



Campione rappresentativo di edifici residenziali presenti sul territorio nazionale e modellazione del loro comportamento energetico dinamico

G. Salvadori, L. Formicola, G. Lamberti

CAMPIONE RAPPRESENTATIVO DI EDIFICI RESIDENZIALI PRESENTI SUL TERRITORIO NAZIONALE E
MODELLAZIONE DEL LORO COMPORTAMENTO ENERGETICO DINAMICO

G. Salvadori, L. Formicola, G. Lamberti

Aprile 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Pompe di calore

Linea di attività 16: *Campione rappresentativo di edifici residenziali presenti sul territorio nazionale e modellazione semplificata per la stima del loro comportamento energetico dinamico*

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Raniero Trinchieri, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Analisi dell'interazione tra edificio e sistema di climatizzazione a PdC, in sistemi residenziali di piccola taglia con accumulo idronico trascurabile o assente"

Responsabile scientifico ENEA: Maurizio Pieve

Responsabile scientifico Università di Pisa: Giacomo Salvadori

Indice

SOMMARIO.....	6
1 INTRODUZIONE	7
SEZIONE A.....	8
2 PROCEDURA GENERALE	9
2.1 DEFINIZIONE DELLE ZONE CLIMATICHE DI UBICAZIONE DEGLI EDIFICI CAMPIONE	9
2.1.1 Parametri ambientali dei comuni di riferimento.....	15
2.2 TIPOLOGIE ABITATIVE RESIDENZIALI DA INCLUDERE NEGLI EDIFICI CAMPIONE	17
2.2.1 Classificazione storica ed identificazione delle tipologie edilizie.....	17
2.2.2 Classificazione del patrimonio edilizio secondo le zone climatiche.....	21
2.2.3 Classificazione del patrimonio edilizio secondo il rapporto S/V.....	22
2.2.4 Cenni ai progetti TABULA e EPISCOPE.....	23
2.2.5 Caratteristiche geometriche attribuite alle tipologie edilizie analizzate	26
2.2.5.1 Caratteristiche geometriche unità abitativa monofamiliare - UAM	26
2.2.5.2 Caratteristiche geometriche unità abitativa a schiera – UAS1L	27
2.2.5.3 Caratteristiche geometriche unità abitativa a schiera – UAS2L	27
2.2.5.4 Caratteristiche geometriche unità abitativa a schiera – UAC	27
2.3 SOLUZIONI COSTRUTTIVE DELL'INVOLUCRO DA ATTRIBUIRE AGLI EDIFICI CAMPIONE	29
2.3.1 Soluzioni costruttive per le pareti perimetrali orizzontali e verticali opache	29
2.3.2 Distribuzione delle tramezzature interne.....	31
2.3.3 Soluzioni costruttive per le superfici finestate	31
2.4 PROFILI DI OCCUPAZIONE DEGLI EDIFICI CAMPIONE E ANDAMENTO GIORNALIERO DEGLI APPORTI TERMICI INTERNI	32
2.4.1.1 Carichi termici interni associati ai profili di occupazione.....	36
2.4.1.2 Carichi termici associati ai profili di occupazione	39
ALLEGATI REPORT - SEZIONE A.....	41
ALLEGATO A.....	41
A.1 – Script indicizzazione comuni	41
A.2 – Script irraggiamento solare su superfici verticali.....	43
ALLEGATO B – UNITÀ ABITATIVE CONSIDERATE: CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE E GEOMETRICHE	53
Unità abitativa monofamiliare UAM.....	53
Unità abitativa monofamiliare in casa a schiera su un lato UAS1L.....	54
Unità abitativa monofamiliare in casa a schiera su due lati UAS2L.....	55
Dati di riferimento per unità abitazione monofamiliare in condominio	56
Unità abitativa monofamiliare in condominio UAC.....	57
ALLEGATO C.....	58
C.1 – Tipologie di solaio contro-terra	58
C.2 – Tipologie di solaio di interpiano	60
C.3 – Tipologie di solaio di copertura	62
C.4 – Tipologie di pareti verticali per involucro esterno.....	64
C.5 – Tipologie di pareti verticali per tramezzature	70
ALLEGATO D.....	73
D.1 – Dati climatici città di Palermo.....	73
D.2 – Dati climatici città di Napoli.....	76
D.3 – Dati climatici città di Roma.....	79
D.4 – Dati climatici città di Milano.....	82
ALLEGATO E – ESTRATTI WEBTOOL PROGETTO TABULA/EPISCOPE	85
SEZIONE B.....	117
3 PANORAMICA SUI CONSUMI ENERGETICI LEGATI ALL'EDILIZIA	118
3.1 ANALISI GLOBALE DEI CONSUMI ENERGETICI SU SCALA MONDIALE.....	118

3.1.1	Consumi energetici degli edifici: stato attuale.....	118
3.1.2	Consumi energetici degli edifici: prospettive future.....	120
3.2	CENNI AL CONTESTO LEGISLATIVO EUROPEO DI RIFERIMENTO	121
4	TECNICHE DI MODELLAZIONE PER LO STUDIO DEL COMPORTAMENTO TERMICO DINAMICO DEGLI EDIFICI OCCUPATI	123
4.1	CARATTERISTICHE GENERALI	123
4.2	TECNICHE DI MODELLAZIONE TERMICA DINAMICA DEGLI EDIFICI	123
4.2.1	Tecniche di modellazione di tipo White-box	124
4.2.2	Tecniche di modellazione di tipo Black-box	125
4.2.3	Tecniche di modellazione di tipo Grey-box.....	127
4.2.4	Identificazione della strategia di modellazione	128
5	MODELLAZIONE SEMPLIFICATA DEGLI EDIFICI CAMPIONE.....	129
5.1	MODELLAZIONE SEMPLIFICATA RC PROPOSTA NELLA UNI EN ISO 13790	130
5.2	MODELLAZIONE SEMPLIFICATA RC PROPOSTA NELLA UNI EN ISO 52016	131
5.2.1	Descrizione del modello proposto nella UNI EN ISO 52016-1, valido in ambito europeo	132
5.2.2	Descrizione del modello proposto nella UNI EN ISO 52016-1 valido in ambito nazionale	133
5.3	PROPOSTA DI MODELLAZIONE SEMPLIFICATA RC.....	134
5.3.1	Modellazione semplificata dei componenti opachi.....	135
5.3.2	Modellazione semplificata componenti finestrati.....	135
5.3.3	Modellazione di elementi interni all'edificio	135
5.3.3.1	Capacità termica dell'ambiente interno – Aria ed Arredamento.....	135
5.3.3.2	Capacità termica dell'ambiente interno – divisori	136
5.4	MODELLAZIONE SEMPLIFICATA DEGLI ALTRI SCAMBI TERMICI.....	136
5.4.1	Scambio termico per ventilazione	136
5.4.2	Apporti termici diretti dovuti all'irraggiamento solare ed ai carichi interni	136
5.4.2.1	Apporti termici diretti dovuti all'irraggiamento solare	137
5.4.2.2	Apporti termici diretti dovuti ai carichi interni	137
5.4.3	Apporti termici indiretti dovuti all'irraggiamento solare.....	138
5.4.4	Scambio termico verso il terreno	138
6	INTERFACCIA SOFTWARE SCELTA PER L'IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI SEMPLIFICATI E PER LA REALIZZAZIONE DELLE SIMULAZIONI.....	138
6.1	COMPONENTI SIMULINK E SIMSCAPE UTILIZZATI	139
7	DETTAGLIO DEI MODELLI DI SCAMBIO TERMICO DELL'EDIFICIO CON RETI RC	140
7.1	DESCRIZIONE DELLE RETI RC UTILIZZATE NELLA MODELLAZIONE DEGLI EDIFICI CAMPIONE	141
7.1.1	Precisazione sulla schematizzazione dei singoli strati delle pareti opache.....	150
7.2	MODELLO SEMPLIFICATO PER IMPIANTO TERMICO A POMPA DI CALORE.....	150
7.3	MODELLI SEMPLIFICATI RC COMPLETI.....	153
7.3.1	Struttura generale dei modelli RC.....	153
7.3.2	Struttura generale modello RC – visualizzazione compatta.....	155
8	CONCLUSIONI.....	158
	ALLEGATI REPORT - SEZIONE B	159
	ALLEGATO A.....	159
	A.1 – Script importazione dati climatici da Excel a Matlab.....	159
	A.2 – Script importazione profili di occupazione da Excel a Matlab	163
	A.3 – Script importazione profili di utilizzo utenze da Excel a Matlab	164
	ALLEGATO B.....	166
	ALLEGATO C.....	167
	C.1 – Valore dei Termini R e C per UAM.....	167
	Allegato C.2 – Valore dei Termini R e C per UAS1L.....	169
	Allegato C.3 – Valore dei Termini R e C per UAS2L.....	171
	Allegato C.4 – Valore dei Termini R e C per UAC	173

ALLEGATO D.....	175
<i>D.1 – Schede Tecniche Pompe di Calore Mitsubishi</i>	<i>175</i>
<i>D.2 – Schede Tecniche Pompe di Calore Hitachi</i>	<i>177</i>
<i>D.3 – Schede Tecniche Pompe di Calore General-Fujitsu</i>	<i>178</i>
9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	182

Sommario

Il presente rapporto si inserisce nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni dell'Università di Pisa, per una attività di ricerca dal titolo: "Analisi dell'interazione tra edificio e sistema di climatizzazione a pompa di calore, in sistemi residenziali di piccola taglia con accumulo idronico trascurabile o assente".

Il rapporto si riferisce alle attività svolte nella Linea di Attività 16, che prevede l'individuazione di un campione rappresentativo di edifici residenziali presenti sul territorio nazionale e la realizzazione di modelli semplificati atti alla stima del loro comportamento termico dinamico.

In accordo alle due principali attività sopra menzionate, il rapporto è strutturato in due differenti sezioni.

La sezione A del rapporto è dedicata alla descrizione delle varie fasi che hanno portato all'individuazione di un set di edifici campione, sufficientemente rappresentativo del patrimonio edilizio nazionale esistente. In linea con gli obiettivi dell'accordo di collaborazione, l'attenzione è stata rivolta ad edifici con destinazione d'uso residenziale. Dopo un'attenta ricerca sui database ad oggi disponibili a livello nazionale ed internazionale, sono state individuate 4 tipologie di unità abitative considerate significativamente rappresentative ai fini degli obiettivi generali dell'attività di ricerca in oggetto.

Analizzando le tipologie costruttive maggiormente diffuse a livello nazionale, sono stati individuati 8 differenti cluster (combinazioni di varie tipologie costruttive comprendenti pareti verticali ed orizzontali dell'involucro edilizio, divisori interni orizzontali e verticali). Al fine di valutarne il comportamento termico in regime dinamico e l'interazione tra edificio ed impianto di riscaldamento a pompa di calore, è stata condotta un'analisi che ha portato all'individuazione di 4 differenti profili di occupazione delle unità abitative, con elevata probabilità di occorrenza. Infine, dopo accurata analisi dei dati climatici e delle densità abitative di tutti i comuni del territorio nazionale, sono state selezionate 4 differenti località di ubicazione delle unità abitative, ciascuna rappresentativa di una zona climatica diversa.

Dalla combinazione di 4 tipologie abitative, 8 tipologie costruttive, 4 profili di occupazione, 4 località di ubicazione, è stato creato un set composto da 512 edifici campione, sui quali poter valutare le prestazioni termiche in regime dinamico, utilizzando i modelli semplificati descritti nella sezione B del report.

La sezione B del rapporto è dedicata alla descrizione delle varie fasi che hanno portato alla realizzazione di modelli semplificati per la previsione del comportamento termico dinamico degli edifici campione e dell'interazione con l'impianto di riscaldamento a pompa di calore. I modelli sono stati realizzati utilizzando la tecnica Grey-box, in particolare attraverso l'impiego dell'analogia elettrica. Nel report ci si sofferma con dettaglio sulla descrizione delle scelte operate per la realizzazione dei modelli, con particolare attenzione alla possibilità di indagare l'influenza esercitata da differenti parametri dell'involucro edilizio nei confronti delle prestazioni termiche dinamiche, per il servizio di riscaldamento invernale soddisfatto con impianti a pompa di calore. Coerentemente con lo specifico tema e l'accordo di collaborazione, nei modelli sono state considerate pompe di calore di piccola taglia. I modelli semplificati sono stati realizzati su piattaforma Matlab/Simulink e si prestano all'analisi termica dinamica su base oraria del comportamento degli edifici campione.

1 Introduzione

Il tema “Campione rappresentativo di edifici residenziali presenti sul territorio nazionale e modellazione semplificata per la stima del loro comportamento energetico dinamico” affronta due filoni di ricerca sinergici tra di loro. Una prima sezione del report tratta l’identificazione di categorie standardizzate di edifici residenziali con impianto a pompa di calore di piccola taglia con accumulo idronico trascurabile o assente, attraverso l’indagine trasversale su zone climatiche, profili di carico esterno, profili di occupazione ed apporti interni; la seconda sezione tratta l’investigazione e l’identificazione della miglior strategia di modellazione semplificata per lo studio del comportamento termico dinamico in regime orario degli edifici.

Più in dettaglio, la Sezione A è dedicata alla definizione del database che racchiude i parametri tipologici, ambientali ed energetici. Vengono precisate le caratteristiche geometriche e costruttive degli edifici ed i parametri che incidono sul loro comportamento termico dinamico quali ad esempio zone climatiche e relativi parametri ambientali, profili di apporto energetico interno dovuti ai profili di occupazione, illuminazione artificiale. La Sezione B è dedicata alle strategie di modellazione del comportamento energetico dinamico degli edifici ed è in particolare focalizzata sulla modellazione semplificata di tale comportamento (secondo l’approccio “grey-box”), delineandone le peculiarità e le funzionalità essenziali, sfruttando la letteratura scientifica attualmente presente sul tema e la normativa tecnica di settore.

Note per il lettore.

Entrambe le sezioni (Sezione A e Sezione B) in cui si divide il presente report si compongono di una parte descrittiva ed analitica dove si affrontano le procedure e le scelte effettuate ed una parte di allegati tecnici di riferimento che, per chiarezza, si ritiene utile mantenere alla fine di ogni rispettiva sezione.

La numerazione delle figure parte da 1 per ogni sezione del presente report. L’indice di riferimento è univoco per entrambe le sezioni così come la bibliografia.

Definizione del database di riferimento. Identificazione delle zone climatiche oggetto di indagine, dei carichi termici esterni, degli apporti interni e delle tipologie edilizie più rappresentative.

Sezione A

2 Procedura Generale

Il comportamento termico dinamico di un edificio è il risultato dell'interazione di numerosi fattori, solo alcuni dei quali possono essere scelti in sede progettuale, tra cui: la tecnologia costruttiva ed il livello di isolamento dell'involucro dell'edificio, la tipologia del sistema di riscaldamento e eventuale climatizzazione, la tipologia del sistema di illuminazione artificiale, la presenza e la tipologia di sistemi per la produzione di energia da fonti rinnovabili, le caratteristiche dei sistemi automatici di regolazione e controllo dei sistemi impiantistici.

In Figura 1 è riportato uno schema dei principali flussi termici che caratterizzano il comportamento energetico dinamico di un edificio.

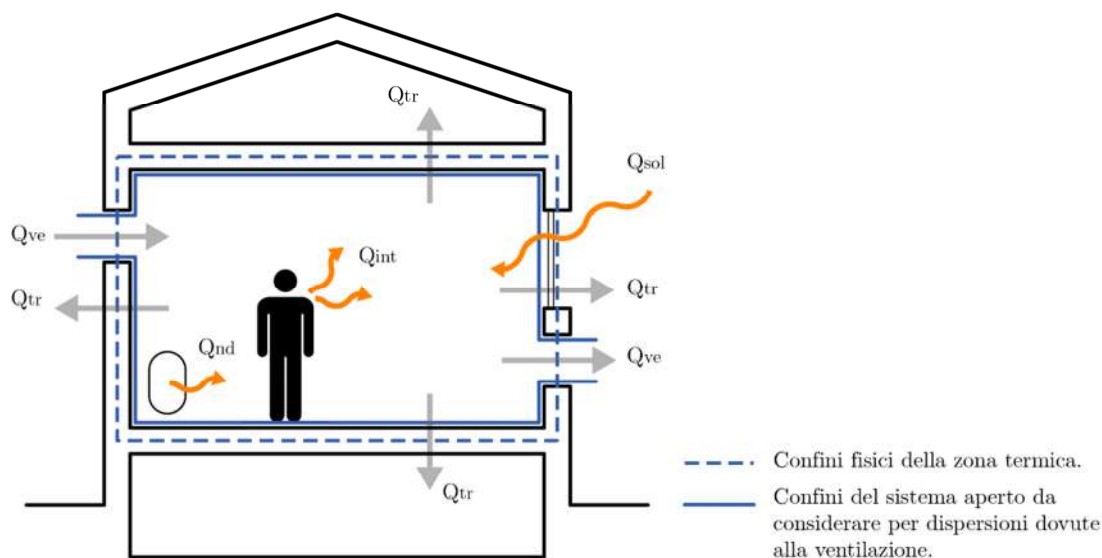


Figura 1 - Schema generale dei flussi termici nel comportamento termico dinamico di un edificio

L'obiettivo della presente attività è quello di realizzare uno strumento semplificato per analizzare il comportamento energetico dinamico dell'edificio, con particolare riferimento al regime di scambio termico invernale. Lo strumento dovrà essere in grado di valutare, con ragionevole attendibilità, l'interazione tra le caratteristiche termofisiche dell'involucro edilizio ed il sistema di riscaldamento realizzato con un sistema a pompa di calore di piccola taglia ed accumulo idronico trascurabile o assente.

Lo strumento semplificato di analisi, la cui realizzazione è descritta nella seconda parte del presente report, sarà poi applicato per prevedere il comportamento energetico dinamico di un campione di edifici ritenuti significativamente rappresentativi del patrimonio edilizio residenziale a livello nazionale. Per questo motivo, si è resa necessaria una fase di studio propedeutica, finalizzata alla definizione del campione di edifici da analizzare. Le modalità di definizione del campione di edifici e le caratteristiche di tali edifici sono oggetto dei prossimi paragrafi.

2.1 Definizione delle Zone Climatiche di ubicazione degli edifici campione

Il territorio italiano è suddiviso in sei zone climatiche, ciascuna associata ad un intervallo preciso di gradi giorno (GG). Secondo l'art.2 del DPR n. 412 del 26 agosto 1993 e successivamente modificato dal DPR n.74 del 16 aprile 2013 il territorio italiano viene suddiviso in sei zone climatiche con riferimento ad un indice definito gradi giorno invernali (GG). Questo indice per una specifica località geografica rappresenta la somma estesa a tutti i giorni, in un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura, fissata convenzionalmente per ogni Paese e la temperatura media

esterna giornaliera. In particolare, il valore dei gradi giorno invernali si ricava attraverso la seguente espressione:

$$GG = \sum_e (T_0 - T_e)$$

dove:

T_0 – temperatura ambiente convenzionale (fissata pari a 20 °C)

T_e – temperatura media esterna giornaliera tale per cui $T_e \leq T_0$

n – numero convenzionale di giorni per il riscaldamento

Il territorio nazionale italiano pertanto viene suddiviso nelle sei zone climatiche riportate di seguito e rappresentate in Figura 2.

- Zona A: comuni che presentano un numero di gradi giorno non superiore a 600;
- Zona B: comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;
- Zona C: comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 900 e non superiore a 1400;
- Zona D: comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 1400 e non superiore a 2100;
- Zona E: comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 2100 e non superiore a 3000;
- Zona F: comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 3000.

Come si riscontra dalla rappresentazione grafica di Figura 2, la distribuzione geografica delle zone climatiche sul territorio nazionale è tutt'altro che omogenea e bilanciata. Ad esempio, appare subito evidente come le zone climatiche A e B siano fortemente contenute in termini di estensione, la zona C sia distribuita prevalentemente nelle zone costiere dell'Italia centro-meridionale, la zona F invece nell'arco alpino e pre-alpino, le zone D ed E risultino quelle a maggiore estensione longitudinale sul territorio nazionale.



Figura 2 – Suddivisione del territorio nazionale italiano in zone climatiche [1]

Un ulteriore ed interessante punto di osservazione si ricava da indagini in merito alla distribuzione dei comuni ed alla distribuzione della popolazione sul territorio nazionale in funzione della zona climatica di appartenenza. In particolare, attraverso l'elaborazione condotta da ENEA sull'indagine Istat del 2011 e dal *Piano Nazionale per L'energia e il Clima 2019* [2] si ricava che alla Zona A appartengono i comuni di Lampedusa e Linosa e quello di Porto Empedocle, alla Zona B appartengono 157 comuni, alla Zona C 981, alla Zona D 1572, alla Zona E 4176 ed infine alla Zona F 1026 comuni. Di seguito, in Tabella 1 si riportano i dati caratterizzanti la distribuzione dei comuni e degli abitanti sul territorio nazionale in funzione delle zone climatiche.

Dai risultati riportati in essa, relativamente alla Zona Climatica A, si nota come l'incidenza in termini di comuni appartenenti ed in termini di popolazione residente sia estremamente limitata in rapporto al dato cumulativo di tutto il territorio nazionale; tali indici risultano di fatto abbondantemente sotto l'1%. Pertanto, in base ai dati ed in seguito ad alcune considerazioni (precisate successivamente), al numero di comuni appartenenti ed alla popolazione residente, sono state definite le zone climatiche di ubicazione degli edifici campione, denominate in questo rapporto "*Zone Climatiche di Progetto (ZCP_X)*". Le Zone Climatiche di Progetto risultano importanti nella selezione dei parametri relativi all'ambiente esterno da applicare, in fase di simulazione, agli edifici campione.

Tabella 1 - Distribuzione dei comuni e dei residenti sul territorio nazionale in funzione della zona climatica

Zona Climatica	Gradi Giorno (GG)	Comuni (2018)	% Comuni	Abitanti (2018)	% Abitanti
A	GG<600	2	0,03%	23.266	0,04%
B	600<GG<900	157	1,98%	3.217.288	5,33%
C	900<GG<1.400	981	12,40%	12.826.700	21,25%
D	1.400<GG<2.100	1.572	19,86%	15.168.668	25,13%
E	2.100<GG<3.000	4.176	52,77%	27.482.108	45,53%
F	GG>3.000	1.026	12,96%	1.641.892	2,72%
Totale		7.914		60.359.922	

Osservando le statistiche dei dati che riguardano la zona climatica C ed analogamente per la zona climatica D, si ottiene che esse ricoprono rispettivamente il 21,25% ed il 25,13% della popolazione nazionale, mentre dal punto di vista dei comuni presenti sull'intero territorio nazionale essi rappresentano rispettivamente il 12,40% ed il 19,86%. Questi dati sull'incidenza percentuale sono tali da rendere necessario utilizzare queste due come Zone Climatiche di Progetto, rispettivamente la ZCP_2 e ZCP_3. Per le zone climatiche A, B, E, F invece è necessario effettuare alcune considerazioni specifiche. Per quanto concerne la zona climatica A, come sopra già evidenziato, essa ha un'incidenza pressoché trascurabile sia dal punto di vista del numero dei comuni appartenenti sia da quello del numero di residenti. Pertanto, con l'obiettivo di condurre un'indagine strutturata sui casi maggiormente rappresentativi, tale zona climatica è stata accorpata alla zona climatica B, per formare la Zona Climatica di Progetto ZCP_1, che copre l'intervallo di variazione tra 0 e 900 GG. Una considerazione simile può essere effettuata riguardo alla zona climatica F. Quest'ultima, seppur caratterizzata da un numero di comuni appartenenti molto maggiore rispetto alla zona climatica B, presenta solamente il 2,72% degli abitanti totali del territorio nazionale, ovvero la metà di quelli presenti nella sola zona climatica B. Pertanto, analogamente a quanto fatto per la zona climatica A, si stabilisce di accorpare la zona climatica F alla zona climatica E identificando la Zona Climatica di Progetto ZCP_4, caratterizzata da un clima di tipo continentale.

Riassumendo, si ottengono le seguenti zone climatiche di progetto, riportate in Figura 3:

- Zona Climatica Progetto 1 ZCP_1 -> Zona A + Zona B;

- Zona Climatica Progetto 2 ZCP_2 -> Zona C;
- Zona Climatica Progetto 3 ZCP_3 -> Zona D;
- Zona Climatica Progetto 4 ZCP_4 -> Zona E + Zona F.

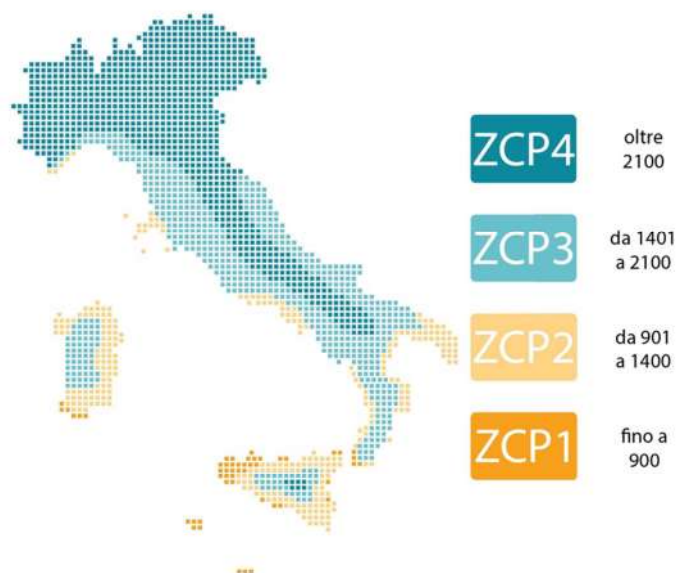


Figura 3 – Suddivisione del territorio nazionale in Zone Climatiche di Progetto (ZCP)

In Tabella 2, si riporta la suddivisione del territorio nazionale secondo le zone climatiche di progetto (ZCP) identificate con i relativi dati statistici.

Tabella 2 - Zone climatiche di progetto

Zona Climatica di Progetto	Gradi Giorno (GG)	Comuni (2018)	% Comuni	Abitanti (2018)	% Abitanti
ZCP_1	GG<900	159	2,01%	3.240.554	5,37%
ZCP_2	900<GG<1.400	981	12,40%	12.826.700	21,25%
ZCP_3	1.400<GG<2.100	1.572	19,86%	15.168.668	25,13%
ZCP_4	GG>2.100	5202	65,73%	29.124.000	48,25%
Totale		7.914		60.359.922	

L'identificazione delle zone climatiche di progetto risulta essenziale per la successiva definizione dei parametri ambientali necessari per lo studio del comportamento termico e dinamico degli edifici. In particolare, i parametri ambientali che saranno utilizzati nelle attività di simulazione, sono i seguenti:

- Temperatura dell'aria esterna [°C]
- Irraggiamento solare su superficie orizzontale [$\frac{W}{m^2}$]
- Irraggiamento solare su superficie verticale [$\frac{W}{m^2}$]

I suddetti parametri sono variabili nel tempo e caratteristici di ogni specifica località di ubicazione dell'edificio. Pertanto all'interno di ciascuna zona climatica di progetto, si è deciso di selezionare un sito (un comune) per l'ubicazione degli edifici campione, denominato "comune di riferimento". L'identificazione del comune di riferimento è stata effettuata tenendo conto di due possibili strategie.

- Strategia n. 1- il comune di riferimento per la singola zona climatica di progetto è identificato in base al numero di residenti, cioè il comune con il maggior numero di residenti.
- Strategia n. 2- segue il principio riportato nel *Piano di Azione Italiano per l'Efficienza Energetica 2017* [3], nel quale si evidenzia che per la climatizzazione invernale degli edifici esistenti, i consumi energetici nazionali possono ritenersi proporzionali al prodotto tra i gradi giorno della località e la popolazione residente.

Seguendo il primo approccio, sono stati identificati i comuni più popolosi presenti nelle varie ZCP annotandone il numero di residenti ed i gradi giorno medi; i dati sono riportati in Tabella 3 e visualizzati in Figura 4.

Tabella 3 - Strategia n.1 - Comuni maggiormente popolati nelle differenti zone climatiche

Zona Climatica di Progetto	Comune	Gradi Giorno Medi	Popolazione
ZCP_1	Palermo	751	663.401
ZCP_2	Napoli	1.034	959.188
ZCP_3	Roma	1.415	2.856.133
ZCP_4	Milano	2.404	1.378.689



Figura 4 – Distribuzione della popolazione residente sul territorio nazionale in base ai gradi giorno medi

Seguendo invece la seconda strategia si individuano le tre città più popolate presenti nelle varie ZCP, annotandone oltre al numero di residenti anche i gradi giorno medi, ricavando un elenco di dati il cui estratto è riportato in Tabella 4. In accordo con quanto definito nel *Piano di Azione Italiano per l'Efficienza Energetica* è stato dunque ricavato il prodotto tra GG medi ed il numero di residenti, ottenendo per ciascuna zona climatica di progetto il comune di riferimento (quello con il prodotto maggiore).

Tabella 4 - Strategia n.2 - Comuni maggiormente popolati nelle differenti zone climatiche

Zona Climatica di Progetto	Comune	Popolazione	Gradi Giorno Medi	GG medi x Popolazione
ZCP_1	Palermo	663.401	751	498.214.151
	Catania	311.584	833	259.549.472
	Messina	232.555	707	164.416.385
ZCP_2	Napoli	959.188	1.034	991.800.392
	Bari	320.862	1.185	380.221.470
	Taranto	196.702	1.071	210.667.842
ZCP_3	Roma	2.856.133	1.415	4.041.428.195
	Genova	578.000	1.435	829.430.000
	Firenze	378.839	1.821	689.865.819
ZCP_4	Milano	1.378.689	2.404	3.314.368.356
	Torino	875.698	2.617	2.291.701.666
	Bologna	390.636	2.259	882.446.724

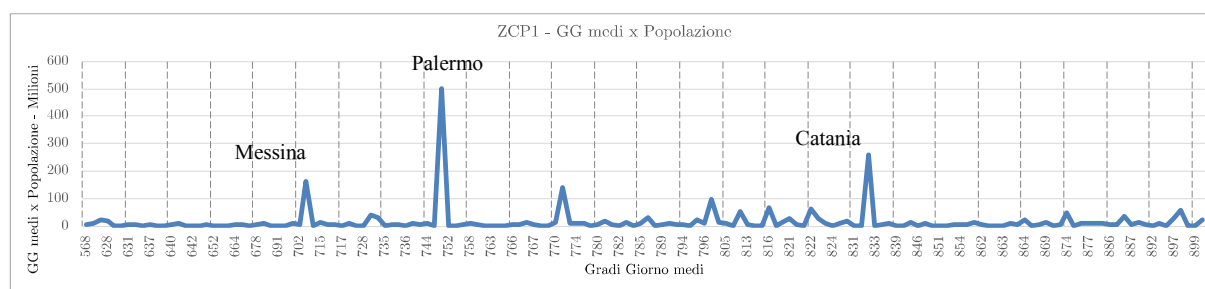


Figura 5 – Distribuzione del prodotto GG medi, Popolazione per la ZCP1

A scopo rappresentativo, nella Figura 5 e nelle successive Figure 6, 7 e 8 sono riportati gli andamenti associati al prodotto tra gradi giorno medi ed il numero di abitanti per le zone climatiche di progetto identificate. Dal grafico si possono facilmente osservare i comuni statisticamente più significativi che, di conseguenza, sono stati riportati in Tabella 4. In virtù delle considerazioni effettuate, i comuni di riferimento per le rispettive zone climatiche sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5 - Comuni di riferimento per zone climatiche di progetto (ZCP)

Zona Climatica di Progetto	Zona Climatica DPR 412/1993	Città di riferimento	Abitanti	Gradi Giorno Medi
ZCP_1	A + B	Palermo	663.401	751
ZCP_2	C	Napoli	959.188	1.034
ZCP_3	D	Roma	2.856.133	1.415
ZCP_4	E + F	Milano	1.378.689	2.404

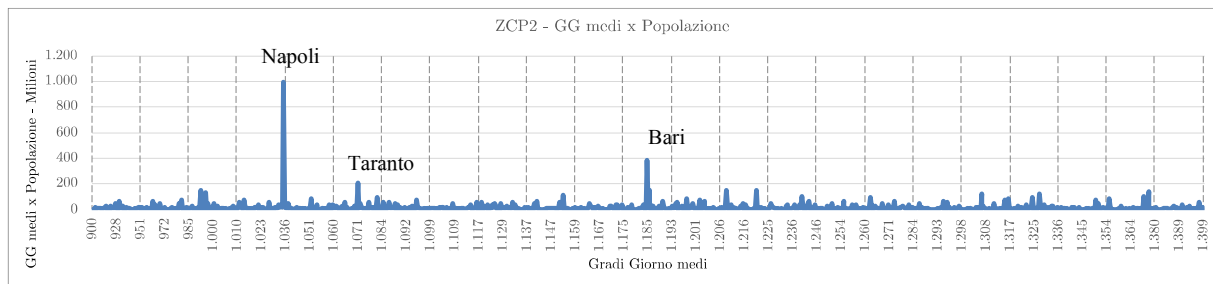


Figura 6 – Distribuzione del prodotto GG medi, Popolazione per la ZCP2

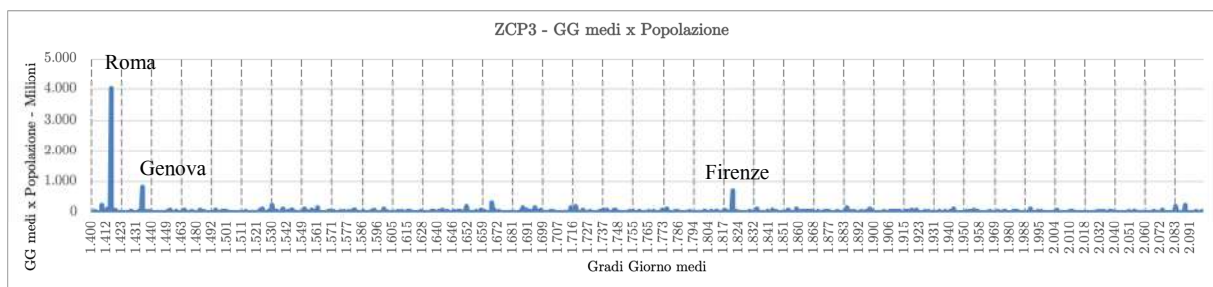


Figura 7 – Distribuzione del prodotto GG medi, Popolazione per la ZCP3

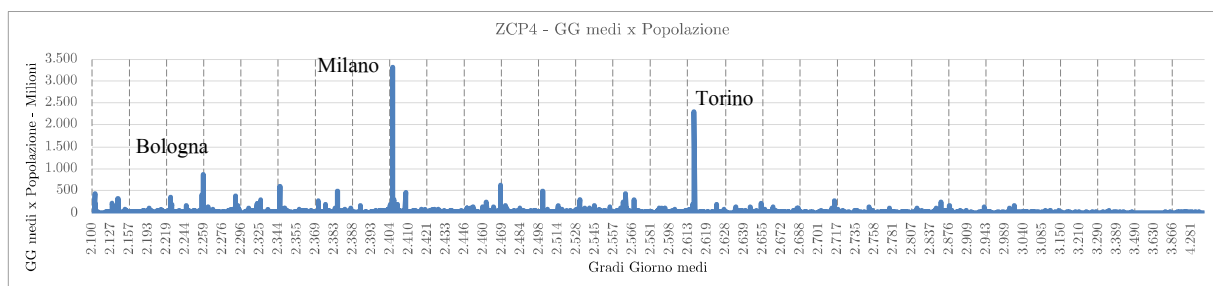


Figura 8 – Distribuzione del prodotto GG medi, Popolazione per la ZCP4

2.1.1 Parametri ambientali dei comuni di riferimento

Identificati i comuni di riferimento relativamente alle zone climatiche di progetto, e con l'obiettivo di sviluppare una modellazione di tipo semplificato, è stata condotta un'indagine riguardo agli andamenti dei parametri ambientali significativi; in particolare sono stati ricavati i valori dei seguenti parametri:

- temperatura dell'aria esterna [°C]
- irraggiamento solare su superfici orizzontali [$\frac{W}{m^2}$]
- irraggiamento solare su superfici verticali [$\frac{W}{m^2}$]

Tra le numerose fonti di dati climatici ad oggi disponibili, tra le più conosciute ed utilizzate ai fini delle simulazioni del comportamento energetico degli edifici vi sono il sistema Meteonorm [4], ed il portale della Commissione Europea JRC [5]. Il sistema Meteonorm è un sistema con scopi commerciali che combina fonti di dati affidabili e strumenti di calcolo, attraverso i quali fornisce l'accesso ad anni tipici e time-series di dati di oltre trentasei grandezze fisiche ambientali significative. Il Joint Research Centre (JRC) rappresenta il servizio scientifico della Commissione Europea che svolge attività di ricerca in dieci aree tecniche differenti al fine di fornire un servizio di consulenza scientifica indipendente a sostegno delle politiche dell'Unione Europea (UE). Con l'obiettivo di utilizzare dati climatici attendibili e reperibili pubblicamente, in questa attività è stato deciso di utilizzare il portale del JRC.

Il database messo a disposizione dal portale del JRC è strutturato in librerie temporali che coprono ciascuna un intervallo di dieci anni, tra cui 2004-2015, 2005-2016 e 2006-2017. I dati climatici ottenibili da ciascuna libreria sono molteplici ed ognuno definito con cadenza pari a sessanta minuti. Ogni libreria sfrutta l'intervallo di dati decennale per la composizione di 12 "mesi-tipo" statisticamente significativi. Interrogando il portale e specificando libreria/mese/giorno/ora di richiesta, si ottengono dunque i valori dei parametri climatici per la località di progetto. A scopo rappresentativo, in Tabella 6 si riporta la struttura delle 12 mensilità più rappresentative per la città di Palermo, ricavato dal JRC per la libreria 2006-2017.

Come accennato, i dati climatici messi a disposizione dal database sono molteplici; tra i dati disponibili, ai fini della presente attività, sono stati estratti quelli relativi a temperatura dell'aria esterna ed irraggiamento solare diretto su un piano orizzontale. Per ricavare l'irraggiamento solare diretto sul piano verticale con diverse orientazioni sfruttando il dato JRC dell'irraggiamento su piano orizzontale, è stato implementato un algoritmo su Python 3.0, riportato nell'Allegato A.2, e basato su note relazioni disponibili nella letteratura tecnico-scientifica per determinare l'irraggiamento solare diretto su superfici verticali orientate a Nord, Est, Sud ed Ovest.

Tabella 6 - Mesi più rappresentativi per la città di Palermo nell'arco temporale 2006-2017

Mese di riferimento	
1	Gennaio 2016
2	Febbraio 2008
3	Marzo 2013
4	Aprile 2015
5	Maggio 2010
6	Giugno 2015
7	Luglio 2015
8	Agosto 2007
9	Settembre 2012
10	Ottobre 2014
11	Novembre 2007
12	Dicembre 2007

I dati ricavati sono riportati nell'Allegato D e suddivisi per comuni di riferimento. Per ogni città vengono riportate le coordinate, la quota altimetrica, il periodo di riscaldamento stabilito secondo il dpr. 412/1993, il numero di ore di riscaldamento massimo giornaliero, i mesi di riferimento, i valori di temperatura esterna, l'irraggiamento su superficie orizzontale e quello su superfici verticale orientate come specificato sopra.

2.2 *Tipologie abitative residenziali da includere negli edifici campione*

Il panorama edilizio italiano si presenta estremamente eterogeneo, pertanto l'individuazione delle tipologie abitative di riferimento, cioè gli *"Edifici Campione"*, è scaturita da una indagine accurata, volta a classificare il patrimonio nazionale dell'edilizia residenziale attraverso alcuni parametri statistici.

Gli indicatori attraverso i quali è possibile classificare lo stock edilizio sono molteplici, dal periodo storico di costruzione, alla tipologia edilizia fino alla distribuzione sul territorio nazionale delle differenti tipologie in funzione delle zone climatiche. Pertanto, con l'obiettivo di ricavare una griglia di edifici campione, sono stati utilizzati strumenti di indagine statistica consolidati, quali i dati Istat ed alcune utili elaborazioni effettuate dell'Agenzia delle Entrate. In particolare, l'Istituto Nazionale di Statistica con cadenza decennale produce una serie di valutazioni su differenti tematiche, tra le quali rientra l'indagine su popolazione ed abitazioni. Per il presente report, sono stati considerati i dati ottenuti dai censimenti Istat 2011 [6] e 2001 [7] e da *"Statistiche Catastali"*, a cura della *Direzione Centrale Servizi Estimativi e Osservatorio Mercato Immobiliare dell'Agenzia delle Entrate* [8].

2.2.1 *Classificazione storica ed identificazione delle tipologie edilizie*

Lo stock catastale degli edifici in Italia consiste in circa 75 milioni di immobili suddivisi tra le specifiche categorie di appartenenza. Di questo stock sarà considerata esclusivamente la categoria catastale A, edifici a destinazione d'uso ordinario di tipo residenziale (da A/1 a A/9, e A/11) o studi professionali privati (A/10).

Tale categoria catastale rappresenta circa il 50% della totalità degli immobili, vale a dire 35 milioni di unità immobiliari [8] appartenenti a circa 12 milioni di edifici [3] distribuiti sul territorio nazionale secondo la rappresentazione di Figura 9. Da questi dati è possibile ricavare due classificazioni rappresentative, una che suddivide il patrimonio residenziale in funzione dell'epoca di costruzione ed una in base alle zone climatiche di appartenenza. In Figura 10 e Tabella 7, si riporta il numero di edifici residenziali presenti sul territorio nazionale italiano suddivisi in base al periodo di realizzazione.

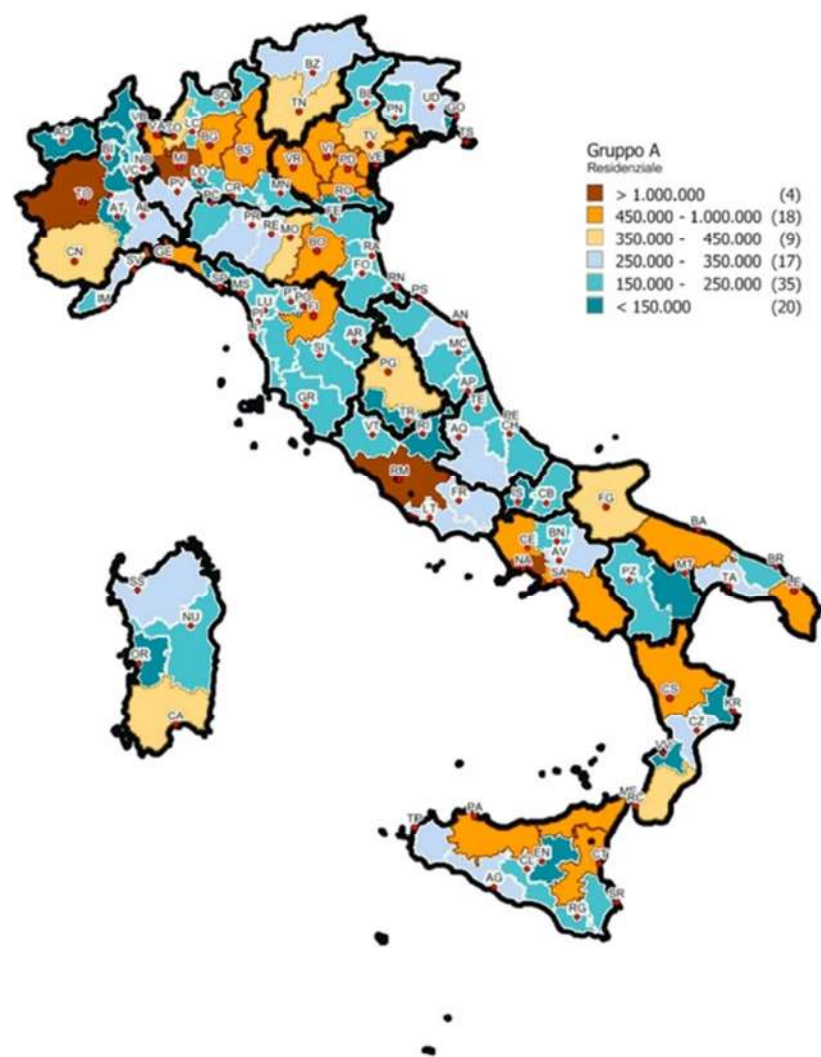


Figura 9 – Distribuzione dello stock residenziale sulle province italiane [8] rappresentata in scala cromatica

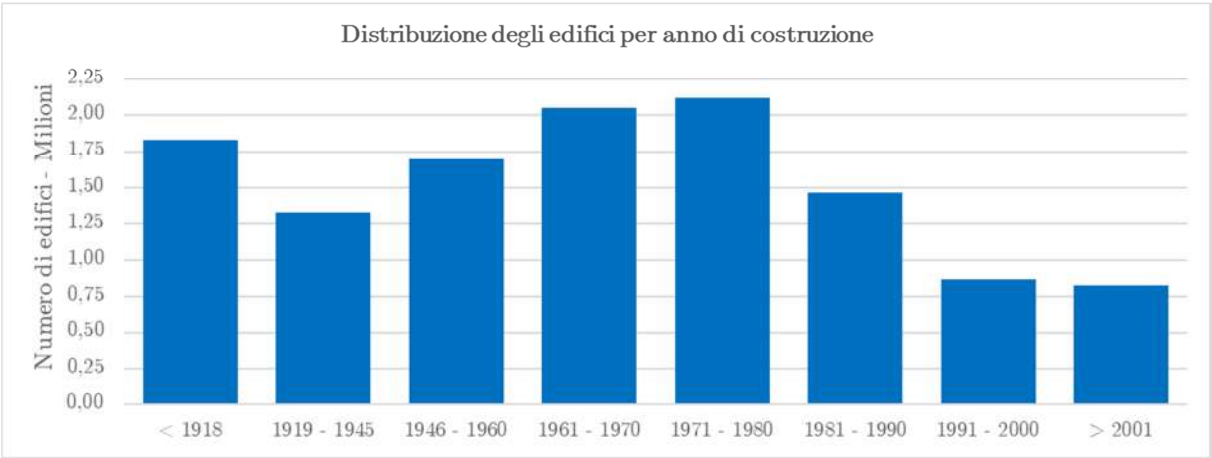


Figura 10 – Distribuzione stock residenziale in base all’epoca di costruzione

Tabella 7 - Divisione del patrimonio edilizio italiano in base all'epoca di costruzione

Epoca di costruzione	n. di Edifici	Percentuale
< 1918	1.832.504	15,0%
1919 - 1945	1.327.007	10,9%
1946 - 1960	1.700.836	14,0%
1961 - 1970	2.050.833	16,8%
1971 - 1980	2.117.651	17,4%
1981 - 1990	1.462.767	12,0%
1991 - 2000	871.017	7,1%
Totale	12.187.698	

Con i dati a disposizione è stato possibile effettuare una suddivisione dello stock di edifici residenziali per periodo di costruzione e per numero di unità abitative da cui ciascun edificio è composto. I risultati di tale suddivisione sono riportati in Figura 11.

Il periodo di costruzione risulta utile per identificare tecnologie costruttive comuni. L'informazione sul numero di unità abitative che compongono gli edifici è importante ai fini delle valutazioni del comportamento energetico della singola unità immobiliare, dato che cambiano significativamente le condizioni a contorno rispetto alla stessa unità abitativa ubicata in edificio unifamiliare. Per il motivo appena indicato, l'analisi è completata con la suddivisione dello stock di edifici per periodo di costruzione e per numero di edifici adiacenti all'edificio considerato. I risultati di tale suddivisione sono riportati in Figura 12. Nelle Tabelle 8 e 9 sono riportati alcuni dati significativi relativi alle suddivisioni appena descritte.

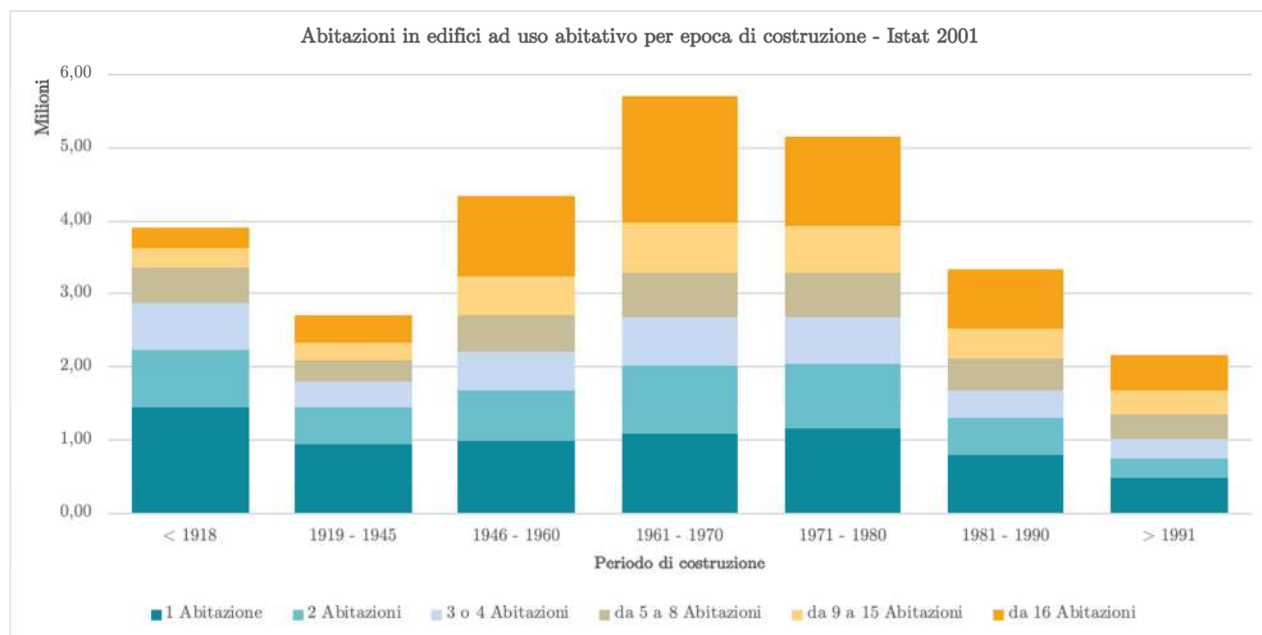


Figura 11 – Abitazioni in edifici ad uso abitativo per epoca di costruzione e numero di unità abitative presenti nell'edificio - Italia - Censimento Istat 2001

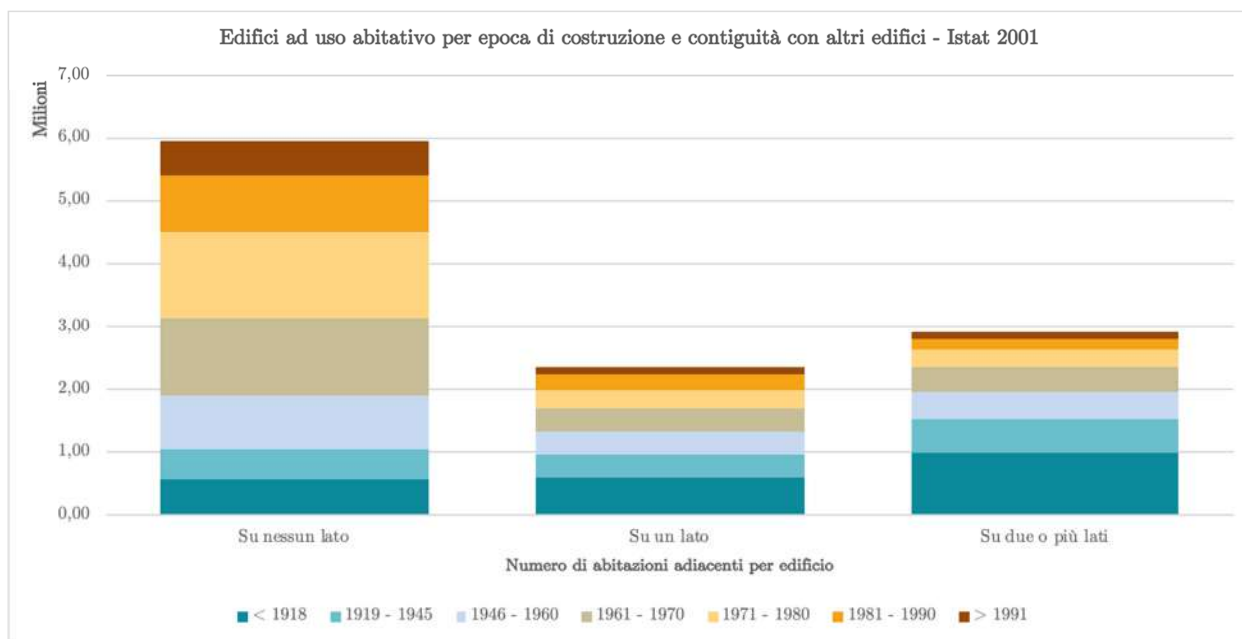


Figura 12 – Edifici ad uso abitativo per epoca di costruzione e contiguità con altri edifici - Italia – Censimento Istat 2001

Tabella 8 - N° di unità abitative in edifici residenziali per epoca di costruzione e per numero di abitazioni totali nell'edificio

Epoca di costruzione	Numero di abitazioni nell'edificio						Totale
	1	2	3 o 4	da 5 a 8	da 9 a 15	16 o più	
< 1918	1.448.689	780.026	649.496	467.402	276.661	271.293	3.893.567
1919 - 1945	943.834	496.094	370.514	278.667	228.277	387.583	2.704.969
1946 - 1960	992.693	693.408	512.722	506.505	535.654	1.092.900	4.333.882
1961 - 1970	1.090.224	930.896	658.883	595.151	702.352	1.729.877	5.707.383
1971 - 1980	1.154.008	884.432	648.226	606.093	631.516	1.218.665	5.142.940
1981 - 1990	796.196	497.944	386.837	419.996	413.948	809.873	3.324.794
> 1991	476.444	278.056	251.915	349.947	329.309	475.674	2.161.345
Totale	6.902.088	4.560.856	3.478.593	3.223.761	3.117.717	5.985.865	27.268.880

Tabella 9 - N° di edifici residenziali per epoca di costruzione e contiguità con altri edifici

Epoca di costruzione	Contiguità con altri edifici			
	Su nessun lato	Su un lato	Su due o più lati	Totale
< 1918	571.645	602.013	976.601	2.150.259
1919 - 1945	485.305	366.529	531.981	1.383.815
1946 - 1960	847.692	363.672	448.465	1.659.829
1961 - 1970	1.226.007	350.512	391.438	1.967.957
1971 - 1980	1.364.366	325.055	293.785	1.983.206
1981 - 1990	893.762	226.281	170.459	1.290.502
> 1991	566.309	135.390	89.328	791.027
Totale	5.955.086	2.369.452	2.902.057	11.226.595

2.2.2 Classificazione del patrimonio edilizio secondo le zone climatiche

Il Piano di Azione Italiano per l'Efficienza Energetica (PAIEE 2017) riporta la suddivisione dello stock edilizio in base alla zona climatica di appartenenza. Tale strumento ha consentito l'analoga ripartizione in base alle zone climatiche di progetto, utili ai fini della presente attività e definite nei paragrafi precedenti. In Tabella 10 sono riportati i valori numerici ottenuti dalla ripartizione. In Tabella 10 si riportano, per completezza anche i valori relativi alla distribuzione della popolazione già indicati in Tabella 1.

