranti.

A causa degli elevati consumi energetici ad esso imputabili, è stata indicata come una delle priorità rilevanti indicate nel "Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità" della Commissione Europea è la crescita dell'efficienza energetica nel settore edilizio. Inoltre, nel Piano d'azione si stima che nei settori residenziale e commerciale si potrebbe ottenere un potenziale di risparmio energetico rispettivamente del 27% e 30%. Pertanto, la riduzione dei consumi energetici e la produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili nel settore edile sono considerate misure significative per il raggiungimento degli obiettivi della politica energetico – ambientale dell'Unione Europea di riduzione della dipendenza energetica e delle emissioni di gas a effetto serra.

Negli ultimi anni si è assistito, a livello internazionale, alla definizione di nuovi standard e all'intensificarsi di attività di ricerca sul tema delle prestazioni energetiche in edilizia.

In particolare, la Direttiva 2010/31/CE ha introdotto il concetto di "edificio a energia netta quasi zero", definito successivamente anche nel Piano d'azione nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero (PANZEB), previsto dal D.Lgs. 192/2005 e ss.mm.ii..

Sebbene il concetto di nZEB sia esteso sia alle nuove costruzioni che agli edifici esistenti, è utile ricordare che oltre i due terzi del patrimonio edilizio esistente sono stati costruiti prima dell'entrata in vigore della Legge 373/1976, la prima legge italiana in materia di risparmio energetico in edilizia. Il potenziale di risparmio energetico è quindi ampio e spesso ottenibile tramite interventi dai ridotti tempi di ritorno economici.

Si stima che la realizzazione di nuovi edifici che rispettino i requisiti nZEB e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente in nZEB potrà determinare un risparmio energetico nel periodo 2015-2020 pari a oltre 10 ktep per i settori residenziale e non residenziale. Inoltre, la Strategia per la riqualificazione energetica del parco immobiliare nazionale (STREPIN) stima un potenziale di risparmio al 2020 di circa 5,7 Mtep/anno, con investimenti da sostenere nel settore residenziale pari a 13,6 miliardi di euro l'anno per interventi globali e 10,5 miliardi di euro l'anno per interventi parziali; per gli interventi nel settore non residenziale si stimano investimenti pari a 17,5 miliardi di euro l'anno.

In tale contesto, obiettivo dello studio è la definizione di interventi di riqualificazione energetica di un edificio ad uso ufficio, al fine di renderlo rispondente agli standard previsti dal DM Requisiti Minimi per Edifici Pubblici e alla definizione di nearly Zero Energy Building contenuta nello stesso DM.

In dettaglio, le attività sviluppate comprendono:

1. simulazione termofisica dell'edificio campione nello stato di fatto;
2. simulazione termofisica degli scenari di ristrutturazione importante di primo livello;
3. simulazione termofisica degli scenari di ristrutturazione finalizzati al raggiungimento del target di edificio a energia quasi zero "nZEB";
4. determinazione delle caratteristiche tecniche e delle quantità di materiali, tecnologie e componenti utilizzati negli interventi di ristrutturazione.

L'edificio campione e gli scenari di ristrutturazione sono stati simulati in tre differenti località italiane (Palermo, Roma, Milano), come riportato in Tabella 1.1.

**Tabella 1.1 Sintesi degli scenari sviluppati**

<b>Località</b>	<b>Modelli</b>		
	<b>Palermo</b>	<b>Roma</b>	<b>Milano</b>
<b>A) Edificio campione</b>	$M_{p(A)}$	$M_{r(A)}$	$M_{m(A)}$
<b>B) Ristrutturazione energetica di 1° livello</b>	$M_{p(B)}$	$M_{r(B)}$	$M_{m(B)}$
<b>C) Ristrutturazione energetica nZEB</b>	$M_{p(C)}$	$M_{r(C)}$	$M_{m(C)}$

## 1.1 Riferimenti normativi

Si definisce ristrutturazione importante un "intervento che interessa gli elementi e i componenti integrati costituenti l'involucro edilizio che delimitano un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno o da ambienti non climatizzati, con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio".

In particolare, come riportato nel DM 'Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici' del 26/06/2015, una ristrutturazione importante di primo livello è definita come un "intervento che interessa gli elementi e i componenti integrati costituenti l'involucro edilizio delimitanti un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati, con un'incidenza superiore al 50 % della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e comporta il rifacimento dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio".

Un intervento ricade invece nella definizione di ristrutturazione importante di secondo livello qualora interessi l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio. L'intervento può inoltre interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva. In tali casi i requisiti di prestazione energetica da verificare riguardano le caratteristiche termofisiche delle sole porzioni e delle quote di elementi e componenti dell'involucro dell'edificio interessati dai lavori di riqualificazione energetica e il coefficiente globale di scambio termico di trasmissione determinato per l'intera parete, comprensiva di tutti i componenti su cui si è intervenuti.

Un intervento di riqualificazione energetica che ricada nella definizione di ristrutturazione importante di primo livello deve rispettare alcuni limiti in termini di prestazioni termofisiche, brevemente riportati nel seguito:

- i. il parametro  $H'_T$  deve risultare inferiore al corrispondente valore limite;
- ii. il parametro  $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$  deve risultare inferiore al corrispondente valore limite;
- iii. gli indici  $EP_{H,nd}$ ,  $EPC_{,nd}$  e  $EP_{gl,tot}$  devono risultare inferiori ai valori dei corrispondenti indici limite calcolati per l'edificio di riferimento;
- iv. le efficienze  $\eta_H$ ,  $\eta_W$  e  $\eta_C$ , devono risultare superiori ai valori delle corrispondenti efficienze indicate per l'edificio di riferimento;
- v. Si fa inoltre riferimento all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28 e in particolare agli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili ivi riportati. E' infatti prevista, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, la copertura del 50% dei consumi previsti per acqua calda sanitaria e delle seguenti percentuali della somma dei consumi previsti per acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento:

a) il 20% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 31 Maggio 2012 al 31 Dicembre 2013;

b) il 35% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 1° Gennaio 2014 al 31 dicembre 2016;

c) il 50% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è rilasciato dal 1° Gennaio 2017.

Il rispetto degli indicatori di cui ai punti i / iv è stimato tramite il confronto delle prestazioni dell'edificio in esame con quelle dell' "edificio di riferimento". Tale edificio è definito come un edificio identico a quello sottoposto a verifica progettuale in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati e riportati negli allegati al già citato DM "Requisiti minimi".

Il concetto di edificio ad energia quasi zero è basato su limiti e prescrizioni molto simili. In dettaglio, le seguenti condizioni devono essere verificate:

a) Tutti gli indici di cui ai punti i-iv precedentemente citati e calcolati secondo i valori dei requisiti minimi vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici, risultano inferiori ai valori dei corrispondenti indici calcolati per l'edificio di riferimento,

b) Sono rispettati gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n.28.

Il punto b) è ulteriormente declinabile nella necessità di garantire il rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e del 50% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

## 2 Edificio campione

In questo capitolo sono descritte le caratteristiche dell'edificio campione. Si precisa che le caratteristiche termofisiche e geometriche dell'involucro sono invariate nel caso degli scenari  $M_p(A)$ ,  $M_r(A)$  e  $M_m(A)$  indicati in Tabella 1.1 ma, per sopperire ai diversi carichi termici generati da caratteristiche climatiche differenti, gli impianti degli edifici siti a Roma e Milano sono diversi da quelli dell'edificio sito a Palermo.

### 2.1 Caratteristiche geometriche e termofisiche

L'immobile, adibito ad ufficio e costruito negli anni '70, occupa una superficie di 403,5 m<sup>2</sup> con un'altezza netta interna di 3 m e un volume di 1.210,50 m<sup>3</sup>.

Si riporta in Figura 2.1.1 la planimetria dell'edificio.

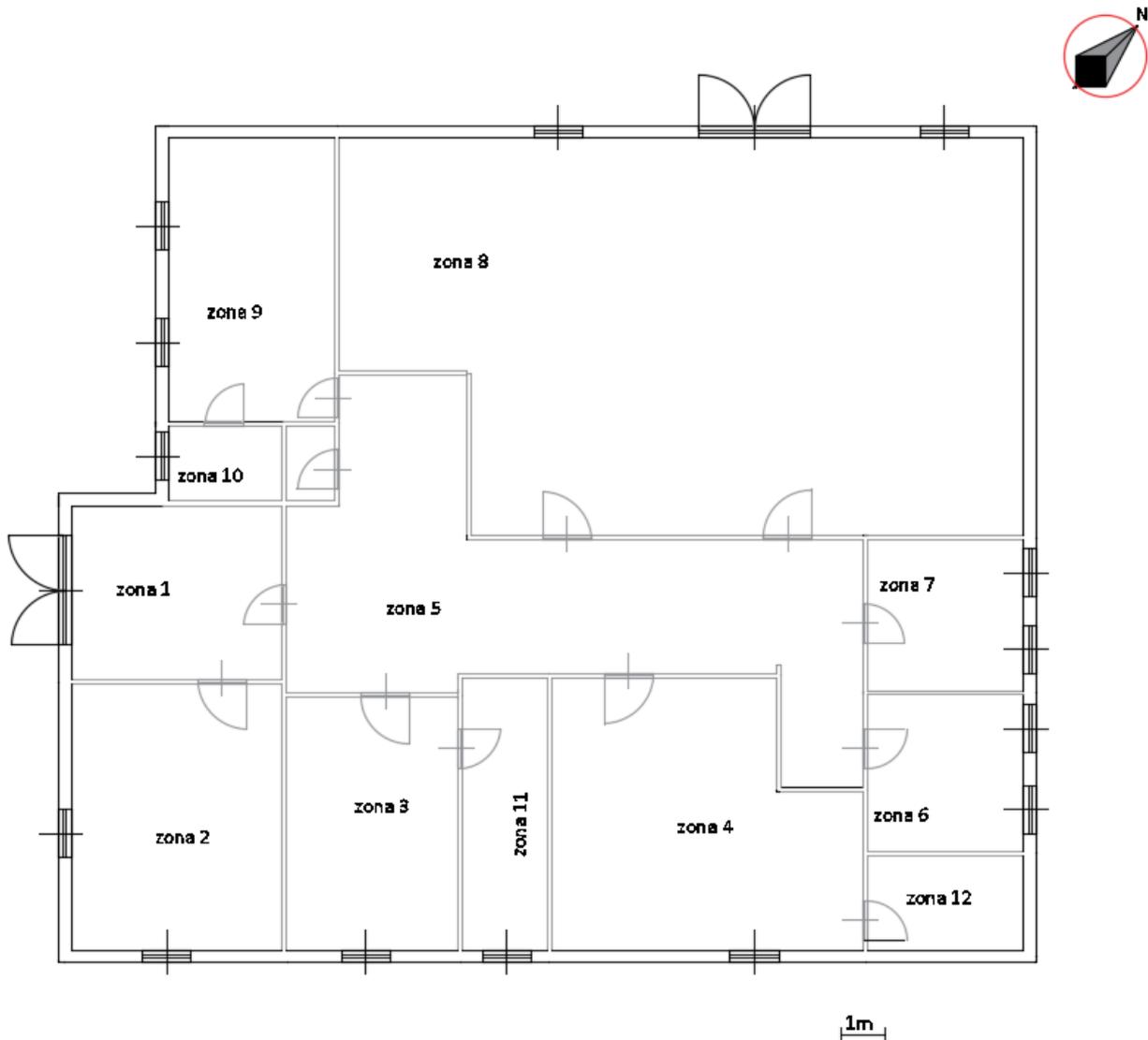


Figura 2.1.1 – Planimetria dell'edificio

Le zone termiche indicate in Figura 2.1.1 sono ulteriormente descritte in Tabella 2.1.1.