Tabella 10 - Divisione del patrimonio edilizio italiano in base alla zona climatica di appartenenza

Zona Climatica	n. di Edifici	Percentuale	n. di Abitanti	Percentuale
A	4.875	0,04%	23.266	0,04%
B	699.573	5,74%	3.217.288	5,33%
C	2.719.544	22,30%	12.826.700	21,25%
D	2.858.016	23,43%	15.168.668	25,13%
E	5.191.960	42,57%	27.482.108	45,53%
F	722.730	5,93%	1.641.892	2,72%
Totale	12.196.698		60.359.922	

Osservando i dati di Tabella 10, è possibile notare come le distribuzioni percentuali della popolazione per le varie zone climatiche siano simili a quelle del numero di edifici. Questa considerazione conferma la ragionevolezza della suddivisione del territorio nazionale adottata in questo studio, nelle 4 zone climatiche di progetto. Quest'ultimo aspetto risulta chiaro analizzando la Figura 13, nella quale si riporta la suddivisione dello stock edilizio in base alle zone climatiche di progetto, definite nell'ambito della presente attività.

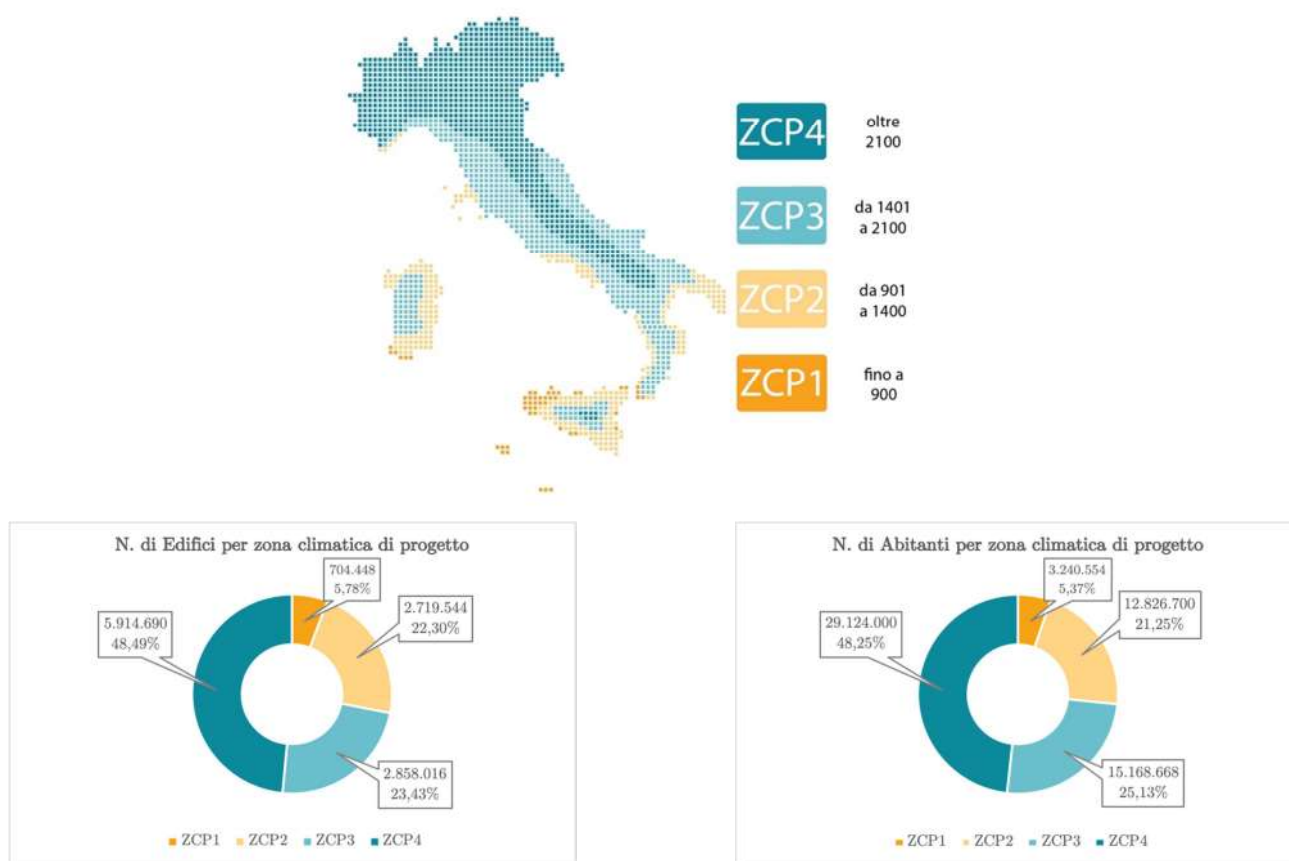


Figura 13 – Distribuzione del numero di edifici ed abitanti per le zone climatiche di progetto

2.2.3 Classificazione del patrimonio edilizio secondo il rapporto S/V

Il patrimonio edilizio esistente come valutato nei paragrafi precedenti ha un carattere estremamente eterogeneo, pertanto, con l'obiettivo di stabilire le tipologie residenziali da prendere come modelli di riferimento per le successive analisi energetiche dinamiche risulta necessario individuare una serie di edifici campione, che siano sufficientemente rappresentativi anche in termini di rapporto tra superficie disperdente e volume lordo dell'edificio (rapporto S/V).

I dati riportati nella Tabella 8 segnalano un totale di 6.902.088 edifici associati a unità abitative di tipo monofamiliare, cumulativamente realizzate nelle varie epoche considerate. Analogamente, si può evidenziare un totale di 8.039.449 edifici composti da due fino a quattro unità immobiliari, che potranno essere affiancate lateralmente o impilate. Infine, si possono evidenziare un totale di 6.341.478 edifici classificabili come condomini di piccole dimensioni (da cinque fino a quindici unità abitative) e un totale di 5.985.865 edifici classificabili come condomini di grandi dimensioni (sedici o più unità abitative).

Le tipologie edilizie indicate possono essere considerate rappresentative dei valori maggiormente ricorrenti, nel patrimonio edilizio residenziale nazionale esistente, del parametro S/V definito dalla legislazione italiana come: il rapporto tra la superficie (espressa in m^2) che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non climatizzati) il volume lordo climatizzato dell'edificio (o dell'unità immobiliare V) ed il volume lordo delle parti di edificio riscaldate (espresso in m^3).

A parità di località di ubicazione, di volume lordo e di soluzione costruttiva dell'involucro edilizio, un edificio compatto con minor superficie disperdente necessiterà ovviamente di una minor quantità di energia termica per essere mantenuto ad un fissato livello di temperatura dell'aria interna.

Per evitare di indagare tutte le tipologie costruttive realmente esistenti, è stata selezionata una serie di edifici in base alla loro distribuzione sul territorio nazionale ed al rapporto S/V.

In particolare, con l'obiettivo di identificare un set di edifici campione significativo, sono state considerate le seguenti quattro configurazioni tipologiche:

- Unità Abitativa Monofamiliare – UAM;
- Unità Abitativa a Schiera con edificio contiguo su 1 Lato (testa della schiera) – UAS1L;
- Unità Abitativa a Schiera con edificio contiguo su 2 Lati (centro della schiera) – UAS2L;
- Unità Abitativa inserita in un Condominio – UAC.

Considerando in maniera esemplificativa i volumi lordi come prismi con basi rettangolari, si evidenzia che la tipologia UAM presenta sei superfici disperdenti, le tipologie UAS1L e UAS2L rispettivamente cinque e quattro superfici disperdenti. Per la tipologia UAC sono state considerate due superfici disperdenti (unità abitativa a piano intermedio dell'edificio con vano scala riscaldato). Per completezza di indagine è stato considerato anche il caso limite di UAC con un'unica superficie disperdente.

Al fine di creare il set di edifici campione, alle tipologie edili identificate sono state attribuite delle caratteristiche geometriche e successivamente delle caratteristiche costruttive dell'involucro edilizio. L'attribuzione delle caratteristiche geometriche è stata effettuata prelevandole da database di riconosciuto valore scientifico quali: Progetto TABULA, al Progetto EPISCOPE [9] e Allegato D del Report RdS/2014/107 di ENEA [10]. In questi database sono presenti le caratteristiche geometriche relative a epoche costruttive significative per le tipologie edili considerate, in base ai risultati ottenuti dalle analisi precedenti, in particolare sintetizzati in Tabella 8 ed in Figura 11.

2.2.4 Cenni ai progetti TABULA e EPISCOPE

Le caratteristiche geometriche e costruttive maggiormente rappresentative del patrimonio edilizio residenziale nazionale ed europeo esistente sono state riportate in alcuni database diventati di riferimento per la comunità scientifica.

Uno di questi è il database proposto dal Progetto TABULA. Tale progetto, finanziato dal programma europeo Intelligent Energy Europe (IEE), è stato sviluppato tra il 2009 ed il 2012 con l'obiettivo di creare una struttura armonizzata degli edifici maggiormente rappresentativi del costruito con destinazione residenziale su scala europea, suddividendo i risultati per nazione di appartenenza. In particolare per ogni nazione, ciascun edificio riportato risulta rappresentativo di una tipologia edilizia e di un periodo storico. Ogni edificio è caratterizzato da specifiche dimensioni e da una serie di soluzioni costruttive che riguardano sia l'involucro edilizio che il sistema impiantistico. Tra il 2013 ed il 2016 il database è stato aggiornato attraverso il Progetto EPISCOPE, anch'esso finanziato dal programma europeo IEE.

Oltre alla definizione degli edifici rappresentativi, entrambi i progetti si occupano della definizione di due strategie di intervento denominate *"tipica"* ed *"avanzata"*, finalizzate al retrofit degli edifici rappresentativi in modo da suggerire un approccio standardizzato al miglioramento delle performance energetiche degli stessi. I principali risultati ottenuti, rivolti ad esperti di analisi di scenario o consulenti energetici, sono sintetizzabili nei seguenti punti principali:

- sviluppo di una matrice tipologica di edifici in funzione della tipologia edilizia ed impiantistica;
- identificazione delle caratteristiche costruttive di involucro ed impianti associate ai casi che compongono la matrice tipologica;
- sviluppo di un Webtool delle tipologie edilizie, consultabile online all'indirizzo <http://webtool.building-typology.eu/>.

Attraverso il Webtool online, riportato in Figura 14, per ognuno degli edifici presenti nella matrice tipologica, è possibile ricavare i dati caratterizzati l'edificio attraverso documentazione scaricabile e modificabile. A titolo di esempio, con riferimento alla Figura 14, selezionando sul Webtool la classe cinque (1961-1975) per unità abitativa monofamiliare, in funzione della tipologia di impianto e delle soluzioni tecniche costruttive dell'involucro è possibile ricavare gli output riportati in Figura 15 e relativi alle prestazioni energetiche dell'edificio.

CLASSE DI DIMENSIONE EDILIZIA				
Area climatica media	CASE MONOFAMILIARI	CASE A SCHIERA	EDIFICI MULTIFAMILIARI	BLOCCHI DI APPARTAMENTI
1 Fino al 1900				
2 1901-1920				
3 1921-1945				
4 1946-1960				
5 1961-1975				
6 1976-1990				
7 1991-2005				
8 Dopo il 2005				

Figura 14 – Matrice tipologica dell’edilizia italiana con illustrazione degli edifici tipo presente nel database del progetto EPISCOPE.

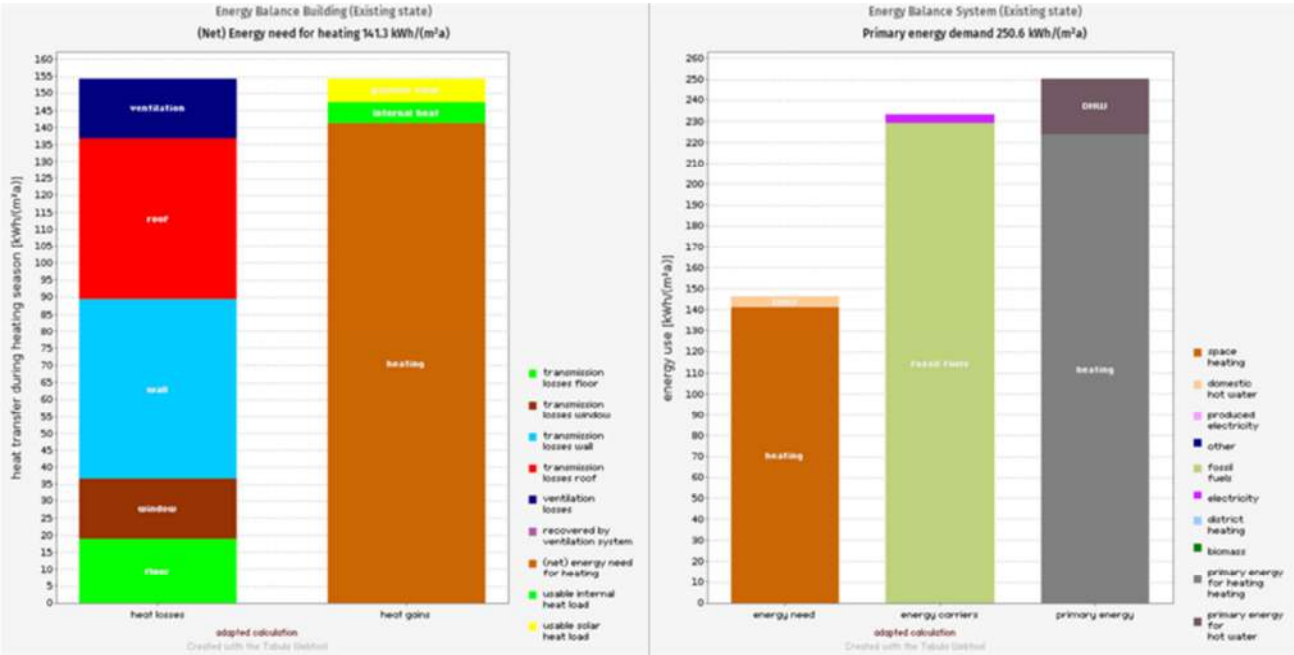


Figura 15 – Output del webtool, riferito alle prestazioni energetiche di un edificio monofamiliare costruito nell’epoca 1961-1975 prima di intervento di retrofit

Quindi, indicando la classe di retrofit tra una serie di classi predefinite, ad ognuna delle quali corrisponde una serie di interventi migliorativi specifici (p.e. realizzazione di cappotto esterno su pareti e copertura, aumento dell'efficienza dell'impianto di riscaldamento e/o di produzione di acqua calda sanitaria, etc.) possono essere estratti dal webtool i consumi energetici annui previsti nella stato post-retrofit, ottenendo un immediato confronto con quelli pre-retrofit (si veda Figura 16).

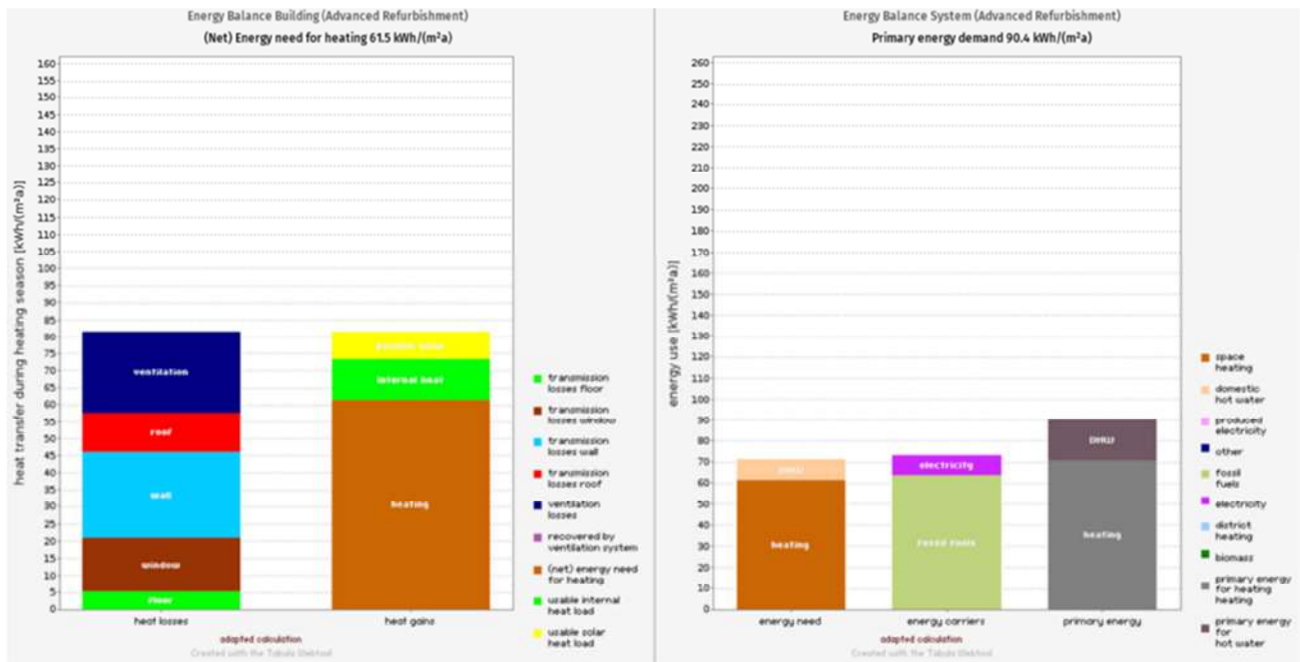


Figura 16 – Output del webtool, riferito alle prestazioni energetiche di un edificio monofamiliare costruito nell'epoca 1961-1975 post intervento di retrofit.

Per completezza nell'abaco delle tipologie edilizie [9], ottenuto dai suddetti progetti e con riferimento all'edificio rappresentativo scelto come esempio in questo paragrafo, si può estrapolare una scheda tecnica specifica completa, riportata in Figura 17, contenente le caratteristiche geometriche/volumetriche degli elementi costruttivi iniziali, della tipologia impiantistica iniziale, delle due soluzioni migliorative ed infine un report delle prestazioni energetiche nello stato pre-retrofit, post-retrofit di livello standard e post-retrofit di livello avanzato.

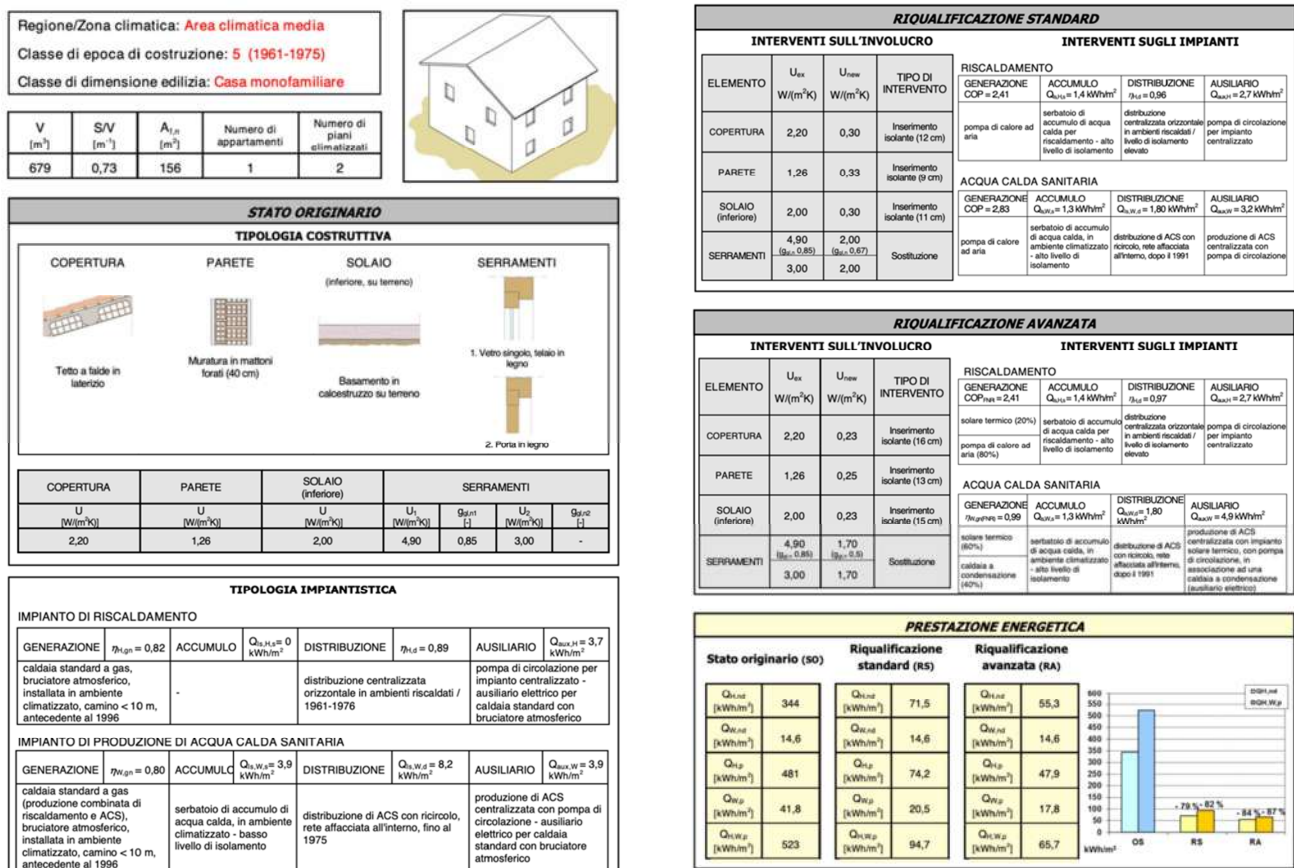


Figura 17 – Esempio dei dati informativi di un edificio monofamiliare costruito nell'epoca 1961-1975

2.2.5 Caratteristiche geometriche attribuite alle tipologie edilizie analizzate

Nei paragrafi seguenti, ai fini della costituzione degli edifici campione, per le tipologie edilizie identificate nel paragrafo 2.2.3 (UAM, UAS1L, UAS2L, UAC) vengono precisate le caratteristiche geometriche (volume lordo, volume netto, superficie netta, superficie disperdente, rapporto S/V, superfici finestrate, etc. si veda Allegato B) considerate nel presente studio, estratte dai database descritti nel paragrafo precedente.

Si precisa che all'interno dell'Allegato B al presente report sono inserite le schede tecniche complete degli edifici campione considerati. Per completezza, nell'Allegato E sono riportate le schede tecniche complete estrapolate dal Webtool TABULA/EPISCOPE relativamente alle tipologie edilizie considerate.

2.2.5.1 Caratteristiche geometriche unità abitativa monofamiliare - UAM

Attraverso l'indagine statistica dai dati Istat ed analoghi, precedentemente descritta, è stata scelta come epoca costruttiva maggiormente rappresentativa per la tipologia UAM quella compresa tra l'anno 1961 ed il 1970. In ogni caso, confrontando le caratteristiche geometriche e costruttive delle tre epoche più rappresentative (pre 1918, da 1961 a 1970, da 1971 a 1980) indicate nei database TABULA/EPISCOPE si osserva una forte somiglianza. Quindi, interrogando il webtool TABULA/EPISCOPE per la tipologia edilizia italiana unifamiliare con periodo di realizzazione 1961-1970 sono state ottenute le caratteristiche geometriche e costruttive indicate con il codice "IT.MidClim.SFH.05.Gen.ReEx.001.001". Tra queste, le caratteristiche geometriche sono state associate alla tipologia UAM, componendo il primo edificio campione considerato nel presente lavoro. Le caratteristiche geometriche complete per l'edificio campione di tipologia UAM sono contenute nell'Allegato B. Alcuni dei valori riportati per ciascun edificio nell'Allegato B sono stati calcolati a partire dai dati estratti dal webtool TABULA/EPISCOPE. I dati così come estratti dal webtool TABULA/EPISCOPE sono riportati nell'Allegato E.

2.2.5.2 Caratteristiche geometriche unità abitativa a schiera – UAS1L

Le caratteristiche geometriche di questa tipologia edilizia sono state attribuite in maniera analoga a quanto descritto nel paragrafo precedente per la tipologia UAM. In questo caso interrogando il webtool TABULA/EPISCOPE per la tipologia edilizia italiana a schiera UAS1L, con 1 unità abitativa attigua e periodo di realizzazione 1976-1990, sono state ottenute le caratteristiche geometriche e costruttive indicate con il codice *"IT.MidClim.TH.06.Gen.ReEx.001.001"*. Tra queste, le caratteristiche geometriche sono state associate alla tipologia UAS1L, componendo il secondo edificio campione considerato nel presente lavoro. Le caratteristiche geometriche complete per l'edificio campione di tipologia UAS1L sono contenute nell'Allegato B. Alcuni dei valori riportati per ciascun edificio nell'Allegato B sono stati calcolati a partire dai dati estratti dal webtool TABULA/EPISCOPE. I dati così come estratti dal webtool TABULA/EPISCOPE sono riportati nell'Allegato E.

Per questa tipologia abitativa, il dato riportato nella tabella relativamente alla superficie delle pareti esterne è netto rispetto alla parete delimitante dall'unità abitativa adiacente, questa considerazione si ricava confrontando i risultati del progetto Tabula e del Report RdS/2014/107.

2.2.5.3 Caratteristiche geometriche unità abitativa a schiera – UAS2L

Le caratteristiche geometriche per questa tipologia edilizia sono state attribuite in maniera analoga a quanto descritto nel paragrafo relativo alla tipologia UAM. In questo caso interrogando il webtool TABULA/EPISCOPE per la tipologia edilizia italiana a schiera UAS2L, con 2 unità abitative attigue e periodo di realizzazione 1976-1990, sono state ottenute le caratteristiche geometriche e costruttive indicate con il codice *"IT.MidClim.TH.05.Gen.ReEx.001.001"*. Tra queste, le caratteristiche geometriche sono state associate alla tipologia UAS2L, componendo il terzo edificio campione considerato nel presente lavoro. Le caratteristiche geometriche complete per l'edificio campione di tipologia UAS2L sono contenute nell'Allegato B. Alcuni dei valori riportati per ciascun edificio nell'Allegato B sono stati calcolati a partire dai dati estratti dal webtool TABULA/EPISCOPE. I dati così come estratti dal webtool TABULA/EPISCOPE sono riportati nell'Allegato E.

Per questa tipologia abitativa, il dato riportato in nella tabella relativamente alla superficie delle pareti esterne è netto rispetto alle pareti delimitanti dalle unità abitative adiacenti, questa considerazione si ricava confrontando i risultati del progetto Tabula e del Report RdS/2014/107.

2.2.5.4 Caratteristiche geometriche unità abitativa a schiera – UAC

Le caratteristiche geometriche di questa tipologia edilizia sono state attribuite in maniera analoga a quanto descritto nel paragrafo relativo alla tipologia UAM. In questo caso interrogando il webtool TABULA/EPISCOPE per la tipologia edilizia italiana a schiera UAC con periodo di realizzazione 1976-1990, sono state ottenute le caratteristiche geometriche e costruttive indicate con il codice *"IT.MidClim.AB.06.Gen.ReEx.001.001"*. Tra queste, le caratteristiche geometriche sono state associate alla tipologia UAC, componendo il quarto edificio campione considerato nel presente lavoro. Le caratteristiche geometriche complete per l'edificio campione di tipologia UAC sono contenute nell'Allegato B. Alcuni dei valori riportati per ciascun edificio nell'Allegato B sono stati calcolati a partire dai dati estratti dal webtool TABULA/EPISCOPE. I dati così come estratti dal webtool TABULA/EPISCOPE sono riportati nell'Allegato E.

In questo caso, i dati ricavabili dalla documentazione dei progetti TABULA ed EPISCOPE sono relativi all'intero edificio condominiale, di conseguenza per ricavare le misure di riferimento per la singola unità abitativa da climatizzare attraverso un impianto a pompa di calore è necessario introdurre alcune ipotesi.

Sintesi delle ipotesi effettuate per la singola unità abitativa (u.a.):

- Ad ogni livello dell'immobile corrispondono 8 unità abitative (ottenute dal rapporto fra il numero totale delle u.a. indicate nel database TABULA/EPISCOPE ed il numero di piani dell'edificio dichiarati nello stesso database).
- Sono stati considerati sviluppi planimetrici rettangolari delle u.a. e l'orientazione dell'edificio indicata nel database TABULA/EPISCOPE; sono stati inoltre considerati due corpi scala necessari a raggiungere le unità abitative disposte a gruppi di quattro.
- L'unità abitativa considerata è posizionata ad un piano intermedio dell'edificio e disposta in una posizione d'angolo dell'edificio.
- I due prospetti esposti all'ambiente esterno sono stati considerati quelli Ovest ed Sud.
- Le pareti verticali della u.a. sui lati Nord ed Est si ipotizzano di separazione da altre u.a. riscaldate, così come i solai interpiano.
- La superficie interna netta della u.a. è stata fissata come rapporto tra la superficie netta totale dell'edificio e il numero complessivo delle u.a., indicati nel database TABULA/EPISCOPE.
- Il volume interno netto della u.a. è stato fissato come il prodotto tra la superficie netta e l'altezza netta di 2,7 m.
- Dai dati geometrici relativi alle superfici dell'intero edificio riportati nel database TABULA/EPISCOPE, l'intero stabile ha 4,50 m² di superficie finestrata esposta a Sud. Questa superficie è piuttosto esigua, e se suddivisa nelle 12 u.a. che si affacciano sul prospetto Sud, si ottengono 0,375 m² per ogni u.a.
- Il prospetto Ovest dell'edificio presenta un totale di 185,90 m² di superficie finestrata, su tale prospetto si affacciano 24 u.a. (le altre 24 sul prospetto Est). Da questo valore, supponendo una distribuzione uniforme per tutte le u.a., si ricava una superficie finestrata di 7,75 m² per u.a.
- Per completare le informazioni geometriche utili ad effettuare simulazioni del comportamento energetico, è stata schematizzata una soluzione planimetrica rappresentativa della u.a. oggetto di indagine, indicata in Figura 18. Per completezza è stata effettuata anche la seguente verifica. Supponendo una suddivisione in ambienti quali ingresso e disimpegno, bagno, camera da letto e zona soggiorno cucina si ottiene un'area di riferimento per le superfici che richiedono il rispetto dell'indice relativo agli apporti illuminanti (pari a 1/8 della superficie netta) pari a 63,10 m² (10 mq assegnati a disimpegno e zona di ingresso). Da ciò si ottiene una superficie finestrata minima di 7,89 m² inferiore alla somma delle superfici finestrate attribuite complessivamente alla u.a. che risulta pari a 8,125 m².

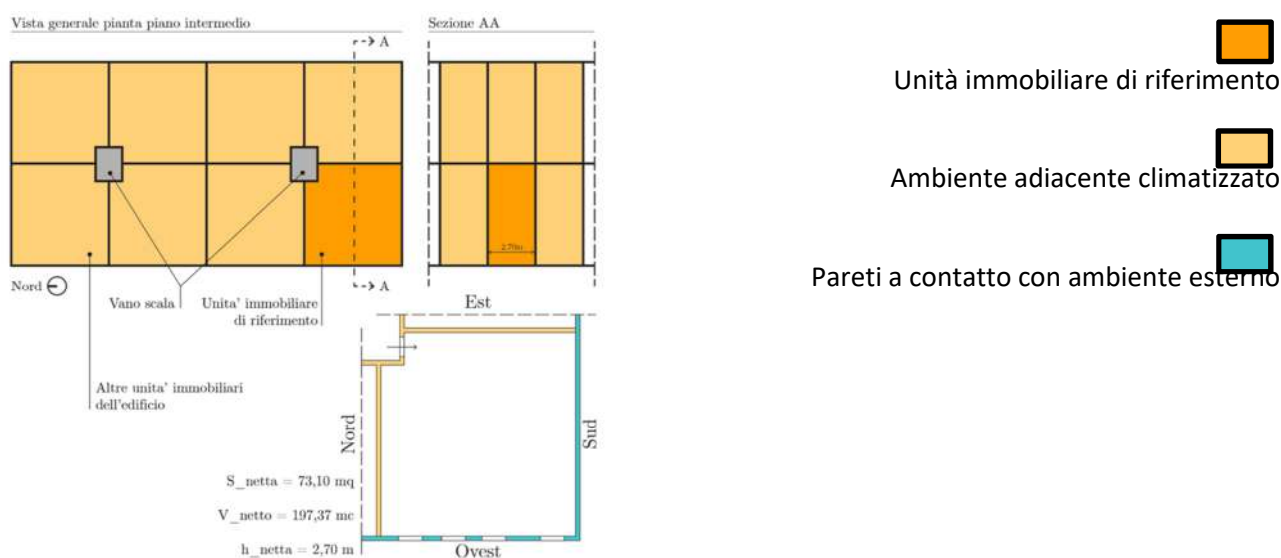


Figura 18 – Identificazione e schematizzazione di una singola unità abitativa interna ad un condominio di 48 appartamenti

- Definita la superficie totale dell'appartamento pari a $73,10 \text{ m}^2$ ed ipotizzando che esso abbia forma rettangolare con lato minore $8,0 \text{ m}$, il lato maggiore risulta di circa $9,14 \text{ m}$. Nota l'altezza netta di interpiano pari a $2,70 \text{ m}$ e considerando ulteriori $0,30 \text{ m}$ corrispondenti a due volte la metà dello spessore attribuito ai solai superiore e inferiore, è stata ricavata la superficie totale delle pareti opache esterne pari a $43,28 \text{ m}^2$, già decurtata della superficie finestrata.
- Il rapporto S/V della singola u.a., calcolato distribuendo in modo omogeneo il volume complessivo dell'interno immobile sui 48 u.a. , risulta pari a $0,20 \text{ m}^{-1}$.

2.3 Soluzioni costruttive dell'involucro da attribuire agli edifici campione

Nei paragrafi successivi sono descritte le modalità di selezione delle soluzioni costruttive per l'involucro edilizio che saranno attribuite agli edifici campione, tenendo in considerazione l'obiettivo di valutarne il comportamento energetico dinamico. Le modalità di selezione sono tali da poter includere soluzioni costruttive sufficientemente rappresentative dell'intero stock di edifici residenziali esistenti su base nazionale. Tra le soluzioni selezionate sono state inserite, per completezza, anche alcune soluzioni la cui diffusione è limitata ad un periodo piuttosto recente ma in deciso aumento, quali pareti leggere realizzate con tecniche "a secco".

2.3.1 Soluzioni costruttive per le pareti perimetrali orizzontali e verticali opache

Anche per la selezione delle soluzioni costruttive per le pareti perimetrali orizzontali e verticali opache, è stata effettuata un'analisi dei dati riportati nel database TABULA/EPISCOPE. In particolare, confrontando le differenti epoche di costruzione, si riscontra una importante variazione nelle soluzioni costruttive e nei materiali impiegati. Il passaggio dalle strutture in muratura portante alle strutture intelaiate in calcestruzzo armato ha portato con sé anche l'introduzione di tamponature in laterizi forati, che manifestano performance termiche significativamente differenti rispetto a pareti piene in pietra. I parametri termofisici maggiormente caratterizzanti le differenti soluzioni costruttive sono senza dubbio la resistenza termica e la capacità termica della singola parete e le loro distribuzioni nei vari strati utilizzati per comporre la parete stessa, sia essa orizzontale o verticale.

Per definire le soluzioni costruttive da attribuire agli edifici campione, si è proceduto prima identificando le soluzioni maggiormente diffuse nell'edilizia residenziale nazionale esistente, suddivise per tipo di parete (orizzontale di copertura, orizzontale a terra, orizzontale interpiano, verticale verso esterno, etc.). Successivamente, combinando le soluzioni identificate per i differenti tipi di parete, sono stati identificati "cluster" di soluzioni maggiormente rappresentative, che hanno permesso la completa definizione dell'involucro opaco degli edifici campione.

Le soluzioni costruttive individuate come maggiormente diffuse, dall'analisi del database TABULA/EPISCOPE, suddivise per tipologia di parete sono le seguenti:

- Solaio contro-terra – 2 tipologie - S_{c_terra} :
 - Solaio contro-terra in calcestruzzo - $S_{c_terra,01}$
 - Solaio in latero-cemento - $S_{c_terra,02}$
- Solaio di interpiano – 2 tipologie – S_{int} :
 - Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte - $S_{int,01}$
 - Solaio in legno con travicelli e tavolato - $S_{int,02}$
- Solaio di copertura – 2 tipologie - S_{cop} :
 - Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte - $S_{cop,01}$
 - Solaio in legno con travicelli e tavolato - $S_{int,02}$
- Pareti involucro esterno - 6 tipologie - P_{env} :
 - Pareti in pietra - $P_{env,pietra}$
 - Pareti in laterizi forati prive di isolamento - $P_{env,lat,01}$

- Pareti in laterizi forati con cappotto esterno - $P_{env,lat,02}$
- Pareti in laterizi forati con cappotto intermedio - $P_{env,lat,03}$
- Pareti in laterizi forati con cappotto interno - $P_{env,lat,04}$
- Pareti leggere in legno con cappotto esterno ed interno - $P_{env,legno}$
- Pareti Tramezzature Interne – 3 tipologie – T_{int} :
 - Tramezzature in laterizi pieni - $T_{int,01}$
 - Tramezzature in laterizi forati - $T_{int,02}$
 - Tramezzature leggere con isolante - $T_{int,03}$

I cluster, ovvero le combinazioni delle pareti maggiormente diffuse per ottenere gli involucri completi degli edifici campione sono riportati in Tabella 11. Per la determinazione dei valori di resistenza termica, capacità termica, caratteristiche dimensionali e costruttive si è fatto riferimento ai dati riportati all'interno dell'Allegato D al report RdS realizzato da ENEA [10], al TABULA/EPISCOPE ed alla UNI/TR 11552 dell'ottobre 2014 [11]. Come è possibile osservare dalla Tabella 11, sono stati individuati 8 cluster maggiormente rappresentativi.

Tabella 11 - Definizione dei Cluster - combinazioni delle soluzioni costruttive

Codice Set	Tipologia Elemento	Descrizione Elemento	Codice Elemento
C_01	Solaio contro-terra	Solaio contro-terra in calcestruzzo	$S_{c_terra,01}$
	Solaio interpiano	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{int,01}$
	Solaio copertura	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{cop,01}$
	Involucro esterno	Pareti in pietra	$P_{env,pietra}$
	Tramezzature	Tramezzature in laterizi pieni	$T_{int,01}$
C_02	Solaio contro-terra	Solaio contro-terra in calcestruzzo	$S_{c_terra,01}$
	Solaio interpiano	Solaio in legno con travicelli e tavolato	$S_{int,02}$
	Solaio copertura	Solaio in legno con travicelli e tavolato	$S_{cop,02}$
	Involucro esterno	Pareti in pietra	$P_{env,pietra}$
	Tramezzature	Tramezzature in laterizi pieni	$T_{int,01}$
C_03	Solaio contro-terra	Solaio in latero-cemento	$S_{c_terra,02}$
	Solaio interpiano	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{int,01}$
	Solaio copertura	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{cop,01}$
	Involucro esterno	Pareti in pietra	$P_{env,pietra}$
	Tramezzature	Tramezzature in laterizi forati	$T_{int,02}$
C_04	Solaio contro-terra	Solaio in latero-cemento	$S_{c_terra,02}$
	Solaio interpiano	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{int,01}$
	Solaio copertura	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{cop,01}$
	Involucro esterno	Pareti in laterizi forati prive di isolamento	$P_{env,lat,01}$
	Tramezzature	Tramezzature in laterizi forati	$T_{int,02}$
C_05	Solaio contro-terra	Solaio in latero-cemento	$S_{c_terra,02}$
	Solaio interpiano	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{int,01}$
	Solaio copertura	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{cop,01}$
	Involucro esterno	Pareti in laterizi forati con cappotto esterno	$P_{env,lat,02}$
	Tramezzature	Tramezzature in laterizi forati	$T_{int,02}$

C_06	Solaio contro-terra	Solaio in latero-cemento	$S_{c_terra,02}$
	Solaio interpiano	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{int,01}$
	Solaio copertura	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{cop,01}$
	Involucro esterno	Pareti in laterizi forati con cappotto intermedio	$P_{env,lat,03}$
	Trametzature	Trametzature in laterizi forati	$T_{int,02}$
C_07	Solaio contro-terra	Solaio in latero-cemento	$S_{c_terra,02}$
	Solaio interpiano	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{int,01}$
	Solaio copertura	Solaio in latero-cemento travicelli e pignatte	$S_{cop,01}$
	Involucro esterno	Pareti in laterizi forati con cappotto interno	$P_{env,lat,04}$
	Trametzature	Trametzature in laterizi forati	$T_{int,02}$
C_08	Solaio contro-terra	Solaio in latero-cemento	$S_{c_terra,02}$
	Solaio interpiano	Solaio in legno con travicelli e tavolato	$S_{int,02}$
	Solaio copertura	Solaio in legno con travicelli e tavolato	$S_{cop,02}$
	Involucro esterno	Pareti leggere in legno x-lam con cappotto esterno ed interno	$P_{env,legno}$
	Trametzature	Trametzature leggere con isolante	$T_{int,03}$

Le caratteristiche termofisiche delle pareti che compongono i vari cluster sono riportate nell'Allegato C al presente report. Le caratteristiche di resistenza termica e capacità termica sono state ricavate sfruttando i dati riportati nella norma UNI/TR 11552. In particolare, per le definizioni di resistenza termica e capacità termica si rimanda alla ben nota norma UNI EN ISO 6946 [12].

2.3.2 Distribuzione delle tramezzature interne

Al fine della determinazione della distribuzione degli elementi divisorii interni alle unità abitative, si evidenzia che nei database utilizzati nel presente studio non sono presenti planimetrie specifiche degli edifici analizzati dalle quali sia possibile dedurre la superficie delle tramezzature interne. Di conseguenza, per considerare il contributo in regime dinamico degli elementi divisorii interni, è stato deciso di considerare 1 m² di tramezzature ogni metro quadrato di superficie utile netta interna.

2.3.3 Soluzioni costruttive per le superfici finestrate

Per quanto concerne le superfici finestrate, composte di superficie vetrata e telaio di supporto, con l'obiettivo di non introdurre ulteriori elementi di differenziazione per gli edifici campione, si è scelto di utilizzare una singola soluzione costruttiva per le superfici finestrate, largamente diffusa su tutto il territorio nazionale, consistente in un vetro doppio con intercapedine d'aria (4-8-4) caratterizzato da una emissività normale inferiore a 0,1 ed una trasmittanza termica pari a 2,2 W/m²K; telaio in legno morbido tipo abete di spessore pari a 60 mm avente una trasmittanza termica pari a 1,8 W/m²K. Definite le proprietà dei singoli elementi che compongono l'elemento finestrato, attraverso il Prospetto B.3 della UNI TS 11300-1 è stato identificato il valore di trasmittanza termica della superficie finestrata (U_{fin}), considerando che la porzione di infisso incide per circa il 20% della superficie totale. Tale valore risulta pari globale pari a 2,3. In accordo con il prospetto B.5 della UNI TS 11300-1, alla tipologia di vetro identificata (vetro doppio normale) è inoltre associato un valore di trasmittanza di energia solare g_{gl} , pari a 0,75.

2.4 Profili di occupazione degli edifici campione e andamento giornaliero degli apporti termici interni

Nella definizione di modelli semplificati da utilizzare per la previsione del comportamento energetico dinamico di un edificio, l'attenzione ai profili temporali di occupazione dell'edificio da parte degli utenti risulta di grande importanza [13]. Essi infatti influiscono sia sui valori delle grandezze ambientali che debbono essere mantenuti all'interno degli edifici (uno su tutti: il valore della temperatura dell'aria interna che, per la stagione invernale, nel caso in cui l'edificio sia occupato viene generalmente considerato pari a 20 °C), sia sugli apporti termici interni generati nell'edificio (ad esempio per l'uso di dispositivi elettronici, del sistema di illuminazione artificiale, per la presenza stessa degli utenti, etc.).

Con il termine "profilo di occupazione" si intende il resoconto temporale, su base oraria, delle abitudini e delle attività dei componenti di ogni nucleo familiare che, nel caso residenziale, occupa l'edificio o l'unità abitativa [14]. In questo studio, i profili di occupazione degli edifici campione sono stati ottenuti elaborando i dati statistici relativi all'uso del tempo delle famiglie italiane. Tali dati, sono resi disponibili dal sito dell'Istat nella forma "Time Use Survey" (TUS), realizzati tramite questionari, le cui risposte hanno caratterizzano il comportamento giornaliero delle famiglie italiane oggetto di indagine. In particolare le TUS contengono i dati relativi alle attività svolte dai differenti componenti delle famiglie intervistate con un intervallo di campionamento pari a 10 minuti, collezionando conseguentemente 144 informazioni giornaliere sulle attività di ciascun componente del nucleo familiare. I dati a disposizione sul sito Istat riguardano l'anno 2013/2014 e coinvolgono circa 19000 famiglie, per un totale di circa 45000 persone con età maggiore di tre anni, mettendone in risalto le attività e le rispettive interazioni.

I dati resi disponibili da Istat (in particolare quelli nella categoria "Microdati ad uso pubblico"), sono stati elaborati nell'ambito di precedenti attività svolte dagli autori [15], in modo da ottenere un database unico ed omogeneo dei profili di utilizzo, con indicazione dell'eventuale occupazione dell'edificio su base oraria (più utile dell'intervallo di 10 min ai fini delle simulazioni energetiche dinamiche degli edifici), suddiviso per dimensione del nucleo familiare e riferito al tipico giorno feriale ed al tipico giorno festivo anziché a tutti i giorni settimanali.

Nel presente studio, sono stati considerati i dati Istat già elaborati come sopra indicato e sono state selezionati alcuni dei nuclei familiari tra tutti quelli disponibili. La scelta dei nuclei familiari è stata condotta in base alla dimensione del nucleo familiare secondo criteri di rilevanza statistica. Nel rilevamento Istat sono presenti nuclei familiari di dimensione da uno fino a nove persone, intendendo con nucleo familiare i residenti in una singola unità abitativa. Dai dati Istat è possibile ricavare la distribuzione dei nuclei familiari in base alla loro dimensione, come indicato in Tabella 12 e rappresentato graficamente in Figura 19.

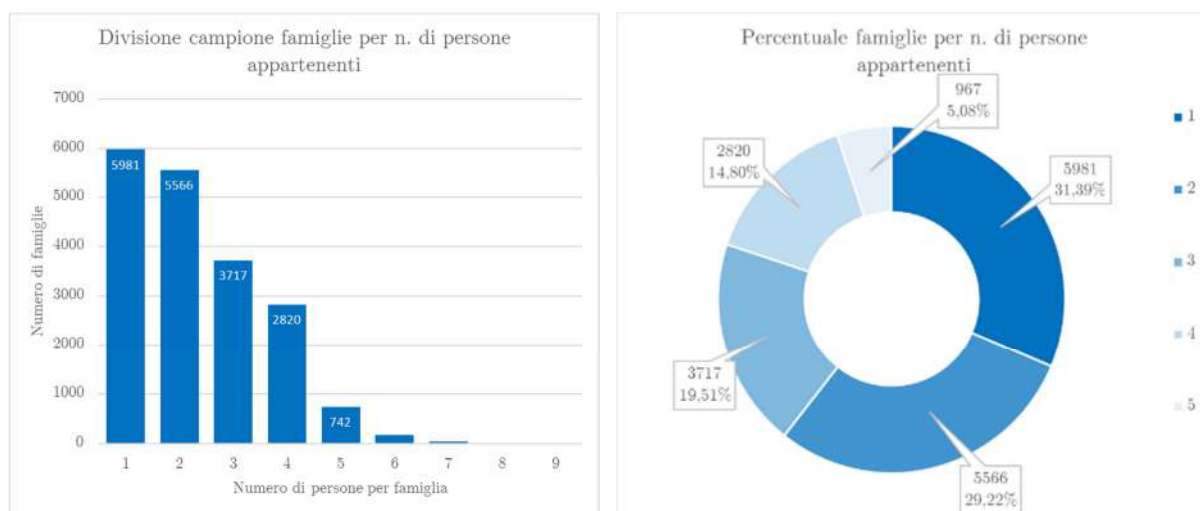


Figura 19 – Distribuzione dei nuclei familiari in base alla loro dimensione, sfruttando dati Istat

Come si osserva dai dati riportati In Tabella 12, le famiglie composte da cinque o più membri sono 967 e rappresentano solamente il 5,08% dei casi rispetto al campione indagato da Istat. A seguito di questa valutazione è stato deciso di procedere con l'indagine sui profili di occupazione relativamente alle famiglie composte da uno fino ad un massimo di quattro persone. Considerando inoltre la suddivisione tra giorni feriali e giorni festivi sono stati ottenuti un totale di 8 profili di occupazione da applicare agli edifici campione.