**Tabella 2.1.1– Suddivisione dell’edificio in zone termiche**

Zone termiche	Destinazione d'uso	Area [m <sup>2</sup> ]
Zona 1	Ufficio singolo	19,03
Zona 2	Ufficio singolo	26,65
Zona 3	Ufficio singolo	21,60
Zona 4	Ufficio singolo	38,37
Zona 5	Corridoio	56,60
Zona 6	Bagno/Servizi	12,40
Zona 7	Bagno/Servizi	12,40
Zona 8	Ufficio open space	129,00
Zona 9	Ufficio singolo	24,32
Zona 10	Ufficio singolo	20,57
Zona 11	Bagno/Servizi	10,70
Zona 12	Centrale Termica	6,03

La struttura dell’edificio è realizzata in calcestruzzo armato intelaiato.

Per gli elementi opachi verticali sono utilizzati blocchi in laterizio forato, con intonaco tradizionale a base di calce all’esterno e con strato di gesso all’interno (Tabella 2.1.2).

**Tabella 2.1.2– Stratigrafia elementi opachi verticali – pareti perimetrali**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(m K)]
Intonaco (interno)	20	1400	0,70
Blocco in laterizio	270	926	1,10
Intonaco (esterno)	20	1400	0,70

La trasmittanza (U) degli elementi opachi verticali è di 1,183 W/(m<sup>2</sup>K).

Per i tramezzi interni sono utilizzati tavelloni per divisori di laterizio (blocchi in laterizio forato) da 8 cm, finito con traversato e strato di gesso, con strato finale di pittura idrolavabile. In Tabella 2.1.3 sono riportati gli spessori dei singoli componenti. La trasmittanza (U) delle pareti interne è 3,045 W/(m<sup>2</sup>K).

**Tabella 2.1.3– Stratigrafia elementi opachi verticali interni**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Intonaco (interno)	10	1400	0,70
Tavelloni per divisori di laterizio	60	667	0,46
Intonaco (interno)	10	1400	0,70

La stratigrafia del pavimento è riportata in Tabella 2.1.4.

**Tabella 2.1.4– Stratigrafia elementi opachi orizzontali - pavimento**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Pavimentazione ceramica interna	10	1940	0,70
Soletta laterocemento	160	1280	0,80

La copertura dell'edificio è piana e calpestabile. La stratigrafia è riportata in Tabella 2.1.5. La trasmittanza (U) della copertura è pari a 1,453 W/(m<sup>2</sup>K).

**Tabella 2.1.5– Stratigrafia elementi opachi orizzontali - copertura**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Pavimentazione esterna - klinker	30	1500	0,70
Bitume	10	1200	0,17
Massetto ordinario	60	2000	1,06
Malta adesiva	20	2000	1,40
Calcestruzzo armato	40	2400	0,85
Blocco laterizio	160	900	1,10
Intonaco (interno)	20	1400	0,70

In Tabella 2.1.6 sono riportati i valori di massa superficiale delle pareti opache; il limite normativo di massa superficiale  $M_s$ , pari a  $230 \text{ kg/m}^2$ , è rispettato.

**Tabella 2.1.6 Massa superficiale delle pareti opache**

Pareti verticali	250 $\text{kg/m}^2$
Copertura piana	457 $\text{kg/m}^2$
Pavimento	417 $\text{kg/m}^2$

I componenti verticali trasparenti installati nell'edificio, pari a  $24 \text{ m}^2$  circa, sono del tipo finestre con vetro singolo e telaio in metallo e ricoprono circa il 12% delle superfici verticali esterne. L'edificio, posizionato in contesto isolato, non prevede ostruzioni schermanti né l'utilizzo di sistemi oscuranti. Le caratteristiche dei componenti finestrati sono riportati in Tabella 2.1.7.

**Tabella 2.1.7– Caratteristiche dei componenti finestrati**

<b>Componente trasparente</b>	Vetro Singolo
<b>Trasmittanza termica vetro <math>[\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]</math></b>	5,75
<b>Trasmittanza normale solare (g) [-]</b>	0,85
<b>Spessore [mm]</b>	4,00
<b>Telaio</b>	Metallo (no taglio termico)
<b>Trasmittanza termica telaio <math>[\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]</math></b>	7,00

## 2.2 Destinazione d'uso, livelli di occupazione

La destinazione d'uso dell'edificio è non residenziale, in particolare esso è adibito ad uso ufficio. Si riportano nella Tabella 2.2.1 gli indici di affollamento utilizzati nella modellizzazione dei livelli di occupazione di tutte le zone termiche dell'edificio. I valori riportati sono relativi ai prospetti III e VIII della norma UNI 10339 e al prospetto E.2 dell'UNI/TS 11300-1.

**Tabella 2.2.1– Indici di affollamento**

	Tipo zona	Indice di affollamento [Occupanti/m <sup>2</sup> ]
Zona 1	Ufficio singolo	0,06
Zona 2	Ufficio singolo	0,06
Zona 3	Ufficio singolo	0,06
Zona 4	Ufficio singolo	0,06
Zona 5	Ingresso	0
Zona 6	Servizi	0
Zona 7	Servizi	0
Zona 8	Ufficio singolo	0,12
Zona 9	Ufficio singolo	0,06
Zona 10	Ufficio singolo	0,06
Zona 11	Servizi	0
Zona 12	Centrale termica	0,08

### 2.3 Impianto di illuminazione

Per l'illuminazione dell'edificio sono utilizzate plafoniere con lampade a fluorescenza da 2x36 W, 1x18 W, 2x18 W.

La potenza assorbita da ciascuna lampada è pari alla potenza nominale aumentata del 6% (potenza assorbita dal reattore).

Si riporta in dettaglio in Tabella 2.3.1 la potenza totale relativa all'impianto di illuminazione. Si considera l'illuminazione artificiale come attiva nei locali occupati.

**Tabella 2.3.1– Potenza installata impianto di illuminazione**

Zona termica	Numero di lampade	Potenza Totale installata [W]
Zona 1	2	152,64
Zona 2	3	228,96
Zona 3	3	228,96
Zona 4	5	381,60
Zona 5	2	76,32
Zona 6	1	19,08
Zona 7	1	19,08
Zona 8	10	763,20
Zona 9	3	228,96
Zona 10	2	152,64
Zona 11	1	19,08
Zona 12	1	19,08
	34	2289,6

## 2.4 Impianto termico

Nel seguito si riportano le caratteristiche dell'impianto dell'edificio campione per gli scenari relativi a Palermo ( $M_{p[A]}$ ), Roma ( $M_{r[A]}$ ) e Milano ( $M_{m[A]}$ ). Il dimensionamento dell'unità di condizionamento è stato effettuato sulla base del fabbisogno termico necessario al riscaldamento dei locali del complesso pubblico, eseguendo un'analisi termofisica dell'edificio senza impianto per le varie località.

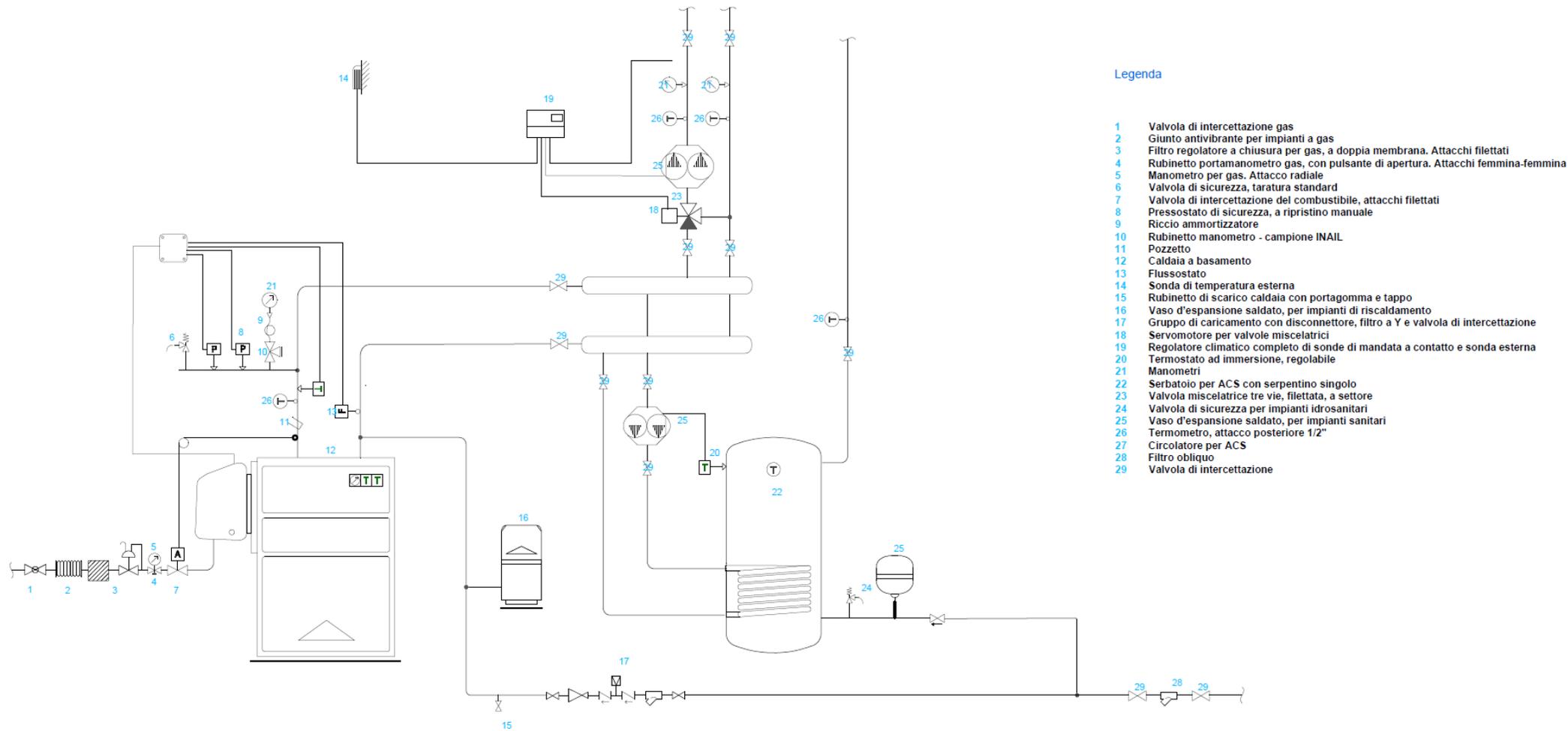
Dalla simulazione termofisica dell'edificio è stato possibile stimare il carico termico richiesto per il riscaldamento dell'edificio campione.

I risultati dell'analisi sono riportati in Tabella 2.4.1, che illustra i valori di potenza termica di picco richiesta per riscaldamento per ciascuna zona termica e per l'edificio situato nei tre siti analizzati.

**Tabella 2.4.1 – Potenza termica ideale, edificio campione**

Potenza termica ideale [kW]			
	Palermo	Roma	Milano
Zona 1	1,83	2,75	3,15
Zona 2	2,53	4,05	4,22
Zona 3	1,47	2,14	2,53
Zona 4	2,43	3,47	4,28
Zona 5	5,86	6,86	7,87
Zona 6	1,07	1,44	1,82
Zona 7	1,07	1,44	1,82
Zona 8	9,26	12,94	15,80
Zona 9	2,12	2,99	3,59
Zona 10	0,38	0,53	0,67
Zona 11	0,92	1,24	1,57
Zona 12	0,78	0,78	0,78
Totale	29,71	40,64	48,11

L'impianto termico utilizzato per garantire tali carichi di riscaldamento nell'edificio è rappresentato schematicamente in Figura 2.4.1. L'edificio esistente non è dotato di un impianto di raffrescamento.



Legenda

- 1 Valvola di intercettazione gas
- 2 Giunto antivibrante per impianti a gas
- 3 Filtro regolatore a chiusura per gas, a doppia membrana. Attacchi filettati
- 4 Rubinetto portamanometro gas, con pulsante di apertura. Attacchi femmina-femmina
- 5 Manometro per gas. Attacco radiale
- 6 Valvola di sicurezza, taratura standard
- 7 Valvola di intercettazione del combustibile, attacchi filettati
- 8 Pressostato di sicurezza, a ripristino manuale
- 9 Riccio ammortizzatore
- 10 Rubinetto manometro - campione INAIL
- 11 Pozzetto
- 12 Caldaia a basemento
- 13 Flussostato
- 14 Sonda di temperatura esterna
- 15 Rubinetto di scarico caldaia con portagomma e tappo
- 16 Vaso d'espansione saldato, per impianti di riscaldamento
- 17 Gruppo di caricamento con disconnettore, filtro a Y e valvola di intercettazione
- 18 Servomotore per valvole miscelatrici
- 19 Regolatore climatico completo di sonde di mandata a contatto e sonda esterna
- 20 Termostato ad immersione, regolabile
- 21 Manometri
- 22 Serbatoio per ACS con serpentino singolo
- 23 Valvola miscelatrice tre vie, filettata, a settore
- 24 Valvola di sicurezza per impianti idrosanitari
- 25 Vaso d'espansione saldato, per impianti sanitari
- 26 Termometro, attacco posteriore 1/2"
- 27 Circolatore per ACS
- 28 Filtro obliquo
- 29 Valvola di intercettazione

Figura 2.4.1 – Schema dell'impianto termico

L'impianto è costituito dai seguenti principali componenti:

- N. 1 Gruppo termico realizzato mediante l'accoppiamento di:
  - N. 1 Caldaia a basamento;
  - N. 1 Accumulatore per la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS) da 80 l;
- Tubazioni in rame;
- N.1 coppia di collettori di distribuzione;
- N. 2 coppie di elettropompe gemellari per la circolazione del fluido di riscaldamento;
- Piastre radianti e ventilconvettori (zona 8);
- Sistema di regolazione della temperatura di mandata dell'acqua destinata al riscaldamento ambiente;
- Accessori vari:
  - Manicotti di giunzione (N.2 per terminale);
  - Valvole e detentori (N.1 coppia per piastra radiante);
  - Valvole di sfiato (N.1 per terminale);
  - Valvole a sfera (N.2 per ventilconvettore).
- Accessori impianto termico:
  - Vaso di espansione;
  - Gruppo di riempimento;
  - Valvola di sicurezza;
  - Termostato;
  - Flussostato;
  - Pressostato.

Si utilizza una caldaia a gasolio del tipo a basamento in acciaio, per sopperire al fabbisogno di ACS e di riscaldamento. Il rendimento di generazione è stato calcolato con il Metodo Analitico UNI/TS 11300-2 - Appendice B. La caldaia richiede un'alimentazione elettrica di 230 V/50 Hz/10 A. Si riportano in Tabella 2.4.2 le principali caratteristiche tecniche della caldaia utilizzata, in funzione del sito di analisi.

Tabella 2.4.2– Caratteristiche tecniche della caldaia

	PALERMO	ROMA	MILANO
Modello	Caldaia a basamento in acciaio		
Campo di potenza nominale [kW]	28-32	32-40	40-50
Tipologia del generatore	Standard atmosferico monostadio		
Ubicazione del generatore	Zona Centrale termica		
Altezza caldaia [mm]	670	670	845
Larghezza con/senza mantello [mm]	660 / 620	660 / 620	760 / 720
Lunghezza [mm]	876	876	1056
Altezza zoccolo (accessorio) [mm]		280	
Altezza complessiva con regolazione [mm]	1115	1115	1290
Potenza al focolare [kW]	36	44	53,7
Contenuto d'acqua della caldaia [l]	68	68	105
Volume camera di combustione [l]	61	61	130
Perdite di calore al mantello [%]	1,1	0,9	0,9
Rendimento utile [%]	91,3	92,2	92,7
Temperatura fumi [°C]	189-200	170-184	172-195
Portata fumi [kg/h]	47-54	54-68	68-85
Massa caldaia [kg]	169	169	258
Massa bruciatore [kg]	10	15,5	15,5

I terminali per il riscaldamento sono piastre radianti in ghisa posizionate in tutti i locali ad esclusione della zona 8, caratterizzata dai carichi di riscaldamento più elevati, in cui è previsto l'uso di ventilconvettori per garantire l'elevato fabbisogno termico. Il salto termico nominale del fluido termovettore è fissato a 10°C (temperatura di mandata 70°C e temperatura di ritorno 60°C) con una velocità media delle portate del fluido termovettore pari a 0,8 m/s.

Le piastre radianti installate sono in ghisa con fluido termovettore acqua; ogni piastra è costituita da 15 elementi con potenza di 112W ciascuno, con una potenza nominale di 1,68 kW. Per ogni piastra si usano una coppia di valvola e detentore in ottone, una valvola di sfiato aria e un tappo cieco.

Il ventilconvettore ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- Potenza termica (70°C): 3,47 kW;
- Portata d'acqua: 304 l/h;
- Perdite di carico : 7kPa.

Ogni terminale è inoltre dotato di:

- N.2 ventilatori centrifughi con una potenza elettrica assorbita di 25W alimentati a 230 V;
- N.2 manicotti per dispositivo;
- N.2 valvole di intercettazione per dispositivo.

Le caratteristiche dei terminali di distribuzione sono riportate nel dettaglio in Tabella 2.4.3, 2.4.4 e 2.4.5 per Palermo, Roma e Milano rispettivamente.

**Tabella 2.4.3– Caratteristiche dei terminali di riscaldamento (Palermo)**

<b>PALERMO</b>			
Zona:	Numero elementi	Tipologia	Potenza termica [kW]
Zona 1	1	Piastra radiante	1,68
Zona 2	2	Piastra radiante	3,36
Zona 3	1	Piastra radiante	1,68
Zona 4	1	Piastra radiante	1,68
Zona 5	3	Piastra radiante	5,04
Zona 6	1	Piastra radiante	1,68
Zona 7	1	Piastra radiante	1,68
Zona 8	3	Ventilconvettore	10,41
Zona 9	1	Piastra radiante	1,68
Zona 10	-	-	-
Zona 11	1	Piastra radiante	1,68
Zona 12	-	-	-
<b>Totale</b>			<b>30,57</b>

**Tabella 2.4.4– Caratteristiche dei terminali di riscaldamento (Roma)**

ROMA			
Zona:	Numero elementi	Tipologia	Potenza termica [kW]
Zona 1	2	Piastra radiante	3,36
Zona 2	2	Piastra radiante	3,36
Zona 3	1	Piastra radiante	1,68
Zona 4	2	Piastra radiante	3,36
Zona 5	4	Piastra radiante	6,72
Zona 6	1	Piastra radiante	1,68
Zona 7	1	Piastra radiante	1,68
Zona 8	4	Ventilconvettore	13,88
Zona 9	2	Piastra radiante	3,36
Zona 10	-	-	-
Zona 11	1	Piastra radiante	1,68
Zona 12	-	-	-
Potenza Totale [kW]			40,76

**Tabella 2.4.5– Caratteristiche dei terminali di riscaldamento (Milano)**

MILANO			
Zona:	Numero elementi	Tipologia	Potenza termica [kW]
Zona 1	2	Piastra radiante	3,36
Zona 2	3	Piastra radiante	5,04
Zona 3	2	Piastra radiante	3,36
Zona 4	3	Piastra radiante	5,04
Zona 5	5	Piastra radiante	8,4
Zona 6	1	Piastra radiante	1,68
Zona 7	1	Piastra radiante	1,68
Zona 8	5	Ventilconvettore	17,35
Zona 9	2	Piastra radiante	3,36
Zona 10	-	-	-
Zona 11	1	Piastra radiante	1,68
Zona 12	-	-	-
Potenza Totale [kW]			50,95

L'impianto idraulico è realizzato utilizzando tubazioni in rame opportunamente coibentate secondo le norme vigenti.

La Tabella 2.4.6 riporta i dettagli tecnici, dimensioni, massa e caratteristiche delle tubazioni utilizzate nell'impianto idraulico in tutti i casi analizzati.

**Tabella 2.4.6 – Caratteristiche delle tubazioni idrauliche**

Dimensioni <sup>1</sup>	Press. esercizio	Press. scoppio	Densità lineare	Lunghezza tubo			Massa		
				Palermo	Roma	Milano	Palermo	Roma	Milano
[mm]	[Mpa]	[Mpa]	[g/m]	[m]			[kg]		
10 x 1	8,0	41,8	252	257,72	183,63	155,76	64,95	46,27	39,25
12 x 1	6,6	34,9	308	30,96	105,05	96,40	9,54	32,36	29,69
14 x 1	5,7	29,8	363	-	-	36,52	-	-	13,26
16 x 1	5,0	26,1	419	55,90	55,90	-	23,42	23,42	-
18 x 1	4,5	23,2	475	63,90	-	55,90	30,35	-	26,55
22x1,5	5,4	28,5	859	-	63,90	63,90	-	54,89	54,89
Totale				408,48	408,48	408,48	128,26	156,94	163,64

<sup>1</sup>Le dimensioni dei tubi sono espressi come: Diametro esterno x Spessore.

## 2.5 Risultati

La Tabella 2.5.1 riporta indici sintetici prestazionali relativi alle prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto, calcolati in una piattaforma di simulazione certificata dal Comitato Termotecnico Italiano. La classe energetica raggiunta nei tre casi è **E**.

**Tabella 2.5.1– Indici prestazionali relativi all'edificio campione**

	Palermo	Roma	Milano
$H'_T$ [W/ (m <sup>2</sup> K)]	1,71	1,71	1,71
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0,04	0,04	0,04
$EP_{H,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	128,17	228,64	327,79
$\eta_H$ [-]	0,62	0,63	0,67
$EP_H$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	205,17	362,10	490,50
$\eta_W$ [-]	0,08	0,10	0,08
$EP_W$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	23,19	19,59	28,94
$EP_V$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
$EP_{C,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	25,52	6,93	8,02
$\eta_C$ [-]	-	-	-
$EP_C$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
$EP_L$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	77,60	78,02	78,41
$EP_T$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
$EP_{gl}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	305,96	459,71	597,86

Si riportano altresì in Tabella 2.5.2 i risultati relativi ai consumi energetici complessivi per ogni vettore energetico utilizzato, relativamente ai tre scenari analizzati.