Tabella 12 - Campionamento delle famiglie censite per indagine sull'uso del tempo (TUS) 2013/2014

N. totale di famiglie censite	19051	
N. totale di persone censite	44672	
N. di persone per famiglia	N. di famiglie	Incidenza %
1	5981	31,39%
2	5566	29,22%
3	3717	19,51%
4	2820	14,80%
5	742	3,89%
6	174	0,91%
7	38	0,20%
8	9	0,05%
9	4	0,02%

Ogni profilo di occupazione è identificato nel presente studio da un codice numerico a due cifre (ognuno dei quali relativo ad un'ora del giorno), in cui la prima cifra rappresenta il numero di persone presenti nell'unità abitativa, la seconda il numero di persone effettivamente attive (sono considerate non-attive le persone presenti nella unità abitativa che stanno dormendo). La distinzione tra persone attive ed inattive si rende necessaria per diversificare gli apporti termici interni prodotti da tali utenti. A titolo di esempio, per i nuclei familiari composti da una e tre persone, nelle Tabelle 13 e 14 sono riportati i significati dei codici numerici adottati.

Tabella 13 - Significato dei codici utilizzati per l'identificazione del profilo di occupazione per nucleo familiare di 1 persona

Codice	Persone Presenti	Persone Presenti Attive	Persone Presenti Inattive
00	0	0	0
10	1	0	1
11	1	1	0

Tabella 14 - Significato dei codici utilizzati per l'identificazione del profilo di occupazione per nucleo familiare di 3 persone

Codice	Persone Presenti	Persone Presenti Attive	Persone Presenti Inattive
00	0	0	0
30	3	0	3
31	3	1	2
32	3	2	1
33	3	3	0
20	2	0	2
21	2	1	1
22	2	2	0
10	1	0	1
11	1	1	0

Nei grafici delle Figure da 20 a 23 si riportano i profili di occupazione, identificati con i codici appena descritti, per i nuclei familiari analizzati, sia per il giorno feriale tipo, sia per il giorno festivo tipo.



Figura 20 – Profilo di occupazione per il nucleo familiare di 1 persona, giorno tipo feriale e giorno tipo festivo

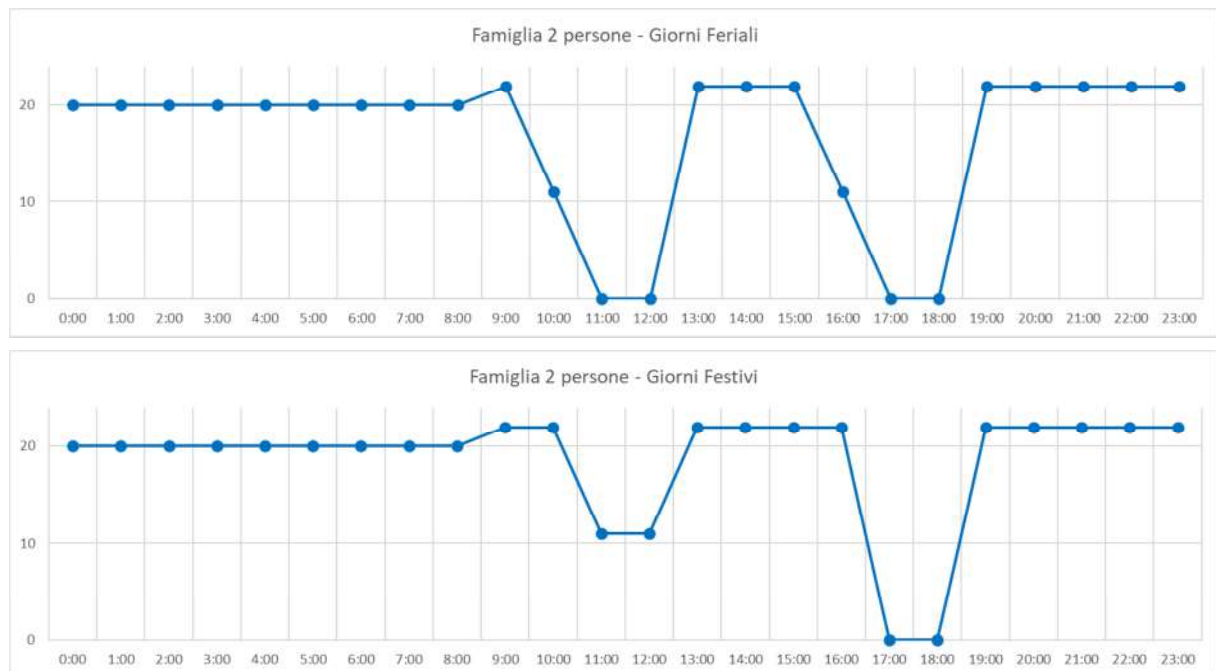


Figura 21 – Profilo di occupazione per il nucleo familiare di 2 persone, giorno tipo feriali e giorno tipo festivo



Figura 22 – Profilo di occupazione per il nucleo familiare di 3 persone, giorno tipo feriali e giorno tipo festivo

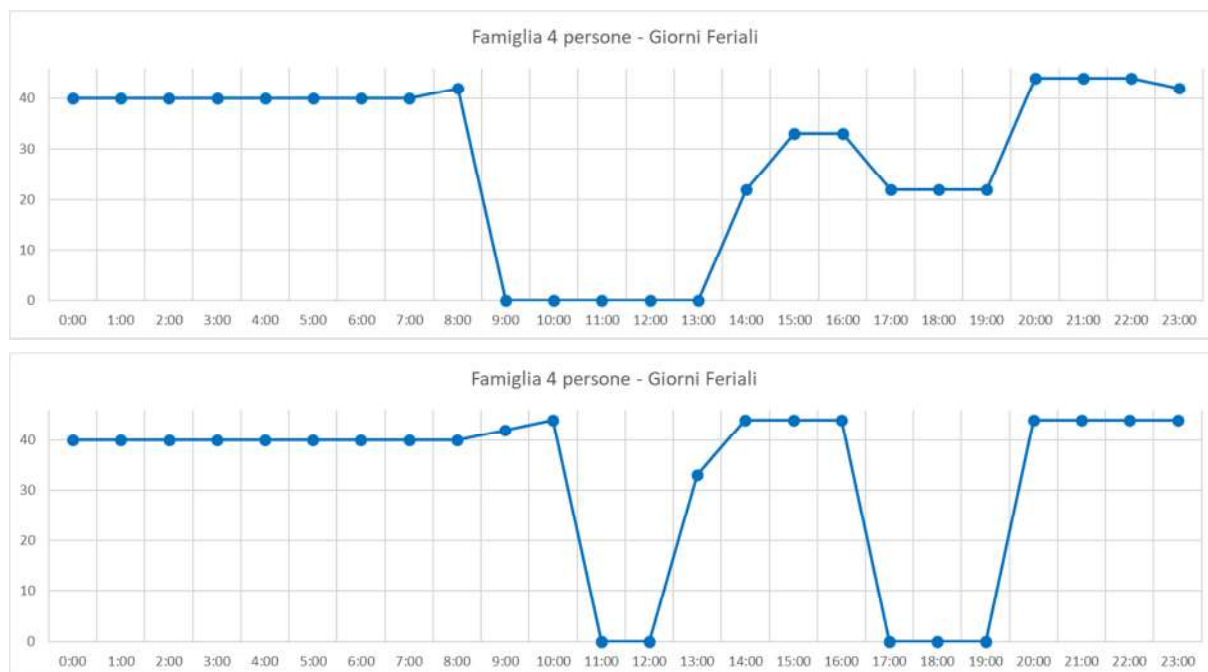


Figura 23 – Profilo di occupazione per il nucleo familiare di 4 persone, giorno tipo feriale e giorno tipo festivo

2.4.1.1 Carichi termici interni associati ai profili di occupazione

Utilizzando i profili di occupazione identificati al paragrafo precedente, sono stati ricavati i profili di carico termico associati all'occupazione dei locali. Utilizzando relazioni note nella letteratura tecnico scientifica [16-17], ad ogni persona presente nell'unità abitativa è stata associata una potenza termica dissipata in funzione dell'attività svolta, in accordo con quanto indicato in Tabella 15.

Tabella 15 - Potenza metabolica specifica media rilasciata nell'ambiente in funzione dell'attività svolta (superficie corporea di riferimento per adulto e per bambino rispettivamente pari a 1,8 m² e 1,3 m²)

Attività	Potenza Specifica Media per unità di superficie corporea [W/m ²]
Persona non attiva	40
Persona attiva	100

Considerando i dati riportati in Tabella 15, per ciascun codice che identifica i profili occupazionali, sono stati ricavati gli apporti termici interni associati, secondo quanto indicato in Tabella 16.

I valori degli apporti termici riportati nella Tabella 16 sono stati ricavati con le seguenti ipotesi: nucleo familiare di una persona composto da un solo adulto, nucleo familiare di due persone composto da due adulti, nucleo familiare di tre persone composto da due adulti ed un bambino, infine nucleo familiare di quattro persone composto da due adulti, un figlio maggiore (assimilato ad adulto) ed un figlio minore (considerato bambino). Per i codici in cui sono presenti persone non-attive, si è proceduto considerando il primo non-attivo come bambino e gli eventuali ulteriori non-attivi come adulti.

Con riferimento alla Tabella 16 ed a titolo di esempio, si osservi che per il codice occupazionale "42" è stato ottenuto un apporto termico associato, considerando quattro persone presenti di cui due persone adulte in stato "attivo", un adulto ed un bambino in stato "non-attivo", ottenendo il valore complessivo di 485 W per gli apporti termici interni.

Tabella 16 - Codici utilizzati per l'identificazione dei profili di occupazione ed apporti termici interni associati

Codice occupazionale	Persone Presenti		Persone Presenti Attive		Apporto Termico [W]
00	0	0	0	0	0
40	3	1	0	0	269
41	3	1	1	0	377
42	3	1	2	0	485
43	3	1	2	1	563
44	3	1	3	1	672
30	2	1	0	0	196
31	2	1	1	0	305
32	2	1	2	0	413
33	2	1	2	1	491
20	2	0	0	0	144
21	2	0	1	0	253
22	2	0	2	0	361
10	1	0	0	0	72
11	1	0	1	0	181

Nelle Figure da 24 a 27 si riportano i profili temporali degli apporti termici interni, in accordo ai profili di occupazione identificati e relativamente al solo apporto dovuto alle persone. A titolo di esempio in Tabella 17 si riporta l'estratto di Tabella 16 relativamente al nucleo familiare di una persona.

A commento della determinazione degli apporti termici interni da applicare agli edifici campione, si ricorda che i profili di occupazione ottenuti con la procedura adottata in questo studio non rappresentano profili reali. Essi sono da intendersi come profili fittizi composti da condizioni che hanno la maggiore occorrenza in ogni intervallo temporale orario considerato. Un'alternativa all'approccio seguito sarebbe quella di effettuare una "clusterizzazione" dei profili di occupazione rilevati dai dati Istat utilizzati come sorgente, individuando gruppi di profili con caratteristiche comuni, da cui estrarre con procedure di analisi statistica quelli con maggiore probabilità di occorrenza.

Tabella 17 - Identificazione del profilo di occupazione per il nucleo familiare di una persona ed apporti termici interni associati

Codice occupazionale	Persone Presenti		Persone Presenti Attive		Apporto Termico [W]
0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	72
11	1	0	1	0	181

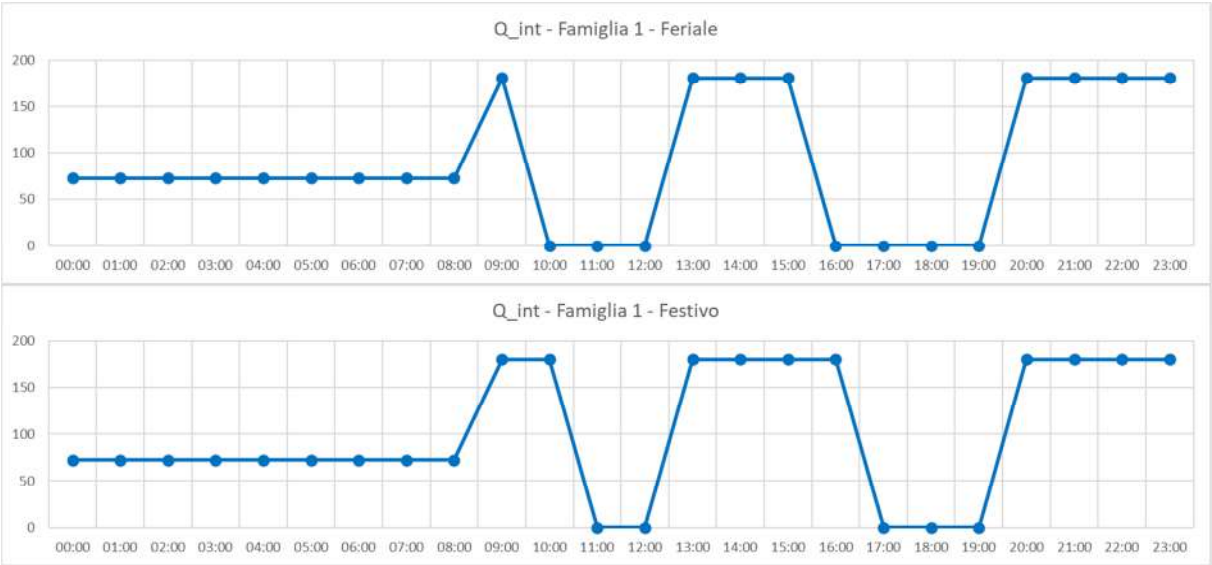


Figura 24 – Profilo degli apporti termici interni in [W] per il nucleo familiare di 1 persona, giorno tipo feriale e giorno tipo festivo

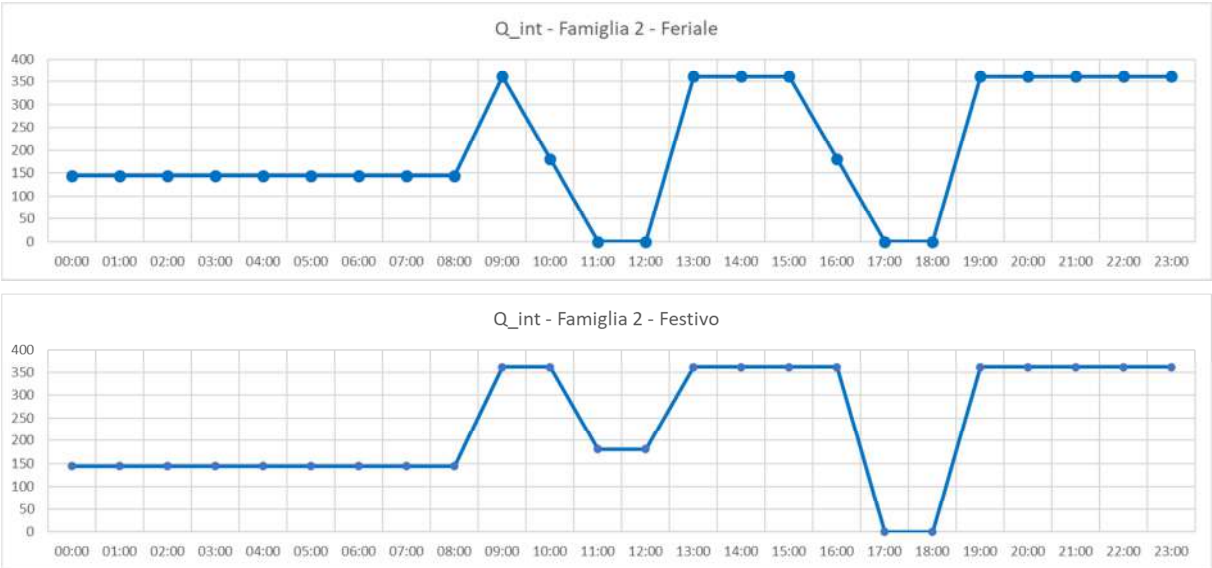


Figura 25 – Profilo degli apporti termici interni in [W] per il nucleo familiare di 2 persone, giorno tipo feriale e giorno tipo festivo

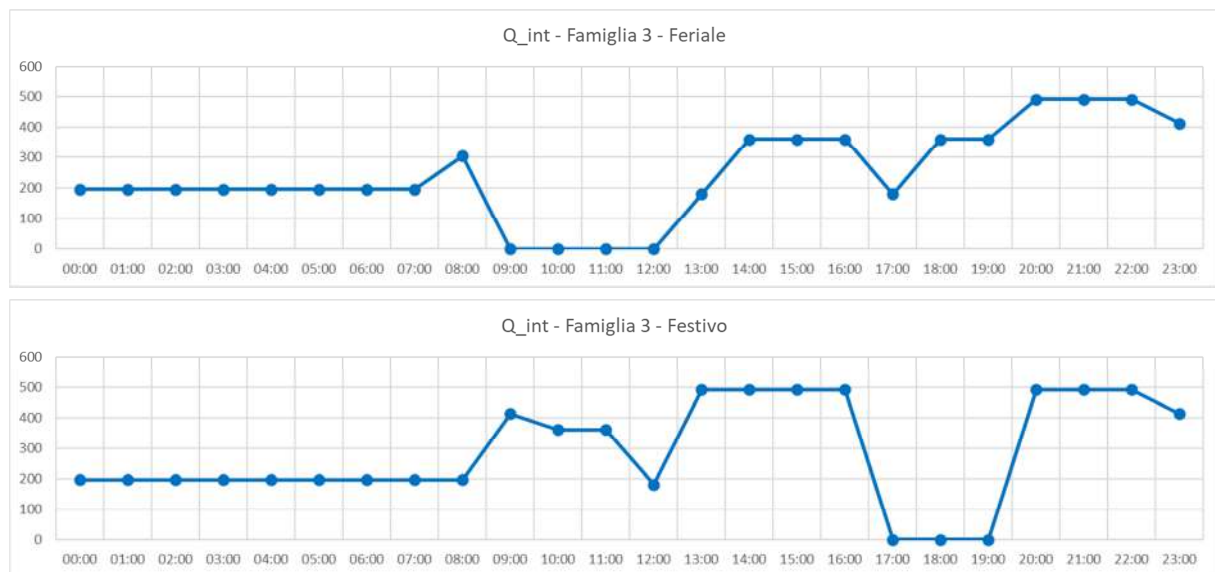


Figura 26 – Profilo degli apporti termici interni in [W] per il nucleo familiare di 3 persone, giorno tipo feriale e giorno tipo festivo

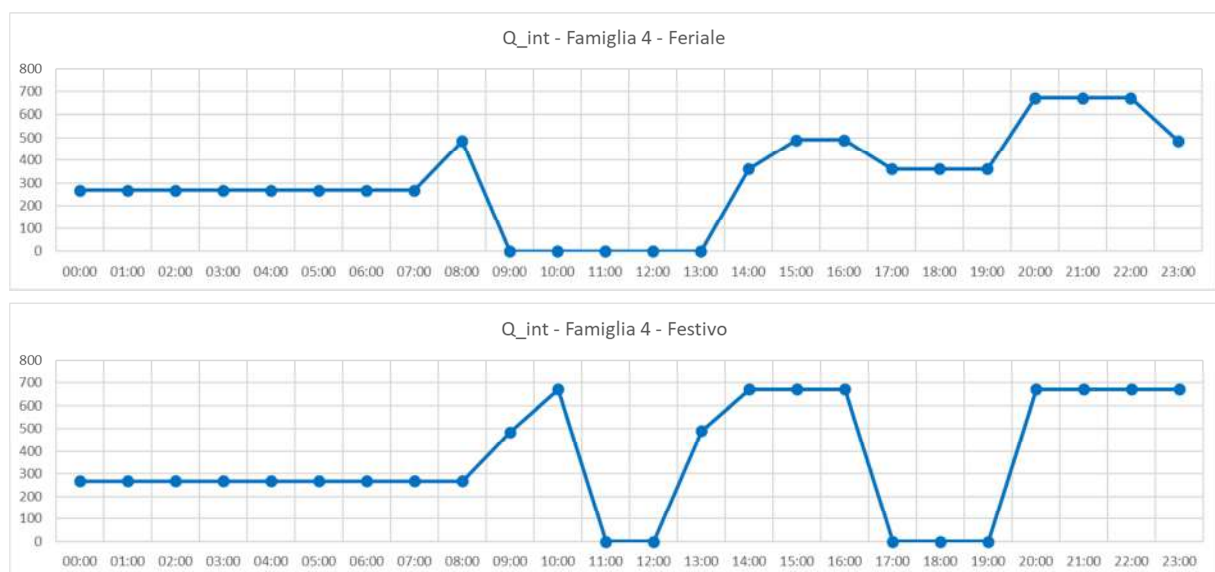


Figura 27 – Profilo degli apporti termici interni in [W] per il nucleo familiare di 4 persone, giorno tipo feriale e giorno tipo festivo

2.4.1.2 Carichi termici associati ai profili di occupazione

Per quanto riguarda gli apporti termici dalle apparecchiature elettroniche, nella letteratura tecnica non esistono specifiche regole inerenti agli edifici residenziali. La stessa UNI TS 11300-1 [17] fornisce soltanto dei dati di apporto termico interno complessivo, senza distinguere tra l'apporto delle apparecchiature elettroniche e quello degli occupanti. In questo studio sono stati pertanto scelti dei valori medi, ritenuti ragionevoli in base ai dati disponibili nella letteratura scientifica e anche in confronto con quelli indicati nella norma tecnica sopra citata. I valori scelti per unità di superficie utile dell'unità immobiliare sono:

- 5 W/m², per il periodo diurno se ci sono persone presenti e attive

- 1 W/m^2 , per il periodo notturno se ci sono persone presenti e inattive.

Ovviamente il numero di persone presenti ed attive è stato ricavato dai profili di occupazione ottenuti come descritto nei paragrafi precedenti.

Allegati Report - Sezione A

Allegato A

A.1 – Script indicizzazione comuni

Script sviluppato in Python 3.0 necessario alla composizione della lista di comuni presenti sul territorio nazionale a cui associare il numero di abitanti ed il numero di gradi giorno. I file utilizzati per composizione della lista sono i seguenti.

- Popolazione residente nei comuni al primo Gennaio 2020 [18]
- Elenco dei comuni italiani aggiornato al 2020 [19]
- DPR 412/1993

Si riporta di seguito il codice realizzato per confrontare e congiungere i dati provenienti dai diversi documenti. Considerate le variazioni dei comuni sul territorio nazionale, e l'impossibilità di reperire file omogenei dalla stessa fonte, il campionamento ottenuto ricopre il 95,7% del territorio nazionale.

```
# librerie per leggere e scrivere un file excel con python
```

```
import xlrd
```

```
import xlswriter
```

```
# Apre spreadsheet 0 del file nella directory definita
```

```
loc0 = ("/Users/luca/Desktop/Borsa di studio ENEA/3 - Lavoro/WP3_LA16_FASE1/Fogli excel/xPython.xlsx")
```

```
wb0 = xlrd.open_workbook(loc0)
```

```
sheet0 = wb0.sheet_by_index(0)
```

```
loc1 = ("/Users/luca/Desktop/Borsa di studio ENEA/3 - Lavoro/WP3_LA16_FASE1/Fogli excel/xPython.xlsx")
```

```
wb1 = xlrd.open_workbook(loc1)
```

```
sheet1 = wb1.sheet_by_index(1)
```

```
loc2 = ("/Users/luca/Desktop/Borsa di studio ENEA/3 - Lavoro/WP3_LA16_FASE1/Fogli excel/xPython.xlsx")
```

```
wb2 = xlrd.open_workbook(loc2)
```

```
sheet2 = wb2.sheet_by_index(2)
```

```
comuni = []
```

```
popolazione = []
```

```
gradigiorno = []
```

```
print("Creazione Lista dei comuni, popolazione, gradigiorno...")
```

```
for n0 in range(sheet0.nrows):
```

```
    comuni0 = sheet0.cell_value(n0, 0)
```

```
for n1 in range(sheet1.nrows):
```

```
    comuni1 = sheet1.cell_value(n1, 0)
```

```
    if comuni0 == comuni1:
```

```

for n2 in range(sheet2.nrows):
    comuni2 = sheet2.cell_value(n2, 0)
    if comuni1 == comuni2:
        comuni.append(comuni0)
        popolazione.append(sheet1.cell_value(n1, 1))
        gradigiorno.append(sheet2.cell_value(n2, 1))
    else:
        continue
else:
    continue

print("Lista dei comuni, popolazione, gradigiorno creata. \n")
print("Correzione valori duplicati...")
i=0
while i < len(comuni):
    if comuni[i]==comuni[i-1]:
        comuni.pop(i)
        popolazione.pop(i)
        gradigiorno.pop(i)
        i+=1
    else:
        i+=1
        continue

print("Correzione valori completata. \n")
print("Creazione file excel...")
# creazione spreadsheet di output
wb3 = xlswriter.Workbook("Output_Merge.xlsx")
foglio = wb3.add_worksheet("1")
# definizione della riga e colonna di partenza per inserire in excel
riga = 0
colonna = 0
# Scorre lista di oggetti dentro comuni_uguali e li aggiunge alla colonna
while riga < len(comuni):
    foglio.write(riga, colonna, comuni[riga])
    foglio.write(riga, colonna+1, popolazione[riga])
    foglio.write(riga, colonna+2, gradigiorno[riga])
    riga += 1
wb3.close()

```

```
print("File excel creato! \n")
```

A.2 – Script irraggiamento solare su superfici verticali

Script sviluppato in Python 3.0. Una volta ricavato il valore di irraggiamento solare su superficie orizzontale dal database JRC questo codice consente di calcolare in funzione di quest'ultimo il valore dell'irraggiamento solare corrispondente sulle superfici verticali orientate a Nord, Sud, Est ed Ovest.

```
import numpy as np
import math
import xlswriter
import xlrd

#////////////////////////////////////
#   RADIAZIONE SOLARE CIELO SERENO SU SUPERFICIE ORIENTATA
#////////////////////////////////////

#DATI DI INPUT
#g1 e g2 indicano il giorno dell'anno di inizio e fine a cui si fa riferimento
g1 = 1
g2 = 365

#coordinate luogo e orientamento superfici
long_gradi=-9
long_min=9
long_sec=34.2
lat_gradi=45
lat_min=27
lat_sec=40.6
longitudine=long_gradi+long_min/60+long_sec/3600
latitudine=lat_gradi+lat_min/60+lat_sec/3600
incl_sup_laterali=90

#longitudine del meridiano di riferimento per il fuso considerato
long_meridiano_rif=-15

#valore da associare a "psis" l'azimut della superficie (Positivo verso Est, negativo verso Ovest)
#direzione di irraggiamento principale valore compreso tra 0:-90 e 0:+90
#sud=0;nord=180;est=+90;ovest=-90
```

```

direz1=0
direz2=direz1+180
if direz2>180:
    direz2=direz1-180
direz3=direz1+90
direz4=direz1-90

# Apre spreadsheet 0 del file nella directory definita e crea la lista dei dati
loc0 = ("/Users/luca/Desktop/Borsa di studio ENEA/3 - Lavoro/WP3_LA16_FASE1/Fogli
excel/Qsol_nor_jrc.xlsx")
wb0 = xlrd.open_workbook(loc0)
sheet0 = wb0.sheet_by_index(0)
lr_jrc = []
print("Creazione Lista dei Qsol_orizz dai dati JRC...")
for n0 in range(sheet0.nrows):
    valore_Q = sheet0.cell_value(n0, 3)
    lr_jrc.append(valore_Q)
lr_jrc = np.asarray(lr_jrc)
print("Lista dei dati Qsol_orizz dai dati JRC crata ! \n")

#inizializzazione vettori complessivi per irraggiamento superfici orientate
lr_NORD=[]
lr_EST=[]
lr_SUD=[]
lr_OVEST=[]

#CALCOLO PER SUD/NORD/EST/OVEST VERTICALE

for g in range (g1,g2+1):
    #/////////////////////////////////////////////////////////////////
    #    PARAMETRI GIORNALIERI VALIDI PER TUTTE LE SUPERFICI
    #    DIFFERENTEMENTE ORIENTATE
    #/////////////////////////////////////////////////////////////////

    #w indica l'angolo giornaliero e nota bene è in radianti
    w = g*math.pi/180

    #d indica la declinazione del Sole ed è espressa in gradi

```

$$d = (23.45 * \sin((g+284)*360*\pi/(180*365)))/360*2*\pi$$

#long indica la longitudine espressa in gradi della località dove è ubicata la superficie oggetto di studio

long = longitudine

#lat indica la latitudine espressa in gradi della località dove è ubicata la superficie oggetto di studio

lat = latitudine/360*2*\pi

#fu indica la longitudine espressa in gradi del meridiano centrale del fuso orario in cui si trova il luogo di studio

#per l'Italia il fuso centrale e' Roma che si trova a -15 gradi rispetto a Greenwich

fu = long_meridiano_rif

#tau è il tempo espresso in ore scandite da un comune orologio

tau = np.arange(0,24,1)

#e rappresenta l'eq. del tempo (tiene conto di varie anomalie dell'orbita terrestre)

$$e = 0.42 * \cos(w) - 3.23 * \cos(2*w) - 0.09 * \cos(3*w) - 7.35 * \sin(w) - 9.39 * \sin(2*w) - 0.34 * \sin(3*w)$$

#omega rappresenta l'angolo orario del Sole

$$\omega = (15 * (12 - \tau) - 0.25 * (e - 4 * (\text{long} - \text{fu}))) / 360 * 2 * \pi$$

#A è la radiazione extratmosferica virtuale

$$A = 1150.25 + 72.43 * \cos(0.95 * g * \pi / 180) + 34.25 * \sin(0.017 * g * \pi / 180) + 1.5 * \log(g)$$

#B è il coefficiente d'estinzione dell'atmosfera

$$B = 1 / (6.74 + 0.026 * g - 5.13 * \text{pow}(10, -4) * \text{pow}(g, 2) + 2.24 * \text{pow}(10, -6) * \text{pow}(g, 3) - 2.8 * \text{pow}(10, -9) * \text{pow}(g, 4))$$

#C è il fattore di radiazione diffusa

$$C = 1 / (16.9 + 0.0001 * g - 8.65 * \text{pow}(10, -4) * \text{pow}(g, 2) + 3.93 * \text{pow}(10, -6) * \text{pow}(g, 3) - 4.005 * \text{pow}(10, -9) * \text{pow}(g, 4))$$

#beta indica l'altezza del Sole sull'orizzonte

#psi indica l'azimut solare (Positivo verso Est, negativo verso Ovest, dalle 13 l'azimuth e' negativo)s

beta=[]

psi=[]

for o in omega:

$$\text{valore_beta} = \arcsin(\sin(\text{lat}) * \sin(d) + \cos(\text{lat}) * \cos(d) * \cos(o))$$

```

if valore_beta<=0:
    valore_beta=0
    beta.append(valore_beta)
else:
    beta.append(valore_beta)
    valore_psi=math.acos(((math.sin(valore_beta)*math.sin(lat))-
math.sin(d))/(math.cos(valore_beta)*math.cos(lat)))
    psi.append(valore_psi)
beta = np.asarray(beta)
psi = np.asarray(psi)
#assegno valori negativi all'azimuth dalle ore 13 in poi
psi[13:]=psi[13:]*(-1)

#/////////////////////////////////////#      SUPERFICIE ORIENTATA
A NORD
#////////////////////////////////////

#csi indica l'inclinazione in gradi della superficie su cui vogliamo calcolare il valore dell'irraggiamento
csi = incl_sup_laterali/360*2*math.pi
psis = direz2/360*2*math.pi

#teta indica l'angolo di incidenza delle radiazioni solari dirette
teta=[]
for tau in range(0,24,1):
    valore_teta=math.acos(math.cos(beta[tau])*math.cos(psi[tau]-
psis)*math.sin(csi)+math.sin(beta[tau])*math.cos(csi))
    if valore_teta>=math.pi/2:
        valore_teta = math.pi/2
        teta.append(valore_teta)
    else:
        teta.append(valore_teta)
teta = np.asarray(teta)

#F esprime il fattore di vista tra la superficie considerata e la volta celeste
F = (1+math.cos(csi))/2;
#rog è il coefficiente di riflessione del terreno circostante
rog = 0.3

```

```
#dir_N indica la radiazione diretta
#dif_N esprime la componente diffusa della radiazione complessiva
#rif_N rappresenta la componente riflessa della radiazione complessiva
lr_dir_N=[]
lr_dif_N=[]
lr_rif_N=[]
```

```
for tau in range (0,24,1):
    if beta[tau]==0:
        lr_dir_N.append(math.cos(teta[tau]))
        lr_dif_N.append(C*F)
        lr_rif_N.append((C+math.sin(beta[tau]))*rog*(1-F))
    else:
        lr_dir_N.append(math.cos(teta[tau]))
        lr_dif_N.append(C*F)
        lr_rif_N.append((C+math.sin(beta[tau]))*rog*(1-F))
```

```
lr_dir_N = np.asarray(lr_dir_N)
lr_dif_N = np.asarray(lr_dif_N)
lr_rif_N = np.asarray(lr_rif_N)
#lr_tot esprime la radiazione complessiva somma di ID, Id, Ig.
lr_N=lr_dir_N+lr_dif_N+lr_rif_N
```

```
#compilazione del vettore complessivo irraggiamento superficie orientata
lr_NORD = np.append(lr_NORD, lr_N)
```

```
##### # SUPERFICIE ORIENTATA
A EST
#####
```

```
#csi indica l'inclinazione in gradi della superficie su cui vogliamo calcolare il valore dell'irraggiamento
csi = incl_sup_laterali/360*2*math.pi
psis = direz3/360*2*math.pi
```

```
#teta indica l'angolo di incidenza delle radiazioni solari dirette
teta =[]
for tau in range(0,24,1):
```

```

    valore_teta=math.acos(math.cos(beta[tau])*math.cos(psi[tau]-
    psis)*math.sin(csi)+math.sin(beta[tau])*math.cos(csi))
    if valore_teta>=math.pi/2:
        valore_teta = math.pi/2
        teta.append(valore_teta)
    else:
        teta.append(valore_teta)
teta = np.asarray(teta)

#F esprime il fattore di vista tra la superficie considerata e la volta celeste
F = (1+math.cos(csi))/2;
#rog è il coefficiente di riflessione del terreno circostante
rog = 0.3

#dir_N indica la radiazione diretta
#dif_N esprime la componente diffusa della radiazione complessiva
#rif_N rappresenta la componente riflessa della radiazione complessiva
lr_dir_E=[]
lr_dif_E=[]
lr_rif_E=[]

for tau in range (0,24,1):
    if beta[tau]==0:
        lr_dir_E.append(math.cos(teta[tau]))
        lr_dif_E.append(C*F)
        lr_rif_E.append((C+math.sin(beta[tau]))*rog*(1-F))
    else:
        lr_dir_E.append(math.cos(teta[tau]))
        lr_dif_E.append(C*F)
        lr_rif_E.append((C+math.sin(beta[tau]))*rog*(1-F))

lr_dir_E = np.asarray(lr_dir_E)
lr_dif_E = np.asarray(lr_dif_E)
lr_rif_E = np.asarray(lr_rif_E)

#lr_tot esprime la radiazione complessiva somma di ID, Id, Ig.
lr_E=lr_dir_E+lr_dif_E+lr_rif_E

```

```
#compilazione del vettore complessivo irraggiamento superficie orientata
Ir_EST = np.append(Ir_EST, Ir_E)
#####
# SUPERFICIE ORIENTATA A SUD
#####

#csi indica l'inclinazione in gradi della superficie su cui vogliamo calcolare il valore dell'irraggiamento
csi = incl_sup_laterali/360*2*math.pi
psis = direz1/360*2*math.pi

#teta indica l'angolo di incidenza delle radiazioni solari dirette
teta =[]
for tau in range(0,24,1):
    valore_teta=math.acos(math.cos(beta[tau])*math.cos(psi[tau]-
psis)*math.sin(csi)+math.sin(beta[tau])*math.cos(csi))
    if valore_teta>=math.pi/2:
        valore_teta = math.pi/2
        teta.append(valore_teta)
    else:
        teta.append(valore_teta)
teta = np.asarray(teta)

#F esprime il fattore di vista tra la superficie considerata e la volta celeste
F = (1+math.cos(csi))/2;
#rog è il coefficiente di riflessione del terreno circostante
rog = 0.3

#dir_N indica la radiazione diretta
#dif_N esprime la componente diffusa della radiazione complessiva
#rif_N rappresenta la componente riflessa della radiazione complessiva
Ir_dir_S=[]
Ir_dif_S=[]
Ir_rif_S=[]

for tau in range (0,24,1):
    if beta[tau]==0:
        Ir_dir_S.append(math.cos(teta[tau]))
        Ir_dif_S.append(C*F)
```

```

        lr_rif_S.append((C+math.sin(beta[tau]))*rog*(1-F))
    else:
        lr_dir_S.append(math.cos(teta[tau]))
        lr_dif_S.append(C*F)
        lr_rif_S.append((C+math.sin(beta[tau]))*rog*(1-F))

lr_dir_S = np.asarray(lr_dir_S)
lr_dif_S = np.asarray(lr_dif_S)
lr_rif_S = np.asarray(lr_rif_S)

#lr_tot esprime la radiazione complessiva somma di ID, Id, Ig.
lr_S=lr_dir_S+lr_dif_S+lr_rif_S

#compilazione del vettore complessivo irraggiamento superficie orientata
lr_SUD = np.append(lr_SUD, lr_S)

#////////////////////////////////////
#    SUPERFICIE ORIENTATA A OVEST
#////////////////////////////////////

#csi indica l'inclinazione in gradi della superficie su cui vogliamo calcolare il valore dell'irraggiamento
csi = incl_sup_laterali/360*2*math.pi
psis = direz4/360*2*math.pi

#teta indica l'angolo di incidenza delle radiazioni solari dirette
teta =[]
for tau in range(0,24,1):
    valore_teta=math.acos(math.cos(beta[tau])*math.cos(psi[tau]-
psis)*math.sin(csi)+math.sin(beta[tau])*math.cos(csi))
    if valore_teta>=math.pi/2:
        valore_teta = math.pi/2
        teta.append(valore_teta)
    else:
        teta.append(valore_teta)
teta = np.asarray(teta)

#F esprime il fattore di vista tra la superficie considerata e la volta celeste
F = (1+math.cos(csi))/2;

```

#rog è il coefficiente di riflessione del terreno circostante

rog = 0.3

#dir_N indica la radiazione diretta

#dif_N esprime la componente diffusa della radiazione complessiva

#rif_N rappresenta la componente riflessa della radiazione complessiva

lr_dir_O=[]

lr_dif_O=[]

lr_rif_O=[]

for tau in range (0,24,1):

if beta[tau]==0:

lr_dir_O.append(math.cos(teta[tau]))

lr_dif_O.append(C*F)

lr_rif_O.append((C+math.sin(beta[tau]))*rog*(1-F))

else:

lr_dir_O.append(math.cos(teta[tau]))

lr_dif_O.append(C*F)

lr_rif_O.append((C+math.sin(beta[tau]))*rog*(1-F))

lr_dir_O = np.asarray(lr_dir_O)

lr_dif_O = np.asarray(lr_dif_O)

lr_rif_O = np.asarray(lr_rif_O)

#lr_tot esprime la radiazione complessiva somma di ID, Id, Ig.

lr_O=lr_dir_O+lr_dif_O+lr_rif_O

#compilazione del vettore complessivo irraggiamento superficie orientata

lr_OVEST = np.append(lr_OVEST, lr_O)

i=0

Qnord=[]

Qest=[]

Qsud=[]

Qovest=[]

while i < len(lr_jrc):

Qnord.append(lr_NORD[i]*lr_jrc[i])

```
Qest.append(Ir_EST[i]*Ir_jrc[i])
Qsud.append(Ir_SUD[i]*Ir_jrc[i])
Qovest.append(Ir_OVEST[i]*Ir_jrc[i])
i+=1
Qnord = np.asarray(Qnord)
Qest = np.asarray(Qest)
Qsud = np.asarray(Qsud)
Qovest = np.asarray(Qovest)

print("\n\nVettori con dati irraggiamento su superfici verticali creati!")

print("\nCreazione file excel...")
# creazione spreadsheet di output
wb1 = xlswriter.Workbook("Output_irraggiamento_Milano.xlsx")
foglio = wb1.add_worksheet("1")

# definizione della riga e colonna di partenza per inserire in excel
riga = 0
colonna = 0

# Scorre lista di oggetti dentro comuni_uguali e li aggiunge alla colonna
while riga < len(Qnord):
    foglio.write(riga, colonna, riga)
    foglio.write(riga, colonna+1, Qnord[riga])
    foglio.write(riga, colonna+2, Qest[riga])
    foglio.write(riga, colonna+3, Qsud[riga])
    foglio.write(riga, colonna+4, Qovest[riga])
    riga += 1

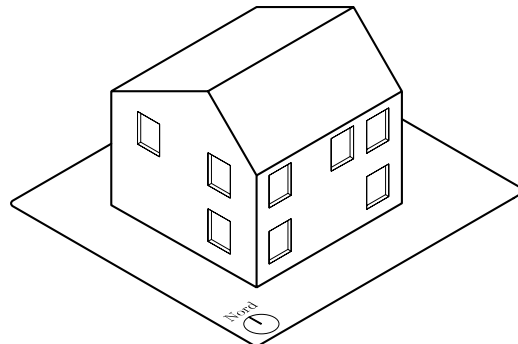
wb1.close()
print("\nFile excel creato! \n")
```

Allegato B – Unità abitative considerate: caratteristiche tipologiche e geometriche

Unità abitativa monofamiliare UAM

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	UAM
Destinazione d'uso	Residenziale
Tipologia abitativa	Abitazione monofamiliare
Stato dell'edificio	Esistente
Epoca di costruzione	1961 - 1975



Codice id Tabula	IT.MidClim.SFH.05.Gen.ReEx.001.001
Note	Nessuna

Specifiche tecniche

Riferimenti generali

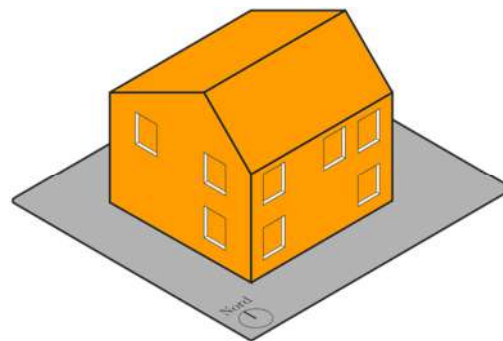
N. unità abitative	1
N. piani abitati	2
Volume lordo [m ³]	678,80
Volume netto [m ³]	468,90 (156,30x3,00)
Superficie interna netta [m ²]	156,30
Superficie disperdente [m ²]	494,04
Rapporto S/V [m ⁻¹]	0,73

Altezza netta interna [m]	3,00
---------------------------	------

Superfici di riferimento

Solaio di copertura [m ²]	124,50
Murature esterne [m ²]	239,80
Solaio di terra [m ²]	107,80
(dimensioni esterne)	
Solaio di interpiano [m ²]	107,80
(dimensioni esterne)	
Porte [m ²]	2,40
Finestre [m ²]	19,54
Finestre orizzontali [m ²]	0,00
Finestre Est [m ²]	5,86
Finestre Sud [m ²]	7,82
Finestre Ovest [m ²]	5,86
Finestre Nord [m ²]	0

Volumetrico degli ambienti climatizzati



Ambiente non climatizzato	
Ambiente adiacente climatizzato	
Ambiente climatizzato	

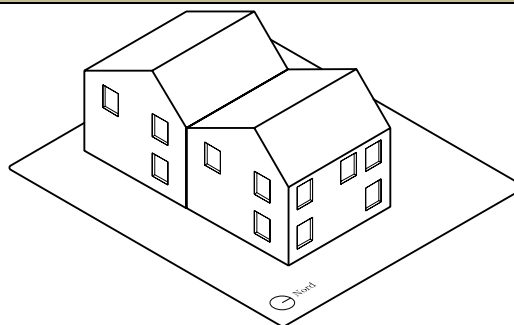


Immagine rappresentativa dell'edificio reale

Unità abitativa monofamiliare in casa a schiera su un lato UAS1L

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	UAS1L
Destinazione d'uso	Residenziale
Tipologia abitativa	Unità abitativa monofamiliare in casa a schiera
Stato dell'edificio	Esistente
Epoca di costruzione	1976 - 1990



Codice id Tabula IT.MidClim.TH.06.Gen.ReEx.001.001

Note L'unità abitativa è contigua ad un edificio sul prospetto ovest

Specifiche tecniche

Riferimenti generali

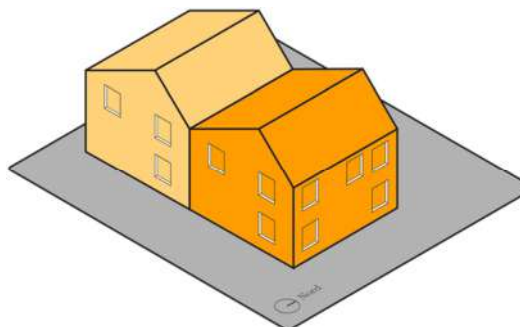
N. unità abitative	1
N. piani abitati	2
Volume lordo [m ³]	434,00
Volume netto [m ³]	375,60 (125,20x3,0)
Superficie interna netta [m ²]	125,20
Superficie disperdente [m ²]	289,19
Rapporto S/V [m ⁻¹]	0,69

Altezza netta interna [m] 3,0

Superfici di riferimento

Solaio di copertura [m ²]	79,50
Murature esterne [m ²]	131,76
Solaio di terra [m ²]	68,89
(dimensioni esterne)	
Solaio di interpiano [m ²]	68,89
(dimensioni esterne)	
Porte [m ²]	2,40
Finestre [m ²]	15,64
Finestre orizzontali [m ²]	0,00
Finestre Est [m ²]	4,69
Finestre Sud [m ²]	9,39
Finestre Ovest [m ²]	0,00
Finestre Nord [m ²]	1,56

Volumetrico degli ambienti climatizzati



Ambiente non climatizzato	
Ambiente adiacente climatizzato	
Ambiente climatizzato	

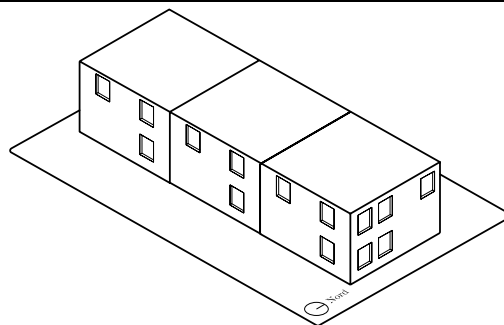


Immagine rappresentativa dell'edificio reale

Unità abitativa monofamiliare in casa a schiera su due lati UAS2L

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	UAS2L
Destinazione d'uso	Residenziale
Tipologia abitativa	Unità abitativa monofamiliare in villette a schiera
Stato dell'edificio	Esistente
Epoca di costruzione	1961-1975



Codice id Tabula IT.MidClim.TH.05.Gen.ReEx.001.001

Note L'unità abitativa è contigua a due edifici sui prospetti ovest ed est

Specifiche tecniche

Riferimenti generali

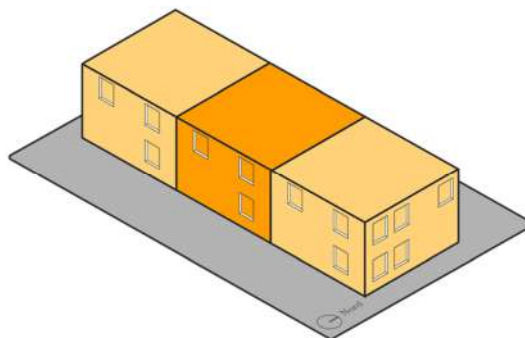
N. unità abitative	1
N. piani abitati	2
Volume lordo [m ³]	374,40
Volume netto [m ³]	267,00 (89,00x3,0)
Superficie interna netta [m ²]	89,00
Superficie disperdente [m ²]	193,74
Rapporto S/V [m ⁻¹]	0,52

Altezza netta interna [m] 3,00

Superfici di riferimento

Solaio di copertura [m ²]	59,43
Murature esterne [m ²]	61,36
Solaio di terra [m ²]	59,43
(dimensioni esterne)	
Solaio di interpiano [m ²]	59,43
(dimensioni esterne)	
Porte [m ²]	2,40
Finestre [m ²]	11,12
Finestre orizzontali [m ²]	0,00
Finestre Est [m ²]	0,00
Finestre Sud [m ²]	6,67
Finestre Ovest [m ²]	0,00
Finestre Nord [m ²]	4,45

Volumetrico degli ambienti climatizzati



Ambiente non climatizzato	
Ambiente adiacente climatizzato	
Ambiente climatizzato	

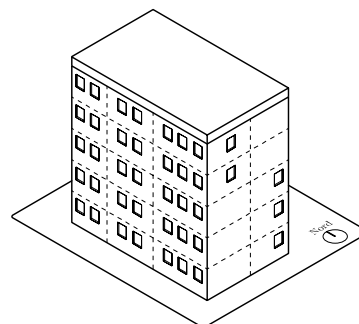


Immagine rappresentativa dell'edificio reale

Dati di riferimento per unità abitazione monofamiliare in condominio

Caratteristiche identificative

Codice id Tabula	IT.MidClim.AB.06.
	Gen.ReEx.001.001
Destinazione d'uso	Residenziale
Tipologia abitativa	Condominio
Stato dell'edificio	Esistente
Epoca di costruzione	1976-1990



Note Dati tipologici dell'intero condominio

Specifiche tecniche condominio

Riferimenti generali

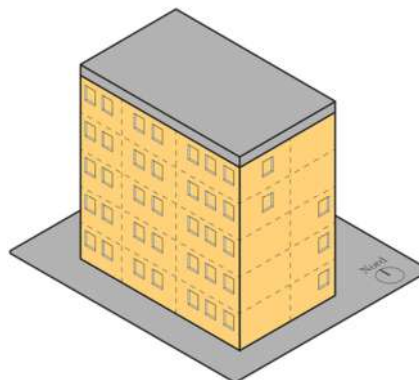
N. unità abitative	48
N. piani abitati	6
Volume lordo [m ³]	12685,00
Volume netto [m ³]	9466,88 (3506,25x2,70)
Superficie interna netta [m ²]	3506,25
Superficie piano lorda [m ²]	4125,00 (687,50x6)
Superficie disperdente [m ²]	4720,50
Rapporto S/V [m ⁻¹]	0,37

Altezza netta interna [m] 2,70

Superfici di riferimento

Solaio di copertura [m ²]	687,50
Murature esterne [m ²]	2982,70
Solaio di terra [m ²]	687,50
(dimensioni esterne)	
Solaio di interpiano [m ²]	687,50
(dimensioni esterne)	
Porte [m ²]	0,00
Finestre [m ²]	362,80
Finestre orizzontali [m ²]	0,00
Finestre Est [m ²]	163,50
Finestre Sud [m ²]	4,50
Finestre Ovest [m ²]	185,90
Finestre Nord [m ²]	8,90

Volumetrico degli ambienti climatizzati



Ambiente non climatizzato 

Ambiente adiacente climatizzato 

Ambiente climatizzato 

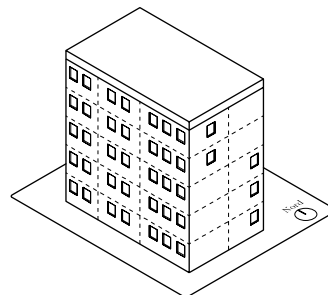


Immagine rappresentativa dell'edificio reale

Unità abitativa monofamiliare in condominio UAC

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	UAC
Destinazione d'uso	Residenziale
Tipologia abitativa	Condominio
Stato dell'edificio	Esistente
Epoca di costruzione	1976-1990



Codice id Tabula IT.MidClim.AB.06.Gen.ReEx.001.001

Note Stima dei dati tipologici dell'unità abitativa interna al condominio.