**Tabella 2.5.2 - Consumi energetici complessivi**

Caso A	Palermo	Roma	Milano	
Fabbisogno di Energia Elettrica da rete	13.330,38	13.711,96	14.389,59	kWh
Fabbisogno di Gasolio	5.902,95	10.498,16	14.148,29	kg

### 3 Ristrutturazione importante di primo livello

L'approccio adottato prevede la verifica delle prescrizioni normative descritte nel paragrafo 1.1 limitatamente all'analisi dell'edificio di riferimento. Pertanto la scelta degli interventi di ristrutturazione è stata effettuata tramite un processo di verifica dei risultati della simulazione al fine di rispettare le prescrizioni relative agli interventi di ristrutturazione di primo livello e non quelle attinenti il livello di nZEB. Si evidenzia che, al fine di evitare una duplicità di interventi nel passaggio dallo scenario di ristrutturazione importante di primo livello allo scenario nZEB, sono stati identificati degli interventi di ristrutturazione in grado di garantire il rispetto dei requisiti nZEB già dal primo livello di ristrutturazione per tutti gli interventi ad eccezione di quelli effettuati sulle pareti opache verticali. La scelta è economicamente, tecnologicamente e operativamente realistica rispetto ad un intervento di demolizione e sostituzione successiva nei due scenari.

Gli interventi di riqualificazione energetica previsti in tutte le zone climatiche esaminate riguardano:

- l'isolamento delle pareti opache (isolamento esterno);
- la sostituzione degli infissi;
- la sostituzione dell'impianto termico di generazione/distribuzione di energia;
- la sostituzione dei corpi illuminanti esistenti con lampade LED.

Relativamente all'impianto termico e idraulico si è ipotizzata:

- la rimozione della caldaia a gasolio sostituita da una pompa di calore;
- la sostituzione delle tubazioni esistenti con nuove tubazioni dalle dimensioni inferiori e del sistema di distribuzione di calore con un sistema a ventilconvettori dalla potenzialità termica inferiore .

#### 3.1 Involucro

Gli interventi sull'involucro prevedono l'isolamento di ogni superficie opaca e la sostituzione degli infissi. In dettaglio, al fine di ottenere prestazioni termofisiche migliori di quelle dell'edificio di riferimento, si è ipotizzato di utilizzare per l'involucro opaco dei pannelli isolanti in EPS ed XPS. Lo spessore dei pannelli è differente nelle diverse località per garantire il raggiungimento dei limiti di prestazione energetica imposti dalla legislazione vigente. Si riporta in Tabella 3.1.1 una sintesi degli spessori di isolante identificati per ciascuna località analizzata.

**Tabella 3.1.1– Spessore di isolante - Ristrutturazione importante di primo livello**

	Spessore di isolante [mm]		
	Copertura	Superfici verticali	Pavimento
Palermo	75	50	60
Roma	110	80	100
Milano	130	90	110

Le nuove stratigrafie delle pareti opache dell'edificio situato a Palermo, che tengono conto dell'intervento di ristrutturazione di primo livello, sono riportate nelle Tabelle 3.1.2, 3.1.3 e 3.1.4, rispettivamente per gli elementi opachi delle pareti perimetrali, la copertura e il pavimento.

Analogamente, nelle Tabelle 3.1.5, 3.1.6, 3.1.7 si riportano le nuove stratigrafie per l'edificio sito a Roma e nelle Tabelle 3.1.8, 3.1.9 e 3.1.10 le nuove stratigrafie per l'edificio sito a Milano.

**Tabella 3.1.2– Stratigrafia elementi opachi verticali – pareti perimetrali (Palermo)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Intonaco (interno)	20	1400	0,70
Rete d'armatura	0,9	-	-
Lastre isolanti EPS	50	15	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Blocco in laterizio	270	926	1,10
Intonaco (esterno)	20	1400	0,70

**Tabella 3.1.3– Stratigrafia elementi opachi orizzontali - Copertura (Palermo)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(m K)]
Pavimentazione esterna	30	1500	0,70
Lastre isolanti XPS	65	33	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Bitume	10	1200	0,17
Massetto ordinario	60	2000	1,06
Malta adesiva	20	2000	1,40
Calcestruzzo armato	40	2400	0,85
Blocco laterizio	160	900	1,10
Intonaco (interno)	20	1400	0,70

**Tabella 3.1.4– Stratigrafia elementi opachi orizzontali–Pavimento (Palermo)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(m K)]
Pavimentazione ceramica interna	10	1940	0,70
Lastre isolanti XPS	60	35	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Malta adesiva	20	2000	1,40
Soletta laterocemento	160	1280	0,80

**Tabella 3.1.5– Stratigrafia elementi opachi verticali – pareti perimetrali (Roma)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Intonaco (interno)	20	1400	0,70
Rete d'armatura	0,9	-	-
Lastre isolanti EPS	80	15	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Blocco in laterizio	270	926	1,10
Intonaco (esterno)	20	1400	0,70

**Tabella 3.1.6– Stratigrafia elementi opachi orizzontali - copertura (Roma)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Pavimentazione esterna	30	1500	0,70
Lastre isolanti XPS	110	33	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Bitume	10	1200	0,17
Massetto ordinario	60	2000	1,06
Malta adesiva	20	2000	1,40
Calcestruzzo armato	40	2400	0,85
Blocco laterizio	160	900	1,10
Intonaco (interno)	20	1400	0,70

**Tabella 3.1.7– Stratigrafia elementi opachi orizzontali –Pavimento (Roma)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Pavimentazione ceramica interna	10	1940	0,70
Lastre isolanti XPS	100	35	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Malta adesiva	20	2000	1,40
Soletta laterocemento	160	1280	0,80

**Tabella 3.1.8– Stratigrafia elementi opachi verticali – pareti perimetrali (Milano)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Intonaco (interno)	20	1400,00	0,70
Rete d'armatura	0,9	-	-
Lastre isolanti EPS	90	15	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Blocco in laterizio	270	925,96	1,10
Intonaco (esterno)	20	1400	0,70

**Tabella 3.1.9– Stratigrafia elementi opachi orizzontali–copertura (Milano)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Pavimentazione esterna - klinker	30	1500	0,70
Lastre isolanti XPS	130	33	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Bitume	10	1200	0,17
Massetto ordinario	60	2000	1,06
Malta adesiva	20	2000	1,40
Calcestruzzo armato	40	2400	0,85
Blocco laterizio	160	900	1,10
Intonaco (interno)	20	1400	0,70

**Tabella 3.1.10– Stratigrafia elementi opachi orizzontali –Pavimento (Milano)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conducibilità [W/(m K)]
Pavimentazione ceramica interna	10	1940	0,70
Lastre isolanti XPS	110	35	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Malta adesiva	20	2000	1,40
Soletta laterocemento	160	1280	0,80

Con riferimento ai componenti trasparenti:

- per la città di Palermo, si è ipotizzato l'utilizzo di infissi in PVC con taglio termico, camera d'aria da 12 mm (aria) e 2 superfici vetrate da 4 mm. Il valore di trasmittanza raggiunto è pari a 2,98 W/ (m<sup>2</sup> K);
- per la città di Roma si è ipotizzato l'utilizzo di infissi in PVC con 5 camere, due vetri da 4 mm basso-emissivi, una camera d'aria da 12 mm (argon). Il valore di trasmittanza raggiunto è pari a 1,58 W/(m<sup>2</sup> K);
- per la città di Milano si è ipotizzato l'utilizzo di infissi in PVC con 5 camere, 3 vetri da 4 mm basso-emissivi, due camere d'aria da 12 mm (argon). Il valore di trasmittanza raggiunto è pari a 1,1 W/ (m<sup>2</sup> K).

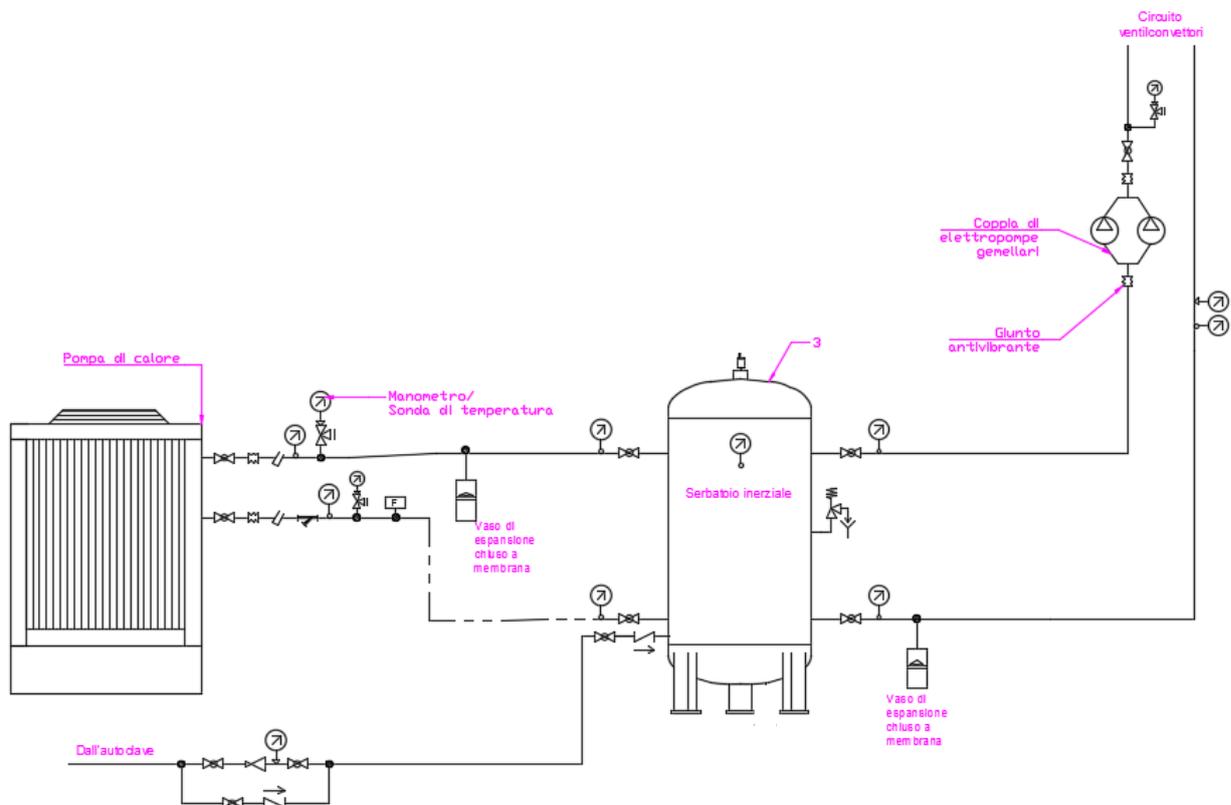
### 3.2 Impianto termico

A seguito della ristrutturazione di primo livello, il nuovo impianto termico è costituito dai componenti riportati di seguito:

- N. 1 Gruppo termico realizzato mediante l'accoppiamento di:
  - o N. 1 Pompa di calore reversibile;
  - o N. 1 scaldacqua elettrico per la produzione di ACS;
- tubazioni in rame;
- N.1 coppia di collettori di distribuzione;
- N. 1 coppia di elettropompe gemellari per la circolazione del fluido di riscaldamento;
- ventilconvettori;
- accessori vari;
- manicotti di giunzione (N. 2 per terminale);
- valvole di intercettazione (N. 2 per terminale);
- filtri di linea per acqua (di serie);
- manometro;
- valvola di riempimento;
- valvola di scarico impianto;
- valvola di spurgo aria.

Il nuovo impianto è rappresentato nella Figura 3.2.1.

Il sistema utilizza acqua come fluido termovettore, con salto termico fissato a 5°C (temperatura di mandata 50°C e temperatura di ritorno 45°C) e con una velocità media delle portate del fluido termovettore pari a 0,8 m/s.



**Figura 3.2.1 – Schema di impianto per climatizzazione degli ambienti**

Il dimensionamento dell'unità di generazione di energia termica è stato effettuato sulla base del fabbisogno termico necessario per il riscaldamento dei locali dell'edificio in seguito alla coibentazione delle pareti e dei solai. Nella Tabella 3.2.1, si riportano le nuove potenze termiche di picco per ogni vano dell'edificio, sulla base delle quali sono state dimensionate le tubazioni, gli impianti di distribuzione, i collettori di distribuzione, le elettropompe gemellari per la circolazione dell'acqua nell'impianto di riscaldamento e raffreddamento e il generatore.

**Tabella 3.2.1- Carichi termici ideali (Riscaldamento)**

Zona termica	Potenza termica richiesta [kW]		
	Palermo	Roma	Milano
Zona 1	0,62	0,59	0,75
Zona 2	0,88	0,93	1,05
Zona 3	0,42	0,43	0,53
Zona 4	0,62	0,68	0,85
Zona 5	2,79	2,79	2,75
Zona 6	0,33	0,31	0,35
Zona 7	0,32	0,31	0,35
Zona 8	2,95	2,97	3,76
Zona 9	0,71	0,75	0,84
Zona 10	0,11	0,08	0,10
Zona 11	0,35	0,25	0,35
Zona 12	0,26	0,27	0,32
<b>Totale</b>	<b>10,36</b>	<b>10,35</b>	<b>11,99</b>

La climatizzazione dell'edificio è garantita dall'utilizzo di una pompa di calore (PdC) reversibile e un sistema di distribuzione con ventilconvettori. La PdC scelta è del tipo aria/acqua reversibile dotata di inverter. In Tabella 3.2.2 si riportano le caratteristiche tecniche delle pompe di calore scelte per l'applicazione nei tre siti oggetto di studio.

**Tabella 3.2.2 Caratteristiche tecniche delle pompe di calore (Palermo, Roma e Milano)**

	Palermo	Roma	Milano
Potenza utile riscaldamento [kW]	11,86	11,86	15,00
Potenza utile raffrescamento [kW]	13,54	13,54	16,00
Dimensioni (HxLxP) [mm]	1363x908x326	1363x908x326	1363x908x326
COP	3,95	3,95	4,20
EER	3,66	3,66	3,81
Peso (kg)	104,00	104,00	116,00

L'impianto termico prevede l'utilizzo di ventilconvettori, aventi le caratteristiche tecniche riportate in Tabella 3.2.3.

**Tabella 3.2.3 – Caratteristiche tecniche dei ventilconvettori (Palermo, Roma e Milano)**

Potenza termica (45°C)	1,09 kW
Portata d'acqua	172 l/h
Perdite di carico	7kPa
Potenza (raffrescamento)	0,8 kW
Portata d'acqua	144 l/h
Perdite di carico	6kPa

I terminali sono caratterizzati dalla presenza di:

- N.1 ventilatore centrifugo con una potenza elettrica assorbita di 29W alimentato a 230 V;
- N.2 manicotti per dispositivo;
- N.2 valvole di intercettazione per dispositivo.

Si riportano nel seguito i risultati del dimensionamento dell'impianto di distribuzione di calore, rispettivamente per Palermo (Tabella 3.2.4), Roma (Tabella 3.2.5) e Milano (3.2.6).

**Tabella 3.2.4– Caratteristiche del nuovo impianto di condizionamento, Palermo**

Zona:	Numero elementi	Tipologia	Potenza termica [kW]
Zona 1	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 2	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 3	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 4	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 5	2	Ventilconvettore	2,18
Zona 6	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 7	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 8	2	Ventilconvettore	2,18
Zona 9	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 10 <sup>2</sup>	-	-	-
Zona 11	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 12 <sup>2</sup>	-	-	-
Potenza Totale			13,08

<sup>2</sup> La zona termica 10, a causa delle dimensioni ridotte richiede una potenza termica di picco pari a 0,10 kW e pertanto si è ipotizzato di non installare ventilconvettori.

La zona termica 12 è il locale centrale termica per cui non è necessario, l'installazione di terminali di distribuzione del calore.

**Tabella 3.2.5– Caratteristiche del nuovo impianto di condizionamento, Roma**

Zona:	Numero elementi	Tipologia	Potenza termica [kW]
Zona 1	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 2	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 3	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 4	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 5	2	Ventilconvettore	2,18
Zona 6	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 7	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 8	3	Ventilconvettore	3,27
Zona 9	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 10 <sup>3</sup>		-	-
Zona 11	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 12 <sup>3</sup>	-	-	-
Potenza Totale			14,17

<sup>3</sup> La zona termica 10, a causa delle dimensioni ridotte richiede una potenza termica di picco pari a 0,10 kW e pertanto si è ipotizzato di non installare ventilconvettori.

La zona termica 12 è il locale centrale termica per cui non è necessario, l'installazione di terminali di distribuzione del calore.

**Tabella 3.2.6– Caratteristiche del nuovo impianto di condizionamento, Milano**

Zona:	Numero elementi	Tipologia	Potenza termica [kW]
Zona 1	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 2	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 3	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 4	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 5	2	Ventilconvettore	2,18
Zona 6	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 7	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 8	4	Ventilconvettore	4,36
Zona 9	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 10 <sup>4</sup>	-	-	-
Zona 11	1	Ventilconvettore	1,09
Zona 12 <sup>4</sup>	-	-	-
Potenza Totale			15,26

L'impianto idraulico è realizzato con tubazioni in rame.

Il dimensionamento delle tubazioni idrauliche e dell'elettropompa deveo garantire la portata d'acqua nominale necessaria al corretto funzionamento dell'impianto termico.

In Tabella 3.2.7 si riportano le caratteristiche delle tubazioni usate.

<sup>4</sup> La zona termica 10, a causa delle dimensioni ridotte richiede una potenza termica di picco pari a 0,10 kW e pertanto si è ipotizzato di non installare ventilconvettori.

La zona termica 12 è il locale centrale termica per cui non è necessario, l'installazione di terminali di distribuzione del calore.

**Tabella 3.2.7– Caratteristiche tubazioni idrauliche**

Dimensioni <sup>5</sup>	Press. esercizio	Press. scoppio	Densità	Lunghezza tubo			Massa (rame)		
				Roma	Palermo	Milano	Roma	Palermo	Milano
mm	MPa	MPa	g/m	m			kg		
10 x 1	8,0	41,8	252	408,48	288,68	288,68	102,94	72,75	72,75
12 x 1	6,6	34,9	308	-	55,9	-	-	17,22	-
14 x 1	5,7	29,8	363	-	63,9	55,9	-	23,20	20,29
18 x 1	4,5	23,2	475	-	-	63,9	-	-	30,35
Totale				408,48	408,48	408,48	102,94	113,17	93,04

Si riportano di seguito inoltre le principali caratteristiche tecniche relative alle tubazioni:

- Dimensioni e tolleranze: in accordo alla norma UNI EN 1057;
- Rugosità della superficie interna: Ra = 0,1 di micron;
- Densità 8,94 kg/dm<sup>3</sup>;
- Punto di fusione 1.083 °C;
- Coefficiente di dilatazione termica lineare: 0,0168 mm/(m K);
- Conduttività termica a 20 °C = 364 W/(m K).

Per quanto concerne la circolazione dell'acqua nel circuito di riscaldamento si considera la presenza di una coppia di elettropompe gemellari di potenza nominale di 0,25 kW.

Si utilizza altresì uno scaldacqua elettrico per la generazione di ACS, avente le stesse caratteristiche riportate in Figura 3.2.2.

<sup>5</sup> Le dimensioni dei tubi sono espressi come: Diametro esterno x Spessore.

	Capacità	l	80	100
	Potenza	kW	1,2	1,2
	Potenza elettrica assorbita media	kW	0,19	0,19
	Potenza elettrica assorbita max	kW	1,42	1,42
	Tensione	V	220-240	220-240
	Tempo di riscaldamento I-Memory ( $\Delta T=43^{\circ}\text{C}$ )	h,min	5,25	7,03
	Tempo di riscaldamento Boost ( $\Delta T=43^{\circ}\text{C}$ )	h,min	2,34	3,13
	Tempo di riscaldamento Green ( $\Delta T=43^{\circ}\text{C}$ )	h,min	9,21	12,18
	Pressione massima di esercizio	bar	8,0	8,0
	Temperatura min/max aria	$^{\circ}\text{C}$	12/40	12/40
	Potenza sonora	dB	49	49
	Peso	kg	37,5	44
	Protezione	IP	X4	X4
	Tipo di refrigerante		R134a	R134a
	Carica refrigerante	g	180	200
GWP		1430	1430	
CO2 equivalenti	t	0,257	0,286	
<b>DIMENSIONI DI INGOMBRO</b>				
a	mm	770	922	
b	mm	1009	1153	
c	mm	239	231	

Figura 3.2.2 Caratteristiche dello scaldacqua elettrico

### 3.3 Impianto di illuminazione

Con riferimento all'impianto di illuminazione per le tre località, è ipotizzata la sostituzione di tutti i corpi illuminanti con 37 corpi illuminanti a LED, che richiedono complessivamente circa 1 kW di potenza elettrica.

**Tabella 3.3.1 –Caratteristiche dei corpi illuminanti di nuova installazione**

Zona	Tipo lampada	Numero di lampade	Potenza Totale installata [W]
Zona 1	lampade a LED	3	82,68
Zona 2	lampade a LED	3	82,68
Zona 3	lampade a LED	3	82,68
Zona 4	lampade a LED	4	110,24
Zona 5	lampade a LED	2	55,12
Zona 6	lampade a LED	1	19,08
Zona 7	lampade a LED	1	19,08
Zona 8	lampade a LED	13	358,28
Zona 9	lampade a LED	3	82,68
Zona 10	lampade a LED	2	55,12
Zona 11	lampade a LED	1	19,08
Zona 12	lampade a LED	1	19,08
		37	985,8

### 3.4 Risultati

I principali risultati relativi alle prestazioni energetiche degli edifici relativi ai tre scenari di ristrutturazione di primo livello per le tre località in esame sono riportati nelle Tabelle 3.4.1, 3.4.2 e 3.4.3. Si riportano altresì i limiti relativi al decreto requisiti minimi nel caso della ristrutturazione di primo livello e quelli relativi al livello nZEB. Tutti i risultati sono stati calcolati tramite uno strumento di simulazione energetica certificato dal Comitato Termotecnico Italiano.

Al fine di verificare le prescrizioni normative, è necessario il raggiungimento di indici prestazionali inferiori a quelli indicati nel decreto 'requisiti minimi' nel caso degli indici legati a usi energetici specifici ( $EP_{H,nd}$ ,  $EP_{C,nd}$  e  $EP_{gl}$ ), degli indici  $H'_T$  e  $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ ; viceversa è necessario ottenere valori superiori nel caso dei rendimenti  $\eta_H$ ,  $\eta_W$  e  $\eta_C$ .