Specifiche tecniche condominio

Riferimenti generali

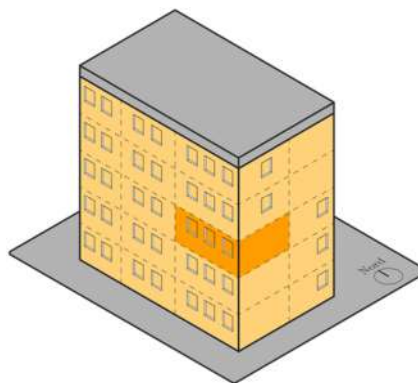
N. unità abitative	1
N. piani abitati	1
Volume lordo [m ³]	264,27 (12685,0/48)
Volume netto [m ³]	197,37 (73,10x2,70)
Superficie interna netta [m ²]	73,10 (3506,25x48)
Superficie esterna [m ²]	-----
Superficie disperdente [m ²]	51,41
Rapporto S/V [m ⁻¹]	0,20 (51,41/264,27)

Altezza netta interna [m] 2,70

Superfici di riferimento

Solaio interp. superiore [m ²]	73,10
Murature esterne [m ²]	43,285
Solaio di terra [m ²]	-----
(dimensioni esterne)	
Solaio interp. inferiore [m ²]	73,10
Porte [m ²]	2,40
Finestre [m ²]	8,125
Finestre orizzontali [m ²]	0,00
Finestre Est [m ²]	0,00
Finestre Sud [m ²]	0,375
Finestre Ovest [m ²]	7,75
Finestre Nord [m ²]	0,00

Volumetrico degli ambienti climatizzati



Ambiente non climatizzato	
Ambiente adiacente climatizzato	
Ambiente climatizzato	



Immagine rappresentativa dell'edificio reale

Allegato C

C.1 – Tipologie di solaio contro-terra

S_{c_terra,01}

Solaio contro terra in calcestruzzo

Caratteristiche identificative

Codice identificativo

S_{c_terra,01}

Categoria elemento

Solaio contro-terra

Spessore totale [m]

0,55

U [W/m²K]

1,69

Trasmittanza termica

R [m²K/W]

0,59

Resistenza termica totale

C [J/m²K]

938305,0

Capacità termica totale

Codice UNI/TR 11552:2014

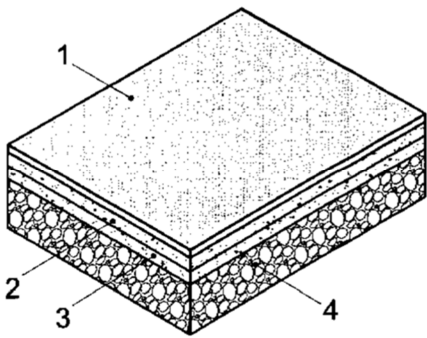
SOL13 - Solaio contro-terra in calcestruzzo

Descrizione

Solaio contro-terra in calcestruzzo

Descrizione stratigrafia

1,5 – 3 – 10 – 40



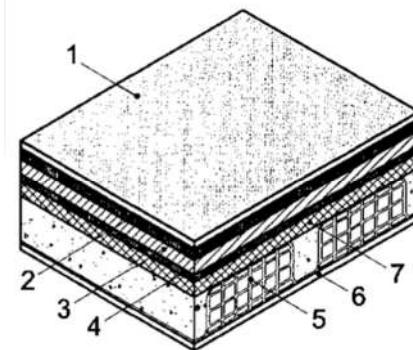
Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
		[m]					
Lato interno							
0	Flusso liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,10	---
1	Pavimentazione interna in gres	0,015	1700	710	1,47	0,0102	18105,0
2	Malta di cemento	0,030	2000	670	1,40	0,0214	40200,0
3	Calcestruzzo ordinario	0,10	1200	1000	1,16	0,0862	200000,0
4	Ghiaione, ciottoli di fiume	0,40	1700	1000	1,20	0,3333	680000,0
0	Flusso liminare esterno	---	---	---	---	0,04	---
Lato esterno							
Totale						0,5912	938305,0

S_c terra,02 Solaio contro terra in laterocemento, blocchi non collaboranti e ghiaia

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	S _c terra,02
Categoria elemento	Solaio contro-terra
Spessore totale [m]	0,72
U [W/m ² K]	1,07
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	0,93
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	1045705,00
Capacità termica totale	
Codice UNI/TR 11552:2014	SOL04 – Solaio contro-terra in laterocemento, blocchi non collaboranti
Descrizione	Solaio contro-terra in laterocemento, blocchi non collaboranti con ghiaia di sottofondo
Descrizione stratigrafia	1,5 – 2 – 6 – 2 – 4 – 16 – 40



Specifiche tecniche stratigrafia

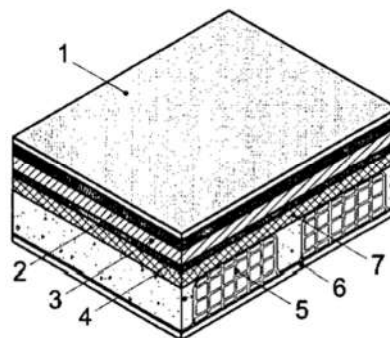
n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	Flusso liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,10	---
1	Pavimentazione interna in gres	0,015	1700	1000	1,47	0,0102	18105,0
2	Malta di cemento	0,02	2000	670	1,40	0,0143	26800,0
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito	0,06	900	1000	0,58	0,1034	54000,0
4	Malta di cemento	0,02	2000	670	---	---	26800,0
4	Calcestruzzo armato	0,04	2400	1000	---	0,33	96000,0
6	Soletta con blocchi in laterizio/travetti	0,16	900	1000	---	---	144000,0
7	Ghiaione, ciotoli di fiume	0,40	1700	1000	1,20	0,3333	680000,0
0	Flusso liminare esterno	---	---	---	---	0,04	---
Lato esterno							
Totale						0,9313	1045705

C.2 – Tipologie di solaio di interpiano

S_{int,01} Solaio interpiano in laterocemento, blocchi non collaboranti

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	S _{int,01}
Categoria elemento	Solaio interpiano
Spessore totale [m]	0,30
U [W/m ² K]	1,87
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	0,54
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	377705,00
Capacità termica totale	
Codice UNI/TR 11552:2014	SOL05 - Solaio in laterocemento, blocchi non collaboranti, esempio 2 - [3]
Descrizione	Solaio di interpiano in laterocemento, blocchi non collaboranti
Descrizione stratigrafia	1,5 - 2 - 6 - 2 - 4 - 16 - 40



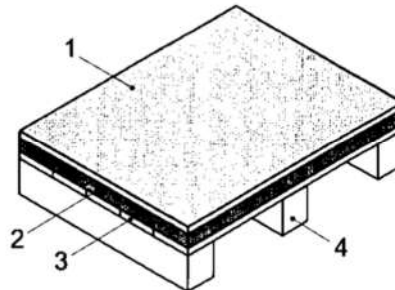
Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1000	---
1	pavimentazione interna in gres	0,015	1700,0	710,0	1,47	0,0102	18105,0
2	malta di cemento	0,020	2000,0	670,0	1,40	0,0143	26800,0
3	massetto in calcestruzzo ordinario	0,020	1500,0	1000,0	1,06	0,0189	30000,0
4	malta di cemento	0,020	2000,0	670,0	---	---	26800,0
5	calcestruzzo armato	0,040	2400,0	1000,0	---	0,3300	96000,0
6	soletta con blocchi laterizio e travetti	0,160	900,0	1000,0	---	---	144000,0
7	intonaco esterno	0,020	1800,0	1000,0	0,90	0,0222	36000,0
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						0,54	377705,0

S_{int,02} Solaio interpiano in legno

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	S _{int,02}
Categoria elemento	Solaio interpiano
Spessore totale [m]	0,11 + travicelli
U [W/m ² K]	2,38
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	0,42
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	123225,00
Capacità termica totale	
Codice UNI/TR 11552:2014	SOL11 - Solaio in legno, esempio 3 [3]
Descrizione	Solaio di interpiano in legno con assito in legno e massetto in calcestruzzo
Descrizione stratigrafia	1,5 - 6 - 3 - travicelli



Specifiche tecniche stratigrafia

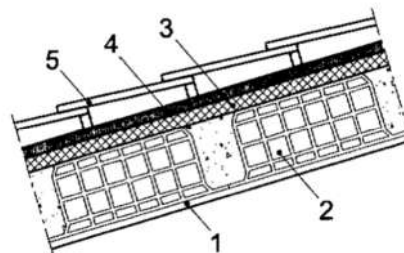
n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1000	---
1	pavimentazione interna in gres	0,015	1700,0	710,0	1,47	0,0102	18105,0
2	massetto in calcestruzzo alleggerito	0,060	900,0	1000,0	0,58	0,1034	54000,0
3	assito in legno	0,030	710,0	2400,0	0,18	0,1667	51120,0
4	travi secondarie in legno	---	---	---	---	---	---
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						0,42	123225,0

C.3 – Tipologie di solaio di copertura

S_{cop,01} Solaio in laterocemento, blocchi non collaboranti

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	S _{cop,01}
Categoria elemento	Solaio copertura
Spessore totale [m]	0,24
U [W/m ² K]	1,79
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	0,56
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	438800,00
Capacità termica totale	
Codice UNI/TR 11552:2014	CIN04 - Copertura inclinata (solaio laterocemento), esempio 2 [3]
Descrizione	Solaio di copertura in laterocemento, blocchi non collaboranti
Descrizione stratigrafia	2 - 16 - 4 - 2



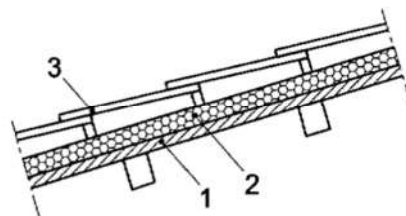
Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1000	---
1	intonaco interno	0,020	1400,0	1000,0	0,70	0,0286	28000,0
2	soletta con blocchi laterizio e travetti	0,160	1800,0	1000,0	---	---	288000,0
3	calcestruzzo armato	0,040	2400,0	1000,0	---	0,3300	96000,0
4	malta di cemento	0,020	2000,0	670,0	---	---	26800,0
5	Tegole/coppi in laterizi	---	---	---	---	---	---
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,1000	---
Lato esterno							
Totale						0,56	438800,0

S_{cop,02} Solaio in legno con strato isolante

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	S _{cop,02}
Categoria elemento	Solaio copertura
Spessore totale [m]	0,08 + travicelli
U [W/m ² K]	0,66
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	1,51
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	28230,00
Capacità termica totale	
Codice UNI/TR 11552:2014	CIN02 - Copertura inclinata in legno, esempio 2 [3]
Descrizione	Solaio di copertura in legno con strato isolante
Descrizione stratigrafia	3 - 5 - travicelli



Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1000	---
1	travicelli secondari	---	---	---	---	---	---
2	assito in legno	0,030	550,0	1600,0	0,15	0,2000	26400,0
3	pannello isolante in polistirolo	0,050	30,0	1220,0	0,05	1,1111	1830,0
4	Tegole/coppi in laterizi	---	---	---	---	---	---
Lato esterno							
Totale						1,51	28230,0

C.4 – Tipologie di pareti verticali per involucro esterno

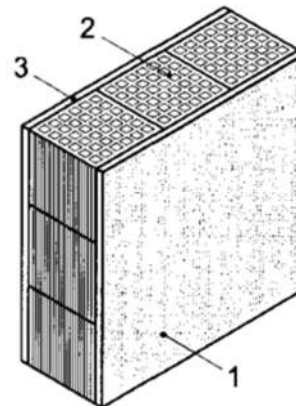
P_{env,pietra} Parete verticale esterna in pietra	
Caratteristiche identificative	
Codice identificativo	P _{env,pietra}
Categoria elemento	Parete esterna verticale
Spessore totale [m]	0,64
U [W/m ² K]	2,12
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	0,47
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	1564000,00
Capacità termica totale	
Codice UNI/TR 11552:2014	MPI02 - Parete in pietra [1]
Descrizione	Parete verticale esterna in pietra portante
Descrizione stratigrafia	2 - 60 - 2

Specifiche tecniche stratigrafia							
n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	intonaco interno	0,020	1400,0	1000,0	0,70	0,0286	28000,0
2	blocchi in pietra	0,600	2500,0	1000,0	2,40	0,2500	1500000
3	intonaco esterno	0,020	1800,0	1000,0	0,90	0,0222	36000,0
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						0,47	1564000

P_{env,lat,01} Parete verticale esterna in laterizi forati

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	P _{env,lat,01}
Categoria elemento	Parete verticale esterna
Spessore totale [m]	0,29
U [W/m ² K]	1,18
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	0,85
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	314000,00
Capacità termica totale	
Codice UNI/TR 11552:2014	MLP03 - Muratura in laterizio semipieno [1]
Descrizione	Parete verticale esterna in blocchi di laterizio
Descrizione stratigrafia	2 - 25 - 2



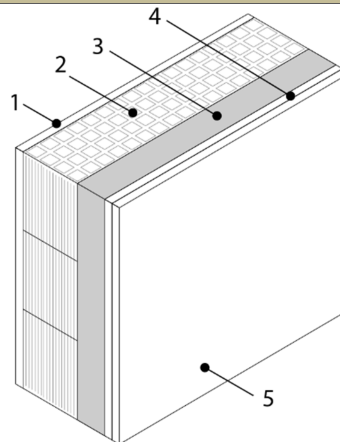
Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	intonaco interno	0,020	1400,0	1000,0	0,70	0,0286	28000,0
2	blocchi in laterizio	0,250	1000,0	1000,0	---	0,6250	250000,0
3	intonaco esterno	0,020	1800,0	1000,0	0,90	0,0222	36000,0
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						0,85	314000,0

P_{env,lat,02} Parete verticale esterna in laterizi forati con cappotto esterno

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	P _{env,lat,02}
Categoria elemento	Parete esterna verticale
Spessore totale [m]	0,37
U [W/m ² K]	0,45
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	2,21
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	333026,00
Capacità termica totale	



Codice UNI/TR 11552:2014	MLP03 - Muratura in laterizio semipieno [1]
Descrizione	Parete verticale esterna in blocchi di laterizio con cappotto esterno
Descrizione stratigrafia	2 - 25 - 6 - 2 - 2

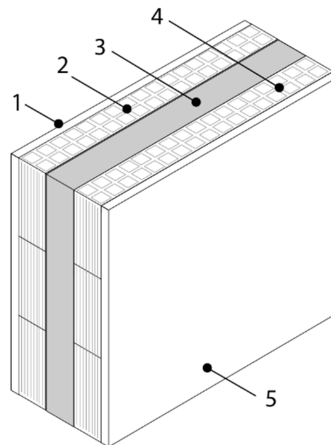
Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	intonaco interno	0,020	1400,0	1000,0	0,70	0,0286	28000,0
2	blocchi in laterizio	0,250	1000,0	1000,0	---	0,6250	250000,0
3	intercapedine con isolante (MCV02)	0,060	30,0	570,0	0,05	1,3333	1026,0
4	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,020	900,0	1000,0	0,58	0,0345	18000,0
5	intonaco esterno	0,020	1800,0	1000,0	0,90	0,0222	36000,0
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						2,21	333026,0

P_{env,lat,03} Parete verticale esterna in laterizi forati con cappotto intermedio

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	P _{env,lat,03}
Categoria elemento	Parete verticale esterna
Spessore totale [m]	0,32
U [W/m ² K]	0,30
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	3,29
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	194052,00
Capacità termica totale	



Codice UNI/TR 11552:2014	MLP03 - Muratura in laterizio semipieno [1]
Descrizione	Parete verticale esterna in blocchi di laterizio con cappotto intermedio
Descrizione stratigrafia	2 - 8 - 12 - 8 - 2

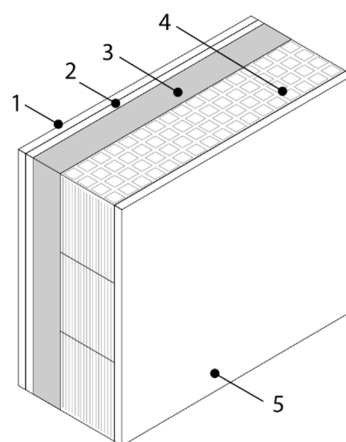
Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	intonaco interno	0,020	1400,0	1000,0	0,70	0,0286	28000,0
2	mattoni forati (MCV02)	0,080	800,0	1000,0	---	0,2000	64000,0
3	intercapedine con isolante (MCV02)	0,120	30,0	570,0	0,05	2,6667	2052,0
4	mattoni forati (MCV02)	0,080	800,0	1000,0	---	0,2000	64000,0
5	intonaco esterno	0,020	1800,0	1000,0	0,90	0,0222	36000,0
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						3,29	194052,0

P_{env,lat,04} Parete verticale esterna in laterizi forati con cappotto interno

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	P _{env,lat,04}
Categoria elemento	Parete esterna verticale
Spessore totale [m]	0,37
U [W/m ² K]	0,45
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	2,21
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	194052,00
Capacità termica totale	



Codice UNI/TR 11552:2014 MLP03 - Muratura in laterizio semipieno [1]

Descrizione Parete verticale esterna in blocchi di laterizio con cappotto interno

Descrizione stratigrafia 2 - 2 - 6 - 25 - 2

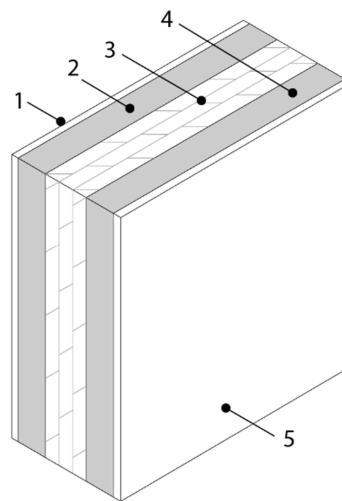
Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	intonaco interno	0,020	1400,0	1000,0	0,70	0,0286	28000,0
2	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,020	900,0	1000,0	0,58	0,0345	18000,0
3	intercapedine con isolante (MCV02)	0,060	30,0	570,0	0,05	1,3333	1026,0
4	blocchi in laterizio	0,250	1000,0	1000,0	---	0,6250	250000,0
5	intonaco esterno	0,020	1800,0	1000,0	0,90	0,0222	36000,0
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						2,21	333026,0

P_{env,legno} Parete verticale esterna leggera in legno

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	P _{env,legno}
Categoria elemento	Parete esterna verticale
Spessore totale [m]	0,28
U [W/m ² K]	0,17
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	5,99
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	94467,80
Capacità termica totale	



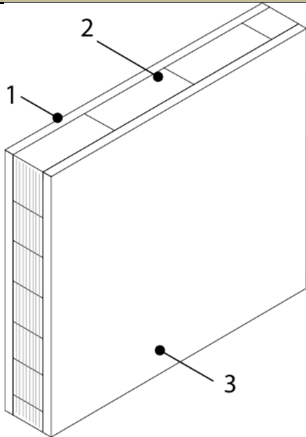
----- Valori di riferimento da schede tecniche

Descrizione	Parete verticale esterna leggera in legno con pannello xlam 9 cm
Descrizione stratigrafia	1,25 - 6 - 9 - 10 - 1,25

Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	cartongesso interno	0,013	1150,0	837,0	0,35	0,0357	12031,9
2	intercapedine con isolante xps	0,060	33,0	1450,0	0,03	1,8750	2871,0
3	pannello in xlam	0,090	420,0	1660,0	0,12	0,7500	62748,0
4	intercapedine con isolante xps	0,100	33,0	1450,0	0,03	3,1250	4785,0
5	cartongesso esterno	0,013	1150,0	837,0	0,35	0,0357	12031,9
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						5,99	94467,8

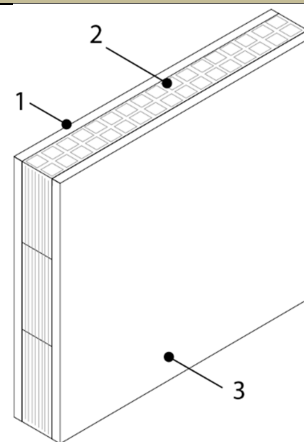
C.5 – Tipologie di pareti verticali per tramezzature

T _{int,01} Tramezzatura interna in laterizi pieni							
Caratteristiche identificative							
Codice identificativo	T _{int,01}						
Categoria elemento	Tramezzatura						
Spessore totale [m]	0,16						
U [W/m²K]	2,10						
Trasmittanza termica							
R [m²K/W]	0,48						
Resistenza termica totale							
C [J/m²K]	267000,00						
Capacità termica totale							
							
-----	-----						
Descrizione	Parete verticale di divisione interna						
Descrizione stratigrafia	1,5 - 12,5 - 1,5						
Specifiche tecniche stratigrafia							
n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	C [J/m²K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	intonaco interno	0,015	1400,0	1000,0	0,70	0,0214	21000,0
2	mattoni pieni (MCO02)	0,125	1800,0	1000,0	0,72	0,1736	225000,0
3	intonaco esterno	0,015	1400,0	1000,0	0,70	0,0214	21000,0
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						0,48	267000,0

T_{int,02} Tramezzatura interna in laterizi forati

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	T _{int,02}
Categoria elemento	Tramezzatura
Spessore totale [m]	0,11
U [W/m ² K]	1,99
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	0,50
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	106000,00
Capacità termica totale	



Descrizione	Parete verticale di divisione interna
Descrizione stratigrafia	1,5 – 8 - 1,5

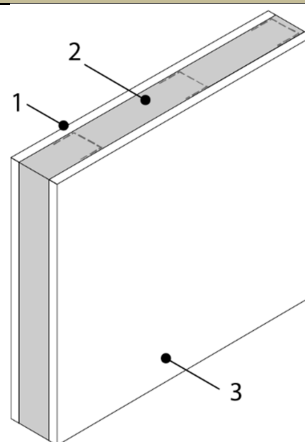
Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	intonaco interno	0,015	1400,0	1000,0	0,70	0,0214	21000,0
2	mattoni forati (MCO01)	0,080	800,0	1000,0	---	0,2000	64000,0
3	intonaco esterno	0,015	1400,0	1000,0	0,70	0,0214	21000,0
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						0,50	106000,0

T_{int,03} Tramezzatura interna leggera con rivestimento in cartongesso

Caratteristiche identificative

Codice identificativo	T _{int,03}
Categoria elemento	Tramezzatura
Spessore totale [m]	0,085
U [W/m ² K]	1,88
Trasmittanza termica	
R [m ² K/W]	0,53
Resistenza termica totale	
C [J/m ² K]	26934,8
Capacità termica totale	



Descrizione	Parete verticale di divisione interna
Descrizione stratigrafia	1,25 – 6 - 1,25

Specifiche tecniche stratigrafia

n. strato	Materiale	d [m]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Lato interno							
0	liminare interno ascendente	---	---	---	---	0,1300	---
1	cartongesso interno	0,013	1150,0	837,0	0,35	0,0357	12031,9
2	intercapedine con isolante xps	0,060	33,0	1450,0	0,03	0,2000	2871,0
3	cartongesso interno	0,013	1150,0	837,0	0,35	0,0357	12031,9
0	liminare esterno	---	---	---	---	0,0400	---
Lato esterno							
Totale						0,53	26934,80

Allegato D

D.1 – Dati climatici città di Palermo

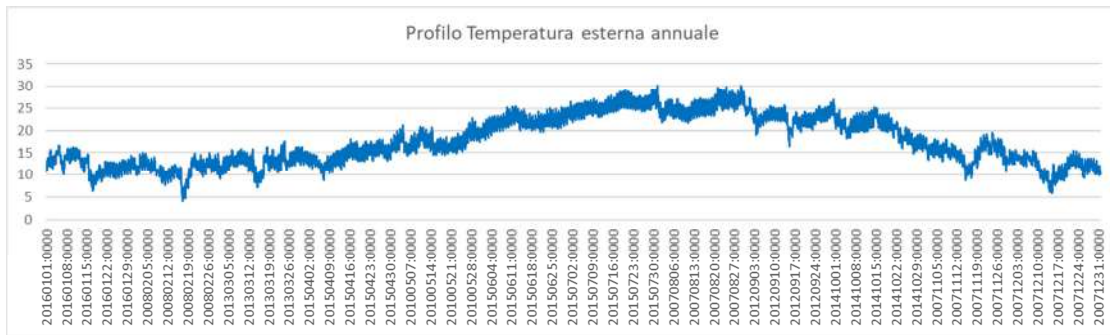
Città di riferimento		Palermo
Zona climatica		B
Zona climatica di progetto		ZCP_1
Latitudine (gradi decimali)		38,122
Longitudine (gradi decimali)		13,361
Periodo di riscaldamento dpr. 412/1993		
Inizio		1° dicembre
Fine		31 marzo
n. di ore massime al giorno		8
Mese di riferimento per l'intervallo 2006 - 2017		
1		Gennaio 2016
2		Febbraio 2008
3		Marzo 2013
4		Aprile 2015
5		Maggio 2010
6		Giugno 2015
7		Luglio 2015
8		Agosto 2007
9		Settembre 2012
10		Ottobre 2014
11		Novembre 2007
12		Dicembre 2007

Dati Temperatura Esterna

Fonte	https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#TMY	
Campionamento		Orario
Unità di misura		°C

Dati Irraggiamento Solare

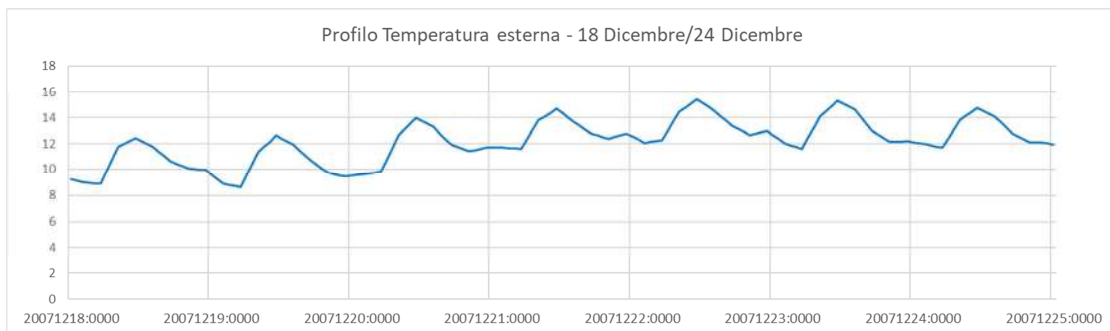
Fonte	https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#TMY	
Campionamento		Orario
Unità di misura		W/m ²



Temperatura esterna sui 12 mesi più rappresentativi



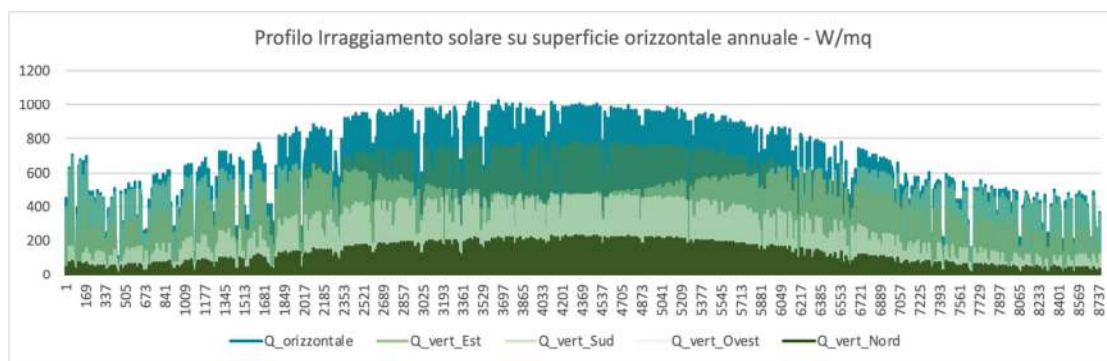
Temperatura esterna nel periodo di riscaldamento attivo dal 1° Dicembre al 31 Marzo



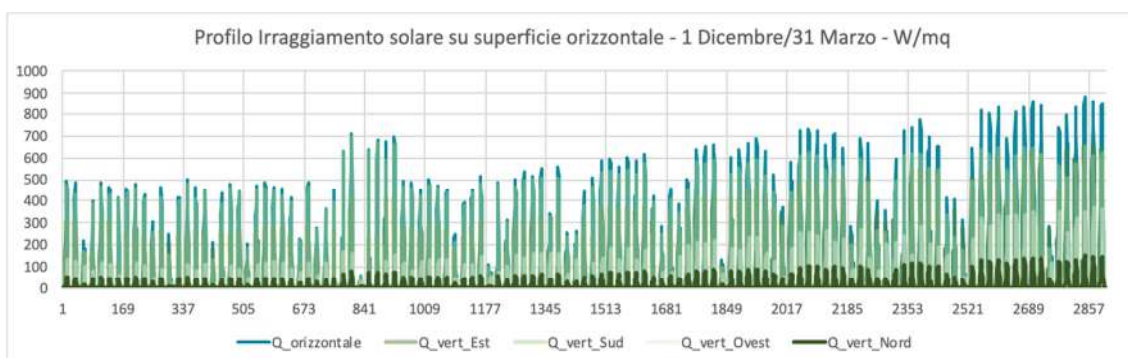
Temperatura esterna dal 18 Dicembre al 24 Dicembre



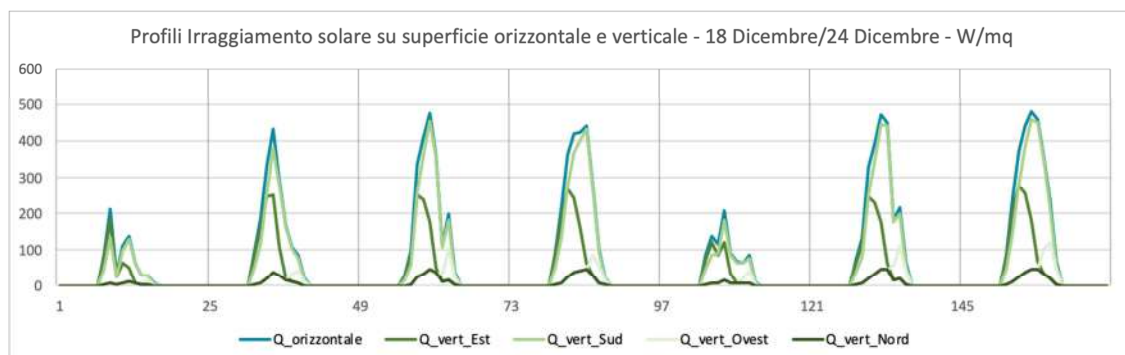
Temperatura esterna il 21 Dicembre, 24 ore



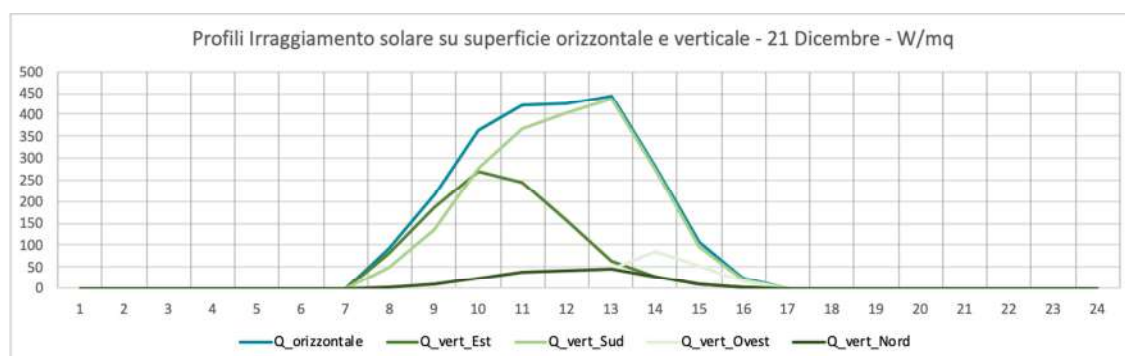
Irraggiamento solare sui 12 mesi più rappresentativi



Irraggiamento solare nel periodo di riscaldamento attivo dal 1° Dicembre al 31 Marzo



Irraggiamento solare dal 18 Dicembre al 24 Dicembre



Irraggiamento solare il 21 Dicembre, 24 ore

D.2 – Dati climatici città di Napoli

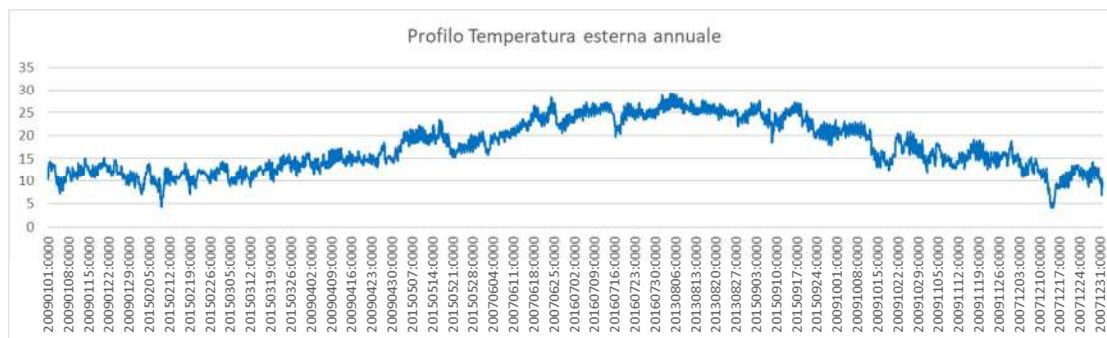
Città di riferimento		Napoli
Zona climatica		C
Zona climatica di progetto		ZCP_2
Latitudine (gradi decimali)		40,840
Longitudine (gradi decimali)		14,252
Periodo di riscaldamento dpr. 412/1993		
Inizio		15 novembre
Fine		31 marzo
n. di ore massime al giorno		10
Mese di riferimento per l'intervallo 2006 - 2017		
1		Gennaio 2009
2		Febbraio 2015
3		Marzo 2015
4		Aprile 2009
5		Maggio 2015
6		Giugno 2007
7		Luglio 2016
8		Agosto 2013
9		Settembre 2015
10		Ottobre 2009
11		Novembre 2009
12		Dicembre 2007

Dati Temperatura Esterna

Fonte	https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#TMY
Campionamento	Orario
Unità di misura	°C

Dati Irraggiamento Solare

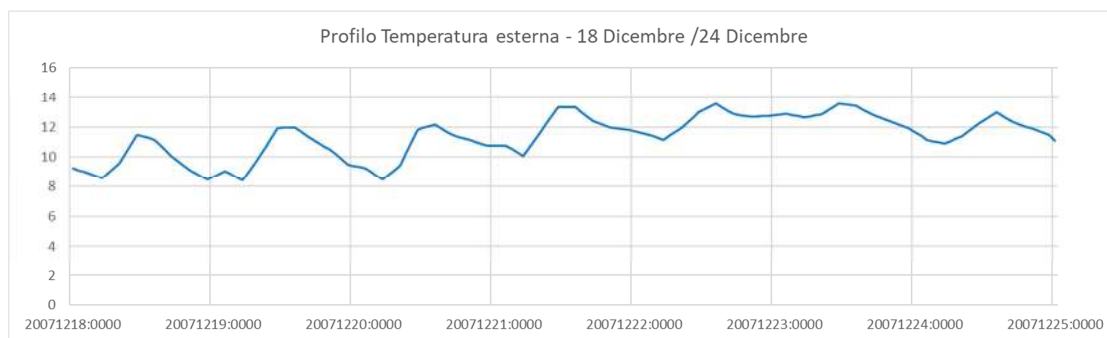
Fonte	https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#TMY
Campionamento	Orario
Unità di misura	W/m^2



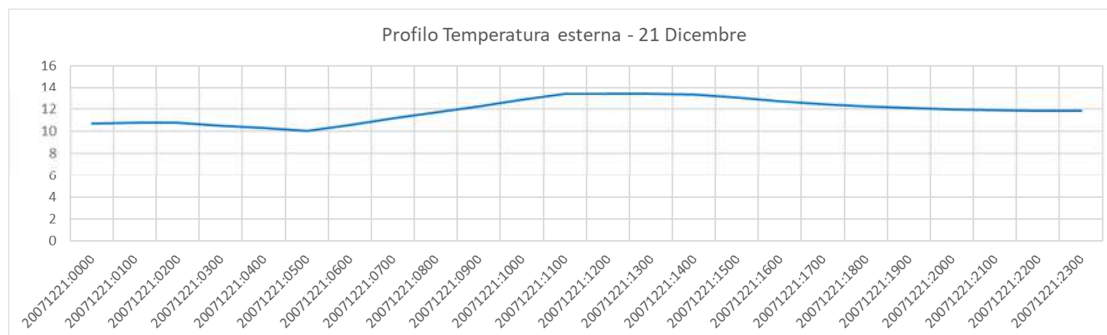
Temperatura esterna sui 12 mesi più rappresentativi



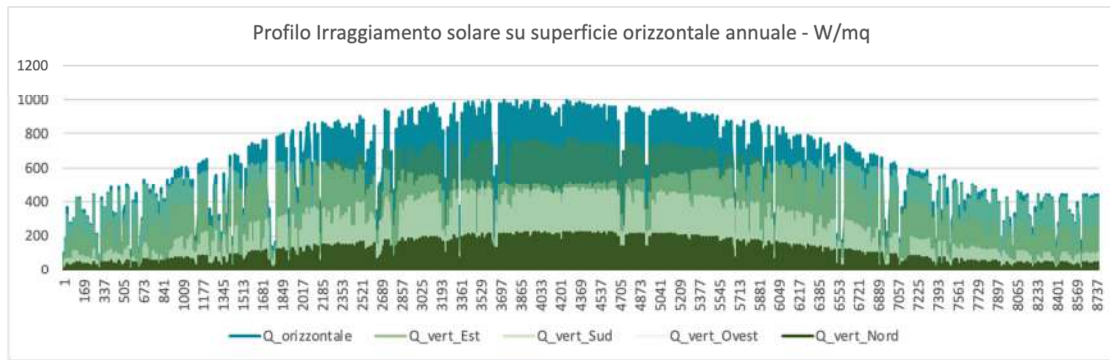
Temperatura esterna nel periodo di riscaldamento attivo dal 15 Novembre al 31 Marzo



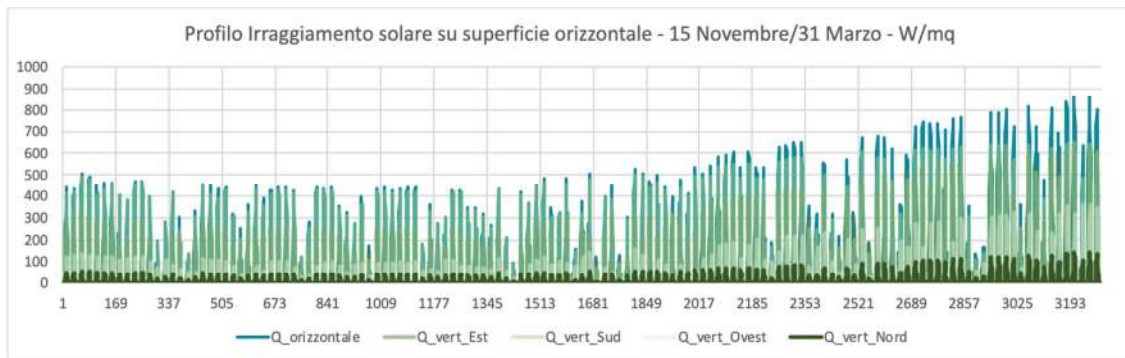
Temperatura esterna dal 18 Dicembre al 24 Dicembre



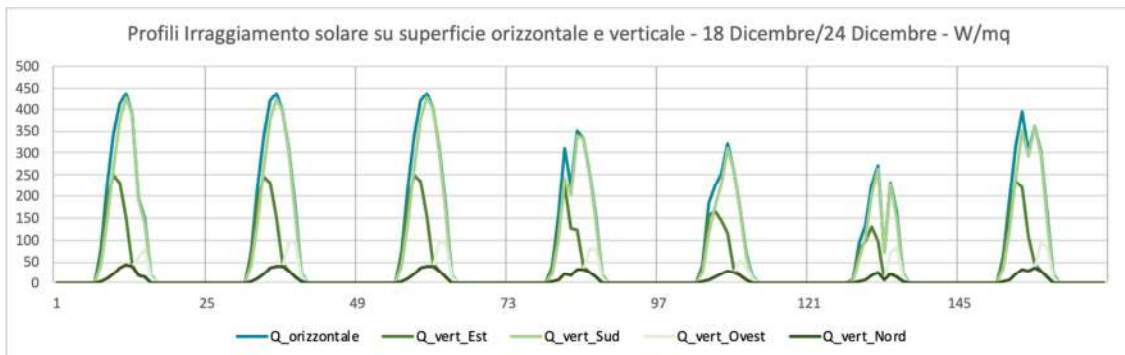
Temperatura esterna il 21 Dicembre, 24 ore



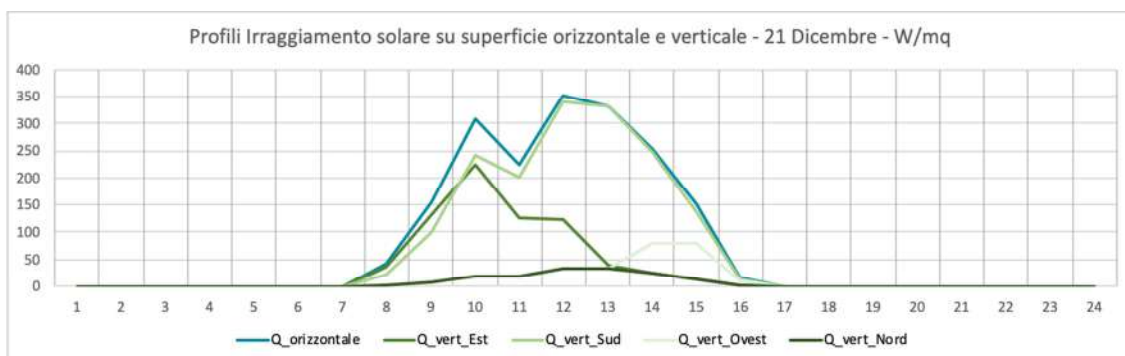
Irraggiamento solare sui 12 mesi più rappresentativi



Irraggiamento solare nel periodo di riscaldamento attivo dal 15 Novembre al 31 Marzo



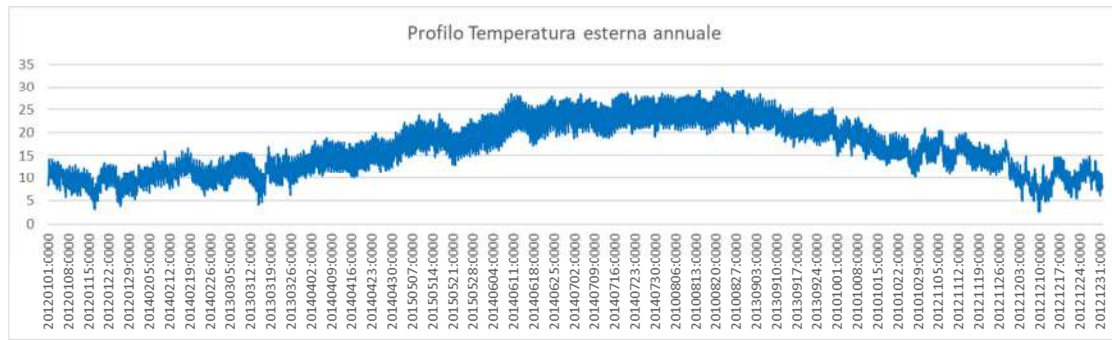
Irraggiamento solare dal 18 Dicembre al 24 Dicembre



Irraggiamento solare il 21 Dicembre, 24 ore

D.3 – Dati climatici città di Roma

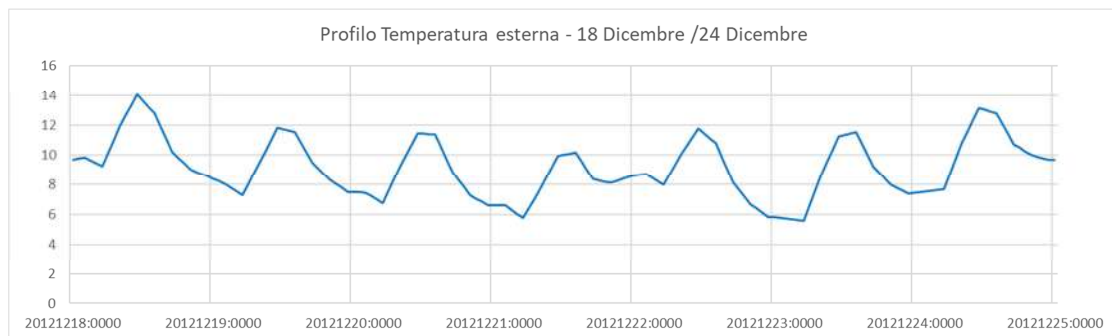
Città di riferimento		Roma
Zona climatica		D
Zona climatica di progetto		ZCP_3
Latitudine (gradi decimali)		41,903
Longitudine (gradi decimali)		12,496
Periodo di riscaldamento dpr. 412/1993		
Inizio		1° novembre
Fine		15 aprile
n. di ore massime al giorno		12
Mese di riferimento per l'intervallo 2006 - 2017		
1		Gennaio 2012
2		Febbraio 2014
3		Marzo 2013
4		Aprile 2014
5		Maggio 2015
6		Giugno 2014
7		Luglio 2014
8		Agosto 2010
9		Settembre 2013
10		Ottobre 2010
11		Novembre 2012
12		Dicembre 2012
Dati Temperatura Esterna		
Fonte		https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#TMY
Campionamento		Orario
Unità di misura		°C
Dati Irraggiamento Solare		
Fonte		https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#TMY
Campionamento		Orario
Unità di misura		W/m ²



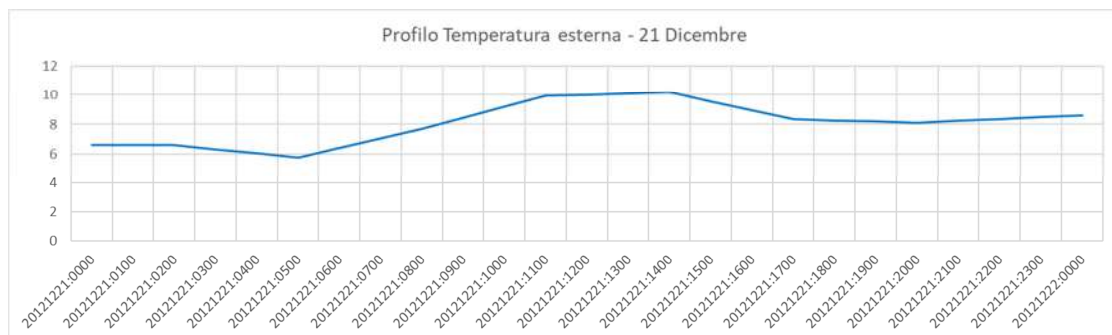
Temperatura esterna sui 12 mesi più rappresentativi



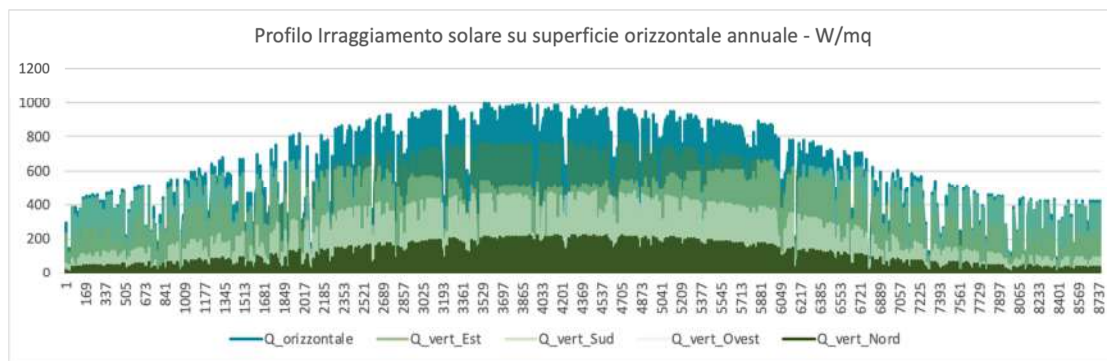
Temperatura esterna nel periodo di riscaldamento attivo dal 1° Novembre al 15 Aprile



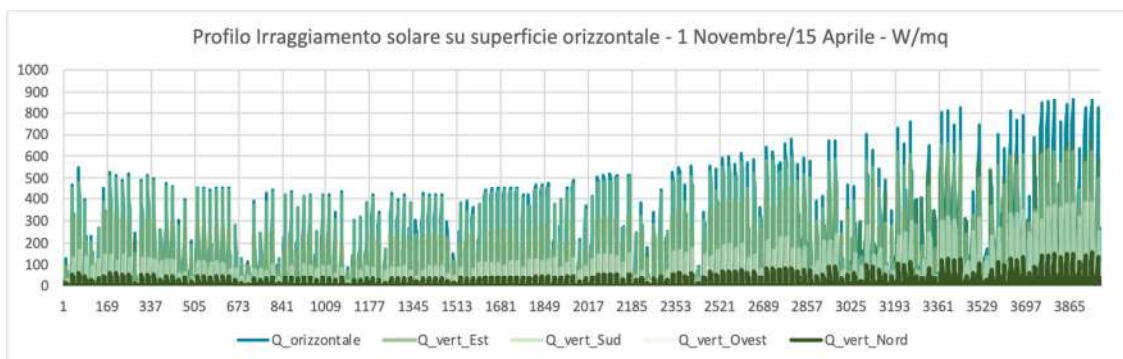
Temperatura esterna dal 18 Dicembre al 24 Dicembre



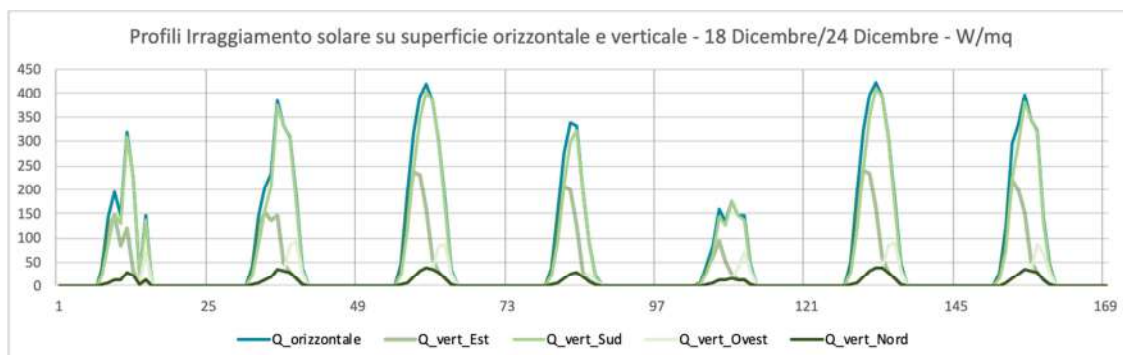
Temperatura esterna il 21 Dicembre, 24 ore