**Tabella 3.4.1– Risultati ristrutturazione importante di primo livello (Palermo)**

	Ristrutturazione di 1°livello	Requisiti minimi	nZEB
$H'_T$ [W/ m <sup>2</sup> K]	0,48	< 0,53	<0,53
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0,02	< 0,04	<0,04
$EP_{H,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	58,11	<59,70	<58,08
$\eta_H$ [-]	0,68	>0,58	>0,58
$EP_H$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	84,87	<102,88	<100,09
$\eta_W$ [-]	0,34	>0,29	>0,29
$EP_W$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	5,21	<5,21	<5,21
$EP_V$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
$EP_{C,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	29,98	<31,79	<32,18
$\eta_C$ [-]	1,95	>0,85	>0,85
$EP_C$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	15,39	<37,40	<37,86
$EP_L$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	11,96	11,96	11,96
$EP_T$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
$EP_{gl}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	117,43	<157,45	<148,08

**Tabella 3.4.2– Risultati ristrutturazione importante di primo livello (Roma)**

	Ristrutturazione di 1°livello	Requisiti minimi	nZEB
$H'_T$ [W/ m <sup>2</sup> K]	0,31	<0,53	<0,53
Asol,est/ Asup utile [-]	0,02	<0,04	<0,04
EP <sub>H,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	93,09	<96,69	<92,73
$\eta_H$ [-]	0,76	>0,55	>0,55
EP <sub>H</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	122,29	<175,86	<168,66
$\eta_w$ [-]	0,34	>0,29	>0,29
EP <sub>V</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
EP <sub>C,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	19,84	<19,35	<20,39
$\eta_C$ [-]	1,98	>0,99	>0,99
EP <sub>C</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	10,02	<19,55	<20,59
EP <sub>L</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	11,65	11,65	11,65
EP <sub>T</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
EP <sub>gl</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	149,73	<213,31	<207,44

**Tabella 3.4.3– Risultati ristrutturazione importante di primo livello (Milano)**

	Ristrutturazione di 1° livello	Requisiti minimi	NZEB
$H'_T$ [W/ m <sup>2</sup> K]	0,29	<0,50	<0,50
Asol,est/ Asup utile [-]	0,01	<0,04	<0,04
EP <sub>H,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	142,79	<147,20	<140,74
$\eta_H$ [-]	0,78	>0,57	>0,57
EP <sub>H</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	182,76	<256,86	<245,57
$\eta_w$ [-]	0,33	>0,28	>0,28
EP <sub>w</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,72	3,72	3,72
EP <sub>v</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
EP <sub>C,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	12,93	<13,61	<14,78
$\eta_c$ [-]	2,04	>0,98	>0,98
EP <sub>c</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	6,34	<13,89	<15,08
EP <sub>L</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	12,31	12,31	12,31
EP <sub>T</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-	-
EP <sub>gl</sub> = EP <sub>H</sub> + EP <sub>w</sub> + EP <sub>v</sub> + EP <sub>c</sub> + EP <sub>L</sub> + EP <sub>T</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	207,77	<301,86	<291,77

Come si evidenzia dai dati riportati nelle tabelle precedenti, l'edificio in esame rispetta i requisiti richiesti per la ristrutturazione di primo livello e nella maggioranza dei casi rispetta i più stringenti requisiti nZEB, ad eccezione dell'indicatore EP<sub>H,nd</sub> relativo alle prestazioni dell'edificio in termini di riscaldamento.

I tre edifici sono classificabili in classe **A4**.

In Tabella 3.4.4 si riportano i risultati relativi ai consumi energetici complessivi per ogni vettore energetico utilizzato, relativamente ai tre scenari analizzati.

**Tabella 3.4.4 - Dati energetici complessivi**

Scenario M <sub>(B)</sub>	Palermo	Roma	Milano	
Fabbisogno di Energia Elettrica da rete	7059,22	6133,23	6832,04	kWh
Fabbisogno di Gasolio	-	-	-	kg

## 4 Edificio ad energia quasi zero, nZEB

Come già indicato al paragrafo 1.1, dal punto di vista normativo, affinché si raggiunga il livello di energia quasi zero devono essere verificate le seguenti condizioni:

a) Tutti gli indici di cui ai punti i-iv (paragrafo 3, pagina 24), calcolati secondo i valori dei requisiti minimi vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici, risultano inferiori ai valori dei corrispondenti indici calcolati per l'edificio di riferimento,

b) Sono rispettati gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n.28.

Il punto b) è ulteriormente declinabile nella necessità di garantire il rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e del 50% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

Nel seguito si discutono le azioni necessarie al raggiungimento del target nZEB a partire dalla ristrutturazione di primo livello e i principali risultati scaturiti dall'analisi.

### 4.1 Ristrutturazione nZEB

Come evidenziato dai risultati discussi nel paragrafo 3.4, le prestazioni termofisiche dell'edificio in esame a seguito di una ristrutturazione di primo livello sono già prossime a quelle di un edificio nZEB.

Tuttavia per garantire il soddisfacimento di tutti i requisiti nZEB è necessaria l'implementazione di moderate azioni sull'involucro e l'installazione di tecnologie alimentate da fonti energetiche rinnovabili.

In particolare, considerato che la copertura e il pavimento presentano trasmittanze inferiori a quelle dell'edificio di riferimento nZEB, al fine di raggiungere il livello di nZEB in tutti gli indicatori, si è ipotizzato di intervenire sulle pareti opache verticali, incrementando ulteriormente lo spessore dell'isolante.

In particolare, si è ipotizzato pertanto un incremento di spessore di isolante in tutte le pareti opache verticali pari a 1 cm a Palermo, 2 cm a Roma e 2 cm a Milano.

Le nuove stratigrafie delle pareti verticali sono riportate in Tabella 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3, rispettivamente per Palermo, Roma e Milano.

**Tabella 4.1.1 – Stratigrafia elementi opachi verticali nZEB – pareti perimetrali (Palermo)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Intonaco (interno)	20	1400	0,70
Rete d'armatura	0,90	-	-
Lastre isolanti EPS	60	15	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Blocco in laterizio	270	926	1,10
Intonaco (esterno)	20	1400	0,70

**Tabella 4.1.2 – Stratigrafia elementi opachi verticali nZEB – pareti perimetrali (Roma)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Intonaco (interno)	20	1400	0,70
Rete d'armatura	0,90	-	-
Lastre isolanti EPS	100	15	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Blocco in laterizio	270	926	1,10
Intonaco (esterno)	20	1400	0,70

**Tabella 4.1.3 – Stratigrafia elementi opachi verticali nZEB – pareti perimetrali (Milano)**

Stratigrafia	Spessore [mm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Conduttività [W/(mK)]
Intonaco (interno)	20	1400	0,70
Rete d'armatura	0,90	-	-
Lastre isolanti EPS	110	15	0,03
Adesivi-Rasanti	5	1200	0,77
Blocco in laterizio	270	926	1,10
Intonaco (esterno)	20	1400	0,70

## 4.2 Integrazione delle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia

Al fine di garantire il rispetto dei decreti legislativi, si ipotizza di installare pannelli fotovoltaici e solari termici.

Per quanto riguarda i pannelli fotovoltaici per la generazione di energia elettrica si è considerata nei tre siti una potenza elettrica pari a circa 1 kW. L'impianto fotovoltaico ha una superficie captante complessiva di 8 m<sup>2</sup> ed è costituito da 5 moduli fotovoltaici, le cui caratteristiche tecniche sono riportate in Tabella 4.2.1.

**Tabella 4.2.1 – Caratteristiche tecniche moduli fotovoltaici**

Caratteristiche tecniche modulo fotovoltaico	
Potenza di picco (MPPT)	200 W
Tensione circuito aperto	37,38 V
Tensione alla potenza massima (MPPT)	31,38 V
Corrente di corto circuito	8,52 A
Corrente alla potenza massima (MPPT)	8,01 A
Efficienza modulo	15%
Tensione massima di sistema	1000 V DC
Dimensione celle solari	156mm x 156mm
Numero di celle	60
Dimensioni pannello	1645 x 990 x 35 mm
Peso	20 kg

Si è inoltre ipotizzata l'installazione di un impianto solare termico per la produzione di ACS, costituito da circa 2,5 m<sup>2</sup> di collettori piani e un serbatoio con una capacità di accumulo di 180 l negli scenari di Palermo e Roma. Nel caso di Milano l'area dei collettori raggiunge i 5m<sup>2</sup> e il serbatoio ha una capacità di accumulo di 220 l.

Le caratteristiche tecniche dei collettori sono riportate in Tabella 4.2.2.

**Tabella 4.2.2 – Caratteristiche tecniche dei collettori dell'impianto solare termico**

		Palermo	Roma	Milano
Superficie esterna del collettore (lorda)	m <sup>2</sup>	2,55	2,55	5,10
Superficie dell'assorbitore	m <sup>2</sup>	2,35	2,35	4,70
Peso	kg	45,00	45,00	90,00
Spessore dell'isolamento in lana di roccia	mm		50,00	
Spessore del vetro di sicurezza solare	mm		3,20	
Coefficiente di assorbimento	%		95 ± 2	
Emissività	%		5 ± 2	
Rendimento	%		79,40	
Coefficiente di dispersione a1	W/(m <sup>2</sup> K)		3,86	
Coefficiente di dispersione a2	W/(m <sup>2</sup> K)		0,0130	
Massima pressione d'esercizio	bar		10,00	
Dimensioni	mm		2170 x 1175 x 87	

Con riferimento alla generazione di acqua calda sanitaria l'impianto è pertanto modificato in accordo a quanto riportato in Figura 4.2.1

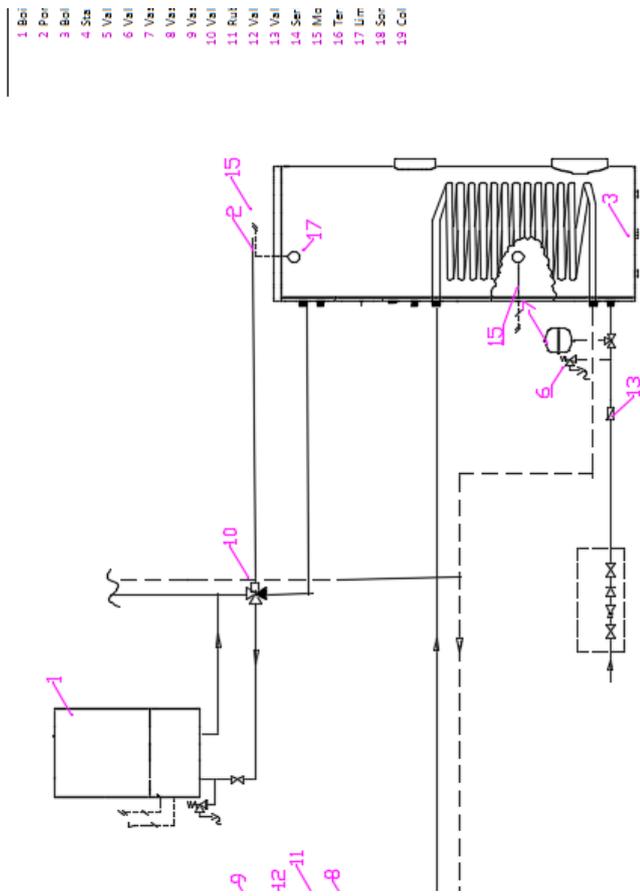


Figura 4.2.1 – Schema tecnico impianto nZEB per acqua calda sanitaria

### 4.3 Risultati

Si riportano nel seguito nelle Tabelle 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3 i principali risultati prestazionali relativi alle prescrizioni normative del 'Decreto Requisiti Minimi', calcolati in una piattaforma di simulazione certificata dal Comitato Termotecnico Italiano.

**Tabella 4.3.1- Risultati nZEB (Palermo)**

	Ristrutturazione nZEB	NZEB
$H'_T$ [W/ m <sup>2</sup> K]	0,45	<0,53
Asol,est/ Asup utile [-]	0,02	<0,04
EP <sub>H,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	57,58	<58,08
$\eta_H$ [-]	0,69	>0,58
EP <sub>H</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	83,17	<100,09
$\eta_w$ [-]	0,57	>0,45
EP <sub>w</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,08	3,08
EP <sub>v</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-
EP <sub>C,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	29,94	<32,18
$\eta_c$ [-]	2,28	>1,03
EP <sub>c</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	6,34	<31,10
EP <sub>L</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	9,99	9,99
EP <sub>T</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-
EP <sub>gl</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	109,37	<155,84

**Tabella 4.3.2- Risultati nZEB (Roma)**

Roma	Ristrutturazione nZEB	NZEB
$H'_T$ [W/ m <sup>2</sup> K]	0,31	<0,53
Asol,est/ Asup utile [-]	0,02	<0,04
EP <sub>H,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	92,20	<92,73
$\eta_H$ [-]	0,81	>0,58
EP <sub>H</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	113,84	<159,57
$\eta_w$ [-]	0,60	>0,45
EP <sub>w</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,24	3,24
EP <sub>v</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-
EP <sub>C,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	20,05	<20,39
$\eta_c$ [-]	2,50	>1,08
EP <sub>c</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	8,03	<18,88
EP <sub>L</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	10,03	10,03
EP <sub>T</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-
EP <sub>gl</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	141,77	<194,17

**Tabella 4.3.3- Risultati nZEB (Milano)**

Milano	Ristrutturazione NZEB	NZEB
$H'_T$ [W/ m <sup>2</sup> K]	0,27	<0,53
Asol,est/ Asup utile [-]	0,02	<0,04
EP <sub>H,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	140,69	<141,23
$\eta_H$ [-]	0,79	>0,55
EP <sub>H</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	178,11	<256,78
$\eta_w$ [-]	0,57	>0,36
EP <sub>w</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,72	3,72
EP <sub>v</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-
EP <sub>C,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	11,43	<12,37
$\eta_c$ [-]	2,60	>0,87
EP <sub>c</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,39	<14,19
EP <sub>L</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	10,58	10,58
EP <sub>T</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	-	-
EP <sub>gl</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	196,08	<277,97

Come si evince dai risultati, tutti gli indicatori prestazionali relativi al livello nZEB rispettano i requisiti previsti dal Decreto 'Requisiti Minimi' e descritti nel paragrafo 1.1.

Anche i limiti relativi alla copertura del fabbisogno termico da fonti rinnovabili sono rispettati, come evidenziato nelle Tabelle 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6, rispettivamente per Palermo, Roma e Milano.

**Tabella 4.3.4– Aliquota di consumi di energia termica coperti da fonti rinnovabili (Palermo)**

Palermo		Limite normativo
Percentuale di energia da fonti rinnovabili per l'ACS	73,56%	<50%
Percentuale di energia da fonti rinnovabili per Riscaldamento, Raffrescamento e ACS	76,11%	<50%

**Tabella 4.3.5– Aliquota di consumi di energia termica coperti da fonti rinnovabili (Roma)**

Roma		Limite normativo
Percentuale di energia da fonti rinnovabili per l'ACS	79,51%	<50%
Percentuale di energia da fonti rinnovabili per Riscaldamento, Raffrescamento e ACS	85,42%	<50%

**Tabella 4.3.6– Aliquota di consumi di energia termica coperti da fonti rinnovabili (Milano)**

Milano		Limite normativo
Percentuale di energia da fonti rinnovabili per l'ACS	83,56%	<50%
Percentuale di energia da fonti rinnovabili per Riscaldamento, Raffrescamento e ACS	94,56%	<50%

Si riportano altresì in Tabella 4.3.7 i risultati relativi ai consumi energetici complessivi per ogni vettore energetico utilizzato.

**Tabella 4.3.7- Consumi energetici complessivi**

Caso C	Palermo	Roma	Milano	
Fabbisogno di energia elettrica da rete	5676,83	4888,08	5422,57	kWh
Fabbisogno di gasolio	-	-	-	kg
Energia elettrica auto-consumata	1327,52	1153,28	1066,46	kWh

## 5 Conclusioni

Lo studio ha esaminato le prestazioni energetiche di un edificio non residenziale adibito ad uffici, costruito negli anni '70 in Sicilia.

Obiettivo dell'analisi è la definizione di interventi di ristrutturazione per il raggiungimento del target di nZEB per l'edificio campione in tre diverse località, passando da uno stadio intermedio di ristrutturazione importante di primo livello. Dall'analisi svolta è evidente che i target prestazionali nZEB risultano prossimi a quelli conseguiti dall'edificio campione nel caso di ristrutturazione importante di primo livello in tutti i siti analizzati. I risultati, per quanto differenti, risultano coerenti tra loro con riferimento alle caratteristiche dei climi oggetto di studio.

La prossimità dei suddetti target prestazionali con quelli normativi previsti per i nZEB e il limitato orizzonte temporale che separa dall'obbligo normativo per gli edifici nZEB (1 Gennaio 2019 per edifici pubblici e 2021 per gli altri edifici) permettono pertanto di formulare una prima riflessione in merito all'opportunità di perseguire il target nZEB senza passare da livelli di ristrutturazione intermedi.

E' altresì opportuno sottolineare come sia auspicabile che il trend corrente in ambito legislativo, con riferimento all'efficientamento energetico degli edifici, prosegua nei prossimi decenni.

La decarbonizzazione dell'economia è infatti ormai una necessità ambientale stringente per raggiungere i target indicati dagli scenari 2DS (ovvero un aumento di temperatura globale media pari solamente a 2°C rispetto all'era pre-industriale) promossi dal "Sustainable Development Solutions Network" (SDSN) e evidenziati negli ultimi report dell'Agenzia Internazionale dell'Energia riportati in bibliografia. Il settore edile infatti, sia in termini di "deep renovation" sia di nuove costruzioni, rappresenta un ambito cruciale in cui operare nei prossimi anni.

Un primo concetto verso cui tendere in futuro è senz'altro quello di "Net Zero Energy Building", per il quale l'interezza del fabbisogno termico ed elettrico dell'edificio deve essere coperto tramite tecnologie di generazione on-site.

Schermature dinamiche, sistemi innovativi di accumulo di energia elettrica e termica, applicazioni di "building automation", utilizzo di materiali a cambiamento di fase e di altri materiali innovativi rappresentano una lista non esaustiva di soluzioni tecniche di importanza strategica per l'estensione del concetto di nearly zero energy building verso quello di 'net' zero energy building.

Un altro aspetto, attualmente di limitato impatto nel panorama legislativo Italiano in materia di edilizia, riguarda il concetto di ciclo di vita del manufatto edile. I risultati dello studio si limitano ad analizzare la fase d'uso dell'edificio, ma come già sottolineato in molteplici lavori scientifici, alcuni dei quali riportati in bibliografia, l' "operational energy" presenta negli edifici nZEB consumi paragonabili a quelli di altre fasi del ciclo di vita, quali la costruzione e il fine-vita.

Risulta pertanto sempre più importante considerare l'edificio da un punto di vista più ampio, che includa l'interezza del suo ciclo di vita, al fine di evitare che prestazioni energetiche particolarmente efficienti in fase d'uso causino impatti elevati nelle altre fasi. Spostare gli impatti dalla fase d'uso alla costruzione di materiali, tecnologie ed edifici non appare una soluzione efficace per decarbonizzare il settore edile.

## Bibliografia

Attia S., Eleftheriou P., Xeni F., Morlot R., Ménézo C., Kostopoulos V., Betsi M., Kalaitzoglou I., Pagliano L., Cellura M., Almeida M., Ferreira M., Baracu T., Badescu V., Crutescu R., Hidalgo-Betanzos J.M. Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe, In *Energy and Buildings*, Volume 155, 2017, Pages 439-458, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.043>.

Cellura M., Guarino F., Longo S., Mistretta M. Different energy balances for the redesign of nearly net zero energy buildings: An Italian case study, In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 45, 2015, Pages 100-112, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.048>.

Cellura M., Guarino F., Longo S., Mistretta M. Modeling the energy and environmental life cycle of buildings: A co-simulation approach, In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 80, 2017, Pages 733-742, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.273>.

Cellura M., Guarino F., Longo S., Mistretta M. Energy life-cycle approach in Net zero energy buildings balance: Operation and embodied energy of an Italian case study, In *Energy and Buildings*, Volume 72, 2014, Pages 371-381, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.046>.

Direttiva 2010/31/UE del parlamento Europeo e del consiglio del 19 Maggio 2010 sulla prestazione energetica dell'edilizia (Rifusione).

Goggins J., Moran P., Armstrong A., Hajdukiewicz M. Life cycle environmental and economic performance of nearly zero energy buildings (NZEB) in Ireland, In *Energy and Buildings*, Volume 116, 2016, Pages 622-637, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.016>.

International Energy Agency Directorate of Sustainability, Technology and Outlooks – Peter Janoska et al. Tracking clean energy progress 2017. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TrackingCleanEnergyProgress2017.pdf>;

International Energy Agency - World Energy Outlook 2017, [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO\\_2017\\_Executive\\_Summary\\_English\\_version.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO_2017_Executive_Summary_English_version.pdf).

Ministero dello sviluppo economico. Relazione annuale sull'efficienza energetica - 2017, <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/images/stories/documenti/Relazione-Annuale-Efficienza-Energetica-2017.pdf>.

Noris F., Musall E., Salom J., Berggren B., Østergaard Jensen S., Byskov Lindberg K., Sartori I. Implications of weighting factors on technology preference in net zero energy buildings, In *Energy and Buildings*, Volume 82, 2014, Pages 250-262, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.004>.