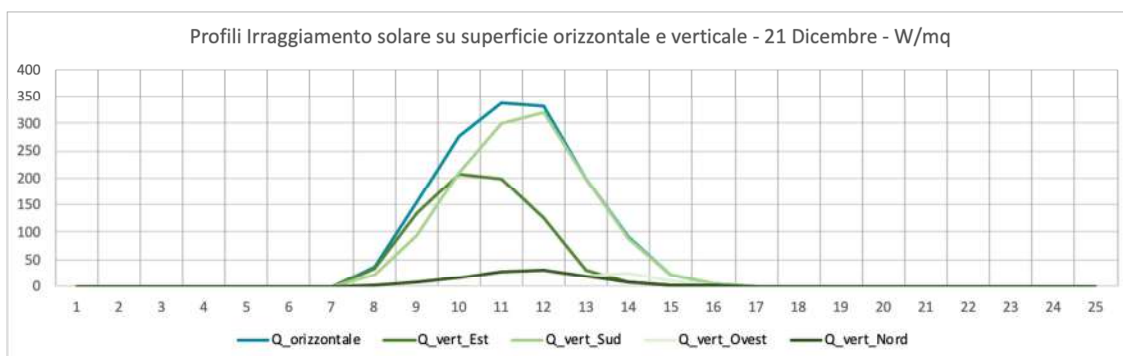
Irraggiamento solare sui 12 mesi più rappresentativi



Irraggiamento solare nel periodo di riscaldamento attivo dal 1° Novembre al 15 Aprile



Irraggiamento solare dal 18 dicembre al 24 Dicembre



Irraggiamento solare il 21 Dicembre, 24 ore

D.4 – Dati climatici città di Milano

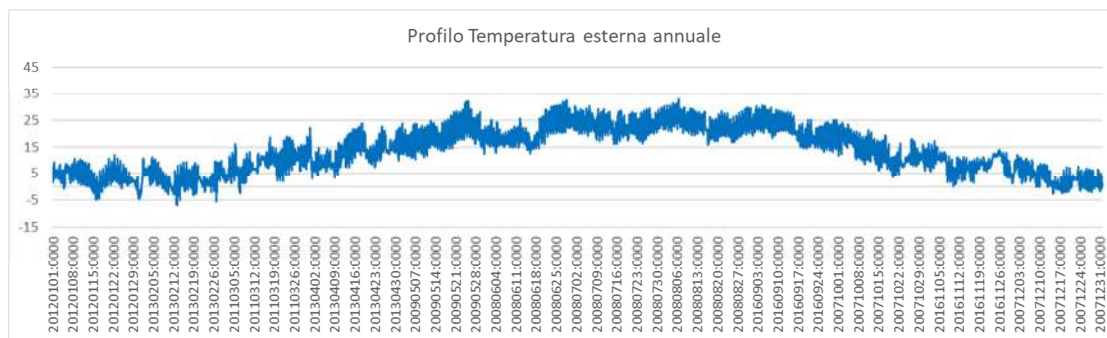
Città di riferimento		Milano
Zona climatica		E
Zona climatica di progetto		ZCP_4
Latitudine (gradi decimali)		45,468
Longitudine (gradi decimali)		9,182
Periodo di riscaldamento dpr. 412/1993		
Inizio		15 ottobre
Fine		15 aprile
n. di ore massime al giorno		14
Mese di riferimento per l'intervallo 2006 - 2017		
1		Gennaio 2012
2		Febbraio 2013
3		Marzo 2011
4		Aprile 2013
5		Maggio 2009
6		Giugno 2008
7		Luglio 2008
8		Agosto 2010
9		Settembre 2016
10		Ottobre 2007
11		Novembre 2016
12		Dicembre 2007

Dati Temperatura Esterna

Fonte	https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#TMY
Campionamento	Orario
Unità di misura	°C

Dati Irraggiamento Solare

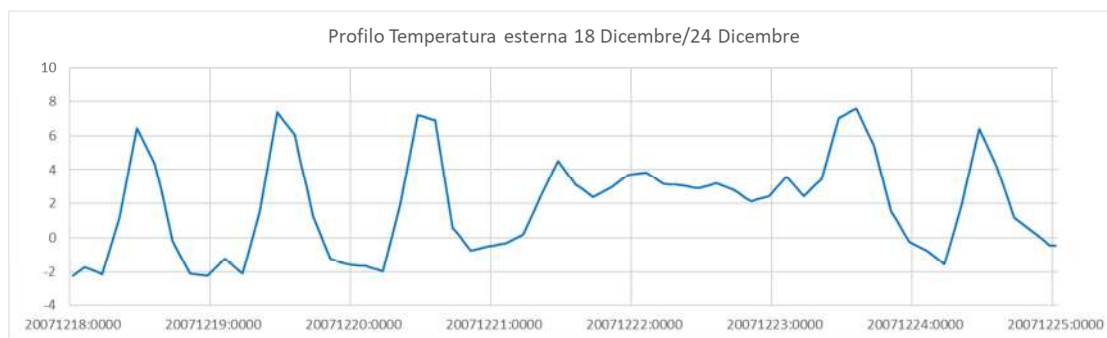
Fonte	https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#TMY
Campionamento	Orario
Unità di misura	W/m^2



Temperatura esterna sui 12 mesi più rappresentativi



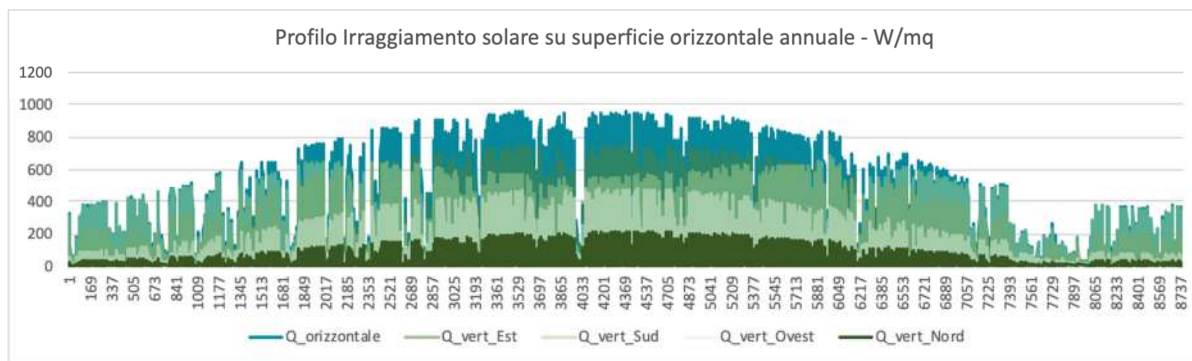
Temperatura esterna nel periodo di riscaldamento attivo dal 15 Ottobre al 15 Aprile



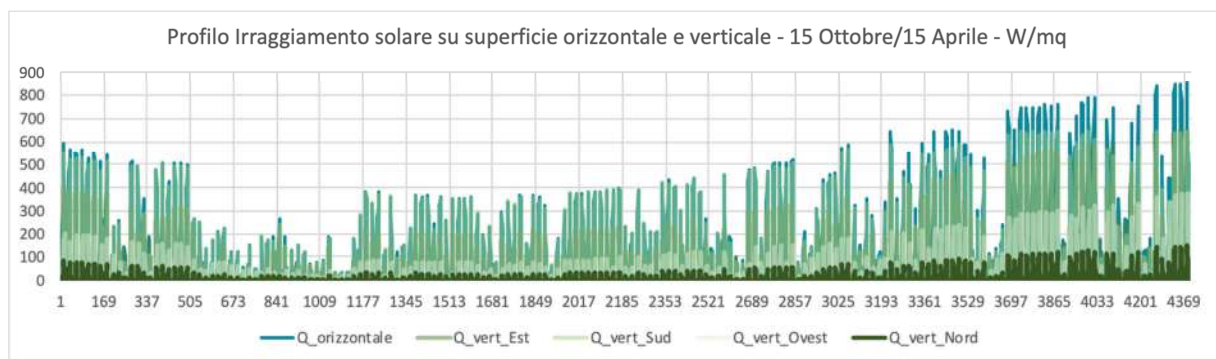
Temperatura esterna dal 18 Dicembre al 24 Dicembre



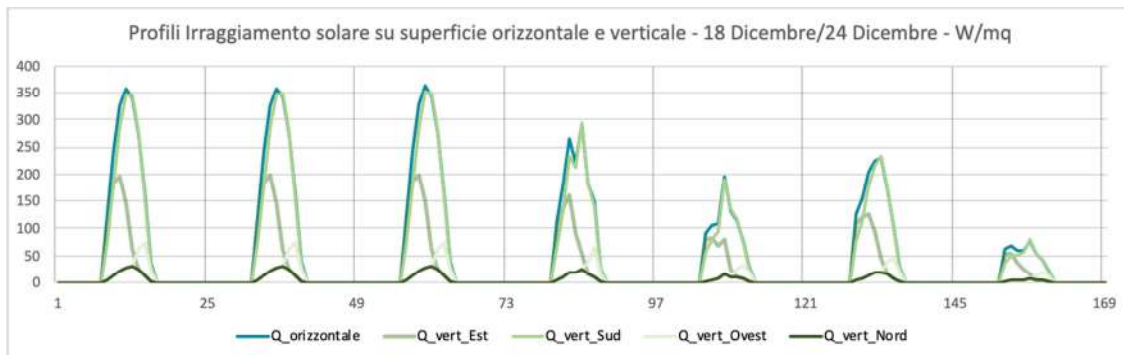
Temperatura esterna il 21 Dicembre, 24 ore



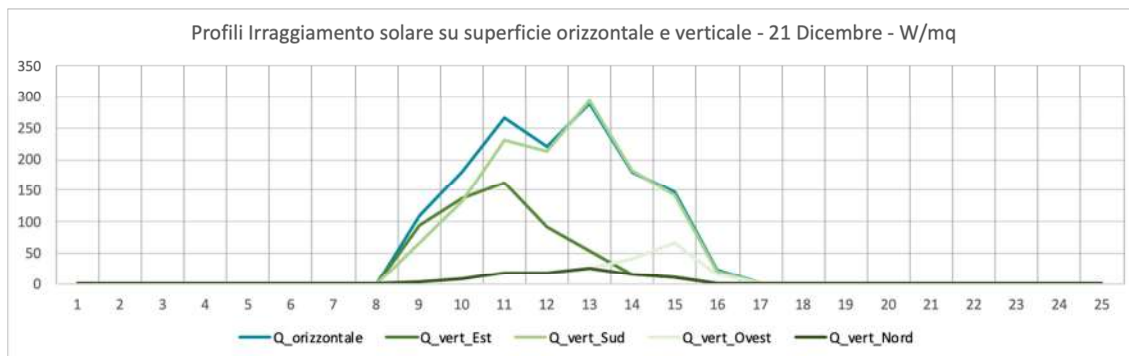
Irraggiamento solare sui 12 mesi più rappresentativi



Irraggiamento solare nel periodo di riscaldamento attivo dal 15 Ottobre al 15 Aprile



Irraggiamento solare dal 18 Dicembre al 24 Dicembre



Irraggiamento solare il 21 Dicembre, 24 ore

Allegato E – Estratti Webtool progetto TABULA/EPISCOPE

Year1_Building: construction year of the building (or first year of the construction period)	1975
Year2_Building: construction year of the building (or last year of the construction period)	1961
Code_ConstructionYearClass:code of the construction year class	IT.05
Code_BuildingType:code of the building type	IT.MidClim.SFH.05.Gen
Code_BuildingSizeClass:code of the building size class	SFH
A_C_Ref: energy reference area (conditioned floor area, internal dimensions)	156.30
Code_DataType_Building:code of the building data type	ReEx
Description_Building:description	
Description_Building_National:national description	
Year2_Building_Extension:last year of the extended construction periodonly used for extended construction year classes in case of average buildings (SyAv)	-
A_C_National:conditioned national reference floor areareference area determined according to national energy performance regulations - if available	156.30
A_C_ExtDim:conditioned gross floor areacconditioned floor area calculated on the basis of external dimensions (measured at the outside surface of external walls) - if available	0.00
A_C_IntDim:conditioned floor areacconditioned floor area calculated on the basis of internal dimensions (measured to the inside surface of external walls) - if available	156.30

A_C_Use:conditioned useful floor areasection of the conditioned net floor area primarily dedicated to the utilisation of the building, excluding functional and circulation areas (excluding e.g. stair cases in all buildings, corridors in non-residential buildings) - if available	0.00
A_C_Living:conditioned living areasection of the conditioned net floor area inside of the appartments of the building - if available	0.00
V_C:conditioned building volumeconditioned volume of the building (external dimensions) - if available	678.80
n_Apartment:number of apartments	1.00
n_Storey:number of complete storeysnumber of conditioned floors/storeys of the building (without attic storey, without cellar)	2.00
Code_RoofType:type / inclination of the roof	TR
Code_AtticCond:heating situation in the attic rooms (if available)	C
Code_CellarCond:heating situation in the cellar rooms (if available)	-
Code_AttachedNeighbours:neighbour situation / number of directly attached buildings	B_Alone
Code_ThermalBridging:classification of the thermal bridging	Medium
Code_Roof_1:code for identification of the U-value	IT.Roof.ReEx.03.01
Code_Roof_2:code for identification of the U-value	-
Code_Wall_1:code for identification of the U-value	IT.Wall.ReEx.04.02
Code_Wall_2:code for identification of the U-value	-
Code_Wall_3:code for identification of the U-value	-
Code_Floor_1:code for identification of the U-value	IT.Floor.ReEx.01.04
Code_Floor_2:code for identification of the U-value	-
Code_Window_1:code for identification of the U-value	IT.Window.ReEx.01.01
Code_Window_2:code for identification of the U-value	-
Code_Door_1:code for identification of the U-value	IT.Door.ReEx.01.01
Code_ConstructionBorder_Roof_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Ext
Code_ConstructionBorder_Roof_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Wall_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Ext
Code_ConstructionBorder_Wall_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Wall_3:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Floor_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Soil
Code_ConstructionBorder_Floor_2:border type, relevant for additional thermal resistance	-

(unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	
Code_ThermalBridging_Actual:code of the thermal bridging type, original building state	0.00
delta_U_ThermalBridging:additional losses of the thermal envelope caused by thermal bridging (supplement to all U-values)	0.10
Code_Infiltration:classification of the airtightness	High
Code_Infiltration_Actual:code of the infiltration type, to be considered	High
n_air_infiltration: additional air exchange rate, caused by infiltration (surcharge on air exchange rate)	0.40
A_Roof_1:surface area (external dimensions)element type roof 1	124.50
A_Roof_2:surface area (external dimensions)element type roof 2	0.00
A_Wall_1:surface area (external dimensions)element type wall 1	239.80
A_Wall_2:surface area (external dimensions)element type wall 2	0.00
A_Wall_3:surface area (external dimensions)element type wall 3	0.00
A_Floor_1:surface area (external dimensions)element type floor 1	107.80
A_Floor_2:surface area (external dimensions)element type floor 2	0.00
A_Window_1:surface areaelement type window 1	19.54
A_Door_1:element type door 1	2.40
A_Window_2:surface areaelement type window 2	0.00
A_Window_Horizontal:area of horizontal windowstilted below 30, otherwise classified as vertical (see below)	0.00
A_Window_East>window area oriented eastdeviation from orientation: +/- 45°	5.86
A_Window_South>window area oriented southdeviation from orientation: +/- 45°	7.82
A_Window_West>window area oriented westdeviation from orientation: +/- 45°	5.86
A_Window_North>window area oriented northdeviation from orientation: +/- 45°	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Roof_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Roof_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 2	-
R_Add_UnheatedSpace_Wall_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type wall 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Wall_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type wall 2	-
R_Add_UnheatedSpace_Wall_3:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 3	-
R_Add_UnheatedSpace_Floor_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type floor 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Floor_2:additional thermal resistance due to unheated space	-

bodering at the construction element	element type floor 2	
b_Transmission_Roof_1:adjustment factor soilelement type roof 1		1.00
b_Transmission_Roof_2:adjustment factor soilelement type roof 2		-
b_Transmission_Wall_1:adjustment factor soilelement type wall 1		1.00
b_Transmission_Wall_2:adjustment factor soilelement type wall 2		-
b_Transmission_Wall_3:adjustment factor soilelement type roof 3		-
b_Transmission_Floor_1:adjustment factor soilelement type floor 1		0.50
b_Transmission_Floor_2:adjustment factor soilelement type floor 2		-
Code_Measure_Roof_1:identification of the measure datasetelement type roof 1		-
Code_Measure_Roof_2:identification of the measure datasetelement type roof 2		-
Code_Measure_Wall_1:identification of the measure datasetelement type wall 1		-
Code_Measure_Wall_2:identification of the measure datasetelement type wall 2		-
Code_Measure_Wall_3:identification of the measure datasetelement type wall 3		-
Code_Measure_Floor_1:identification of the measure datasetelement type floor 1		-
Code_Measure_Floor_2:identification of the measure datasetelement type floor 2		-
Code_Measure_Window_1:identification of the measure datasetelement type window 1		-
Code_Measure_Window_2:identification of the measure datasetelement type window 2		-
Code_Measure_Door_1:identification of the measure datasetelement type door 1		-
R_Measure_Roof_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type roof 1		-
R_Measure_Roof_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type roof 2		-
R_Measure_Wall_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 1		-
R_Measure_Wall_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 2		-
R_Measure_Wall_3:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 3		-
R_Measure_Floor_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type floof 1		-
R_Measure_Floor_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type floof 2		-
R_Measure_Window_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type window 1		-
R_Measure_Window_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type window 1		-
R_Measure_Door_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type door 1		-
g_gl_n_Measure_Window_1:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing, refurbished window		-
g_gl_n_Measure_Window_2:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing, refurbished window		-

Code_MeasureType_Roof_1:code of the measure typeelement type roof 1	-
Code_MeasureType_Roof_2:code of the measure typeelement type roof 2	-
Code_MeasureType_Wall_1:code of the measure typeelement type wall 1	-
Code_MeasureType_Wall_2:code of the measure typeelement type wall 2	-
Code_MeasureType_Wall_3:code of the measure typeelement type wall 3	-
Code_MeasureType_Floor_2:code of the measure typeelement type floor 2	-
Code_MeasureType_Floor_1:code of the measure typeelement type floor 1	-
Code_MeasureType_Window_1:code of the measure typeelement type window 1	-
Code_MeasureType_Window_2:code of the measure typeelement type window 1	-
Code_MeasureType_Door_1:code of the measure typeelement type door 1	-
Code_ClimateRegion:code of the climatic region	IT.MidClim
Name_ClimateRegion:name of the climatic region	Climatic Middle Zone (Italian Climatic Zone E)
HeatingDays:number of days per year during heating season (average dayly temperature is below or equal the base temperature)	174.00
Theta_e:average external air temperature during the heating season	5.20
I_Sol_Hor:average global irradiation on horizontal surface during the heating season	378.00
I_Sol_East:average global irradiation on vertical surface oriented East during the heating season	290.00
I_Sol_South:average global irradiation on vertical surface oriented South during the heating season	496.00
I_Sol_West:average global irradiation on vertical surface oriented West during the heating season	290.00
I_Sol_North:average global irradiation on vertical surface oriented North during the heating season	122.00
Code_BoundaryCondType:boundary condition input type	Standard
Code_BoundaryCond_Individual:individual definition of boundary conditions for energy balance calculation	EU.SUH
Code_BoundaryCond:actually used boundary conditions for energy balance calculation	EU.SUH
theta_i:internal temperature	20.00
F_red_htr1:reduction factor, considering the effect of night setback and unheated space, value at $h_{tr} = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, h_{tr} = heat transfer coefficient by transmission, divided by $A_{C,ref}$; values between $h_{tr} = 1$ und $h_{tr} = 4$ are interpolated	0.90
F_red_htr4:reduction factor, considering the effect of night setback and unheated space, value at $h_{tr} = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, h_{tr} = heat transfer coefficient by transmission, divided by $A_{C,ref}$; values between $h_{tr} = 1$ und $h_{tr} = 4$ are interpolated	0.80
n_air_use: average air change rate, due to use of the buildinghygienical nessary air exchange rate by opening of windows, by ventilation systems, by parts of infiltration which are usable for necessary air exchange	0.40

h _{room} :room height (based on internal dimensions)the room height is used for the simplified calculation of the air volume	2.50
phi _{int} :average internal heat sources per m ² reference area	3.00
F _{sh_hor} :reduction factor external shading, horizontal orientation	0.80
F _{sh_vert} :reduction factor external shading, vertical orientations	0.60
F _f :frame area fraction of window	0.30
F _w :reduction factor, considering radiation non-perpendicular to the glazing	0.90
c _m :internal heat capacity per m ² reference area	45.00
R _{Before_Roof_1} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type roof 1	0.45
R _{Before_Roof_2} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type roof 2	0.00
R _{Before_Wall_1} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 1	0.79
R _{Before_Wall_2} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 2	0.00
R _{Before_Wall_3} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 3	0.00
R _{Before_Floor_1} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type floor 1	0.50
R _{Before_Floor_2} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type floor 2	0.00
R _{Before_Window_1} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type window 1	0.20
R _{Before_Window_2} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type window 1	0.00
R _{Before_Door_1} :thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type door 1	0.33
U _{Actual_Roof_1} :U-value after refurbishmentelement type roof 1	2.20
U _{Actual_Roof_2} :U-value after refurbishmentelement type roof 2	0.00
U _{Actual_Wall_1} :U-value after refurbishmentelement type wall 1	1.26
U _{Actual_Wall_2} :U-value after refurbishmentelement type wall 2	0.00
U _{Actual_Wall_3} :U-value after refurbishmentelement type wall 3	0.00
U _{Actual_Floor_1} :U-value after refurbishmentelement type floor 1	2.00
U _{Actual_Window_2} :U-value after refurbishmentelement type window 2	0.00
U _{Actual_Window_1} :U-value after refurbishmentelement type window 1	4.90
U _{Actual_Floor_2} :U-value after refurbishmentelement type floor 2	0.00
U _{Actual_Door_1} :U-value after refurbishmentelement type door 1	3.00

H_Transmission_Roof_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type roof 1	273.90
H_Transmission_Roof_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type roof 2	0.00
H_Transmission_Wall_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 1	302.15
H_Transmission_Wall_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 2	0.00
H_Transmission_Wall_3:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 3	0.00
H_Transmission_Floor_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type floor 1	107.80
H_Transmission_Floor_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type floor 2	0.00
H_Transmission_Window_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type window 1	95.75
H_Transmission_Window_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type window 2	0.00
H_Transmission_Door_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type door 1	7.20
H_Transmission_ThermalBridging:heat transfer coefficient by transmissionsupplemental heat loss due to thermal bridging	49.40
h_Transmission:floor area related heat transfer coefficient by transmissionindicator for energy quality of building envelope (compactness + insulation)	5.35
Sum_DeltaT_for_HeatingDays:accumulated difference between internal and external temperature	2575.20
h_Ventilation:floor area related heat transfer coefficient by ventilationW/(m²K)	0.68
F_red_temp:temperature reduction factor, considering the effect of night setback and unheated spacevalues of F_red_temp are given for h_tr = 1 und h_tr = 4, interpolation of values between	0.80
q_ht_tr:floor area related annual transmission losses	264.52
q_ht_ve:floor area related annual ventilation losses	33.62
q_ht:floor area related annual losseskWh/(m²a)	298.14
g_gl_n:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazingaverage for both window types, considering refurbished state	0.85
Q_Sol_Hor:solar heat load during heating seasonHorizontal	0.00
Q_Sol_East:solar heat load during heating seasonEast	546.02
Q_Sol_South:solar heat load during heating seasonSouth	1246.23
Q_Sol_West:solar heat load during heating seasonWest	546.02
q_sol:floor area related solar heat load during heating seasonkWh/(m²a)	14.96
Q_Sol_North:solar heat load during heating seasonNorth	0.00
q_int:floor area related internal heat sources during heating seasonkWh/(m²a)	12.53
a_H:parameter for determination of the gain utilisation factor for heating	1.05
tau:time constant of the buildingrelevant for seasonal method	7.46

gamma_h_gn:heat balance ratio for the heating mode	0.09
eta_h_gn:gain utilisation factor for heating	0.92
q_h_nd:energy need for heating	272.72

	
Number_BuildingVariant:variant number, starting from 1 (maximum value: 999),null,null	1.00
Description_BuildingVariant:description	
Description_BuildingVariant_National:national description	
Year1_Building:construction year of the building (or first year of the construction period)	1990
Year2_Building:construction year of the building (or last year of the construction period)	1976
Code_ConstructionYearClass:code of the construction year class	IT.06
Code_BuildingType:code of the building type	IT.MidClim.TH.06.Gen
Code_BuildingSizeClass:code of the building size class	TH
A_C_Ref:energy reference area (conditioned floor area, internal dimensions)	125.20
Code_DataType_Building:code of the building data type	ReEx
Description_Building:description	
Description_Building_National:national description	
Year2_Building_Extension:last year of the extended construction periodonly used for extended construction year classes in case of average buildings (SyAv)	-
A_C_National:conditioned national reference floor areareference area determined according to national energy performance regulations - if available	125.20
A_C_ExtDim:conditioned gross floor areaconditioned floor area calculated on the basis of external dimensions (measured at the outside surface of external walls) - if available	0.00
A_C_IntDim:conditioned floor areaconditioned floor area calculated on the basis of internal dimensions (measured to the inside surface of external walls) - if available	125.20
A_C_Use:conditioned useful floor areasection of the conditioned net floor area primarily dedicated to the utilisation of the building, excluding functional and circulation areas (excluding e.g. stair cases in all buildings, corridors in non-residential buildings) - if available	0.00

A_C_Living:conditioned living areasection of the conditioned net floor area inside of the apartments of the building - if available	0.00
V_C:conditioned building volumeconditioned volume of the building (external dimensions) - if available	434.00
n_Apartment:number of apartments	1.00
n_Storey:number of complete storeysnumber of conditioned floors/storeys of the building (without attic storey, without cellar)	2.00
Code_RoofType:type / inclination of the roof	TR
Code_AtticCond:heating situation in the attic rooms (if available)	C
Code_CellarCond:heating situation in the cellar rooms (if available)	N
Code_AttachedNeighbours:neighbour situation / number of directly attached buildings	B_N1
Code_ThermalBridging:classification of the thermal bridging	Medium
Code_Roof_1:code for identification of the U-value	IT.Roof.ReEx.06.01
Code_Roof_2:code for identification of the U-value	-
Code_Wall_1:code for identification of the U-value	IT.Wall.ReEx.06.02
Code_Wall_2:code for identification of the U-value	-
Code_Wall_3:code for identification of the U-value	-
Code_Floor_1:code for identification of the U-value	IT.Floor.ReEx.06.01
Code_Floor_2:code for identification of the U-value	-
Code_Window_1:code for identification of the U-value	IT.Window.ReEx.06.01
Code_Window_2:code for identification of the U-value	-
Code_Door_1:code for identification of the U-value	IT.Door.ReEx.06.02
Code_ConstructionBorder_Roof_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Ext
Code_ConstructionBorder_Roof_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Wall_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Ext
Code_ConstructionBorder_Wall_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Wall_3:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Floor_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Cellar
Code_ConstructionBorder_Floor_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ThermalBridging_Actual:code of the thermal brindging type, original building state	0.00

delta_U_ThermalBridging:additional losses of the thermal envelope caused by thermal bridging (supplement to all U-values)	0.10
Code_Infiltration:classification of the airtightness	Medium
Code_Infiltration_Actual:code of the infiltration type, to be considered	Medium
n_air_infiltration:additional air exchange rate, caused by infiltration (surcharge on air exchange rate)	0.20
A_Roof_1:surface area (external dimensions)element type roof 1	79.50
A_Roof_2:surface area (external dimensions)element type roof 2	0.00
A_Wall_1:surface area (external dimensions)element type wall 1	131.76
A_Wall_2:surface area (external dimensions)element type wall 2	0.00
A_Wall_3:surface area (external dimensions)element type wall 3	0.00
A_Floor_1:surface area (external dimensions)element type floor 1	68.89
A_Floor_2:surface area (external dimensions)element type floor 2	0.00
A_Window_1:surface areaelement type window 1	15.64
A_Door_1:element type door 1	2.40
A_Window_2:surface areaelement type window 2	0.00
A_Window_Horizontal:area of horizontal windowstilted below 30, otherwise classified as vertical (see below)	0.00
A_Window_East>window area oriented eastdeviation from orientation: +/- 45°	4.69
A_Window_South>window area oriented southdeviation from orientation: +/- 45°	9.39
A_Window_West>window area oriented westdeviation from orientation: +/- 45°	0.00
A_Window_North>window area oriented northdeviation from orientation: +/- 45°	1.56
R_Add_UnheatedSpace_Roof_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Roof_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 2	-
R_Add_UnheatedSpace_Wall_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type wall 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Wall_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type wall 2	-
R_Add_UnheatedSpace_Wall_3:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 3	-
R_Add_UnheatedSpace_Floor_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type floor 1	0.30
R_Add_UnheatedSpace_Floor_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type floor 2	-
b_Transmission_Roof_1:adjustment factor soilelement type roof 1	1.00

b_Transmission_Roof_2:adjustment factor soilelement type roof 2	-
b_Transmission_Wall_1:adjustment factor soilelement type wall 1	1.00
b_Transmission_Wall_2:adjustment factor soilelement type wall 2	-
b_Transmission_Wall_3:adjustment factor soilelement type roof 3	-
b_Transmission_Floor_1:adjustment factor soilelement type floor 1	0.50
b_Transmission_Floor_2:adjustment factor soilelement type floor 2	-
Code_Measure_Roof_1:identification of the measure datasetelement type roof 1	-
Code_Measure_Roof_2:identification of the measure datasetelement type roof 2	-
Code_Measure_Wall_1:identification of the measure datasetelement type wall 1	-
Code_Measure_Wall_2:identification of the measure datasetelement type wall 2	-
Code_Measure_Wall_3:identification of the measure datasetelement type wall 3	-
Code_Measure_Floor_1:identification of the measure datasetelement type floor 1	-
Code_Measure_Floor_2:identification of the measure datasetelement type floor 2	-
Code_Measure_Window_1:identification of the measure datasetelement type window 1	-
Code_Measure_Window_2:identification of the measure datasetelement type window 2	-
Code_Measure_Door_1:identification of the measure datasetelement type door 1	-
R_Measure_Roof_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type roof 1	-
R_Measure_Roof_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type roof 2	-
R_Measure_Wall_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 1	-
R_Measure_Wall_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 2	-
R_Measure_Wall_3:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 3	-
R_Measure_Floor_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type floor 1	-
R_Measure_Floor_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type floor 2	-
R_Measure_Window_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type window 1	-
R_Measure_Window_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type window 1	-
R_Measure_Door_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type door 1	-
g_gl_n_Measure_Window_1:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing, refurbished window	-
g_gl_n_Measure_Window_2:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing, refurbished window	-
Code_MeasureType_Roof_1:code of the measure typeelement type roof 1	-
Code_MeasureType_Roof_2:code of the measure typeelement type roof 2	-

Code_MeasureType_Wall_1:code of the measure typeelement type wall 1	-
Code_MeasureType_Wall_2:code of the measure typeelement type wall 2	-
Code_MeasureType_Wall_3:code of the measure typeelement type wall 3	-
Code_MeasureType_Floor_2:code of the measure typeelement type floor 2	-
Code_MeasureType_Floor_1:code of the measure typeelement type floor 1	-
Code_MeasureType_Window_1:code of the measure typeelement type window 1	-
Code_MeasureType_Window_2:code of the measure typeelement type window 1	-
Code_MeasureType_Door_1:code of the measure typeelement type door 1	-
Code_ClimateRegion:code of the climatic region	IT.MidClim
Name_ClimateRegion:name of the climatic region	Climatic Middle Zone (Italian Climatic Zone E)
HeatingDays:number of days per year during heating season (average daily temperature is below or equal the base temperature)	174.00
Theta_e:average external air temperature during the heating season	5.20
I_Sol_Hor:average global irradiation on horizontal surface during the heating season	378.00
I_Sol_East:average global irradiation on vertical surface oriented East during the heating season	290.00
I_Sol_South:average global irradiation on vertical surface oriented South during the heating season	496.00
I_Sol_West:average global irradiation on vertical surface oriented West during the heating season	290.00
I_Sol_North:average global irradiation on vertical surface oriented North during the heating season	122.00
Code_BoundaryCondType:boundary condition input type	Standard
Code_BoundaryCond_Individual:individual definition of boundary conditions for energy balance calculation	EU.SUH
Code_BoundaryCond:actually used boundary conditions for energy balance calculation	EU.SUH
theta_i:internal temperature	20.00
F_red_htr1:reduction factor, considering the effect of night setback and unheated space, value at $h_{tr} = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, h_{tr} = heat transfer coefficient by transmission, divided by $A_{C,ref}$; values between $h_{tr} = 1$ und $h_{tr} = 4$ are interpolated	0.90
F_red_htr4:reduction factor, considering the effect of night setback and unheated space, value at $h_{tr} = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, h_{tr} = heat transfer coefficient by transmission, divided by $A_{C,ref}$; values between $h_{tr} = 1$ und $h_{tr} = 4$ are interpolated	0.80
n_air_use:average air change rate, due to use of the buildinghygienical nessary air exchange rate by opening of windows, by ventilation systems, by parts of infiltration which are usable for necessary air exchange	0.40
h_room:room height (based on internal dimensions)the room height is used for the simplified calculation of the air volume	2.50
phi_int:average internal heat sources per m^2 reference area	3.00

F_sh_hor:reduction factor external shading, horizontal orientation	0.80
F_sh_vert:reduction factor external shading, vertical orientations	0.60
F_f:frame area fraction of window	0.30
F_w:reduction factor, considering radiation non-perpendicular to the glazing	0.90
c_m:internal heat capacity per m ² reference area	45.00
R_Before_Roof_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type roof 1	1.05
R_Before_Roof_2:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type roof 2	0.00
R_Before_Wall_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 1	1.32
R_Before_Wall_2:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 2	0.00
R_Before_Wall_3:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 3	0.00
R_Before_Floor_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type floor 1	1.32
R_Before_Floor_2:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type floor 2	0.00
R_Before_Window_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type window 1	0.36
R_Before_Window_2:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type window 1	0.00
R_Before_Door_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type door 1	0.59
U_Actual_Roof_1:U-value after refurbishmentelement type roof 1	0.95
U_Actual_Roof_2:U-value after refurbishmentelement type roof 2	0.00
U_Actual_Wall_1:U-value after refurbishmentelement type wall 1	0.76
U_Actual_Wall_2:U-value after refurbishmentelement type wall 2	0.00
U_Actual_Wall_3:U-value after refurbishmentelement type wall 3	0.00
U_Actual_Floor_1:U-value after refurbishmentelement type floor 1	0.76
U_Actual_Window_2:U-value after refurbishmentelement type window 2	0.00
U_Actual_Window_1:U-value after refurbishmentelement type window 1	2.80
U_Actual_Floor_2:U-value after refurbishmentelement type floor 2	0.00
U_Actual_Door_1:U-value after refurbishmentelement type door 1	1.70
H_Transmission_Roof_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type roof 1	75.53
H_Transmission_Roof_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type roof 2	0.00

H_Transmission_Wall_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 1	100.14
H_Transmission_Wall_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 2	0.00
H_Transmission_Wall_3:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 3	0.00
H_Transmission_Floor_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type floor 1	26.09
H_Transmission_Floor_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type floor 2	0.00
H_Transmission_Window_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type window 1	43.79
H_Transmission_Window_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type window 2	0.00
H_Transmission_Door_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type door 1	4.08
H_Transmission_ThermalBridging:heat transfer coefficient by transmissionsupplemental heat loss due to thermal bridging	29.82
h_Transmission:floor area related heat transfer coefficient by transmissionindicator for energy quality of building envelope (compactness + insulation)	2.23
Sum_DeltaT_for_HeatingDays:accumulated difference between internal and external temperature	2575.20
h_Ventilation:floor area related heat transfer coefficient by ventilationW/(m²K)	0.51
F_red_temp:temperature reduction factor, considering the effect of night setback and unheated spacevalues of F_red_temp are given for h_tr = 1 und h_tr = 4, interpolation of values between	0.86
q_ht_tr:floor area related annual transmission losses	118.49
q_ht_ve:floor area related annual ventilation losses	27.07
q_ht:floor area related annual losseskWh/(m²a)	145.56
g_gl_n:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazingaverage for both window types, considering refurbished state	0.75
Q_Sol_Hor:solar heat load during heating seasonHorizontal	0.00
Q_Sol_East:solar heat load during heating seasonEast	385.59
Q_Sol_South:solar heat load during heating seasonSouth	1320.38
Q_Sol_West:solar heat load during heating seasonWest	0.00
q_sol:floor area related solar heat load during heating seasonkWh/(m²a)	14.06
Q_Sol_North:solar heat load during heating seasonNorth	53.96
q_int:floor area related internal heat sources during heating seasonkWh/(m²a)	12.53
a_H:parameter for determination of the gain utilisation factor for heating	1.35
tau:time constant of the buildingrelevant for seasonal method	16.41
gamma_h_gn:heat balance ratio for the heating mode	0.18
eta_h_gn:gain utilisation factor for heating	0.92

q_h_nd:energy need for heating	121.22
--------------------------------	--------

	
Number_BuildingVariant:variant number, starting from 1 (maximum value: 999),null,null	1.00
Description_BuildingVariant:description	
Description_BuildingVariant_National:national description	
Year1_Building:construction year of the building (or first year of the construction period)	1975
Year2_Building:construction year of the building (or last year of the construction period)	1961
Code_ConstructionYearClass:code of the construction year class	IT.05
Code_BuildingType:code of the building type	IT.MidClim.TH.05.Gen
Code_BuildingSizeClass:code of the building size class	TH
A_C_Ref:energy reference area (conditioned floor area, internal dimensions)	89.00
Code_DataType_Building:code of the building data type	ReEx
Description_Building:description	
Description_Building_National:national description	
Year2_Building_Extension:last year of the extended construction periodonly used for extended construction year classes in case of average buildings (SyAv)	-
A_C_National:conditioned national reference floor areareference area determined according to national energy performance regulations - if available	89.00
A_C_ExtDim:conditioned gross floor areaconditioned floor area calculated on the basis of external dimensions (measured at the outside surface of external walls) - if available	0.00
A_C_IntDim:conditioned floor areaconditioned floor area calculated on the basis of internal dimensions (measured to the inside surface of external walls) - if available	89.00
A_C_Use:conditioned useful floor areasection of the conditioned net floor area primarily dedicated to the utilisation of the building, excluding functional and circulation areas (excluding e.g. stair cases in all buildings, corridors in non-residential buildings) - if available	0.00

A_C_Living:conditioned living areasection of the conditioned net floor area inside of the apartments of the building - if available	0.00
V_C:conditioned building volumeconditioned volume of the building (external dimensions) - if available	374.40
n_Apartment:number of apartments	1.00
n_Storey:number of complete storeysnumber of conditioned floors/storeys of the building (without attic storey, without cellar)	2.00
Code_RoofType:type / inclination of the roof	FR
Code_AtticCond:heating situation in the attic rooms (if available)	C
Code_CellarCond:heating situation in the cellar rooms (if available)	-
Code_AttachedNeighbours:neighbour situation / number of directly attached buildings	B_N2
Code_ThermalBridging:classification of the thermal bridging	Medium
Code_Roof_1:code for identification of the U-value	IT.Roof.ReEx.03.02
Code_Roof_2:code for identification of the U-value	-
Code_Wall_1:code for identification of the U-value	IT.Wall.ReEx.04.02
Code_Wall_2:code for identification of the U-value	-
Code_Wall_3:code for identification of the U-value	-
Code_Floor_1:code for identification of the U-value	IT.Floor.ReEx.01.04
Code_Floor_2:code for identification of the U-value	-
Code_Window_1:code for identification of the U-value	IT.Window.ReEx.01.01
Code_Window_2:code for identification of the U-value	-
Code_Door_1:code for identification of the U-value	IT.Door.ReEx.01.01
Code_ConstructionBorder_Roof_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Ext
Code_ConstructionBorder_Roof_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Wall_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Ext
Code_ConstructionBorder_Wall_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Wall_3:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Floor_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Soil
Code_ConstructionBorder_Floor_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ThermalBridging_Actual:code of the thermal brindging type, original building state	0.00

delta_U_ThermalBridging:additional losses of the thermal envelope caused by thermal bridging (supplement to all U-values)	0.10
Code_Infiltration:classification of the airtightness	High
Code_Infiltration_Actual:code of the infiltration type, to be considered	High
n_air_infiltration:additional air exchange rate, caused by infiltration (surcharge on air exchange rate)	0.40
A_Roof_1:surface area (external dimensions)element type roof 1	59.43
A_Roof_2:surface area (external dimensions)element type roof 2	0.00
A_Wall_1:surface area (external dimensions)element type wall 1	61.36
A_Wall_2:surface area (external dimensions)element type wall 2	0.00
A_Wall_3:surface area (external dimensions)element type wall 3	0.00
A_Floor_1:surface area (external dimensions)element type floor 1	59.43
A_Floor_2:surface area (external dimensions)element type floor 2	0.00
A_Window_1:surface areaelement type window 1	11.12
A_Door_1:element type door 1	2.40
A_Window_2:surface areaelement type window 2	0.00
A_Window_Horizontal:area of horizontal windowstilted below 30, otherwise classified as vertical (see below)	0.00
A_Window_East>window area oriented eastdeviation from orientation: +/- 45°	0.00
A_Window_South>window area oriented southdeviation from orientation: +/- 45°	6.67
A_Window_West>window area oriented westdeviation from orientation: +/- 45°	0.00
A_Window_North>window area oriented northdeviation from orientation: +/- 45°	4.45
R_Add_UnheatedSpace_Roof_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Roof_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 2	-
R_Add_UnheatedSpace_Wall_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type wall 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Wall_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type wall 2	-
R_Add_UnheatedSpace_Wall_3:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type roof 3	-
R_Add_UnheatedSpace_Floor_1:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type floor 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Floor_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction elementelement type floor 2	-
b_Transmission_Roof_1:adjustment factor soilelement type roof 1	1.00

b_Transmission_Roof_2:adjustment factor soilelement type roof 2	-
b_Transmission_Wall_1:adjustment factor soilelement type wall 1	1.00
b_Transmission_Wall_2:adjustment factor soilelement type wall 2	-
b_Transmission_Wall_3:adjustment factor soilelement type roof 3	-
b_Transmission_Floor_1:adjustment factor soilelement type floor 1	0.50
b_Transmission_Floor_2:adjustment factor soilelement type floor 2	-
Code_Measure_Roof_1:identification of the measure datasetelement type roof 1	-
Code_Measure_Roof_2:identification of the measure datasetelement type roof 2	-
Code_Measure_Wall_1:identification of the measure datasetelement type wall 1	-
Code_Measure_Wall_2:identification of the measure datasetelement type wall 2	-
Code_Measure_Wall_3:identification of the measure datasetelement type wall 3	-
Code_Measure_Floor_1:identification of the measure datasetelement type floor 1	-
Code_Measure_Floor_2:identification of the measure datasetelement type floor 2	-
Code_Measure_Window_1:identification of the measure datasetelement type window 1	-
Code_Measure_Window_2:identification of the measure datasetelement type window 2	-
Code_Measure_Door_1:identification of the measure datasetelement type door 1	-
R_Measure_Roof_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type roof 1	-
R_Measure_Roof_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type roof 2	-
R_Measure_Wall_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 1	-
R_Measure_Wall_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 2	-
R_Measure_Wall_3:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 3	-
R_Measure_Floor_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type floor 1	-
R_Measure_Floor_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type floor 2	-
R_Measure_Window_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type window 1	-
R_Measure_Window_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type window 1	-
R_Measure_Door_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type door 1	-
g_gl_n_Measure_Window_1:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing, refurbished window	-
g_gl_n_Measure_Window_2:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing, refurbished window	-
Code_MeasureType_Roof_1:code of the measure typeelement type roof 1	-
Code_MeasureType_Roof_2:code of the measure typeelement type roof 2	-

Code_MeasureType_Wall_1:code of the measure typeelement type wall 1	-
Code_MeasureType_Wall_2:code of the measure typeelement type wall 2	-
Code_MeasureType_Wall_3:code of the measure typeelement type wall 3	-
Code_MeasureType_Floor_2:code of the measure typeelement type floor 2	-
Code_MeasureType_Floor_1:code of the measure typeelement type floor 1	-
Code_MeasureType_Window_1:code of the measure typeelement type window 1	-
Code_MeasureType_Window_2:code of the measure typeelement type window 1	-
Code_MeasureType_Door_1:code of the measure typeelement type door 1	-
Code_ClimateRegion:code of the climatic region	IT.MidClim
Name_ClimateRegion:name of the climatic region	Climatic Middle Zone (Italian Climatic Zone E)
HeatingDays:number of days per year during heating season (average daily temperature is below or equal the base temperature)	174.00
Theta_e:average external air temperature during the heating season	5.20
I_Sol_Hor:average global irradiation on horizontal surface during the heating season	378.00
I_Sol_East:average global irradiation on vertical surface oriented East during the heating season	290.00
I_Sol_South:average global irradiation on vertical surface oriented South during the heating season	496.00
I_Sol_West:average global irradiation on vertical surface oriented West during the heating season	290.00
I_Sol_North:average global irradiation on vertical surface oriented North during the heating season	122.00
Code_BoundaryCondType:boundary condition input type	Standard
Code_BoundaryCond_Individual:individual definition of boundary conditions for energy balance calculation	EU.SUH
Code_BoundaryCond:actually used boundary conditions for energy balance calculation	EU.SUH
theta_i:internal temperature	20.00
F_red_htr1:reduction factor, considering the effect of night setback and unheated space, value at $h_{tr} = 1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, h_{tr} = heat transfer coefficient by transmission, divided by $A_{C,ref}$; values between $h_{tr} = 1$ und $h_{tr} = 4$ are interpolated	0.90
F_red_htr4:reduction factor, considering the effect of night setback and unheated space, value at $h_{tr} = 1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, h_{tr} = heat transfer coefficient by transmission, divided by $A_{C,ref}$; values between $h_{tr} = 1$ und $h_{tr} = 4$ are interpolated	0.80
n_air_use:average air change rate, due to use of the buildinghygienical nessary air exchange rate by opening of windows, by ventilation systems, by parts of infiltration which are usable for necessary air exchange	0.40
h_room:room height (based on internal dimensions)the room height is used for the simplified calculation of the air volume	2.50
phi_int:average internal heat sources per m^2 reference area	3.00

F_sh_hor:reduction factor external shading, horizontal orientation	0.80
F_sh_vert:reduction factor external shading, vertical orientations	0.60
F_f:frame area fraction of window	0.30
F_w:reduction factor, considering radiation non-perpendicular to the glazing	0.90
c_m:internal heat capacity per m ² reference area	45.00
R_Before_Roof_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type roof 1	0.54
R_Before_Roof_2:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type roof 2	0.00
R_Before_Wall_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 1	0.79
R_Before_Wall_2:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 2	0.00
R_Before_Wall_3:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 3	0.00
R_Before_Floor_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type floor 1	0.50
R_Before_Floor_2:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type floor 2	0.00
R_Before_Window_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type window 1	0.20
R_Before_Window_2:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type window 1	0.00
R_Before_Door_1:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type door 1	0.33
U_Actual_Roof_1:U-value after refurbishmentelement type roof 1	1.85
U_Actual_Roof_2:U-value after refurbishmentelement type roof 2	0.00
U_Actual_Wall_1:U-value after refurbishmentelement type wall 1	1.26
U_Actual_Wall_2:U-value after refurbishmentelement type wall 2	0.00
U_Actual_Wall_3:U-value after refurbishmentelement type wall 3	0.00
U_Actual_Floor_1:U-value after refurbishmentelement type floor 1	2.00
U_Actual_Window_2:U-value after refurbishmentelement type window 2	0.00
U_Actual_Window_1:U-value after refurbishmentelement type window 1	4.90
U_Actual_Floor_2:U-value after refurbishmentelement type floor 2	0.00
U_Actual_Door_1:U-value after refurbishmentelement type door 1	3.00
H_Transmission_Roof_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type roof 1	109.95
H_Transmission_Roof_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type roof 2	0.00

H_Transmission_Wall_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 1	77.31
H_Transmission_Wall_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 2	0.00
H_Transmission_Wall_3:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 3	0.00
H_Transmission_Floor_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type floor 1	59.43
H_Transmission_Floor_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type floor 2	0.00
H_Transmission_Window_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type window 1	54.49
H_Transmission_Window_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type window 2	0.00
H_Transmission_Door_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type door 1	7.20
H_Transmission_ThermalBridging:heat transfer coefficient by transmissionsupplemental heat loss due to thermal bridging	19.37
h_Transmission:floor area related heat transfer coefficient by transmissionindicator for energy quality of building envelope (compactness + insulation)	3.68
Sum_DeltaT_for_HeatingDays:accumulated difference between internal and external temperature	2575.20
h_Ventilation:floor area related heat transfer coefficient by ventilationW/(m²K)	0.68
F_red_temp:temperature reduction factor, considering the effect of night setback and unheated spacevalues of F_red_temp are given for h_tr = 1 und h_tr = 4, interpolation of values between	0.81
q_ht_tr:floor area related annual transmission losses	184.49
q_ht_ve:floor area related annual ventilation losses	34.07
q_ht:floor area related annual losseskWh/(m²a)	218.56
g_gl_n:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazingaverage for both window types, considering refurbished state	0.85
Q_Sol_Hor:solar heat load during heating seasonHorizontal	0.00
Q_Sol_East:solar heat load during heating seasonEast	0.00
Q_Sol_South:solar heat load during heating seasonSouth	1062.96
Q_Sol_West:solar heat load during heating seasonWest	0.00
q_sol:floor area related solar heat load during heating seasonkWh/(m²a)	13.90
Q_Sol_North:solar heat load during heating seasonNorth	174.43
q_int:floor area related internal heat sources during heating seasonkWh/(m²a)	12.53
a_H:parameter for determination of the gain utilisation factor for heating	1.14
tau:time constant of the buildingrelevant for seasonal method	10.31
gamma_h_gn:heat balance ratio for the heating mode	0.12
eta_h_gn:gain utilisation factor for heating	0.92

q_h_nd:energy need for heating	194.22
--------------------------------	--------

SCHEDA DA WEBTOOL PER UNITÀ ABITATIVA IN CONDOMIO UAC	
Code_BuildingVariant:identification of the building variant dataset	IT.MidClim.AB.06.Gen.ReEx.001.001
Code_StatusDataset:code of the dataset status	Typology
Country	IT
Code_Building:identification of the building	IT.MidClim.AB.06.Gen.ReEx.001
Photo of the Building:	IT.MidClim.AB.06.Gen.ReEx.001.jpg
Name_Photo_Building:filename of the photo	
Number_BuildingVariant:variant number, starting from 1 (maximum value: 999),null,null	
Description_BuildingVariant:description	1.00
Description_BuildingVariant_National:national description	
Year1_Building:construction year of the building (or first year of the construction period)	1990
Year2_Building:construction year of the building (or last year of the construction period)	1976
Code_ConstructionYearClass:code of the construction year class	IT.06
Code_BuildingType:code of the building type	IT.MidClim.AB.06.Gen
Code_BuildingSizeClass:code of the building size class	AB
A_C_Ref:energy reference area (conditioned floor area, internal dimensions)	3506.25
Code_DataType_Building:code of the building data type	ReEx
Description_Building:description	
Description_Building_National:national description	
Year2_Building_Extension:last year of the extended construction periodonly used for extended construction year classes in case of average buildings (SyAv)	-
A_C_National:conditioned national reference floor areareference area determined according to national energy performance regulations - if available	0.00
A_C_ExtDim:conditioned gross floor areaaconditioned floor area calculated on the basis of external dimensions (measured at the outside surface of external walls) - if available	4125.00
A_C_IntDim:conditioned floor areaaconditioned floor area calculated on the basis of internal dimensions (measured to the inside surface of external walls) - if available	0.00