## Allegato 1 – Materiali e tecnologie per ristrutturazione importante di primo livello

Ristrutturazione di primo livello		Densità o altra caratteristica	Unità	Palermo	Roma	Milano	
Pareti perimetrali	Rete d'armatura	0,33	kg/m <sup>2</sup>	77,35	77,35	77,35	kg
Pareti perimetrali	Lastre isolanti EPS	15	kg/m <sup>3</sup>	177,95	284,72	320,31	kg
Pareti perimetrali	Adesivi-rasanti	1.400	kg/m <sup>3</sup>	3.321,78	3.321,78	3.321,78	kg
Pareti perimetrali	Acqua	1.000	kg/m <sup>3</sup>	797,23	797,23	797,23	kg
Pareti perimetrali	Intonaco esterno	1.400	kg/m <sup>3</sup>	6.643,56	6.643,56	6.643,56	kg
Pareti perimetrali	Sacchi	1	sacco/25kg Adesivi rasanti	132,87	132,87	132,87	unità
Pareti perimetrali	Sacchi	1	sacco/30 intonaco	221,45	221,45	221,45	unità
Pareti perimetrali	Acqua	1.000	kg/m <sup>3</sup>	1.727,33	1.727,33	1.727,33	kg
Copertura piana	Lastre isolanti XPS	33	kg/m <sup>3</sup>	1.002,38	1.470,15	1.737,45	kg
Copertura piana	Pavimentazione esterna	1.500	kg/m <sup>3</sup>	18.225	18.225	18.225	kg
Copertura piana	Pellicola termoretraibile	80	kg/m <sup>3</sup>	1,56	1,76	1,87	kg
Copertura piana	Pellicola termoretraibile	80	kg/m <sup>3</sup>	6,24	8,62	9,98	kg
Copertura piana	Adesivi-rasanti	1.400	kg/m <sup>3</sup>	5.670,00	5.670,00	5.670,00	kg
Copertura piana	Manto impermeabile	160	g/m <sup>2</sup>	64,80	64,80	64,80	kg
Pavimento	Pavimentazione (ceramica)	interna 19,50	kg/m <sup>2</sup>	7.897,50	7.897,50	7.897,50	kg
Pavimento	Adesivi-rasanti	1.400	kg/m <sup>3</sup>	5.670,00	5.670,00	5.670,00	kg
Pavimento	Lastre isolanti XPS	33	kg/m <sup>3</sup>	735,075	1.336,5	1.470,15	kg
Pavimento	Pellicola termoretraibile	80	kg/m <sup>3</sup>	1,44585	1,701	1,7577	kg
Pavimento	Pellicola termoretraibile	80	kg/m <sup>3</sup>	4,8762	7,938	8,6184	kg
Pavimento	Sabbia	0,48	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> massetto	di 1,944	1,944	1,944	m <sup>3</sup>
Pavimento	Ghiaia	0,96	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> massetto	di 3,888	3,888	3,888	m <sup>3</sup>

	Ristrutturazione di primo livello	Densità o altra caratteristica	Unità	Palermo	Roma	Milano	
Pavimento	Cemento	300	kg/m <sup>3</sup> massetto	di 1215	1215	1215	kg
Pavimento	Acqua	180	kg/m <sup>3</sup> massetto	di 729	729	729	kg
Superficie trasparente	Finestra			4-12-4	4-12-4 basso emissivo	4-12-4-12-4 basso emissivo	
Superficie trasparente	Vetro			24.84	24.84	24.84	m <sup>2</sup>
Superficie trasparente	PVC			0	7,14	7,14	m <sup>2</sup>
Superficie trasparente	Argon			no	si	si	
Superficie trasparente	Aria			si	no	no	
Superficie trasparente	Alluminio			7,14			m <sup>2</sup>
Impianto illuminazione	Lampade a LED 26W			33	33	33	unità
Impianto illuminazione	Lampade a LED 18W			4	4	4	unità
Impianto	Pompa di calore			12	16	18	kW
Impianto	Scaldacqua			1,2	1,2	1,2	kW
Impianto	Tubazioni in Rame	252	g/m	72,74736	102,93696	72,74736	m
Impianto	Tubazioni in Rame	308	g/m	17,2172	0	-	
Impianto	Tubazioni in Rame	363	g/m	23,1957	0	20,2917	
Impianto	Tubazioni in Rame	475	g/m	0	0	30,3525	
Impianto	Coppia di Collettori di distribuzione (ottone nichelato) a 12 uscite ciascuno			9	9	9	kg
Impianto	Ventilconvettori	1,09	kW	12	13	14	unità
Impianto	Valvole di intercettazione			24	26	28	unità
Impianto	Manicotti in ottone			24	26	28	unità
Impianto	Elettropompe gemellari	n.2 coppie di elettropompe		0,25 x 4	0,25 x 4	0,25 x 4	kW
Impianto	Manometro			1	1	1	unità
Impianto	Valvola di riempimento			1	1	1	unità
Impianto	Valvola di scarico impianto			1	1	1	unità

	<b>Ristrutturazione di primo livello</b>	<b>Densità o altra caratteristica</b>	<b>Unità</b>	<b>Palermo</b>	<b>Roma</b>	<b>Milano</b>	
Impianto	Valvola di spurgo aria			1	1	1	unità
Impianto	Valvola 3 vie			1	1	1	unità
Impianto	Valvola di sicurezza acqua sanitaria			1	1	1	unità
Rifiuti	Ventilconvettori			3	4	5	unità
Rifiuti	Piastre radianti			14	16	20	unità
Rifiuti	Tubazioni in Rame			64,94544	46,27476	39,25152	kg
Rifiuti	Tubazioni in Rame			9,53568	32,3554	29,6912	kg
Rifiuti	Tubazioni in Rame				0	13,25676	kg
Rifiuti	Tubazioni in Rame			23,4221	23,4221		kg
Rifiuti	Tubazioni in Rame			54,8901	54,8901	48,0181	kg
Rifiuti	Manicotti di giunzione			30	40	50	unità
Rifiuti	Valvole di intercettazione			24	32	40	unità
Rifiuti	Valvole e Detentori			24	32	40	unità
Rifiuti	Valvole di sfiato			15	20	25	unità
Rifiuti	Valvole a sfera			6	8	10	unità
Rifiuti	Tappo cieco			12	16	20	unità
Rifiuti							
Rifiuti	Lampade a fluorescenza 1x18w			4	4	4	unità
Rifiuti	Lampade a fluorescenza 2x18w			2	2	2	unità
Rifiuti	Lampade a fluorescenza 2x36w			28	28	28	unità
Rifiuti	Vetro	vetro singolo 4 mm		24,84	24,84	24,84	m <sup>2</sup>
Rifiuti	Telaio metallo	Alluminio		7,14	7,14	7,14	m 2
Rifiuti	Valvola di intercettazione gas			1	1	1	unità

	<b>Ristrutturazione di primo livello</b>	<b>Densità o altra caratteristica</b>	<b>Unità</b>	<b>Palermo</b>	<b>Roma</b>	<b>Milano</b>	
Rifiuti	Giunto antivibrante per impianti a gas			1	1	1	unità
Rifiuti	Filtro regolatore a chiusura per gas, a doppia membrana. Attacchi filettati			1	1	1	unità
Rifiuti	Rubinetto portamanometro gas, con pulsante di apertura. Attacchi femmina-femmina			1	1	1	unità
Rifiuti	Manometro per gas. Attacco radiale			1	1	1	unità
Rifiuti	Valvola di sicurezza, taratura standard			1	1	1	unità
Rifiuti	Valvola di intercettazione del combustibile, attacchi filettati			1	1	1	unità
Rifiuti	Pressostato di sicurezza, a ripristino manuale			1	1	1	unità
Rifiuti	Riccio ammortizzatore			1	1	1	unità
Rifiuti	Rubinetto manometro - campione INAIL			1	1	1	unità
Rifiuti	Pozzetto			1	1	1	unità
Rifiuti	Caldaia a basamento			1	1	1	unità
Rifiuti	Flussostato			1	1	1	unità
Rifiuti	Sonda di temperatura esterna			1	1	1	unità
Rifiuti	Rubinetto di scarico caldaia con portagomma e tappo			1	1	1	unità
Rifiuti	Vaso d'espansione saldato, per impianti di riscaldamento			1	1	1	unità
Rifiuti	Gruppo di caricamento con disconnettore, filtro a Y e valvola di intercettazione			1	1	1	unità
Rifiuti	Servomotore per valvole miscelatrici			1	1	1	unità

	<b>Ristrutturazione di primo livello</b>	<b>Densità o altra caratteristica</b>	<b>Unità</b>	<b>Palermo</b>	<b>Roma</b>	<b>Milano</b>	
Rifiuti	Regolatore climatico completo di sonde di mandata a contatto e sonda esterna			1	1	1	unità
Rifiuti	Termostato ad immersione, regolabile			1	1	1	unità
Rifiuti	Manometri			3	3	3	unità
Rifiuti	Serbatoio per ACS con serpentino singolo			1	1	1	unità
Rifiuti	Valvola miscelatrice tre vie, filettata, a settore			1	1	1	unità
Rifiuti	Valvola di sicurezza per impianti idrosanitari			1	1	1	unità
Rifiuti	Vaso d'espansione saldato, per impianti sanitari			1	1	1	unità
Rifiuti	Termometro, attacco posteriore 1/2"			5	5	5	unità
Rifiuti	Circolatore per ACS			1	1	1	unità
Rifiuti	Filtro obliquo			1	1	1	unità
Rifiuti	Valvola di intercettazione			4	4	4	unità

## Allegato 2 - Materiali e tecnologie per raggiungere il livello nZEB

Ristrutturazione target nzeb		Densità o altra caratteristica	Unità	Palermo	Roma	Milano	
Pareti perimetrali	Rete d'armatura	0,33	kg/m <sup>2</sup>	77,35	77,35	77,35	kg
Pareti perimetrali	Lastre isolanti EPS	15	kg/m <sup>3</sup>	35,59	71,18	71,18	kg
Pareti perimetrali	Adesivi-rasanti	1.400	kg/m <sup>3</sup>	3.321,78	3.321,78	3.321,78	kg
Pareti perimetrali	Acqua	1.000	kg/m <sup>3</sup>	797,23	797,23	797,23	kg
Pareti perimetrali	Intonaco esterno	1.400	kg/m <sup>3</sup>	6.643,56	6.643,56	6.643,56	kg
Pareti perimetrali	Sacchi	1	sacco/25kg di adesivi rasanti	132,87	132,87	132,87	unità
Pareti perimetrali	Sacchi	1	sacco/30 intonaco	221,45	221,45	221,45	unità
Pareti perimetrali	Acqua	1.000	kg/m <sup>3</sup>	1.727,33	1.727,33	1.727,33	kg
Impianto	PV			8	8	8	m <sup>2</sup>
Impianto	Inverter	1	kW cad.	1	1	1	unità
Impianto	Quadro elettrico	DC 1 stringa 600VDC		1	1	1	unità
Impianto	Cavo butillico	FG07R 4x16		10	10	10	m
Impianto	Collettore solare			2,55	2,55	5,10	m <sup>2</sup> (lorda)
Impianto	Boiler accumulo			180	180	220	l
Impianto	Valvola di sicurezza			1	1	1	unità
Impianto	Valvola di ritegno			1	1	1	unità

	<b>Ristrutturazione target nzeb</b>	<b>Densità o altra caratteristica</b>	<b>Unità</b>	<b>Palermo</b>	<b>Roma</b>	<b>Milano</b>	
Impianto	Pompa di circolazione generatore termico			4	4	4	unità
Impianto	Bollitore sanitario bivalente			3	3	3	unità
Impianto	Stazione solare			1	1	1	unità
Impianto	Vaso di espansione a membrana acqua sanitaria			1	1	1	unità
Impianto	Vaso di espansione a membrana solare/miscela incongelabile			1	1	1	unità
Impianto	Vaso di espansione protezione solare			1	1	1	unità
Impianto	Valvola di regolazione locale singolo (termostatica/motorizzata)			1	1	1	unità
Impianto	Rubinetto di riempimento/svuotamento			1	1	1	unità
Impianto	Valvola con coperchio di sicurezza			1	1	1	unità
Impianto	Valvola di non ritorno			1	1	1	unità
Impianto	Serbatoio di raccolta solare/miscela incongelabile			1	1	1	unità
Impianto	Modulo di espansione VR 70			2	2	2	unità
Impianto	Termostato di sicurezza			1	1	1	unità
Impianto	Limitatore di temperatura del bollitore			1	1	1	unità
Impianto	Sonda temperatura esterna			2	2	2	unità
Impianto	Tubo			10	10	10	m