A_C_Use:conditioned useful floor areasection of the conditioned net floor area primarily dedicated to the utilisation of the building, excluding functional and circulation areas (excluding e.g. stair cases in all buildings, corridors in non-residential buildings) - if available	0.00
A_C_Living:conditioned living areasection of the conditioned net floor area inside of the appartments of the building - if available	0.00
V_C:conditioned building volumeconditioned volume of the building (external dimensions) - if available	12685.00
n_Apartment:number of apartments	48.00
n_Storey:number of complete storeysnumber of conditioned floors/storeys of the building (without attic storey, without cellar)	6.00
Code_RoofType:type / inclination of the roof	UC
Code_AtticCond:heating situation in the attic rooms (if available)	N
Code_CellarCond:heating situation in the cellar rooms (if available)	N
Code_AttachedNeighbours:neighbour situation / number of directly attached buildings	B_Alonge
Code_ThermalBridging:classification of the thermal bridging	Medium
Code_Roof_1:code for identification of the U-value	IT.Roof.ReEx.03.02
Code_Roof_2:code for identification of the U-value	IT.Ceiling.ReEx.06.01
Code_Wall_1:code for identification of the U-value	IT.Wall.ReEx.06.02
Code_Wall_2:code for identification of the U-value	IT.Wall.ReEx.06.05
Code_Wall_3:code for identification of the U-value	-
Code_Floor_1:code for identification of the U-value	IT.Floor.ReEx.06.01
Code_Floor_2:code for identification of the U-value	-
Code_Window_1:code for identification of the U-value	IT.Window.ReEx.06.02
Code_Window_2:code for identification of the U-value	-
Code_Door_1:code for identification of the U-value	-
Code_ConstructionBorder_Roof_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Ext
Code_ConstructionBorder_Roof_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Unh
Code_ConstructionBorder_Wall_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Ext
Code_ConstructionBorder_Wall_2:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Unh
Code_ConstructionBorder_Wall_3:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ConstructionBorder_Floor_1:border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	Cellar

Code_ConstructionBorder_Floor_2: border type, relevant for additional thermal resistance (unheated space) and transmission reduction factors (heat loss to ground)	-
Code_ThermalBridging_Actual: code of the thermal bridging type, original building state	0.00
delta_U_ThermalBridging: additional losses of the thermal envelope caused by thermal bridging (supplement to all U-values)	0.10
Code_Infiltration: classification of the airtightness	Medium
Code_Infiltration_Actual: code of the infiltration type, to be considered	Medium
n_air_infiltration: additional air exchange rate, caused by infiltration (surcharge on air exchange rate)	0.20
A_Roof_1: surface area (external dimensions) element type roof 1	0.00
A_Roof_2: surface area (external dimensions) element type roof 2	687.50
A_Wall_1: surface area (external dimensions) element type wall 1	2119.20
A_Wall_2: surface area (external dimensions) element type wall 2	863.50
A_Wall_3: surface area (external dimensions) element type wall 3	0.00
A_Floor_1: surface area (external dimensions) element type floor 1	687.50
A_Floor_2: surface area (external dimensions) element type floor 2	0.00
A_Window_1: surface area element type window 1	362.80
A_Door_1: element type door 1	0.00
A_Window_2: surface area element type window 2	0.00
A_Window_Horizontal: area of horizontal window tilted below 30, otherwise classified as vertical (see below)	0.00
A_Window_East: window area oriented east deviation from orientation: +/- 45°	163.50
A_Window_South: window area oriented south deviation from orientation: +/- 45°	4.50
A_Window_West: window area oriented west deviation from orientation: +/- 45°	185.90
A_Window_North: window area oriented north deviation from orientation: +/- 45°	8.90
R_Add_UnheatedSpace_Roof_1: additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction element element type roof 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Roof_2: additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction element element type roof 2	0.30
R_Add_UnheatedSpace_Wall_1: additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction element element type wall 1	0.00
R_Add_UnheatedSpace_Wall_2: additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction element element type wall 2	0.30
R_Add_UnheatedSpace_Wall_3: additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction element element type roof 3	-
R_Add_UnheatedSpace_Floor_1: additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction element element type floor 1	0.30

R_Add_UnheatedSpace_Floor_2:additional thermal resistance due to unheated space bordering at the construction element type floor 2	-
b_Transmission_Roof_1:adjustment factor soilelement type roof 1	1.00
b_Transmission_Roof_2:adjustment factor soilelement type roof 2	1.00
b_Transmission_Wall_1:adjustment factor soilelement type wall 1	1.00
b_Transmission_Wall_2:adjustment factor soilelement type wall 2	1.00
b_Transmission_Wall_3:adjustment factor soilelement type roof 3	-
b_Transmission_Floor_1:adjustment factor soilelement type floor 1	0.50
b_Transmission_Floor_2:adjustment factor soilelement type floor 2	-
Code_Measure_Roof_1:identification of the measure datasetelement type roof 1	-
Code_Measure_Roof_2:identification of the measure datasetelement type roof 2	-
Code_Measure_Wall_1:identification of the measure datasetelement type wall 1	-
Code_Measure_Wall_2:identification of the measure datasetelement type wall 2	-
Code_Measure_Wall_3:identification of the measure datasetelement type wall 3	-
Code_Measure_Floor_1:identification of the measure datasetelement type floor 1	-
Code_Measure_Floor_2:identification of the measure datasetelement type floor 2	-
Code_Measure_Window_1:identification of the measure datasetelement type window 1	-
Code_Measure_Window_2:identification of the measure datasetelement type window 2	-
Code_Measure_Door_1:identification of the measure datasetelement type door 1	-
R_Measure_Roof_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type roof 1	-
R_Measure_Roof_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type roof 2	-
R_Measure_Wall_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 1	-
R_Measure_Wall_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 2	-
R_Measure_Wall_3:thermal resistance of refurbishment measureelement type wall 3	-
R_Measure_Floor_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type floor 1	-
R_Measure_Floor_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type floor 2	-
R_Measure_Window_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type window 1	-
R_Measure_Window_2:thermal resistance of refurbishment measureelement type window 1	-
R_Measure_Door_1:thermal resistance of refurbishment measureelement type door 1	-

g_gl_n_Measure_Window_1:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing, refurbished window	-
g_gl_n_Measure_Window_2:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing, refurbished window	-
Code_MeasureType_Roof_1:code of the measure typeelement type roof 1	-
Code_MeasureType_Roof_2:code of the measure typeelement type roof 2	-
Code_MeasureType_Wall_1:code of the measure typeelement type wall 1	-
Code_MeasureType_Wall_2:code of the measure typeelement type wall 2	-
Code_MeasureType_Wall_3:code of the measure typeelement type wall 3	-
Code_MeasureType_Floor_2:code of the measure typeelement type floor 2	-
Code_MeasureType_Floor_1:code of the measure typeelement type floor 1	-
Code_MeasureType_Window_1:code of the measure typeelement type window 1	-
Code_MeasureType_Window_2:code of the measure typeelement type window 1	-
Code_MeasureType_Door_1:code of the measure typeelement type door 1	-
Code_ClimateRegion:code of the climatic region	IT.MidClim
Name_ClimateRegion:name of the climatic region	Climatic Middle Zone (Italian Climatic Zone E)
HeatingDays:number of days per year during heating season (average daily temperature is below or equal the base temperature)	174.00
Theta_e:average external air temperature during the heating season	5.20
I_Sol_Hor:average global irradiation on horizontal surface during the heating season	378.00
I_Sol_East:average global irradiation on vertical surface oriented East during the heating season	290.00
I_Sol_South:average global irradiation on vertical surface oriented South during the heating season	496.00
I_Sol_West:average global irradiation on vertical surface oriented West during the heating season	290.00
I_Sol_North:average global irradiation on vertical surface oriented North during the heating season	122.00
Code_BoundaryCondType:boundary condition input type	Standard
Code_BoundaryCond_Individual:individual definition of boundary conditions for energy balance calculation	EU.MUH
Code_BoundaryCond:actually used boundary conditions for energy balance calculation	EU.MUH
theta_i:internal temperature	20.00
F_red_htr1:reduction factor, considering the effect of night setback and unheated space, value at $h_{tr} = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, h_{tr} = heat transfer coefficient by transmission, divided by $A_{C,ref}$; values between $h_{tr} = 1$ und $h_{tr} = 4$ are interpolated	0.95
F_red_htr4:reduction factor, considering the effect of night setback and unheated space, value at $h_{tr} = 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, h_{tr} = heat transfer coefficient by transmission,	0.85

divided by $A_{C,ref}$; values between $h_{tr} = 1$ und $h_{tr} = 4$ are interpolated	
n_{air_use} :average air change rate, due to use of the buildinghygienical nessary air exchange rate by opening of windows, by ventilation systems, by parts of infiltration which are usable for necessary air exchange	0.40
h_{room} :room height (based on internal dimensions)the room height is used for the simplified calculation of the air volume	2.50
ϕ_{int} :average internal heat sources per m ² reference area	3.00
F_{sh_hor} :reduction factor external shading, horizontal orientation	0.80
F_{sh_vert} :reduction factor external shading, vertical orientations	0.60
F_f :frame area fraction of window	0.30
F_w :reduction factor, considering radiation non-perpendicular to the glazing	0.90
c_m :internal heat capacity per m ² reference area	45.00
$R_{Before_Roof_1}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type roof 1	0.54
$R_{Before_Roof_2}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type roof 2	1.33
$R_{Before_Wall_1}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 1	1.32
$R_{Before_Wall_2}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 2	1.52
$R_{Before_Wall_3}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type wall 3	0.00
$R_{Before_Floor_1}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type floor 1	1.32
$R_{Before_Floor_2}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type floor 2	0.00
$R_{Before_Window_1}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type window 1	0.27
$R_{Before_Window_2}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type window 1	0.00
$R_{Before_Door_1}$:thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishmentelement type door 1	0.00
$U_{Actual_Roof_1}$:U-value after refurbishmentelement type roof 1	1.85
$U_{Actual_Roof_2}$:U-value after refurbishmentelement type roof 2	0.75
$U_{Actual_Wall_1}$:U-value after refurbishmentelement type wall 1	0.76
$U_{Actual_Wall_2}$:U-value after refurbishmentelement type wall 2	0.66
$U_{Actual_Wall_3}$:U-value after refurbishmentelement type wall 3	0.00
$U_{Actual_Floor_1}$:U-value after refurbishmentelement type floor 1	0.76
$U_{Actual_Window_2}$:U-value after refurbishmentelement type window 2	0.00

U_Actual_Window_1:U-value after refurbishmentelement type window 1	3.70
U_Actual_Floor_2:U-value after refurbishmentelement type floor 2	0.00
U_Actual_Door_1:U-value after refurbishmentelement type door 1	0.00
H_Transmission_Roof_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type roof 1	0.00
H_Transmission_Roof_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type roof 2	516.56
H_Transmission_Wall_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 1	1610.59
H_Transmission_Wall_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 2	568.27
H_Transmission_Wall_3:heat transfer coefficient by transmissionelement type wall 3	0.00
H_Transmission_Floor_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type floor 1	260.34
H_Transmission_Floor_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type floor 2	0.00
H_Transmission_Window_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type window 1	1342.36
H_Transmission_Window_2:heat transfer coefficient by transmissionelement type window 2	0.00
H_Transmission_Door_1:heat transfer coefficient by transmissionelement type door 1	0.00
H_Transmission_ThermalBridging:heat transfer coefficient by transmissionsupplemental heat loss due to thermal bridging	472.05
h_Transmission:floor area related heat transfer coefficient by transmissionindicator for energy quality of building envelope (compactness + insulation)	1.36
Sum_DeltaT_for_HeatingDays:accumulated difference between internal and external temperature	2575.20
h_Ventilation:floor area related heat transfer coefficient by ventilationW/(m ² K)	0.51
F_red_temp:temperature reduction factor, considering the effect of night setback and unheated spacevalues of F_red_temp are given for h_tr = 1 und h_tr = 4, interpolation of values between	0.94
q_ht_tr:floor area related annual transmission losses	78.87
q_ht_ve:floor area related annual ventilation losses	29.57
q_ht:floor area related annual losseskWh/(m ² a)	108.44
g_gl_n:total solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazingaverage for both window types, considering refurbished state	0.75
Q_Sol_Hor:solar heat load during heating seasonHorizontal	0.00
Q_Sol_East:solar heat load during heating seasonEast	13442.15
Q_Sol_South:solar heat load during heating seasonSouth	632.77
Q_Sol_West:solar heat load during heating seasonWest	15283.77
q_sol:floor area related solar heat load during heating seasonkWh/(m ² a)	8.46

Q_Sol_North:solar heat load during heating seasonNorth	307.82
q_int:floor area related internal heat sources during heating seasonkWh/(m ² a)	12.53
a_H:parameter for determination of the gain utilisation factor for heating	1.60
tau:time constant of the buildingrelevant for seasonal method	24.06
gamma_h_gn:heat balance ratio for the heating mode	0.19
eta_h_gn:gain utilisation factor for heating	0.94
q_h_nd:energy need for heating	88.68

Definizione di modelli semplificati per lo studio del comportamento termico dinamico degli edifici oggetto di indagine.

Sezione B

3 Panoramica sui consumi energetici legati all'edilizia

3.1 Analisi globale dei consumi energetici su scala mondiale

L'andamento crescente della domanda di energia che ha caratterizzato gli ultimi decenni suscita notevoli preoccupazioni riguardo i futuri scenari dei consumi energetici mondiali [20]. Già da alcuni anni, le stime fornite da British Petroleum e dall'International Energy Agency (IEA) prevedevano un incremento della domanda relativa a petrolio, gas naturali e carbone pari rispettivamente al 30% ed al 50% entro il 2035 ed un aumento del 200% [21] delle emissioni di CO₂ entro il 2050, a meno dell'introduzione di pesanti azioni correttive. Anche secondo studi condotti dall'Unione Europea (UE) in collaborazione con l'agenzia governativa Energy Information Administration (EIA), risultano importanti incrementi dei consumi energetici tra il 1990 ed il 2010, in particolare per le nazioni a maggior tasso di sviluppo [22-23], come mostrato nelle Figure 28 e 29.

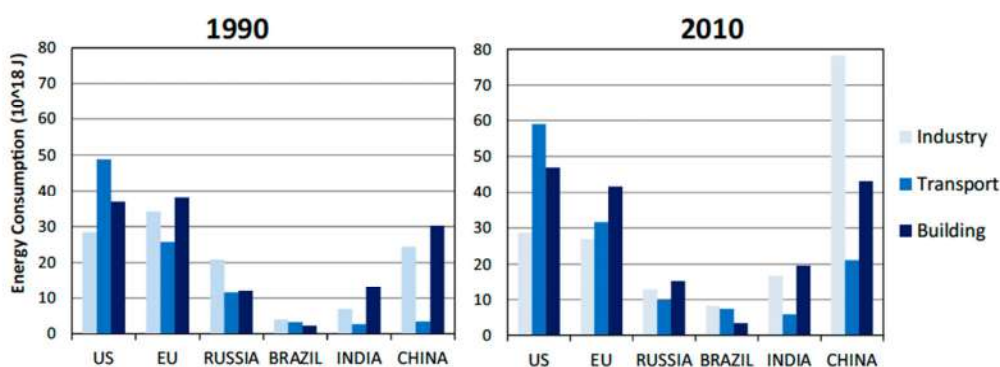


Figura 28 - Confronto consumi energetici tra 1990 e 2010 [22]

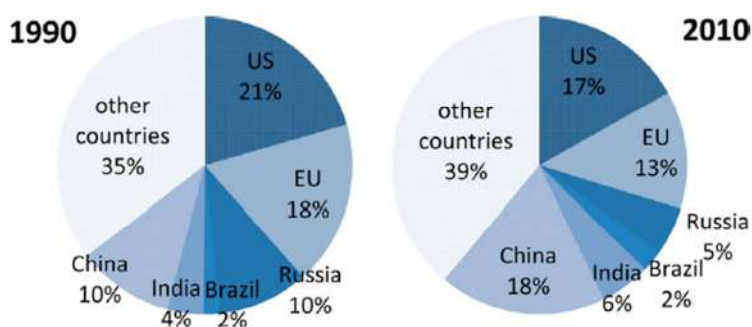


Figura 29 - Percentuali di consumo energetico mondiale tra 1990 e 2010 [23]

All'interno di questo contesto è noto che gli edifici ricoprono un ruolo strategico in materia di risparmio energetico; ad essi, infatti, è attribuito il 40% del consumo totale dell'energia prodotta e relativamente a questi consumi la produzione del 40% dei gas serra [24].

3.1.1 Consumi energetici degli edifici: stato attuale

Il settore dell'edilizia è molto eterogeneo ed i consumi energetici dei singoli edifici variano significativamente in base alla località di ubicazione, al tipo di edificio ed al suo livello di isolamento termico, al contesto socioeconomico ed alle modalità di utilizzo. Tuttavia, nel tempo sono state svolte diverse analisi volte a caratterizzare l'entità e la distribuzione dei consumi associati agli edifici [25]. Nel

grafico di Figura 30 sono messe in evidenza le percentuali relative alle principali voci di consumo dell'edilizia. Risulta evidente come la quasi totalità dei consumi energetici sia associata alla gestione degli edifici (climatizzazione dei locali, produzione di acqua calda sanitaria, utilizzo di dispositivi elettrici vari). Nella Figura 31 è invece possibile osservare una rappresentazione dei consumi energetici attribuiti agli edifici presenti sul territorio della comunità europea.

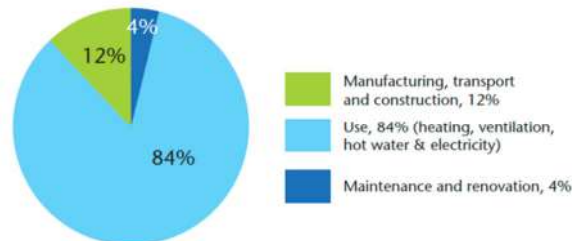


Figura 30 – Principali voci di consumo energetico associate agli edifici [25]

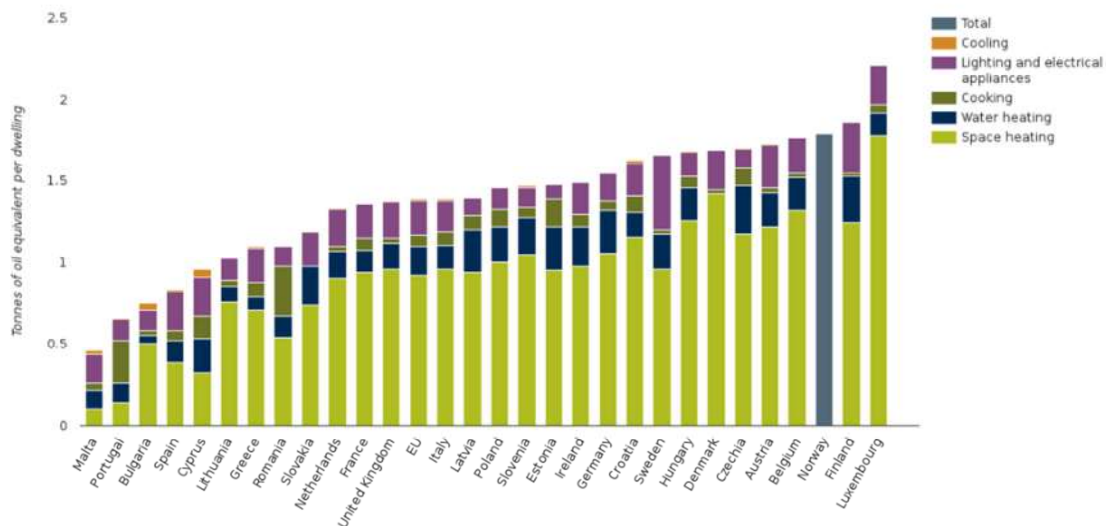


Figura 31 - Consumo energetico totale per abitazione nei differenti paesi dell'Unione Europea [26]

In Figura 32, tratta da uno studio dell'Intergovernmental Panel on Climate Change [27] (IPCC, principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici facente parte delle Nazioni Unite), è possibile osservare l'andamento negli anni delle emissioni di gas serra (GHG) di cui sono responsabili gli edifici.

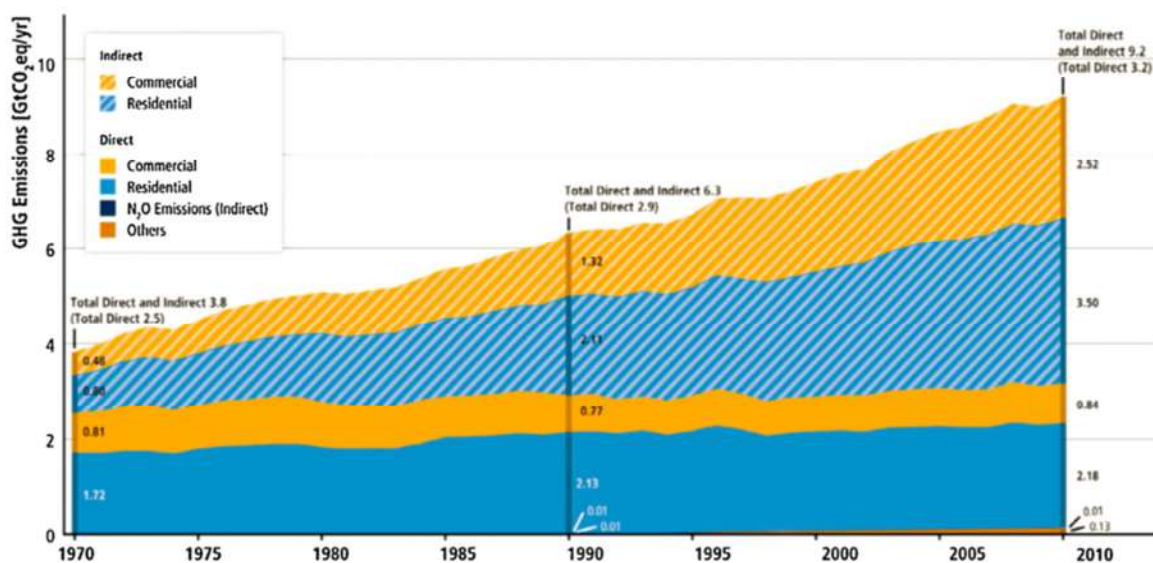


Figura 32 - Emissioni di gas serra connesse ai consumi energetici degli edifici [27]

3.1.2 Consumi energetici degli edifici: prospettive future

In accordo con numerosi studi, lo sviluppo tecnologico degli edifici e dei centri urbani avrà tra le proprie conseguenze aspettative sempre maggiori rispetto agli standard di comfort ricercati dagli individui [28]. Il fenomeno sempre crescente dell'urbanizzazione comporterà una continua migrazione verso di individui da aree rurali ad aree urbane, con un conseguente incremento del numero di persone che usufruiranno dei servizi di approvvigionamento di energia elettrica e termica per la gestione dei servizi energetici propri degli edifici [29]. A titolo di esempio, in Figura 33 sono riportati gli andamenti, in parte accertati in parte previsti, dei tassi di crescita della popolazione e del livello di urbanizzazione in alcuni significativi paesi del mondo. In Figura 34 sono invece riportati gli andamenti dei consumi energetici, sempre per alcuni paesi significativi.

La crescente domanda di energia, derivante dagli aspetti indicati, richiede azioni immediate con l'obiettivo di promuovere cambiamenti radicali nelle tendenze attuali [30]. Tuttavia, l'applicazione di regolamenti specifici in materia di risparmio ed efficientamento energetico condurrebbe da subito ad importanti mitigazioni sui consumi soprattutto in paesi come Cina, India e Brasile in fase di sviluppo economico

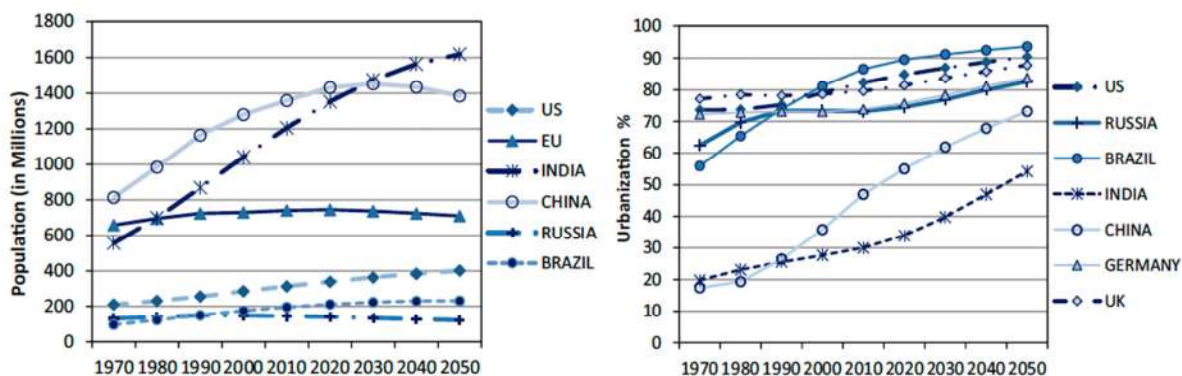


Figura 33 - Incremento della popolazione e del livello di urbanizzazione di differenti paesi [25]

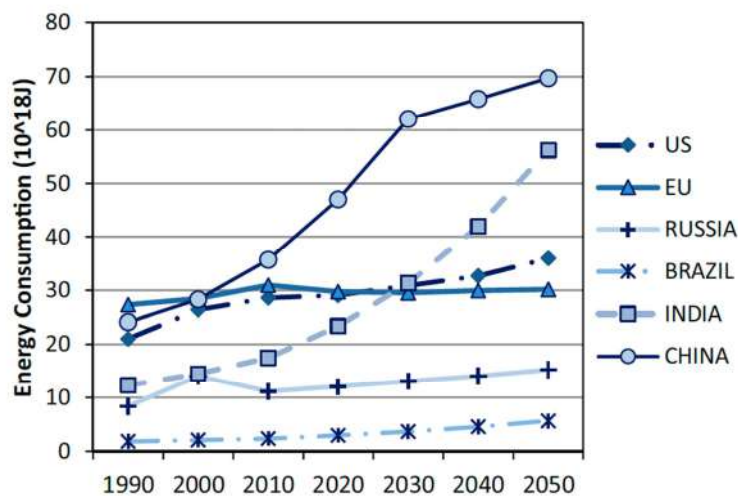


Figura 34 - Confronto dell'incremento dei consumi energetici [30]

Per quanto riguarda Stati Uniti ed Europa, l'impatto di normative su costruzioni nuove avrebbe una rilevanza decisamente inferiore. Infatti, in paesi caratterizzati da una tessitura urbana un ruolo di principale importanza in materia di riduzione dei consumi e quindi di risparmio energetico è quello dell'adeguamento delle costruzioni esistenti; da esse si potrebbe ottenere un risparmio stimabile attualmente intorno al 33% [31] e al 50% entro il 2050 [32]. Infine, con specifico riferimento ai paesi dell'UE, le principali opportunità relativamente alla riduzione dei consumi energetici negli anni, sembrano senza dubbio legate ad azioni di retrofit del patrimonio degli edifici esistenti [33-34].

3.2 Cenni al contesto legislativo europeo di riferimento

Con l'obiettivo di promuovere l'efficienza energetica in edilizia, la comunità europea ha promosso negli ultimi anni una serie di azioni. Le Direttive Europee denominate EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), la cui ultima revisione è rappresentata dalla Direttiva Europea 2018/844 del 30 maggio 2018 e di cui si attende una ulteriore revisione prima del luglio 2021, si inseriscono in questo contesto. Lo scopo primario di queste direttive è quello di integrare in un quadro comune le strategie di riqualificazione degli immobili e di progettazione dei nuovi edifici, incoraggiando l'uso di fonti di energia rinnovabile e delle tecnologie informatiche capaci di migliorarne la gestione energetica e incrementarne il comfort, al fine di orientare l'edilizia verso la decarbonizzazione e verso la completa realizzazione di edifici ad energia quasi zero entro il 2050. A titolo di esempio ed in riferimento all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, dal grafico di Figura 35 si nota come (per numerosi stati europei) fossero stati stabiliti specifici obiettivi per il 2020 (target), in termini di rapporto percentuale tra l'energia consumata dagli edifici e prodotta da fonte rinnovabile e quella totale consumata, e come in molti stati l'obiettivo sia stato centrato. Tale risultato è legato anche allo sfruttamento localizzato delle fonti energetiche rinnovabili, in particolare attraverso sistemi di produzione integrati o associati agli edifici.

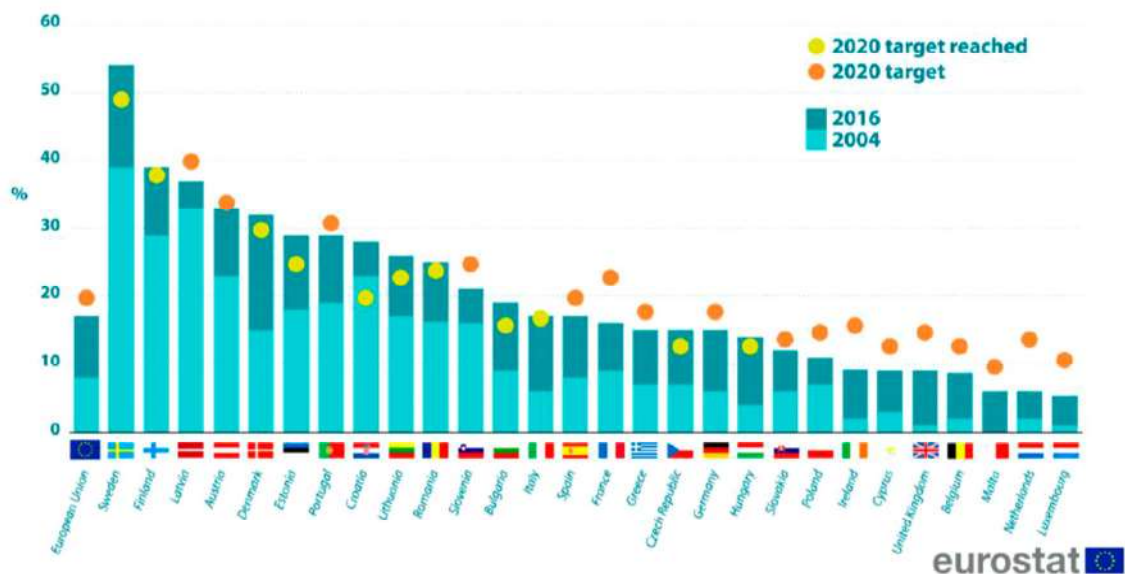


Figura 35 – Percentuale di energia da fonti rinnovabili, 2004 e 2016, sul consumo energetico finale lordo [35]

Per quanto concerne la produzione e lo sfruttamento localizzato delle fonti energetiche rinnovabili, soprattutto quelle legate a sistemi dedicati agli edifici, il corretto dimensionamento del sistema diventa un requisito essenziale per garantirne lo sfruttamento ottimizzato. In questo contesto, l'utilizzo di software di calcolo per lo studio e l'analisi dei fabbisogni energetici su base dinamica diventa uno strumento di crescente interesse ed importanza strategica. Quanto appena descritto acquisisce maggior rilevanza se l'edificio utilizza sistemi di produzione dell'energia (elettrica o termica) con prestazioni variabili nel tempo in funzione di parametri climatici della località di ubicazione dell'edificio. Questo è il caso dell'utilizzo delle pompe di calore, in particolare quelle che sfruttano l'aria dell'ambiente esterno come sorgente termica ai fini della generazione dell'energia per il riscaldamento invernale degli edifici.

4 Tecniche di modellazione per lo studio del comportamento termico dinamico degli edifici occupati

4.1 Caratteristiche generali

Gli interventi di risparmio energetico negli edifici possono riguardare diversi elementi del sistema edificio-impianto tra cui i principali sono: la tecnologia costruttiva dell'involucro dell'edificio, il sistema di riscaldamento, il sistema di condizionamento dell'aria, il sistema di ventilazione, il sistema di produzione dell'acqua calda per usi igienico-sanitari, il sistema di illuminazione artificiale, i sistemi di produzione di energia da fonte rinnovabile, i sistemi di building automation per la gestione integrata delle dotazioni impiantistiche. Le caratteristiche tecnico-operative di questi elementi hanno una rilevanza essenziale sul comportamento termico dinamico dell'edificio, pertanto l'analisi accurata del sistema edificio-impianto e delle sue caratteristiche prestazionali rappresenta il punto di partenza per lo sviluppo di modelli atti a valutarne il comportamento in regime dinamico.

4.2 Tecniche di modellazione termica dinamica degli edifici

Negli ultimi anni numerosi studi reperibili nella letteratura tecnico-scientifica si sono concentrati sulla modellazione del comportamento energetico degli edifici. Per questo motivo è stato condotto un approfondimento su tali studi, cercando di caratterizzare le differenti tecniche dotate di rilevanza scientifica con cui gli studi sono stati condotti.

E' opportuno precisare che lo sviluppo di modelli per lo studio e la previsione del comportamento termico dinamico degli edifici (in modo esso che risulti fedele al comportamento reale) comporta numerose difficoltà, in quanto la maggior parte dei sistemi energetici coinvolti è descrivibile da un complesso sistema di fenomeni non lineari, fortemente influenzati dalle caratteristiche costruttive, dalle condizioni meteorologiche, dalle modalità operative dell'edificio e dall'andamento del profilo di occupazione [36]. Per questo motivo, e grazie alla recente possibilità di disporre di una quantità di dati sul funzionamento e consumo energetico degli edifici molto ingente, oltre a tecniche basate su modelli di tipo deterministico (di tipo completo o semplificato), si rintracciano in letteratura anche tecniche che sfruttano modelli di tipo probabilistico, quali modelli statistici e modelli basati sull'intelligenza artificiale [37]. Queste ultime si adattano particolarmente bene all'implementazione in sistemi di regolazione e controllo in tempo reale dei sistemi impiantistici a servizio degli edifici.

Dall'approfondimento fatto, è stato possibile individuare, tra le tecniche di modellazione del comportamento termico dinamico degli edifici, tre grandi macrocategorie [38]: la prima comprende le tecniche basate su modelli deterministici completi (*Tecniche White Box*), la seconda racchiude le tecniche basate su modelli probabilistici (*Tecniche Black Box*), la terza racchiude le tecniche basate su modelli deterministici semplificati (*Tecniche Grey Box*).

- 1) *Tecniche White Box*: sfruttano modelli deterministici completi, basati sulla conoscenza delle leggi fisiche che descrivono il comportamento del sistema. Sono in grado di riprodurre bene il comportamento termico-dinamico degli edifici, ma richiedono tempi di modellazione e calcolo piuttosto elevati, che, ad esempio, potrebbero non essere compatibili con un'applicazione di controllo in tempo reale dei sistemi impiantistici. Inoltre, le informazioni per la realizzazione del modello debbono essere molto complete e precise, pena la riduzione dell'accuratezza dei risultati. L'impiego di questo tipo di tecniche è prevalentemente dedicato alle fasi progettuali dell'edificio e non si presta all'implementazione di sistemi di regolazione e controllo del complesso edificio-impianti.

- 2) *Tecniche Black Box*: sfruttano modelli empirici costruiti da una o più serie di dati di input ed output. Richiedono una grande quantità di dati per “allenarsi” ed essere in grado di prevedere il comportamento dell'edificio nelle diverse condizioni di carico a cui esso sarà soggetto. Il dominio di validità di ciascun modello dipende dalla fase di apprendimento a cui segue una fase di validazione che ne testa la robustezza. Per le loro caratteristiche intrinseche si prestano ad essere utilizzati nell'implementazione di sistemi di regolazione e controllo, anche in tempo reale, del complesso edificio-impianti.
- 3) *Tecniche Grey Box*: sfruttano modelli deterministici semplificati, che generalmente vengono impiegati quando le caratteristiche note del sistema fisico da studiare sono poche o non accurate. Le fasi di modellazione, in questo tipo di tecniche, sono talvolta precedute da analisi di sensitività del comportamento del modello rispetto ai parametri coinvolti nelle leggi fisiche oggetto di semplificazione. Queste tecniche combinano l'intelligibilità dei modelli fisici con la flessibilità e la praticità dei modelli caratterizzati da un ristretto numero di parametri regolabili. La struttura semplificata dei modelli utilizzati e la base fisica su cui sono sviluppati rendono queste tecniche adatte sia alle valutazioni che caratterizzano le fasi progettuali dell'edificio, sia alle implementazioni di sistemi di regolazione e controllo, anche in tempo reale, del complesso edificio-impianti.

4.2.1 Tecniche di modellazione di tipo White-box

Questo tipo di tecniche di modellazione degli edifici, finalizzato alla previsione del comportamento termico-dinamico, utilizza equazioni basate su leggi fisiche. Tali equazioni debbono essere estremamente dettagliate al fine di poter rappresentare i fenomeni e le interazioni tra i vari componenti. Pertanto, nella realizzazione del modello è necessario introdurre in modo molto accurato i vari elementi che compongono l'edificio, quali ad esempio l'involucro, le caratteristiche tecniche dei sistemi e dei sottosistemi impiantistici. D'altra parte, se i parametri sono correttamente definiti, queste equazioni hanno il potenziale di descrivere in modo molto accurato il comportamento dinamico. Tuttavia, in funzione di questa complessità computazionale i tempi di modellazione e calcolo risultano piuttosto lunghi.

Dal punto di vista fisico, un edificio caratterizzato da un involucro esterno può essere descritto come un sistema termodinamico aperto (schematizzato in Figura 1, alla quale si rimanda), il cui comportamento, con particolare riferimento al regime di scambio termico invernale e limitandosi ai carichi termici sensibili, può essere rappresentato con l'equazione di bilancio energetico riferita ad un generico intervallo di tempo infinitesimo dt :

$$Q_d + Q_{sol} + Q_{i\ t} - Q_{tr} - Q_{ve} = C \cdot \frac{dT}{dt} \quad [W]$$

dove:

Q_d : potenza termica fornita dall'impianto di riscaldamento al sistema confinato;

Q_{sol} : potenza termica fornita dall'irraggiamento solare;

$Q_{i\ t}$: potenza termica fornita da fonti di calore interne all'edificio (persone, apparecchiature);

Q_{tr} : potenza termica dispersa per trasmissione attraverso l'involucro;

Q_{ve} : potenza termica dispersa per ventilazione;

$C \cdot \frac{dT}{dt}$: variazione dell'energia interna del sistema;

C : capacità termica efficace dell'edificio;

$\frac{dT}{dt}$: variazione della temperatura interna nell'intervallo di tempo dt ;

La valutazione delle varie grandezze coinvolte nell'equazione di bilancio e della loro mutua interazione nel dominio del tempo risulta un processo complesso. Per la sua corretta definizione sono necessarie equazioni aggiuntive, precisate ad esempio nelle normative tecniche di settore, oltre alle informazioni molto dettagliate che riguardano caratteristiche dell'involucro e delle dotazioni impiantistiche. Per tali ragioni la modellazione dell'edificio nelle tecniche White-box viene effettuata tramite l'impiego di software di calcolo specificatamente pensati per la valutazione termica dinamica degli edifici. Tra questi, molto noti sono EnergyPlus [39], TRNSYS (TRaNsient SYStem simulation tool) [40] e ESP-r [41]. Tali software richiedono un'articolata fase di inserimento di tutti i dati di input relativi alle caratteristiche dettagliate del sistema edificio-impianti e, a seguito della fase di simulazione, restituiscono gli andamenti temporali delle principali grandezze fisiche caratterizzanti il comportamento dell'edificio [42]. In Figura 36 [43] è riportato il work-flow generale utilizzato per implementare le tecniche di tipo White-Box all'interno degli specifici software di simulazione.

Per concludere, questi complessi strumenti di simulazione sono capaci di produrre risultati coerenti e precisi in grado di rappresentare il reale comportamento dell'edificio, tuttavia presentano diverse criticità. La necessità di una caratterizzazione fisica dell'edificio estremamente dettagliata richiede, oltre alla conoscenza dei dati stessi, anche l'esperienza dell'utente che deve essere in grado di comprendere i fenomeni fisici che sta rappresentando e di interpretare e verificare i numerosi output prodotti dal software. Una criticità forse ancora più importante nel calcolo dinamico eseguito da questi tipi di software è rappresentata dal tempo di calcolo sempre piuttosto elevato, se paragonato a quello impiegato dalle altre tecniche. Esso rappresenta probabilmente la principale barriera nei confronti dell'impiego di questa tipologia di modelli per la gestione ed il controllo in tempo reale di un complesso edificio-impianto.

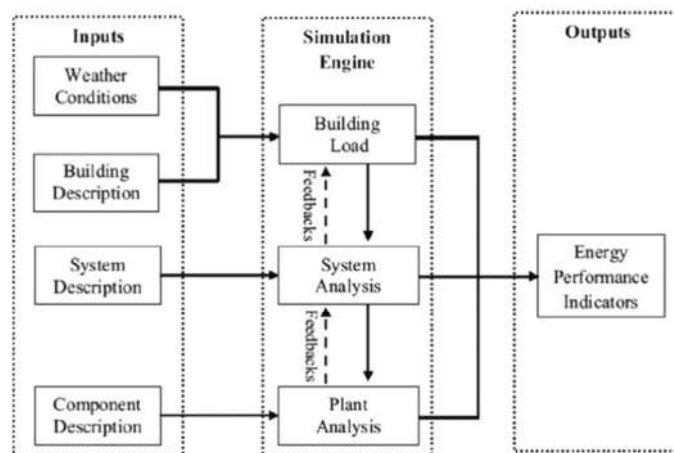


Figura 36 - Work-flow generale utilizzato per implementare le tecniche di tipo White-Box all'interno degli specifici software di simulazione [43]

4.2.2 Tecniche di modellazione di tipo Black-box

Gli andamenti temporali dei fabbisogni di energia termica, elettrica o di acqua calda sanitaria di un edificio sono tra i principali dati di interesse che si ricercano quando si applicano tecniche di modellazione di tipo *Black-box*. La determinazione degli andamenti ricercati viene effettuata senza una modellazione delle leggi fisiche che regolano i fenomeni (nel caso del presente studio il comportamento termico dinamico dell'edificio), ma sulla base di analisi statistico-matematiche effettuate su set di dati di ingresso, relativi al comportamento pregresso dell'edificio. I set di dati di ingresso possono riguardare gli andamenti nel tempo di diverse grandezze fisiche rilevanti per il comportamento dell'edificio; tra queste, molto frequentemente

sono utilizzate: la temperatura esterna, l'irradianza solare, la temperatura interna, la potenza termica erogata dal sistema di riscaldamento.

Le tecniche di analisi statistico-matematica più frequentemente utilizzate nella modellazione Black-box dedicata al comportamento termico ed energetico degli edifici sono tecniche regressive, quali ad esempio il modello ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) [44-46], o il modello ARMAX (Auto Regressive Moving Average with eXogeneous inputs) [47].

Un'alternativa all'applicazione dei modelli statistico-matematici nella modellazione Black-box è rappresentata dalle reti neurali artificiali (ANN), le quali sono state impiegate in vari studi dedicati alla previsione dei consumi energetici degli edifici [48-49]. A titolo di esempio, in Figura 37 [50] si riporta la struttura di una rete neurale di tipo MLP (Multi-Layer-Perceptron) utilizzata per determinare la correlazione tra le caratteristiche ambientali ed i carichi energetici per raffrescamento, riscaldamento, illuminazione artificiale ed infine il carico elettrico totale giornaliero negli edifici.

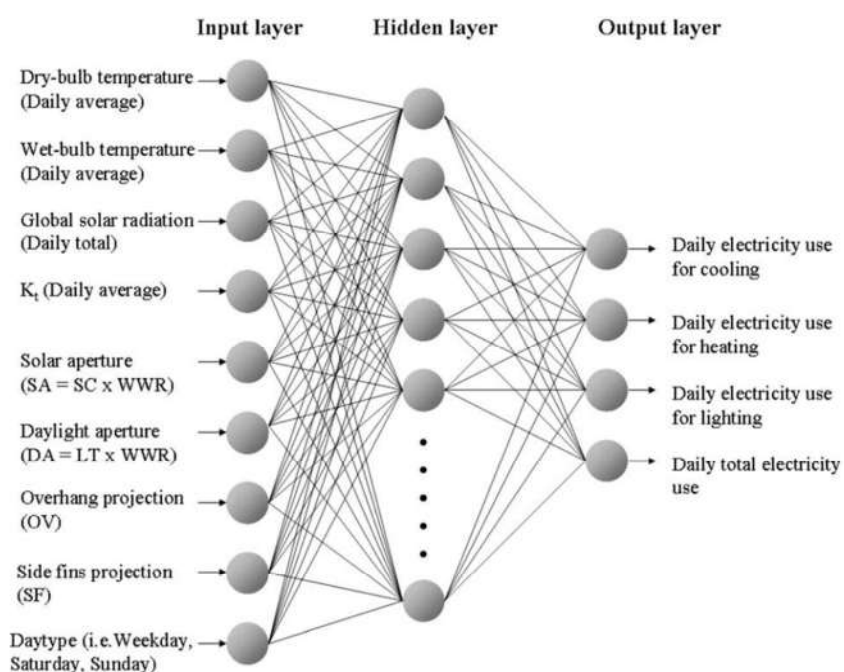


Figura 37 - Tipologia di MLP - Multilayer Perceptron Neural Network [50]

Le ANN fanno della loro capacità di apprendimento il punto di forza maggiore. Queste reti si comportano in modo analogo ad un cervello umano, e sono in grado di interpretare una sequenza di dati di input e di output ed andare a ricercare tra questi ultimi complesse relazioni tali da descrivere il comportamento del sistema o di un certo parametro ricercato.

Le tecniche di modellazione Black-box sono estremamente flessibili, non necessitando di leggi fisiche, ed una volta realizzati i modelli presentano velocità di risposta molto elevate; queste caratteristiche fanno sì che si adattino molto bene all'implementazione in sistemi di regolazione e controllo dei sistemi impiantistici. Tuttavia, per poter garantire elevata accuratezza previsionale, tali tecniche necessitano di disporre di un set di dati in ingresso valido su archi temporali significativi, che possono essere ottenuti quasi esclusivamente attraverso campagne di misurazione. Tale aspetto li esclude dall'utilizzo nel presente studio.

4.2.3 Tecniche di modellazione di tipo Grey-box

Le tecniche di modellazione di tipo *Grey-Box* rappresentano di fatto uno stadio intermedio tra le due soluzioni descritte in precedenza. Queste tecniche sfruttano l'“analogia elettrica” per rappresentare i processi di scambio termico sensibile tra i diversi componenti dell'edificio, attraverso maglie fatte da resistenze e condensatori (reti RC). Un esempio ben noto di analogia elettrica per lo studio di un fenomeno di scambio termico dinamico è quello riportato in Figura 38 dove si studia il raffreddamento di un corpo solido di capacità termica finita, considerato a temperatura omogenea, all'interno di un fluido di capacità termica infinita, impiegando un circuito elettrico composto da una resistenza e da una capacità detto Quadripolo RC [51].

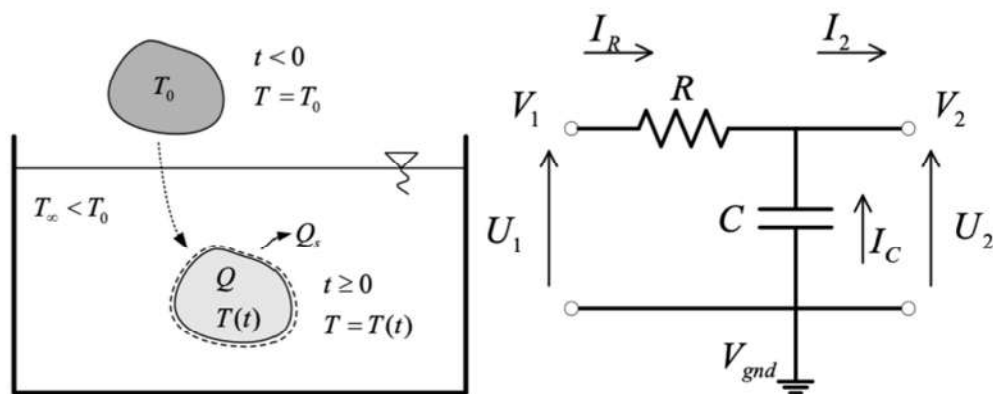


Figura 38 – Modellazione tramite quadripolo RC del processo di raffreddamento di un corpo solido immerso in un fluido

Seppur ben nota, l'analogia elettrica è stata applicata in passato prevalentemente per modellare scambi termici su singole porzioni di edificio (pareti verticali o orizzontali) [52-53]; più recentemente, sono rintracciabili nella letteratura scientifica studi sull'applicazione dell'analogia elettrica per modellare il comportamento di un intero edificio. Alcuni esempi di tali recenti studi sono riportati in Tabella 18. In particolare, negli studi ivi riportati, sono analizzate diverse tipologie di reti RC e l'influenza del loro impiego sull'accuratezza dei risultati della previsione del comportamento termico dinamico.

Tabella 18 - Esempi di studi che utilizzano differenti reti RC per lo studio del comportamento termico dinamico di edifici

Autore	Anno	Dimensione rete RC	Titolo dello studio
P. Bacher, H. Madsen	2011	Variaibile da 1R1C a 5R5C	Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings
T. Berthou, et al.	2014	Variabile da 4R2C a 7R3C	Development and validation of a grey box model to predict behaviour of occupied office buildings
H. Hassan et al.	2015	Variabile da 1R1C a 8R3C	Development and validation of grey-box models for forecasting the thermal response of occupied buildings
P. Colombo et al.	2020	Tre capacità termiche principali e numero di R e C variabile per	Minimalist RC network for building energy simulations: a case study based on OpenBPS

elementi opachi

Le tecniche di modellazione *Grey-Box* hanno il vantaggio di richiedere una conoscenza limitata o parziale delle caratteristiche tecniche dell'edificio e dei fattori che ne condizionano il comportamento in regime termico dinamico. In funzione delle peculiarità sopra descritte, i modelli utilizzati dalle tecniche *Grey-Box* sono di tipo deterministico ma semplificati. Questa caratteristica, traducendosi in una riduzione dei tempi di modellazione e simulazione rispetto alle tecniche *White-Box* e mantenendo le leggi fisiche essenziali che governano i sistemi analizzati, che invece non sono presenti nelle tecniche *Black-Box*, rendono le tecniche *Grey-Box* una valida alternativa per essere impiegata nella valutazione del comportamento termico dinamico di interi edifici.

4.2.4 Identificazione della strategia di modellazione

Nei paragrafi precedenti sono state delineate le caratteristiche delle differenti tecniche di modellazione, con valenza scientifica, per lo studio del comportamento termico dinamico degli edifici. Al fine di motivare la scelta della tecnica di modellazione operata in questo studio, in Tabella 19 [54] si riporta un prospetto riassuntivo delle caratteristiche associate alle varie tecniche di modellazione, con un'indicazione quantitativa dei relativi punti di forza e debolezza.

Tabella 19 - Riepilogo punti di forza e criticità delle tipologie di modellazione affrontate

	White Box	Black Box	Grey Box
Complessità del modello	5	4	4
Facilità di utilizzo	2	2	3
Velocità di calcolo	1	4	4
Grado di dettaglio degli input	5	2	3
Adattabilità a problemi di ottimizzazione	1	4	4
Accuratezza	5	4	4

Nota: il punteggio è espresso secondo la scala: 1 (molto basso), 2 (basso), 3 (medio), 4 (elevato), 5 (molto elevato)

Come emerso dall'analisi condotta nei paragrafi precedenti e dai dati sintetici riportati in Tabella 19, le tecniche di modellazione di tipo *White-box* consentono un'elevata accuratezza previsionale, ma richiedono un elevato grado di dettaglio dei dati di ingresso (caratteristiche dell'edificio e dell'impianto) e necessitano di fasi di modellazione piuttosto articolate con tempi più elevati rispetto alle altre. Le tecniche *Black-box* per il loro funzionamento necessitano di dati storici sul comportamento del sistema di cui si deve prevedere il comportamento futuro. Le tecniche *Gray-box* rappresentano invece un giusto compromesso tra l'accuratezza previsionale che può essere ottenuta, il dettaglio dei dati in ingresso necessari ed i tempi di modellazione e calcolo che li rendono particolarmente adatti all'attività oggetto del presente studio.

Di conseguenza, per sviluppare le attività di modellazione è stata scelta la tecnica *Grey-Box*. Nei capitoli successivi saranno descritti in dettaglio i modelli semplificati realizzati per lo studio del comportamento termico dinamico dell'edificio e della sua interazione con il sistema di riscaldamento a pompa di calore.

5 Modellazione semplificata degli edifici campione

Nella letteratura scientifica è possibile rintacciare numerosi tentativi di impegno delle tecniche Grey-box per la modellazione di edifici, in particolare sfruttando reti RC. Tali tentativi spaziano da modelli molto semplici (singola resistenza termica e singola capacità termica per rappresentare il comportamento dell'intero edificio) fino a modelli estremamente articolati. Allo sviluppo di modelli articolati ha contribuito in maniera decisiva l'incremento delle prestazioni dei sistemi di calcolo, che oggi consentono di elaborare complessi sistemi di equazioni differenziali in un tempo relativamente breve, è stato quindi possibile andare a dettagliare i modelli basati su reti RC, ottenendo conseguentemente una maggior accuratezza previsionale sul comportamento termico dinamico degli edifici.

In Tabella 20 è riportata una breve lista, contenente alcuni studi significativi in merito all'applicazione dei modelli RC per la valutazione del comportamento termico dinamico degli edifici. Come si osserva anche dai dati riportati in tabella, la dimensioni delle reti RC utilizzate è molto variabile, passando da modelli con singola resistenza e singola capacità (1R1C) fino a modelli con 38 resistenze e 12 capacità (38R12C).

Tabella 20 - Esempi di modelli che sfruttano reti RC per la previsione del comportamento termico dinamico degli edifici.

Autore	Anno	Dimensione	Impiego del modello
Madsen and Holst	1995	2R2C	RC model for simulation and forecasting
Garcia-Sanz	1997	8R3C	MPC for central heating system
Kummert, André	2005	25R10C	MPC for heating system
Wen and Smith	2007	2C	MPC for air handling unit
Lee and Braun	2008	10R8C	RC model for load prediction and demand-limiting control
Ha et al.	2008	2R2C	MPC for heating load anticipation and optimization
Oldewurtel et al.	2012	38R12C	Potential of energy savings with MPC vs classic control
Candanedo et al.	2013	4R3C	Simplified model for MPC applications
Hu and Karava	2013	24R9C	MPC for cooling system
Bacha et al.	2013	5R1C	MPC for heating and electrical household devices
Sarabi et al.	2013	9R2C	RC model identification for MPC application
Berthou	2013	6R2C	MPC for peak load reduction
Fux et al.	2014	1R1C	Self-adaptative model for MPC of a passive house

Nota: MPC = Model Predictive Control

Naturalmente, maggiore è il numero di resistenze e capacità utilizzate, maggiore è il livello di dettaglio con cui l'edificio è modellato. Tuttavia, aumentando la complessità del modello, i tempi di calcolo tendono ad aumentare e non sempre si ottengono significativi incrementi di accuratezza nella previsione del comportamento termico dinamico dell'edificio.

Oltre che nella letteratura scientifica, anche nella normativa tecnica di settore si suggeriscono tecniche di modellazione Grey-box che sfruttano reti RC. È il caso, ad esempio, della UNI EN ISO 13790 del 2008, nella quale si propone un modello semplificato basato su una rete RC in grado di descrivere il comportamento termico di un edificio soggetto a forzanti esterne (come un impianto HVAC). Il modello proposto è composto da cinque resistenze ed una capacità termica; esso è stato successivamente aggiornato nella UNI EN ISO 52016-1 del 2018, nella quale viene suggerito l'impiego di un modello basato su una rete RC

composta da quattro resistenze e cinque capacità, per ogni singola parete opaca. Alcuni dettagli aggiuntivi, riguardanti i modelli RC proposti nella normativa tecnica, sono riportati nei paragrafi seguenti.

5.1 Modellazione semplificata RC proposta nella UNI EN ISO 13790

La gestione dei carichi termici necessari al riscaldamento ed al raffrescamento degli edifici in funzione delle caratteristiche dell'involucro dell'edificio, degli impianti e del contesto ambientale, rappresenta un tema di primaria importanza all'interno delle direttive emesse dal CEN (Comitato Europeo di Normazione). Questi aspetti hanno assunto ancora più rilevanza a seguito dell'emanazione della Direttiva EPBD 2002 (European Energy Performance Building Directive) la quale prescriveva che entro l'anno 2006 ad ogni edificio di nuova costruzione, venduto od affittato dovesse essere associato un documento che ne attestasse le prestazioni energetiche. In questo contesto si inserisce l'emanazione della norma europea, recepita anche a livello nazionale, UNI EN ISO 13790. Tale normativa era dedicata alla definizione di procedure di calcolo dei consumi energetici per il riscaldamento di edifici residenziali e non residenziali [55] tali da poter essere applicate univocamente da tutti gli stati membri della comunità europea. In questa norma si propone un modello semplificato RC, composto da cinque resistenze ed una capacità (si veda Figura 39). In accordo con quanto indicato nella norma, il modello poteva essere utilizzato per le seguenti simulazioni del comportamento termico dell'edificio:

- “A monthly quasi-steady-state calculation method (QS)”;
- “A simple hourly dynamic calculation method (SH)”;
- “A detailed (hourly) dynamic simulation method (DD)”;

La differenza tra questi tre possibili utilizzi risiede nell'intervallo di tempo utilizzato come riferimento per il calcolo (time step), che condiziona la frequenza con cui debbono essere noti i dati di ingresso (quali ad esempio le temperature dell'aria esterna) e la frequenza con cui si ottengono i dati in uscita (quale ad esempio la temperatura dell'aria interna).

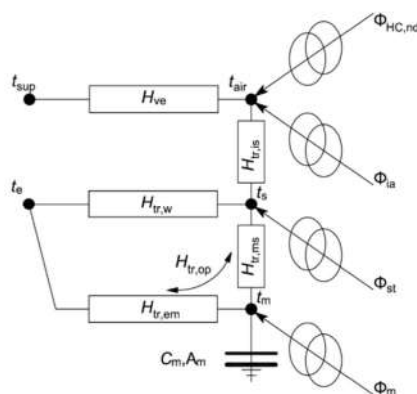


Figura 39 – Rappresentazione schematica del modello semplificato 5R1C proposto dalla UNI EN ISO 13790 per la previsione del comportamento termico dinamico di un edificio o di un suo locale [56]

I simboli in Figura 39 hanno il seguente significato:

Φ_{HC} – potenza termica per riscaldamento o raffrescamento;

Φ_{INT} – potenza termica apporti interni;

Φ_{SOL} – potenza termica da apporto solare, diviso in tre componenti Φ_m , Φ_{st} , Φ_{ia} ;

H_{VE} – scambio termico per ventilazione;

$H_{tr,w}$ – coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso porte e finestre assunte come prive di massa termica;

$H_{tr,op}$ – coefficiente di scambio termico attraverso superfici opache (non trasparenti), diviso in due componenti $H_{tr,em}$, $H_{tr,ms}$ le quali rappresentano rispettivamente tutte le pareti dell'involucro e le pareti interne;

T_{air} – temperatura aria interna;

T_s - temperatura delle superfici che compongono l'ambiente interno;

T_m - temperatura del nodo associato alla massa termica;

T_{sup} - temperatura dell'apporto di aria esterna per ventilazione;

T_e - temperatura dell'aria dell'ambiente esterno;

Una volta composto il modello dell'edificio, in accordo con lo schema di Figura 39, per ogni time-step in cui variano i parametri di input, possono essere determinati il valore della temperatura dell'aria interna e la quantità di energia termica che l'impianto deve fornire per mantenere tale valore pari al setpoint impostato [57].

Il modello RC proposto nella UNI EN ISO 13790 è stato oggetto di differenti validazioni, i cui risultati sono rintracciabili nella letteratura scientifica. Quasi tutte le validazioni si focalizzano sul metodo mensile (QS) e presentano confronti tra i risultati con il modello RC proposto e quelli ottenuti attraverso metodi di riconosciuta attendibilità, quali l'impiego di tecniche White-box attraverso software avanzati di simulazione (in particolare EnergyPlus e Trnsys). Solamente pochi studi sono stati eseguiti in merito alla validazione con metodo orario (SH) [58]. Quest'ultimo ha tuttavia mostrato moderata accuratezza nel riprodurre i risultati ottenuti attraverso tecniche White-Box, come dimostrato in alcuni lavori scientifici [59-60], che impiegano il modello della UNI EN ISO 13790 tal quale o ne propongono minime modifiche [61].

Una delle maggiori criticità del modello RC (5R1C) della UNI EN ISO 13790 risiede nell'utilizzare una singola capacità per tenere conto della capacità termica complessiva dell'intero edificio. Questa particolarità introduce una limitazione rilevante; infatti, la capacità termica dell'involucro esterno viene considerata cumulativamente a quella delle parti interne all'edificio ed a quella dell'aria interna, limitando di fatto la reale caratterizzazione dei fenomeni di scambio/accumulo termico dei vari elementi e conferendo al sistema modellato caratteristiche transitorie significativamente differenti da quelle ottenute con altre tecniche [62]. Anche per i motivi appena discussi, il modello RC proposto nella UNI EN ISO 13790 è stato aggiornato nella più recente norma UNI EN ISO 52016-1.

5.2 Modellazione semplificata RC proposta nella UNI EN ISO 52016

Nella norma tecnica UNI EN ISO 52016-1 del 2018 viene proposto un nuovo metodo dinamico orario semplificato per il calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Questa soluzione coniuga un ridotto numero di parametri di ingresso (analogamente a quanto fatto dalla precedente UNI EN ISO 13790), con un modello semplificato più articolato, favorendo un incremento dell'accuratezza e della attendibilità dei risultati.

La strategia di modellazione introdotta dalla nuova normativa mira al miglioramento delle performance dei modelli soprattutto dal punto di vista dell'inerzia termica dell'edificio, intervenendo sulla criticità di utilizzare una singola capacità termica cumulativa per l'intero edificio e ottenendo miglioramenti in termini di accuratezza sulla previsione del comportamento termico dinamico, come dimostrato in alcuni studi presenti nella letteratura scientifica [63-64].

La strategia di modellazione proposta nella UNI EN ISO 52016-1 si fonda su una serie di ipotesi delle quali si riportano le più significative [65]:

- temperatura dell'aria interna al locale uniforme;
- flusso termico monodirezionale attraverso gli elementi dell'edificio;
- le zone termiche sono assunte come spazi chiusi e delimitati dagli elementi che compongono l'involucro dell'edificio;

- le proprietà fisiche dei materiali che compongono gli elementi costruttivi sono assunte come invarianti nel tempo; tuttavia, non sono escluse proprietà basate sulla attivazione dei componenti;
- la temperatura radiante dell'ambiente esterno (temperatura del cielo) è considerata uguale alla temperatura dell'aria esterna;
- la distribuzione spaziale dell'irraggiamento solare all'interno dei locali è uniforme ed invariante nel tempo;
- la distribuzione della massa termica dei componenti è semplificata;
- le caratteristiche degli elementi trasparenti non variano al variare dell'angolo di incidenza dell'irraggiamento solare.

La principale differenza introdotta dalla UNI EN ISO 52016-1 rispetto alla 13790 è la modalità con cui vengono schematizzati i componenti opachi (pareti verticali ed orizzontali). Sulla base delle suddette ipotesi, la UNI EN ISO 52016-1 propone due modelli differenti: uno valido in ambito europeo ed uno specificamente pensato per l'applicazione in ambito nazionale italiano. Il primo introduce una schematizzazione secondo cui ogni componente opaco (parete verticale o orizzontale), che separa l'ambiente interno dall'esterno, può essere rappresentato da cinque capacità e quattro resistenze termiche. Il secondo introduce una schematizzazione di ogni componente opaco secondo un numero variabile di resistenze e capacità; questa variabilità è da definirsi in funzione del numero degli strati dei materiali che costituiscono il componente opaco e di altre grandezze caratterizzanti lo scambio termico nei singoli strati.

5.2.1 Descrizione del modello proposto nella UNI EN ISO 52016-1, valido in ambito europeo

Nell'Appendice B della UNI EN ISO 52016-1 viene introdotta una soluzione per la modellazione dei componenti opachi dell'involucro edilizio (pareti verticali o orizzontali, separanti l'ambiente interno dall'esterno) che migliora significativamente quella proposta dalla normativa precedente. Indipendentemente dalla effettiva stratigrafia del componente opaco, esso viene schematizzato con una rete RC formata da cinque elementi capacitivi (capacità termiche, indicate con il simbolo " k ") separate da quattro elementi resistivi (resistenze termiche; con il simbolo " h " è indicata la conduttanza e con " $1/h$ " la resistenza), in accordo con la Figura 40 (le temperature sono indicate con il simbolo " θ ").

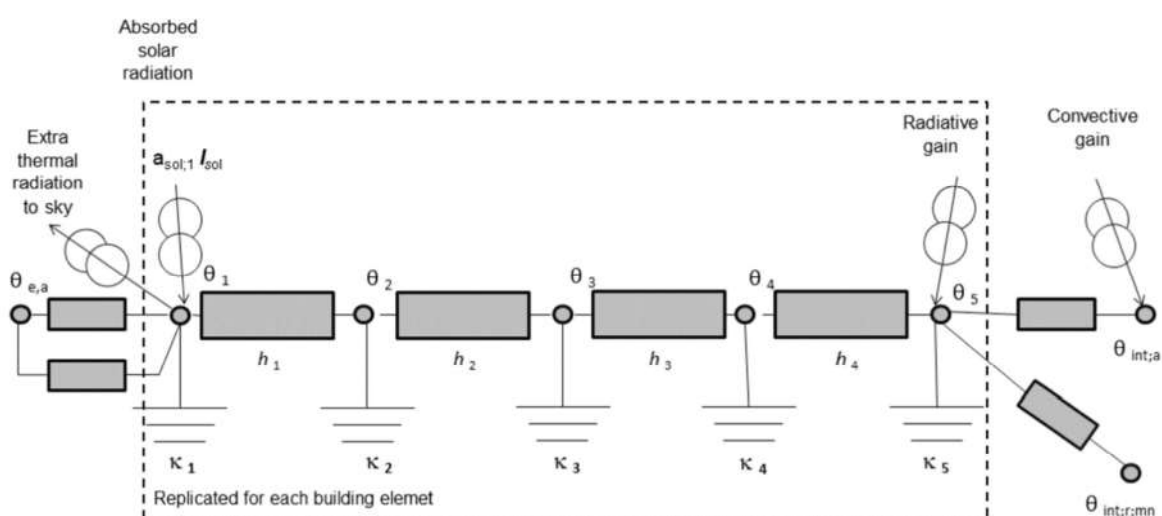


Figura 40 – Modello per la schematizzazione di un generico componente opaco, secondo l'Appendice B della UNI EN ISO 52016-1.

A ciascuno degli elementi capacitivi e resistivi indicati in Figura 40, può essere attribuito un valore in funzione delle proprietà termo-fisiche dei vari strati che costituiscono il componente opaco, secondo la metodologia precisata nella norma tecnica. Utilizzando il formalismo generalmente impiegato nella modellazione con reti RC, il modello di Figura 40 può essere rappresentato schematicamente come indicato in Figura 41 [64, 66].

Per come è costituito, il modello dettaglia maggiormente il comportamento termico dinamico del componente opaco, rispetto alla precedente modellazione proposta nella UNI EN ISO 13790. È possibile anche determinare alcune temperature interne al componente, considerando che ci sono dei nodi interni allo stesso ($\theta_2, \theta_3, \theta_4$) oltre a nodi sulle facce esterna ed interna (rispettivamente θ_1, θ_5). Tuttavia, questo modello attribuisce 5 capacità e 4 resistenze a qualunque componente opaco, indipendentemente dalla propria stratigrafia, non prestandosi quindi bene allo studio di componenti opachi “moderni”, in genere costituiti da differenti strati talvolta anche elevati di numero e spesso caratterizzati da proprietà termo-fisiche significativamente differenti.

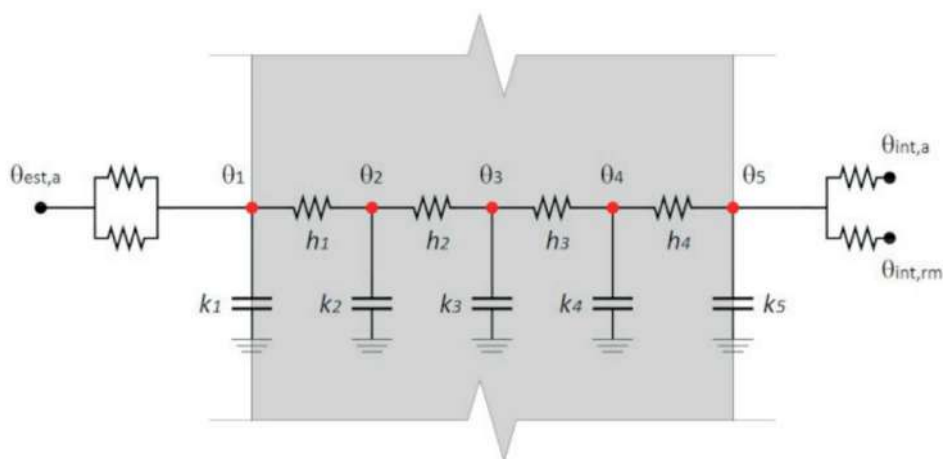


Figura 41 – Modello 4R5C per un generico componente opaco, secondo l'Appendice B della UNI EN ISO 52016-1.

5.2.2 Descrizione del modello proposto nella UNI EN ISO 52016-1 valido in ambito nazionale

Nell'Appendice A della UNI EN ISO 52016-1 viene proposta una modifica, valida in ambito nazionale italiano, al modello valido in ambito europeo e proposto nell'Appendice B della stessa norma. La principale differenza tra il modello valido in ambito nazionale e quello valido in ambito europeo consiste nell'utilizzare un numero di elementi capacitivi ed un numero di elementi resistivi variabile a seconda delle proprietà del componente opaco. La determinazione del numero di elementi capacitivi e resistivi viene effettuata analizzando ogni singolo strato omogeneo presente nel componente opaco di cui viene calcolato il relativo numero di Fourier. In base al valore ottenuto per il numero di Fourier, in accordo con la metodologia descritta nell'Appendice A della UNI EN ISO 52016-1, si suddivide il singolo strato omogeneo in sottostrati. Al centro di ogni sottostrato si posiziona un nodo di temperatura, al quale viene collegato l'elemento capacitivo relativo al sottostrato. Vengono posizionati due nodi aggiuntivi di temperatura sulle facce esterna ed interna del componente. Tutti i nodi di temperatura vengono collegati tra loro da resistenze termiche conduttive, relative all'effettivo spessore e conducibilità termica del materiale interposto tra due nodi di temperatura consecutivi.

Un esempio applicativo della tecnica di modellazione descritta è riportato in Figura 42 [66], dove è rappresentata una parete verticale opaca costituita da tre strati omogenei (layer 1, layer 2, layer 3). In base al numero di Fourier ottenuto per ciascuno strato, ed in accordo con le indicazioni della norma tecnica considerata, il layer 1 è stato suddiviso in 2 sottostrati (di spessore Δx_1), il layer 2 in 1 sottostrato (di

spessore Δx_2), il layer 3 in 3 sottostrati (di spessore Δx_3). Al centro di ogni sottostrato è stato posizionato un nodo di temperatura (da θ_2 a θ_7) al quale è stato collegato l'elemento capacitivo (da k_{pl2} a k_{pl7}). Sono stati poi aggiunti i nodi di temperatura sulle facce interna ed esterna (θ_1 a θ_8) e tutti i nodi sono stati collegati da resistenze termiche (da $1/h_1$ a $1/h_7$). Nel modello sono presenti anche le temperature dell'aria interna ed esterna (θ_{INT} e θ_{EXT}) ed il contributo delle resistenze liminari interna ed esterna ($1/h_{I,CR}$ e $1/h_E$).

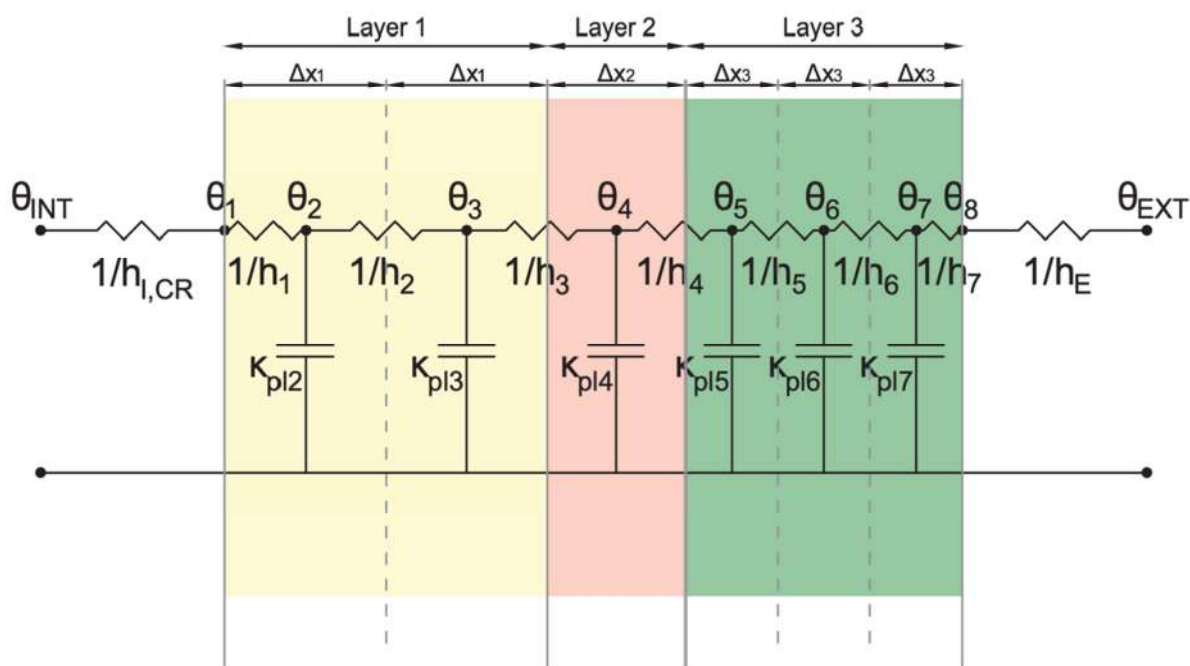


Figura 42 – Modello RC per un generico componente opaco secondo composto da tre strati omogenei, secondo l'Appendice A della UNI EN ISO 52016-1.

La strategia di modellazione sopra descritta risulta più dettagliata rispetto a quella valida in ambito europeo e di conseguenza può essere in grado di produrre risultati più accurati rispetto alla previsione del comportamento termico dell'elemento opaco. Tuttavia, l'incremento del livello di dettaglio richiede una complicazione del modello, che comporta una precisa conoscenza delle stratigrafie dei componenti opachi analizzati e un'analisi propedeutica alla modellazione, per la suddivisione in sotto-strati. A questo proposito è opportuno osservare [66] che l'utilizzo di questa strategia di modellazione produce incrementi nell'accuratezza di previsione significativi se si effettuano simulazioni termiche dinamiche con intervalli di tempo (time step) piuttosto contenuti (dell'ordine dei 15 minuti o inferiori), mentre tali incrementi sono ridotti (inferiori al 5%) se si effettuano simulazioni con intervalli di tempo orari.

5.3 Proposta di modellazione semplificata RC

L'oggetto dello studio del presente report riguarda l'analisi del comportamento termico di edifici appartenenti ad un campione di riferimento in regime di calcolo dinamico impostato su base oraria. Per quanto riguarda gli edifici campione, gli elementi tipologici e costruttivi che verranno utilizzati nei modelli sono stati determinati da un'analisi della letteratura tecnico-scientifica sui database di edifici rappresentativi del patrimonio edilizio esistente e quindi determinati su base statistica. Per quanto riguarda il regime di calcolo dinamico, essendo su base oraria, prevederà l'utilizzo di set di dati di input (profilo di temperatura esterna, irraggiamento solare e apporti termici interni) con cadenza oraria. Al fine di realizzare modelli semplificati degli edifici campione, nei paragrafi successivi sono descritte in dettaglio le scelte operate e la composizione dei modelli nei loro elementi essenziali.

5.3.1 Modellazione semplificata dei componenti opachi

In accordo con le considerazioni svolte nel paragrafo precedente (in merito agli elementi tipologici e costruttivi degli edifici campione ed al regime orario scelto per le simulazioni), si è scelto di adottare per la modellazione dei componenti opachi dell'involucro edilizio, la tecnica proposta nella UNI EN ISO 52016-1 valida in ambito nazionale con una modifica. Essa consiste nell'associare ad ogni strato omogeneo che costituisce il componente opaco un componente capacitivo ed uno resistivo (senza effettuare la valutazione propedeutica del numero di Fourier suggerita nella norma tecnica), assegnando a ciascuno di essi un valore definito sulla base delle rispettive caratteristiche termofisiche. Tale soluzione rappresenta un compromesso fra l'utilizzare un numero fisso di resistenze e capacità per ogni componente opaco (come suggerito nel modello di validità europea) e quello di dividere ogni singolo strato omogeneo in sottostrati di numero variabile (come suggerito nel modello di validità italiana). Nella modellazione semplificata dei componenti opachi si è deciso di trascurare la presenza di eventuali ponti termici.

5.3.2 Modellazione semplificata componenti finestrati

L'involucro dell'edificio è costituito, oltre che di componenti opachi, anche di componenti con una porzione trasparente (vetrata) ed un telaio di supporto; a questa categoria vengono associati i componenti finestrati degli edifici oggetto di indagine. Nella letteratura tecnico-scientifica dedicata ai modelli semplificati RC i riferimenti alle superfici trasparenti sono spesso trascurati; di fatto lo scambio termico attraverso le superfici finestrate viene spesso considerato come un apporto diretto interno legato all'irradianza solare da coefficienti riduttivi stimati su base empirica. Talvolta, l'effetto delle superfici finestrate viene considerato introducendo una resistenza termica aggiuntiva di connessione tra l'interno e l'esterno dell'edificio. Tuttavia, le prestazioni globali dell'involucro, e più in generale quelle globali dell'edificio, sono influenzate dalla percentuale di superficie finestrata rispetto a quella di superficie opaca. In funzione di queste considerazioni, è stato deciso di effettuare la modellazione degli elementi trasparenti (finestre e porte) seguendo le indicazioni contenute nella norma tecnica UNI EN ISO 52016-1.

In particolare, ogni elemento con porzione trasparente sarà modellato come un elemento puramente resistivo a cui si associa un valore di resistenza termica determinato in base alla composizione della sua struttura (vetro e telaio). Il valore della trasmittanza termica da associare ai componenti finestrati è riportato nella Sezione A del presente report. Per completezza, in aggiunta alla schematizzazione derivante dalla composizione del componente finestrato vanno considerate due ulteriori resistenze termiche, necessarie per rappresentare correttamente i flussi termici di tipo convettivo e di tipo radiativo che in ultima analisi trasferiscono calore all'aria interna. Pertanto, lo schema RC rappresentativo di un componente finestrato è costituito da una serie di tre resistenze termiche.

5.3.3 Modellazione di elementi interni all'edificio

Definiti gli aspetti riguardanti la schematizzazione dell'involucro dell'edificio si riporta di seguito la strategia di modellazione con cui verranno modellati gli elementi interni. Con la terminologia "elementi interni" si intendono gli arredi, il volume di aria interno e le tramezzature per la divisione dei locali, che hanno un ruolo importante nella determinazione della capacità termica complessiva del sistema edificio e che di conseguenza ne condizionano l'interazione con il sistema di riscaldamento.

5.3.3.1 Capacità termica dell'ambiente interno – Aria ed Arredamento

In accordo con quanto suggerito nella UNI EN ISO 52016-1, la capacità termica della zona climatizzata interna all'edificio può essere determinata secondo l'espressione:

$$C_m = k_m * A_{use}$$

dove:

C_m = capacità termica della zona climatizzata interna [J/K]

k_m = capacità termica di aria ed arredamento riferita all'unità di superficie utile [J/m²K]

A_{use} = superficie utile della zona [m²]

L'equazione precedente è ricavata secondo l'ipotesi che i complementi di arredo si trovino in equilibrio termico con l'ambiente climatizzato che li contiene (aria interna). Ciò permette di schematizzare l'intero volume interno (aria+arredi) con una singola capacità termica. Il valore di riferimento da associare al modello di aria ed arredo interno è identificato dal parametro k_m il cui valore, impostato pari a 10000 J/m²K si ottiene in accordo con la normativa tecnica.

Per completezza, si precisa che tutte le unità abitative che costituiscono il set di edifici campione individuati in questo studio, saranno modellate come un'unica zona termica.

5.3.3.2 Capacità termica dell'ambiente interno – divisori

I divisori hanno la funzione di separare gli ambienti di una unità abitativa. Nei database consultati relativi agli edifici rappresentativi del patrimonio edilizio esistente non è riportata alcuna informazione riguardo la superficie occupata dalle pareti divisorie all'interno delle unità abitative. In questo studio, è stato considerato un valore indicativo di superficie delle pareti opache pari ad 1 m² ogni metro quadrato di superficie utile netta interna (es. ad una abitazione avente superficie calpestabile netta interna pari a 100 m², vengono associati 100 m² di divisori).

Al fine di ponderare l'effetto delle pareti divisorie nell'interazione dinamica tra l'edificio ed il sistema di riscaldamento, esse saranno modellate con una rete RC composta da un'unica resistenza termica ed un'unica capacità termica, determinate in funzione delle proprietà fisiche dei materiali costruttivi, oltre ovviamente agli effetti liminari.

5.4 Modellazione semplificata degli altri scambi termici

5.4.1 Scambio termico per ventilazione

Per tenere in considerazione lo scambio termico per ventilazione è stato deciso di realizzare i modelli inserendo una opportuna resistenza termica per ciascun edificio modellato che collega l'aria interna con quella esterna. Il valore di tale resistenza termica è stato ottenuto come il reciproco del coefficiente di scambio termico per ventilazione H_{ve} , determinato in accordo all'equazione seguente:

$$H_{ve} = \frac{V \cdot n \cdot \rho_a \cdot c_a}{3600}$$

con:

V = volume netto dell'unità abitativa [m³];

n = numero di ricambi orari d'aria, fissato pari a 0,3 [h⁻¹];

ρ_a = densità dell'aria, considerata pari a 1,2 [kg/m³];

c_a = calore specifico dell'aria, considerato pari a 1006 [J/kgK].

5.4.2 Apporti termici diretti dovuti all'irraggiamento solare ed ai carichi interni

Per apporti termici diretti si intendono gli apporti dovuti all'irraggiamento solare ed ai carichi termici interni che incidono direttamente sull'aria interna (frazione convettiva) o sulla superficie interna dei componenti opachi (frazione radiativa), al contrario degli apporti termici indiretti di tipo solare (quest'ultimi legati all'assorbimento della radiazione solare da parte delle superfici opache dell'involucro), in accordo a quanto suggerito dalla UNI EN ISO 52016-2 e schematicamente riportato in Figura 43.

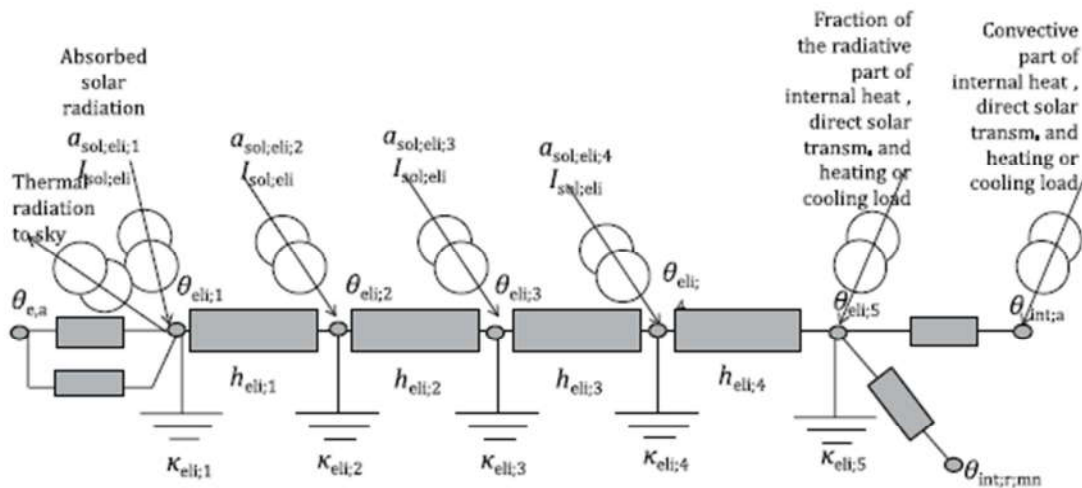


Figura 43 – Componente radiativa e convettiva per gli apporti termici secondo UNI EN ISO 52016-2

5.4.2.1 Apporti termici diretti dovuti all'irraggiamento solare

Il contributo degli apporti termici diretti dovuti all'irraggiamento solare è valutato per unità di superficie finestrata secondo la seguente equazione:

$$Q' = I_{sol} \cdot g_{gl} \cdot F_w$$

dove:

Q' = apporto termico diretto dovuto all'irraggiamento solare per unità di superficie finestrata [W/m^2];

I_{sol} = irradianza solare sulla superficie verticale [W/m^2];

g_{gl} = trasmittanza di energia solare della sola porzione trasparente della superficie finestrata [n.d.], valutata in funzione della tipologia di vetro in accordo alle normative vigenti e in questo lavoro posta uguale a 0,75 (vetro doppio con intercapedine riempita d'aria);

F_w = fattore correttivo utilizzato per tenere in considerazione eventuali effetti diffusivi [n.d.] fissato pari a 0,9.

Nel presente studio viene trascurata la presenza di eventuali schermature solari interne ed esterne e di altri elementi esterni in grado di costituire schermatura alla radiazione solare.

Gli apporti termici diretti dovuti all'irraggiamento solare, in accordo con quanto indicato nella normativa UNI EN ISO 52016-1, sono divisi in una frazione radiativa ed una frazione convettiva rispettivamente pari al 90% e 10% del valore complessivo.

5.4.2.2 Apporti termici diretti dovuti ai carichi interni

Il contributo degli apporti termici diretti dovuti ai carichi interni è valutato utilizzando i profili di occupazione ed i relativi apporti termici, discussi nella sezione A del presente report.

Gli apporti termici diretti dovuti ai carichi interni, secondo quanto indicato nella normativa UNI EN ISO 52016-1, sono divisi in una frazione radiativa ed una frazione convettiva rispettivamente pari al 60% e 40% del valore complessivo.

5.4.3 Apporti termici indiretti dovuti all'irraggiamento solare

Per tenere in considerazione il contributo degli apporti termici indiretti per l'irraggiamento solare, nel presente lavoro si utilizza la temperatura fittizia sole-aria, definita dall'equazione seguente:

$$T_{f,sa} = T_e + \frac{\alpha_s * I}{\alpha_e}$$

dove:

$T_{f,sa}$ = temperatura fittizia sole-aria [°C];

T_e = temperatura dell'aria esterna [°C];

α_s = coefficiente di assorbimento della radiazione solare [n.d], in questo lavoro è stato considerato un coefficiente di assorbimento medio pari a 0.4;

I = irradianza solare sul piano verticale della parete [W/m²];

α_e = coefficiente di scambio termico liminare esterno [W/m²K], fissato dalla normativa tecnica e considerato in questo lavoro pari a 25 W/m²K;

La temperatura fittizia sole-aria è stata utilizzata come temperatura di scambio termico verso l'esterno per tutte le pareti opache di involucro.

5.4.4 Scambio termico verso il terreno

Lo scambio termico con il terreno è modellato considerando il terreno stesso come una sorgente termica a temperatura costante. Il valore della temperatura del terreno viene fatto variare per le differenti ubicazioni scelte per gli edifici campione. In particolare, per ciascuna ubicazione, il valore della temperatura del terreno è fissato pari al valore ottenuto dalla media aritmetica delle temperature medie mensili della località nel periodo effettivo di riscaldamento.

6 Interfaccia software scelta per l'implementazione dei modelli semplificati e per la realizzazione delle simulazioni

L'ambiente di lavoro scelto per implementare i modelli RC descritti nei capitoli precedenti e necessari allo studio del comportamento termico dinamico degli edifici oggetto di indagine è l'ambiente Matlab, abbreviazione di MATrix LABoratory. In particolare, si utilizza l'interfaccia grafica Simulink e diversi Toolbox (quali ad esempio Parallel Computing, Simscape e Parameter Estimation) utili per completare la modellazione, in accordo con quanto descritto nel capitolo successivo, e per gestire l'attività di successiva simulazione con l'importazione e l'esportazione dei dati necessari. Si ricorda che i modelli realizzati saranno sottoposti ad un processo di validazione, oggetto di una successiva linea di attività.

Matlab presenta il vantaggio di essere un ambiente di calcolo numerico estremamente eterogeneo, in grado di svolgere una tipologia di compiti estremamente vasta. In particolare, l'utilizzo dell'interfaccia grafica Simulink, già dotata di una serie di librerie dedicate alle reti RC, consente di velocizzare la fase di modellazione. L'insieme degli operatori logici compresi nelle varie librerie vengono connessi uno all'altro semplicemente connettendone le estremità; così facendo si realizza una connessione vettoriale tra gli

operatori i quali si scambieranno informazioni durante la simulazione. La specifica componentistica Simulink adottata per la modellazione dei circuiti RC è indicata più avanti.

Ai fini della gestione dell'importazione dei dati di ingresso necessari alle simulazioni e dei dati in uscita utili alle valutazioni del comportamento termico dinamico dell'edificio, sono stati creati degli opportuni script in linguaggio Matlab, che consentono lo scambio di tali dati con comuni fogli di calcolo. Tali script sono riportati nell'Allegato A alla sezione B del presente report.

A completamento si riportano le Toolbox utilizzate:

- **Parallel Computing Toolbox™**: consente di risolvere problemi computazionalmente onerosi e ad alto contenuto di dati, utilizzando processori multicore, GPU e cluster di computer. I costrutti di alto livello come for-loop paralleli, tipi particolari di array e algoritmi numerici parallelizzati consentono di parallelizzare le applicazioni MATLAB senza alcuna programmazione MPI o CUDA. Il toolbox permette di utilizzare funzioni abilitate per il calcolo parallelo in MATLAB e in altri toolbox [67].
- **System Identification Toolbox™**: questa libreria fornisce attraverso funzioni Matlab un'app per la determinazione dei parametri di sistemi dinamici a partire da dati di input-output misurati. Nel caso studio si è fatto riferimento alla Toolbox Parameter Estimation, la quale fornisce come tecnica di identificazione l'algoritmo maximum likelihood, esattamente quello descritto nella trattazione teorica [68]. Si noti che la soluzione identificata da tale algoritmo rappresenta un minimo locale e non un minimo assoluto per la funzione studiata.

6.1 Componenti Simulink e Simscape utilizzati

L'insieme degli operatori logici (componenti Simulink e Simscape) utilizzati nella realizzazione dei modelli è riportato in Tabella 21.

Tabella 21 - Componenti Simulink e Simscape utilizzati per la modellazione

Riferimento	Nome componente	Breve descrizione
	Signal Editor	Consente di creare e modificare i segnali di input utilizzati per la modellazione.
	Simulink - PS Converter	Converte il vettore in ingresso dal Signal Editor.
	Constant	Questo blocco consente di introdurre nel modello un parametro fisso o una variabile.
	Dot Product	Moltiplicazione tra due dati in ingresso.
	Controlled Voltage Source	Generatore di Volt, nel nostro caso coincide con il dato di temperatura.
	Controlled Current Source	Generatore di Corrente, nel nostro caso verrà utilizzato per gli apporti energetici.
	Capacitor	Capacità termica.
	Resistor	Resistenza termica.
	Electrical Reference	Massa del circuito elettrico.



Sensore di lettura
Vollaggio

Voltage Sensor

Questo componente consente di leggere il valore di Volt, ovvero di temperatura in un punto.



Solver

Solver

Questo blocco implementa le funzioni che risolvono il comportamento del modello.



Convertitore
PS - Simulink

PS - Simulink
Converter

Converte il dato del circuito in un dato numerico per la Workspace.



Letto Output

Output

Definisce quale è l'uscita del modello.



Block per
visualizzazione

Scope

Consente di visualizzare un andamento quale la temperatura.

7 Dettaglio dei modelli di scambio termico dell'edificio con reti RC

In questo capitolo sono descritte le reti RC utilizzate per la modellazione semplificata degli elementi opachi, trasparenti e successivamente degli interi edifici. In particolare, facendo riferimento alla Sezione A del presente report (contenente le tipologie costruttive maggiormente rappresentative, identificate a seguito di una indagine svolta sul patrimonio edilizio italiano esistente) sono state predisposte quindici differenti reti RC, variabili in funzione delle tipologie costruttive, in accordo con quanto riportato in Tabella 22.

Gli elementi finestrati sono stati considerati della stessa tipologia in tutte le reti RC, secondo quanto riportato in Tabella 23.

Tabella 22 - Riepilogo tipologie costruttive elementi opachi

Tipologia	Descrizione Elemento	Codice Elemento
Solai contro-terra	Solaio contro-terra in calcestruzzo	$S_{c_terra,01}$
	Solaio contro-terra in latero-cemento	$S_{c_terra,02}$
Solai interpiano	Solaio in latero-cemento	$S_{int,01}$
	Solaio in legno	$S_{int,02}$
Solai di copertura	Solaio in latero-cemento	$S_{cop,01}$
	Solaio in legno con isolante	$S_{cop,02}$
Pareti involucro	Parete esterna in pietra	$P_{env,pietra}$
	Parete esterna in laterizi forati	$P_{env,lat,01}$
	Parete esterna in laterizi forati e isolante ext	$P_{env,lat,02}$
	Parete esterna in laterizi forati e isolante interm.	$P_{env,lat,03}$
	Parete esterna in laterizi forati e isolante interno	$P_{env,lat,04}$
	Parete esterna leggera in legno e isolante	$P_{env,legno}$
Tramezzature	Tramezzatura in laterizi pieni	$T_{int,01}$
	Tramezzatura in laterizi forati	$T_{int,02}$
	Tramezzatura leggera in legno e isolante	$T_{int,03}$

Tabella 23 - Riepilogo tipologie costruttive elementi trasparenti e porte

Tipologia	Descrizione Elemento	Codice Elemento
Involucro trasparente e porte	Finestra doppio vetro ed intercapedine d'aria	F_{in01}

Una volta ottenuti i singoli modelli RC semplificati per la descrizione del comportamento degli elementi riportati nelle Tabelle precedenti, essi sono stati combinati per la modellazione degli edifici campione seguendo i cluster tipologici, descritti nella Sezione A (Tabella 11). Le soluzioni definite dai cluster sono state quindi combinate con le proprietà geometriche degli edifici utilizzati come riferimento, già identificati nella Sezione A, e con i diversi profili di apporto termico interno, creando il set definitivo di edifici campione.

7.1 Descrizione delle reti RC utilizzate nella modellazione degli edifici campione

Di seguito si riportano le reti RC associate alle tipologie costruttive indicate in Tabella 22, le cui proprietà termo-fisiche complete sono riportate nell'Allegato C della Sezione A.

All'interno dell'Allegato C della Sezione B del presente report si riportano i fogli di calcolo utilizzati per determinare i valori da associare a resistenze e capacità termiche per tutti i componenti di ogni elemento costruttivo, nonché per la capacità termica complessiva interna e la resistenza termica alla ventilazione.

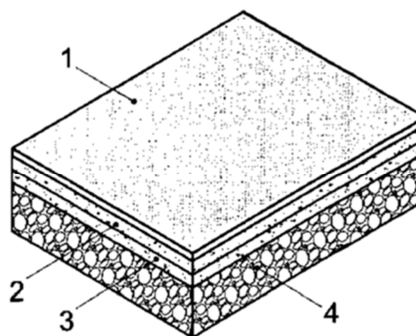
$S_{c_terra,01}$ Solaio contro terra in calcestruzzo

Riepilogo caratteristiche tipologiche

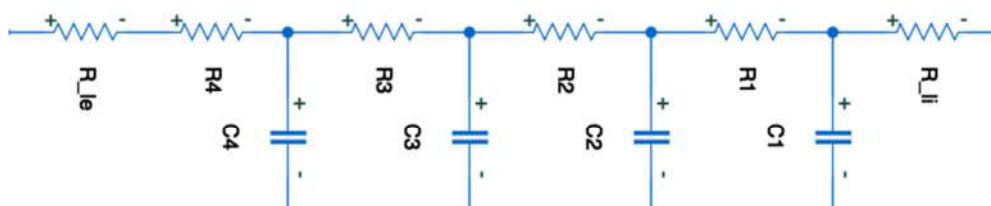
Codice $S_{c_terra,01}$

Categoria Solaio contro-terra

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C



Rete RC Equivalente – 6R4C

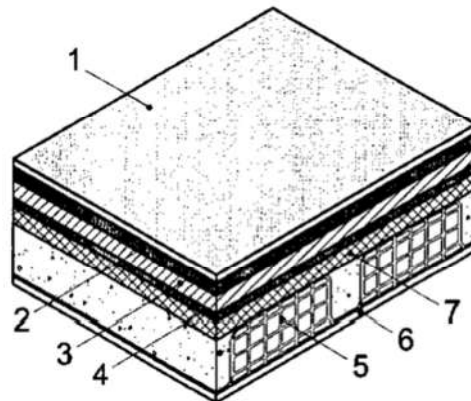


S_{c_terra,02} Solaio contro terra in laterocemento

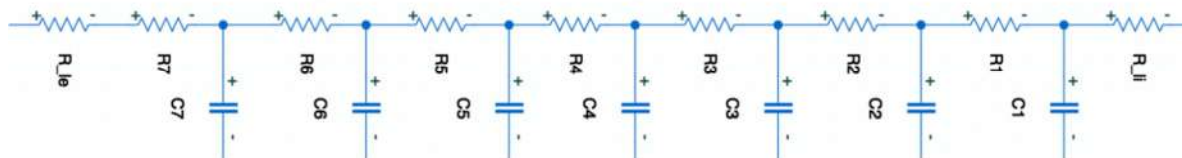
Codice S_{c_terra,02}

Categoria Solaio contro-terra

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C



Rete RC Equivalente – 9R7C



S_{int,01} Solaio di interpiano in laterocemento, blocchi non collaboranti

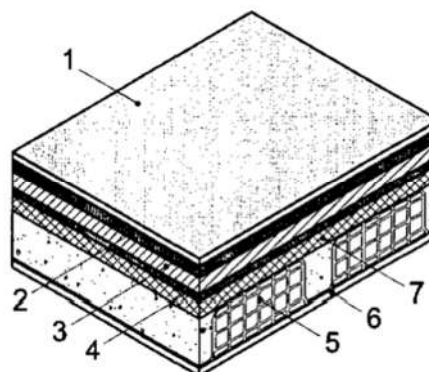
Riepilogo caratteristiche tipologiche

Codice S_{int,01}

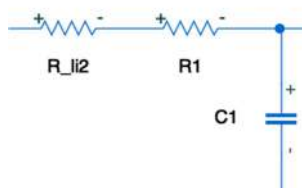
Categoria Solaio interpiano

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.

NOTA: la modellazione RC dei solai di interpiano è analoga a quella delle tramezzature. Queste due categorie separano due locali che si trovano alla stessa temperatura. La normativa per questi elementi consente di modellarli secondo una singola capacità termica; tuttavia per studiare il transitorio termico si adotta una modellazione semplificata simile a quella degli elementi opachi.



Rete RC Equivalente – 2R1C



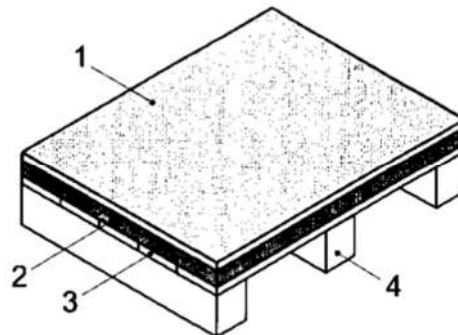
S_{int,02} Solaio interpiano in legno

Codice S_{int,02}

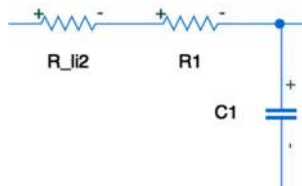
Categoria Solaio interpiano

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.

NOTA: la modellazione RC dei solai di interpiano è analoga a quella delle tramezzature. Queste due categorie separano due locali che si trovano alla stessa temperatura. La normativa per questi elementi consente di modellarli secondo una singola capacità termica; tuttavia per studiare il transitorio termico si adotta una modellazione semplificata simile a quella degli elementi opachi.



Rete RC Equivalente – 2R1C



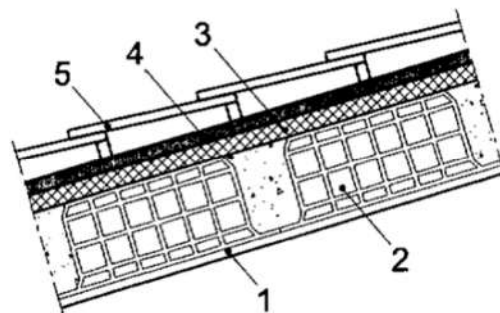
S_{cop,01} Solaio di copertura in laterocemento

Riepilogo caratteristiche tipologiche

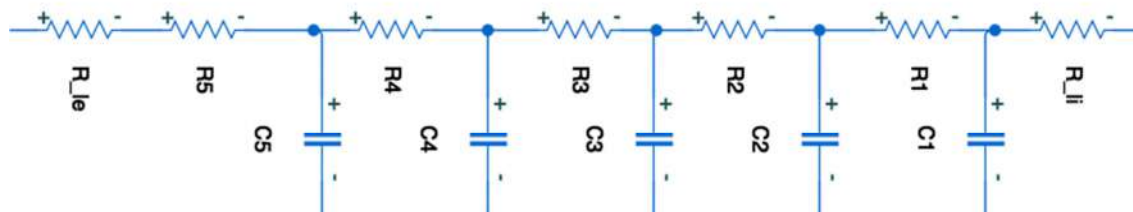
Codice S_{cop,01}

Categoria Solaio copertura

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.



Rete RC Equivalente – 7R5C

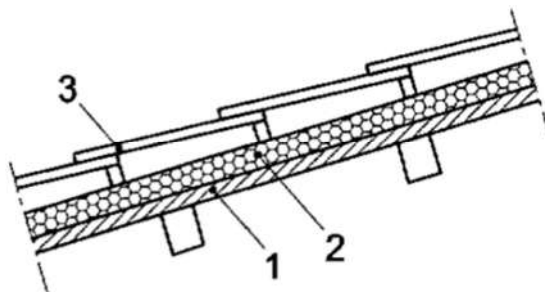


S_{cop,02} Solaio di copertura in legno con strato isolante

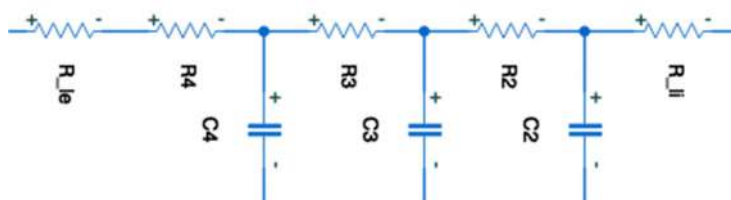
Codice S_{cop,02}

Categoria Solaio copertura

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.



Rete RC Equivalente – 5R3C

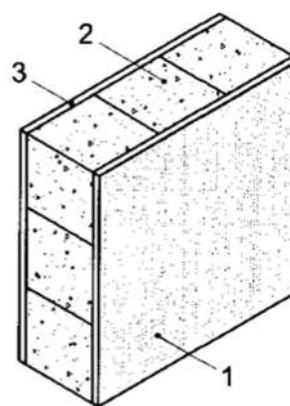


P_{env, pietra} Parete involucro esterno in pietra

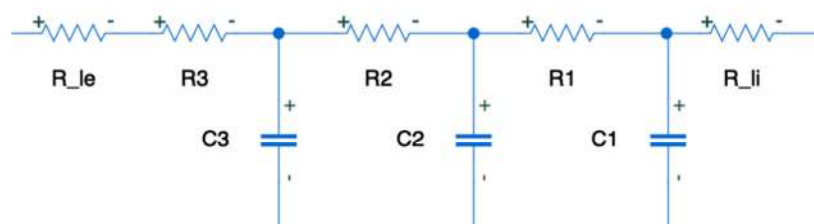
Codice P_{env,pietra}

Categoria Parete verticale esterna

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.



Rete RC Equivalente – 5R3C



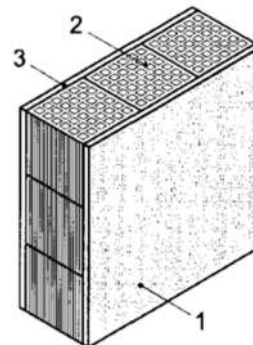
P_{env, lat01} Parete involucro esterno in laterizi forati

Riepilogo caratteristiche tipologiche

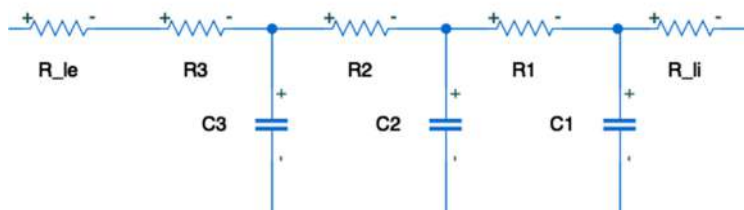
Codice P_{env, lat01}

Categoria Parete verticale esterna

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.



Rete RC Equivalente – 5R3C



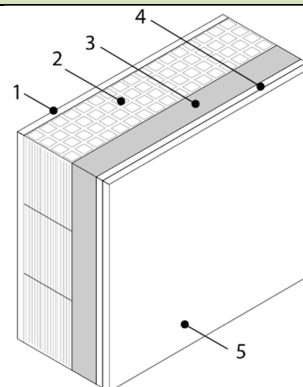
P_{env, lat02} Parete involucro esterno in laterizi forati con cappotto esterno

Riepilogo caratteristiche tipologiche

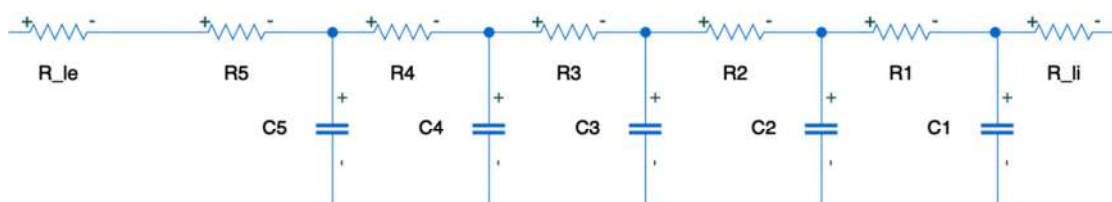
Codice P_{env, lat02}

Categoria Parete verticale esterna

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.



Rete RC Equivalente – 7R5C

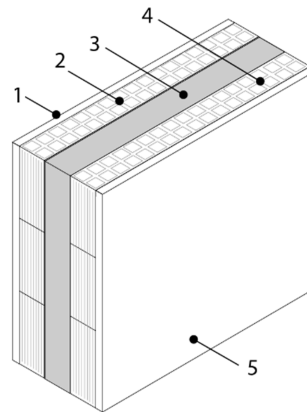


P_{env, lat03} Parete involucro esterno in laterizi forati con isolante interno

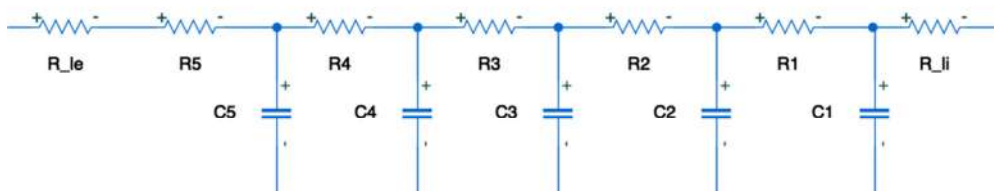
Codice P_{env, lat03}

Categoria Parete verticale esterna

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.



Rete RC Equivalente – 7R5C



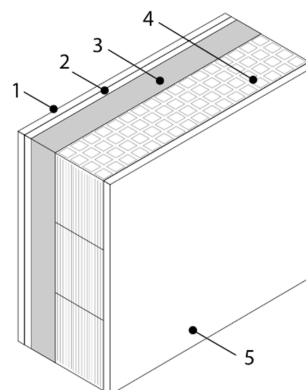
P_{env, lat04} Parete involucro esterno in laterizi forati con isolante interno

Riepilogo caratteristiche tipologiche

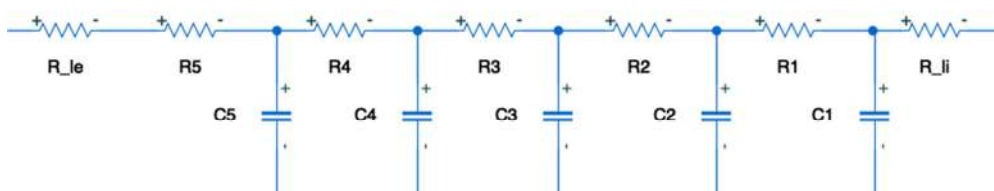
Codice P_{env, lat04}

Categoria Parete verticale esterna

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.



Rete RC Equivalente – 7R5C

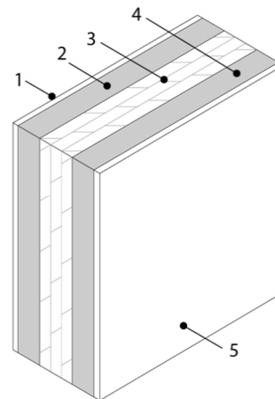


$P_{env, legno}$ Parete involucro esterno leggera in legno

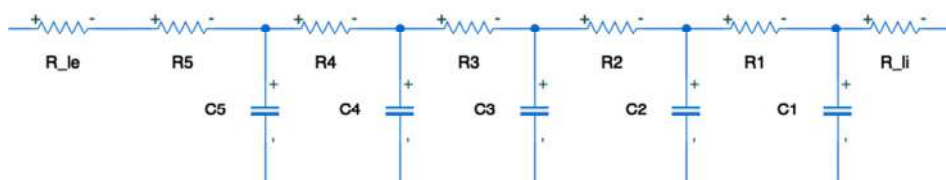
Codice $P_{env, legno}$

Categoria Parete verticale esterna

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.



Rete RC Equivalente – 7R5C



$T_{int,01}$ Tramezzatura interna in laterizi pieni

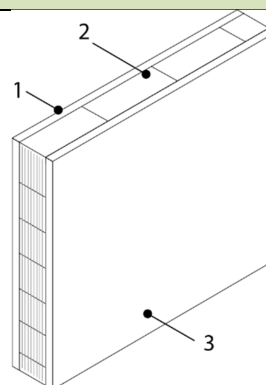
Riepilogo caratteristiche tipologiche

Codice $T_{int,01}$

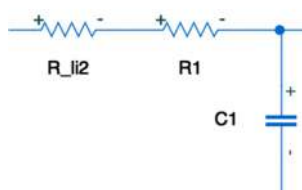
Categoria Tramezzatura

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.

NOTA: la modellazione RC dei solai di interpiano è analoga a quella delle tramezzature. Queste due categorie separano due locali che si trovano alla stessa temperatura. La normativa per questi elementi consente di modellarli secondo una singola capacità termica; tuttavia per studiare il transitorio termico si adotta una modellazione semplificata simile a quella degli elementi opachi.



Rete RC Equivalente – 3R1C



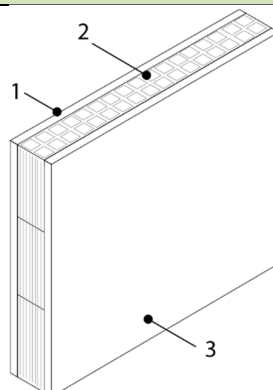
$T_{int,02}$ Tramezzatura interna in laterizi forati

Codice $T_{int,02}$

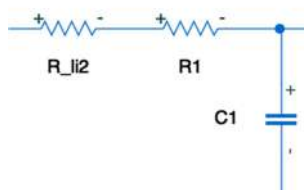
Categoria Tramezzatura

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.

NOTA: la modellazione RC dei solai di interpiano è analoga a quella delle tramezzature. Queste due categorie separano due locali che si trovano alla stessa temperatura. La normativa per questi elementi consente di modellarli secondo una singola capacità termica; tuttavia per studiare il transitorio termico si adotta una modellazione semplificata simile a quella degli elementi opachi.



Rete RC Equivalente – 2R1C



$T_{int,03}$ Tramezzatura interna leggera con rivestimento in cartongesso

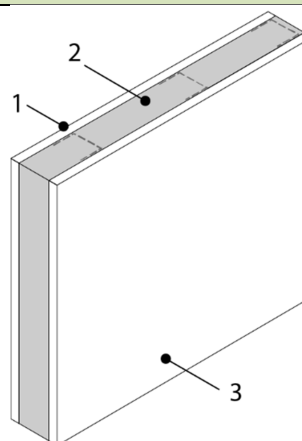
Riepilogo caratteristiche tipologiche

Codice $T_{int,02}$

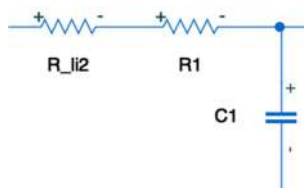
Categoria Tramezzatura

Per i dati completi fare riferimento alla Sezione A, Allegato C.

NOTA: la modellazione RC dei solai di interpiano è analoga a quella delle tramezzature. Queste due categorie separano due locali che si trovano alla stessa temperatura. La normativa per questi elementi consente di modellarli secondo una singola capacità termica; tuttavia per studiare il transitorio termico si adotta una modellazione semplificata simile a quella degli elementi opachi.



Rete RC Equivalente – 3R1C



F_{in01} Superficie involucro trasparente, finestre e porte

Codice F_{in01}

Categoria Involucro trasparente



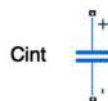
C_{interna} Capacità termica interna, aria ed arredamento

Codice C_{interna}

Categoria Capacità termica degli elementi interni, aria ed arredamento

Valore di riferimento pari a 10000/3600 [Wh/m²K]

La frazione 1/3600 serve per ricondurre il valore della capacità termica dell'aria da J/m²K a Wh/m²K, uniformandosi con le altre grandezze presenti all'interno dell'ambiente di modellazione.



R_{ventilazione} Resistenza termica dovuta allo scambio termico per ventilazione

Riepilogo caratteristiche tipologiche

Codice R_{ventilazione}

Categoria Resistenza termica dovuta allo scambio per ventilazione (per unità di volume netto riscaldato)

Valore di riferimento pari a 3600/363,3 [m³K/W]

Per il calcolo del valore di riferimento è stato assunto un ricambio orario d'aria nel volume netto riscaldato pari a 0,3 h⁻¹.

Rete RC Equivalente – 1R



7.1.1 Precisazione sulla schematizzazione dei singoli strati delle pareti opache

In merito alla schematizzazione delle tipologie costruttive e allo studio del loro comportamento in regime dinamico in ambiente Matlab Simulink è necessaria una precisazione. Lo scambio termico tra ambiente esterno ed ambiente interno deve avvenire in modo bidirezionale. Al fine di ottenere un comportamento bidirezionale simmetrico di ciascuno strato che compone la singola parete opaca (verticale o orizzontale) si è operato come di seguito. La capacità termica complessiva, che compone il singolo strato della parete, è stata posizionata nella rete RC in mezzo a due resistenze termiche, ognuna delle quali di valore pari alla metà della resistenza termica totale dello strato, in accordo con la Figura 44. In questo modo lo schema elettrico mantiene le stesse caratteristiche dal punto di vista di capacità e resistività complessiva rendendo il comportamento del sistema simmetrico rispetto a scambi termici bidirezionali.

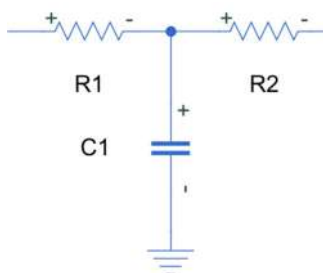


Figura 44 – Posizionamento dell'elemento capacitivo nella rete RC utilizzata per modellare ogni singolo strato che compone le pareti opache.

7.2 Modello semplificato per impianto termico a pompa di calore

L'analisi dell'interazione tra edificio ed impianto a pompa di calore rappresenta un elemento di interesse nell'ottica di ottenere logiche di gestione del sistema impiantistico finalizzate alla riduzione dei consumi di energia. Affinché tale interazione possa essere studiata con i modelli semplificati realizzati nel presente studio, è necessario inserire nella struttura dei modelli stessi, l'impianto di riscaldamento a pompa di calore. In questo studio, l'attenzione è rivolta a sistemi di riscaldamento che utilizzino pompe di calore prive di sistemi di accumulo di tipo idronico, di conseguenza in questa fase sono state implementati generatori a pompa di calore di tipo aria-aria, secondo la logica operativa descritta graficamente con i tre blocchi di Figura 45. La scelta di tale tipologia trova giustificazione nell'affidabilità dei parametri prestazionali, ben noti per l'elevata diffusione di tali macchine negli edifici residenziali, ancorché non sempre come impianto primario di riscaldamento. In attività di ricerca successive la modellazione del generatore assumerà carattere più generale, con l'estensione anche alle pompe di calore di tipo aria-acqua.

I parametri considerati in questa fase per la gestione della logica operativa della pompa di calore sono: il valore della temperatura interna ed il suo andamento ed il profilo di occupazione durante le ventiquattro ore.

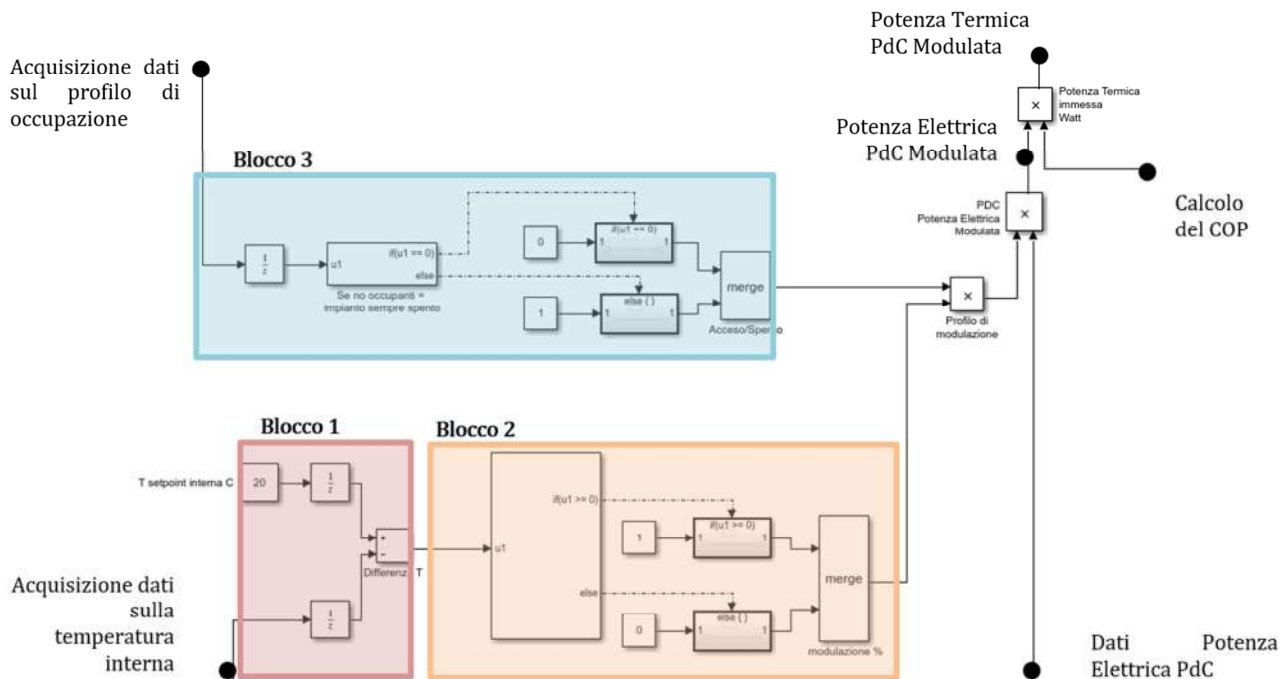


Figura 45 – Logica operativa implementata per generatore a pompa di calore

- **Blocco 1:** durante il calcolo del comportamento termico dinamico dell'edificio, viene campionato su base oraria il valore della temperatura dell'aria interna, confrontando quindi tale valore con la temperatura impostata come setpoint interno.
- **Blocco 2:** ricavata la differenza tra la temperatura dell'aria interna e quella di setpoint, interviene il sistema di controllo contenuto nel blocco 2, che gestisce l'eventuale accensione della pompa di calore (nel caso di $T_{\text{setpoint}} - T_{\text{interna}} > 0^\circ\text{C}$) e l'eventuale regolazione della potenza termica erogata dalla stessa (in modalità ON-OFF o proporzionale alla differenza $T_{\text{setpoint}} - T_{\text{interna}}$; per semplicità, il blocco 2 rappresentato in Figura 45 è relativo al tipo di regolazione ON-OFF).
- **Blocco 3:** il blocco 3 regola lo spegnimento della pompa di calore secondo scenari prestabiliti o in maniera automatica quando non siano presenti persone all'interno dell'abitazione, in base ai profili di occupazione discussi nei capitoli precedenti.

In funzione della logica operativa appena descritta, viene valutata l'energia elettrica utilizzata su base oraria dalla pompa di calore, dipendente anche dalle caratteristiche prestazionali della pompa di calore stessa.

La scelta delle caratteristiche prestazionali della pompa di calore, da implementare nel modello semplificato, ha seguito le seguenti considerazioni. Sono state identificate tre aziende produttrici di pompe di calore aria-aria la cui diffusione è ampia sul territorio nazionale. Tra le soluzioni commerciali proposte dalle aziende individuate, sono state analizzate le pompe di calore con potenza termica erogata (condizioni $T_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}$, $T_{\text{ext}} = 7^\circ\text{C}$) minore o uguale a 10 kW (potenza termica ritenuta sufficiente per coprire i carichi termici nelle unità abitative identificate nella precedente sezione del report, tenendo conto dell'obiettivo riguardante l'indagine di sistemi di piccola taglia).

In Tabella 24 si riporta, per ciascun produttore, l'elenco delle pompe di calore scelte, corredate dalle caratteristiche tecniche essenziali. Per completezza, nell'Allegato D si riportano le schede tecniche delle pompe di calore, come estratte dai cataloghi delle rispettive aziende produttrici.

Tabella 24 - Elenco Pompe di Calore considerate (dati riferiti a $T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=7\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Produttore	Modello	Capacità Termica Nominale [W]	Potenza Assorbita Nominale [W]	COP dichiarato dal produttore
Mitsubishi				
	MXZ-2F33VF2	4000	910	4,4
	MXZ-2F53VF2	6400	1560	4,1
	MXZ-4F80VF2	8800	2000	4,4
Hitachi				
	RAM-33NP2E	4000	900	4,4
	RAM-53NP3E	6800	1620	4,2
	RAM-70NP4E	8500	2020	4,2
General-Fujitsu				
	AOYG14LAC2	4400	1030	4,27
	AOYG18LAT3	6800	1619	4,2
	AOYG30LAT4	9600	2400	4

Per quanto concerne il valore del coefficiente di prestazione (COP) della pompa di calore, il modello semplificato realizzato tiene in considerazione la variabilità della temperatura della sorgente di scambio termico esterna (aria esterna) con cui opera la pompa di calore. Di conseguenza, il valore effettivo del COP della pompa di calore viene aggiornato con passo orario in funzione della temperatura dell'aria esterna. Nel caso di pompe di calore a compressione di vapore ad azionamento elettrico, come quelle considerate nel presente studio, la determinazione delle prestazioni a pieno carico, in condizioni diverse da quelle dichiarate può effettuarsi con interpolazione lineare tra i valori del rendimento di secondo principio.

Il rendimento di secondo principio può essere determinato secondo l'equazione seguente:

$$\eta_{II} = \frac{COP}{[(T_c + 273,15) / (T_c - T_f)]}$$

dove:

η_{II} = è il rendimento di secondo principio¹;

COP = il coefficiente di prestazione in specifiche condizioni di T_c e T_f , dichiarato dal produttore;

T_c = temperatura della sorgente di scambio termico calda (aria interna);

T_f = temperatura della sorgente di scambio termico fredda (aria esterna).

Considerando costante il valore di T_c e noti i valori del COP corrispondenti a due differenti valori di T_f (dai dati dichiarati dal produttore), è possibile ricavare i valori dei rispettivi rendimenti di secondo principio con l'equazione sopra indicata. Da tali valori, procedendo per interpolazione lineare è possibile ottenere il valore del rendimento di secondo principio per qualsiasi temperatura T_f desiderata (purché nel campo operativo della macchina) e ricavare a ritroso il corrispettivo valore del COP effettivo. Il modello realizzato è in grado di valutare il COP effettivo della pompa di calore su base oraria, considerando un rendimento di secondo principio variabile con T_f oppure, in mancanza di dati prestazionali dichiarati, considerando un

¹ Il rapporto dovrebbe più propriamente essere definito come COP di II principio. La denominazione di rendimento deriva dalla normativa di riferimento [69]

valore costante del rendimento di secondo principio. A questo proposito in Figura 46, per le condizioni di $T_c=20^\circ\text{C}$ e $T_f=7^\circ\text{C}$, si riportano i valori del rendimento di secondo principio ricavati per i modelli di pompe di calore considerate. Tali valori variano da un minimo di 0,195 ad un massimo di 0,215, con un valore medio di 0,207.

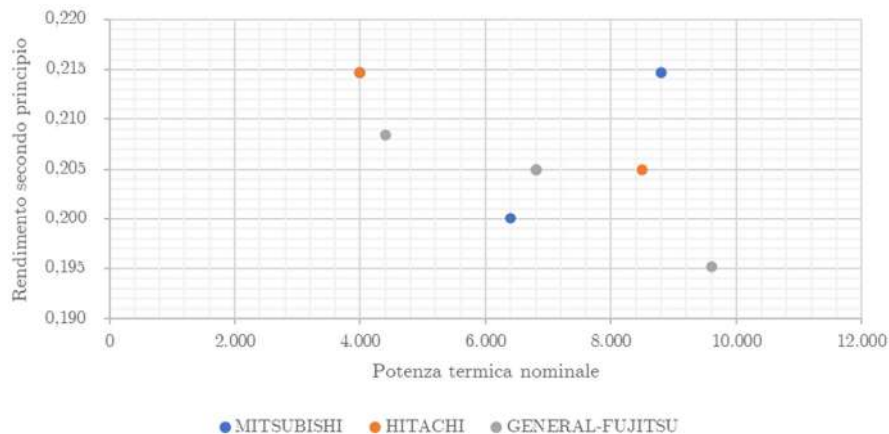


Figura 46 – Valori del rendimento di secondo principio ricavati per i modelli di pompe di calore considerate in funzione dei valori di potenza termica nominale (W), alle condizioni $T_c=20^\circ\text{C}$ e $T_f=7^\circ\text{C}$

Infine, se si utilizza una logica di regolazione della potenza erogata dalla pompa di calore di tipo proporzionale alla differenza di temperatura $T_{setpoint}-T_{int}$, il COP effettivo sarà ottenuto anche operando una correzione in funzione del fattore di carico CR definito come il rapporto tra la potenza termica erogata dalla macchina e quella massima erogabile. La correzione viene effettuata secondo l'equazione seguente [70]:

$$COP_{PL} = COP (1 - (1 - CR)/4)$$

dove:

COP_{PL} = COP effettivo a carico parziale;

COP = COP a fattore di carico $CR=1$;

CR = fattore di carico della pompa di calore.

7.3 Modelli semplificati RC completi

Nei capitoli e paragrafi precedentemente riportati sono state descritte le modalità di realizzazione dei modelli semplificati, basati su reti RC, creati allo scopo di prevedere il comportamento termico dinamico di edifici campione. I modelli sono stati realizzati per le tipologie abitative individuate come maggiormente rappresentative e utilizzando i cluster di soluzioni tecnologiche caratterizzanti l'involucro edilizio riportate in Tabella 11. Nei paragrafi successivi si riportano alcune visualizzazioni dei modelli realizzati, con l'obiettivo di chiarire la struttura generale e la funzione dei vari blocchi che compongono i modelli.

7.3.1 Struttura generale dei modelli RC

La struttura generale dei modelli RC realizzati è comune per tutte le tipologie abitative e soluzioni costruttive considerate e si presenta come una rete elettrica composta da una serie di elementi, raggruppabili in quindici blocchi, ciascuno con la sua specifica funzione.

In Figura 47 è riportato lo schema realizzativo di un modello completo, in cui viene evidenziata la struttura generale che contiene tutti i componenti e gli operatori logici utilizzati. Con l'obiettivo di identificare i

differenti blocchi che costituiscono i modelli, in Tabella 25 si riporta il codice identificativo e la funzione associata o il ruolo svolto da ciascun blocco.

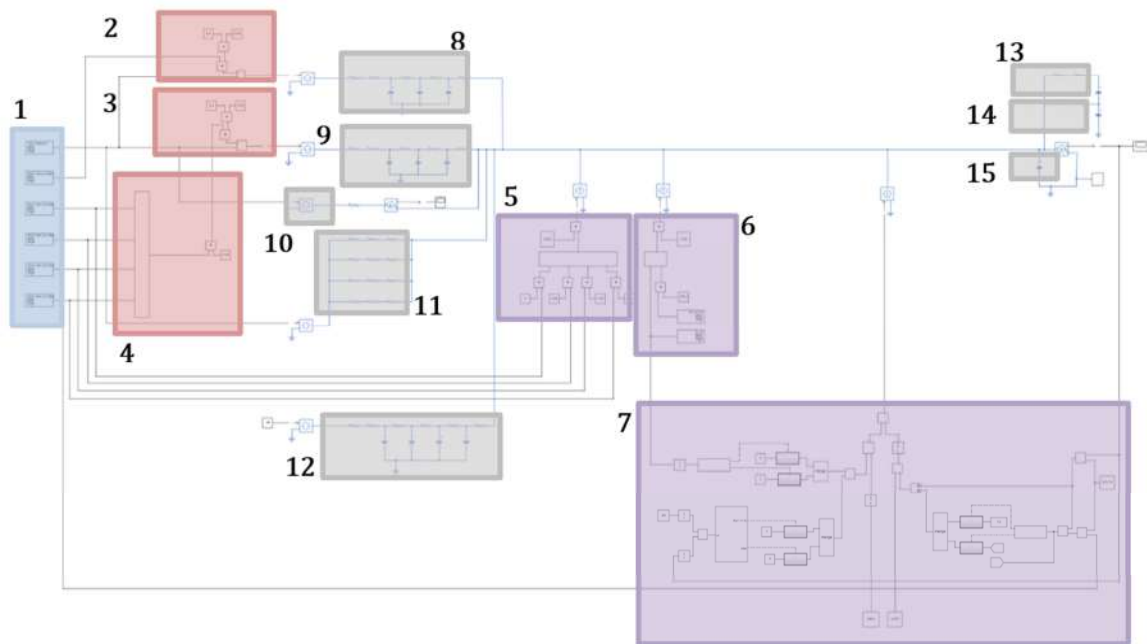


Figura 47 – Schema generale dei modelli RC, per la previsione del comportamento termico dinamico e dell’interazione tra sistema edilizio ed impianto.

Tabella 25 - Identificazione blocchi e descrizione della loro funzione

Blocco n.	Descrizione funzione
1	Parametri ambientali: temperatura ed irradianza solare
2	Calcolo temperatura fittizia sole-aria per solaio di copertura
3	Calcolo temperatura fittizia sole-aria per le pareti verticali esterne
4	Calcolo del valore medio dell’irradianza solare sulle superfici verticali orientate, Nord, Est, Sud e Ovest
5	Apporti solari diretti, attraverso le superfici finestrare
6	Apporti termici interni dovuti all’occupazione ed all’utilizzo di dispositivi elettronici
7	Apporti termici generati del sistema di riscaldamento a pompa di calore, con sistema di gestione e modulazione
8	Caratteristiche costruttive solaio di copertura
9	Caratteristiche costruttive pareti verticali esterne, involucro opaco
10	Resistenza termica equivalente per ventilazione naturale
11	Caratteristiche costruttive porte e finestre, involucro trasparente
12	Caratteristiche costruttive solaio contro terra
13	Caratteristiche costruttive solaio di interpiano
14	Caratteristiche costruttive pareti divisorie interne

7.3.2 Struttura generale modello RC – visualizzazione compatta

La combinazione delle quattro tipologie abitative, degli otto cluster di tipologie costruttive, delle quattro zone climatiche e dei quattro profili di occupazione definisce un set totale di 512 edifici campione con altrettanti modelli semplificati RC che sono stati predisposti. La variazione dei profili di occupazione, così come la variazione dei dati climatici, non comportano modifiche a livello della struttura generale dei modelli, ma introducono modifiche solo nei dati di input. La struttura generale dei modelli RC, in una versione più compatta, rispetto a quella presentata in Figura 47 è riportata in Figura 48, nella quale sono ancora evidenziati i quindici blocchi di Tabella 25. Le successive Figure 49-52 si riferiscono rispettivamente alle tipologie UAM, UAS1L, UAS2L e UAC. La struttura generale di Figura 48 è comune a tutte le tipologie abitative, ad eccezione della tipologia abitativa in condominio UAC, per la quale valgono le seguenti osservazioni:

- a) si tratta di una unità abitativa situata ai piani intermedi, pertanto, non sono stati considerati fenomeni di scambio termico con il terreno attraverso il solaio contro-terra; il relativo componente (blocco logico 12) è escluso dal modello RC;
- b) per lo stesso motivo del punto precedente, non sono stati considerati fenomeni di scambio termico con l'aria esterna attraverso il solaio di copertura; pertanto tale componente (blocco logico 8) è escluso dal modello RC;
- c) l'unità abitativa, secondo quanto riportato nella Sezione A del presente report, si sviluppa su un singolo livello, pertanto il solaio di interpiano (blocco logico 13) è escluso dal modello RC;
- d) la porta di ingresso (compresa nel blocco logico 11) è una superficie che separa due ambienti che sono stati considerati entrambi riscaldati alla stessa temperatura (ambiente interno e vano scala condominiale), analogamente per il solaio di calpestio ed il solaio a soffitto, pertanto la loro funzione di scambio termico non è stata considerata.

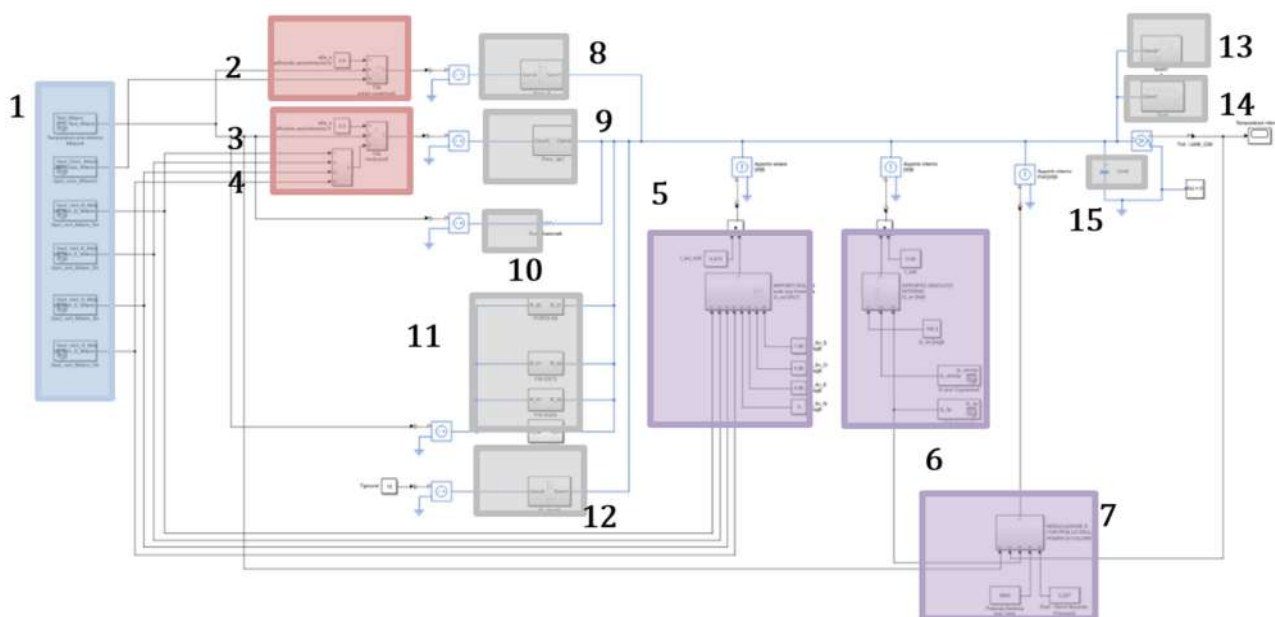


Figura 48 – Visualizzazione compatta dello schema generale dei modelli RC, per la previsione del comportamento termico dinamico e dell'interazione tra sistema edilizio ed impianto.

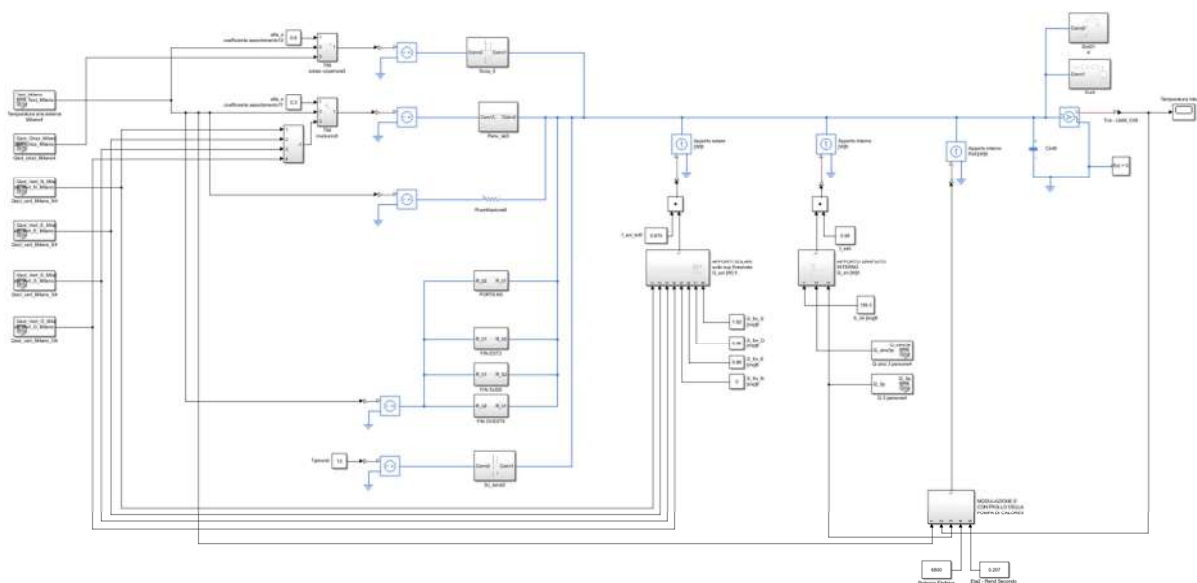


Figura 49 – Visualizzazione compatta dello schema del modello RC, per la previsione del comportamento termico dinamico e dell’interazione tra sistema edilizio, per l’unità abitativa monofamiliare (UAM), con tipologia costruttiva cluster C06.

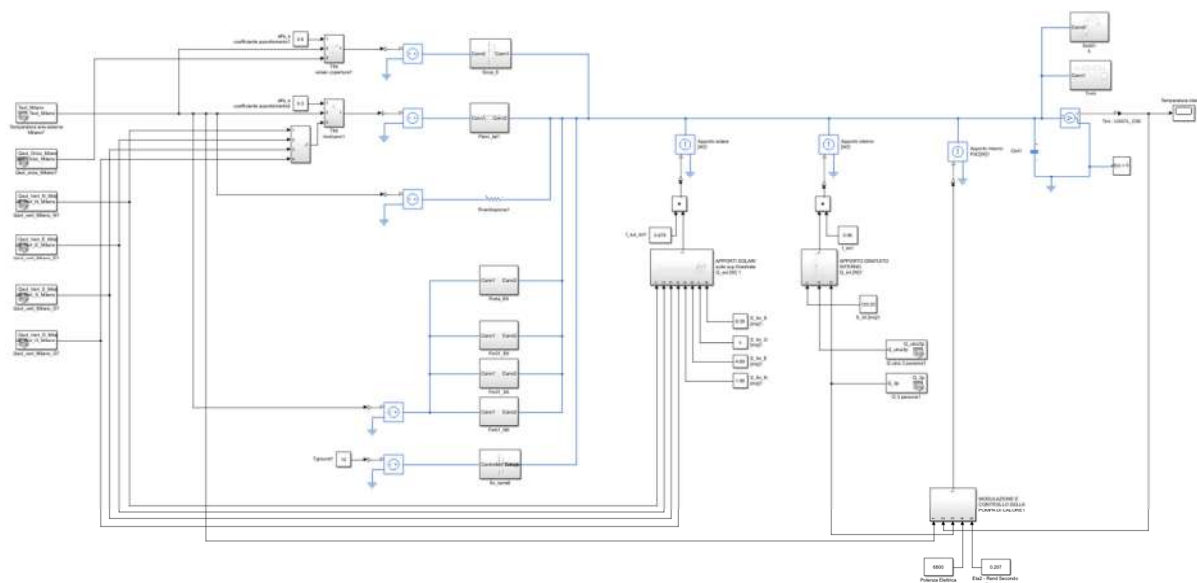


Figura 50 – Visualizzazione compatta dello schema del modello RC, per la previsione del comportamento termico dinamico e dell’interazione tra sistema edilizio, per l’unità abitativa a schiera (UAS1L), con tipologia costruttiva cluster C06.

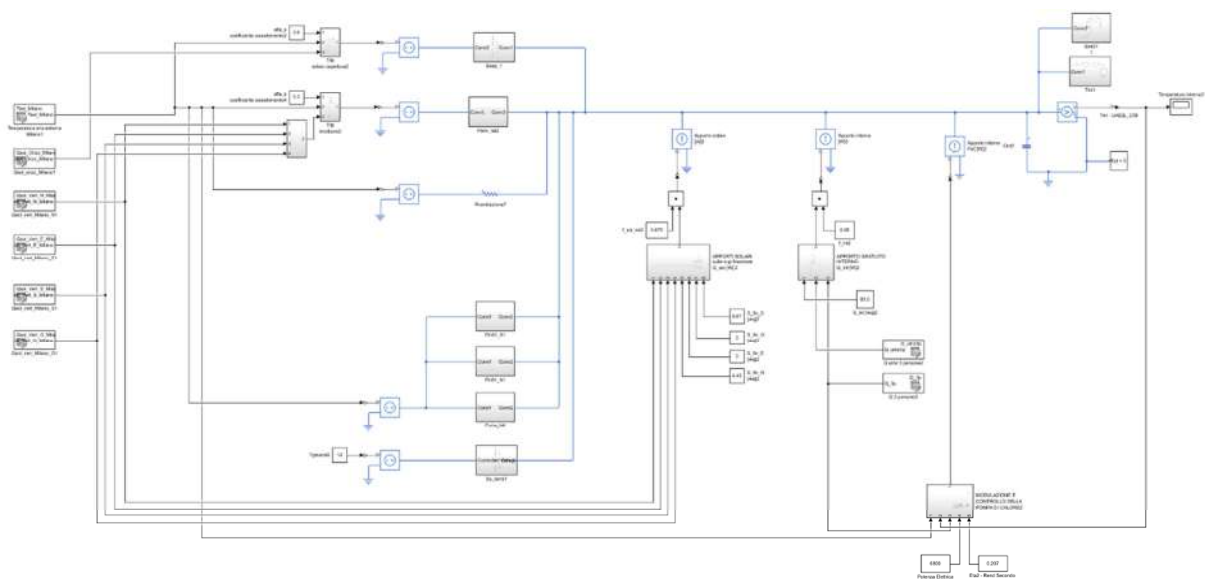


Figura 51 – Visualizzazione compatta dello schema del modello RC, per la previsione del comportamento termico dinamico e dell’interazione tra sistema edilizio, per l’unità abitativa a schiera (UAS2L), con tipologia costruttiva cluster C06.

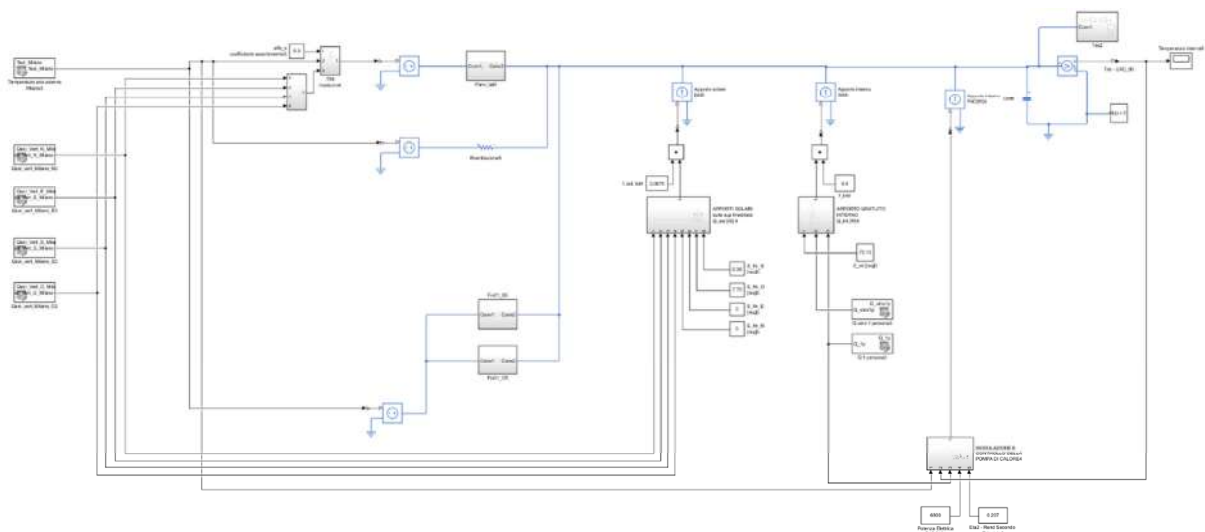


Figura 52 – Visualizzazione compatta dello schema del modello RC, per la previsione del comportamento termico dinamico e dell’interazione tra sistema edilizio, per l’unità abitativa in condominio (UAC), con tipologia costruttiva cluster C06.

8 Conclusioni

Nel presente report sono descritte le attività svolte nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni dell'Università di Pisa, dal titolo: "Analisi dell'interazione tra edificio e sistema di climatizzazione a PdC, in sistemi residenziali di piccola taglia con accumulo idronico trascurabile o assente".

La linea di attività si compone di due differenti filoni di ricerca, condotti in parallelo.

Il primo riguarda la definizione di categorie standardizzate di edifici residenziali, in modo da comporre un campione sul quale effettuare una campagna di simulazioni del comportamento energetico in regime dinamico. Come risultato di questo filone è stato individuato, con le modalità descritte nella sezione A del presente report, un set composto da 512 edifici campione, caratterizzati da differenti tipologie abitative, tipologie costruttive, profili di utilizzo ed ubicazioni.

Il secondo concerne la realizzazione di modelli di calcolo semplificato per condurre simulazioni energetiche dinamiche, su base oraria, finalizzate all'analisi dell'interazione tra edificio ed impianto a pompa di calore con accumulo idronico trascurabile. Come risultato di questo filone sono stati realizzati dei modelli semplificati su piattaforma Matlab/Simulink utilizzando reti RC. I modelli realizzati, e descritti in dettaglio nella sezione B, sono idonei all'indagine dell'influenza esercitata da differenti parametri dell'involucro edilizio nei confronti delle prestazioni energetiche dinamiche, per il servizio di riscaldamento invernale soddisfatto con impianti a pompa di calore di piccola taglia (privi di sistemi di accumulo tradizionale). I modelli realizzati sono 512, ognuno dei quali corrisponde ad un elemento appartenente al set di edifici campione. I modelli RC sono stati realizzati sulla base di esperienze analoghe presenti nella letteratura tecnico-scientifica; tuttavia, date le specifiche finalità a cui questi modelli devono rispondere (interazione caratteristiche edificio ed impianto a pompa di calore), sono state necessarie varie customizzazioni dettagliatamente descritte nella stessa sezione B.

A conclusione dei due filoni di ricerca della linea di attività sviluppata, si ha a disposizione uno strumento semplificato in grado di effettuare simulazioni del comportamento energetico del complesso edificio-impianto da utilizzare nelle successive linee di attività. I modelli realizzati dovranno essere validati attraverso confronto, su specifici casi studio, tra i risultati ottenuti dalle simulazioni con i modelli stessi e tecniche di modellazione differenti, in particolare di tipo White-box sfruttante software avanzato di simulazione energetica dinamica quale ad esempio Energy+ o Trnsys.

Allegati Report - Sezione B

Allegato A

A.1 – Script importazione dati climatici da Excel a Matlab

Script realizzato in linguaggio Matlab per l'importazione dei dati climatici. L'importazione porta i dati da Spreadsheet all'ambiente Matlab; una volta importati i dati vengono definite delle "struct" che consentono la comunicazione dall'ambiente Matlab all'interfaccia Simulink. Ogni struttura è definita come una "time-series" di dati, ovvero ad ogni specifico istante di tempo è associato un determinato valore.

%Importazione dei dati di input da spreadsheet realizzato durante la Fase 1 del presente lavoro, la procedura di determinazione dei presenti dati è riportata nella SEZIONE A del presente report.

%Ripulitura Workspace e Command Window

clc;

clear;

%DATI INPUT - PALERMO %%

% Temperatura esterna

Text_Palermo = Simulink.SimulationData.Dataset;

time = xlsread('dati_input.xlsx','Text','A3:A2906');

data = xlsread('dati_input.xlsx','Text','B3:B2906');

Text_Palermo{1} = timeseries(data,time);

Text_Palermo{1}.Name = 'Text_Palermo';

save Text_Palermo.mat Text_Palermo;

% Irraggiamento solare

% riferimento tempo

time = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','A3:A2906');

% superficie orizzontale

Qsol_Orizz_Palermo = Simulink.SimulationData.Dataset;

data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','B3:B2906');

Qsol_Orizz_Palermo{1} = timeseries(data,time);

Qsol_Orizz_Palermo{1}.Name = 'Qsol_Orizz_Palermo';

save Qsol_Orizz_Palermo.mat Qsol_Orizz_Palermo;

% superficie verticale a nord

Qsol_Vert_N_Palermo = Simulink.SimulationData.Dataset;

data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','C3:C2906');

Qsol_Vert_N_Palermo{1} = timeseries(data,time);

Qsol_Vert_N_Palermo{1}.Name = 'Qsol_Vert_N_Palermo';

save Qsol_Vert_N_Palermo.mat Qsol_Vert_N_Palermo;

% superficie verticale a est

```

Qsol_Vert_E_Palermo = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','D3:D2906');
Qsol_Vert_E_Palermo{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_E_Palermo{1}.Name = 'Qsol_Vert_E_Palermo';
save Qsol_Vert_E_Palermo.mat Qsol_Vert_E_Palermo;
% superficie verticale a sud
Qsol_Vert_S_Palermo = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','E3:E2906');
Qsol_Vert_S_Palermo{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_S_Palermo{1}.Name = 'Qsol_Vert_S_Palermo';
save Qsol_Vert_S_Palermo.mat Qsol_Vert_S_Palermo;
% superficie verticale a ovest
Qsol_Vert_O_Palermo = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','F3:F2906');
Qsol_Vert_O_Palermo{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_O_Palermo{1}.Name = 'Qsol_Vert_O_Palermo';

%DATI INPUT - NAPOLI %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Temperatura esterna
Text_Napoli = Simulink.SimulationData.Dataset;
time = xlsread('dati_input.xlsx','Text','A3:A3290');
data = xlsread('dati_input.xlsx','Text','C3:C3290');
Text_Napoli{1} = timeseries(data,time);
Text_Napoli{1}.Name = 'Text_Napoli';
save Text_Napoli.mat Text_Napoli;

% Irraggiamento solare
% riferimento tempo
time = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','A3:A3290');
% superficie orizzontale
Qsol_Orizz_Napoli = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','G3:G3290');
Qsol_Orizz_Napoli{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Orizz_Napoli{1}.Name = 'Qsol_Orizz_Napoli';
save Qsol_Orizz_Napoli.mat Qsol_Orizz_Napoli;
% superficie verticale a nord
Qsol_Vert_N_Napoli = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','H3:H3290');
Qsol_Vert_N_Napoli{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_N_Napoli{1}.Name = 'Qsol_Vert_N_Napoli';
save Qsol_Vert_N_Napoli.mat Qsol_Vert_N_Napoli;
% superficie verticale a est

```

```

Qsol_Vert_E_Napoli = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','I3:I3290');
Qsol_Vert_E_Napoli{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_E_Napoli{1}.Name = 'Qsol_Vert_E_Napoli';
save Qsol_Vert_E_Napoli.mat Qsol_Vert_E_Napoli;
% superficie verticale a sud
Qsol_Vert_S_Napoli = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','J3:J3290');
Qsol_Vert_S_Napoli{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_S_Napoli{1}.Name = 'Qsol_Vert_S_Napoli';
save Qsol_Vert_S_Napoli.mat Qsol_Vert_S_Napoli;
% superficie verticale a ovest
Qsol_Vert_O_Napoli = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','K3:K3290');
Qsol_Vert_O_Napoli{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_O_Napoli{1}.Name = 'Qsol_Vert_O_Napoli';
save Qsol_Vert_O_Napoli.mat Qsol_Vert_O_Napoli;

%DATI INPUT - ROMA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Temperatura esterna
Text_Roma = Simulink.SimulationData.Dataset;
time = xlsread('dati_input.xlsx','Text','A3:A3986');
data = xlsread('dati_input.xlsx','Text','D3:D3986');
Text_Roma{1} = timeseries(data,time);
Text_Roma{1}.Name = 'Text_Roma';
save Text_Roma.mat Text_Roma;

% Irraggiamento solare
% riferimento tempo
time = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','A3:A3986');
% superficie orizzontale
Qsol_Orizz_Roma = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','L3:L3986');
Qsol_Orizz_Roma{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Orizz_Roma{1}.Name = 'Qsol_Orizz_Roma';
save Qsol_Orizz_Roma.mat Qsol_Orizz_Roma;
% superficie verticale a nord
Qsol_Vert_N_Roma = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','M3:M3986');
Qsol_Vert_N_Roma{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_N_Roma{1}.Name = 'Qsol_Vert_N_Roma';

```

```

save Qsol_Vert_N_Roma.mat Qsol_Vert_N_Roma;
% superficie verticale a est
Qsol_Vert_E_Roma = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','N3:N3986');
Qsol_Vert_E_Roma{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_E_Roma{1}.Name = 'Qsol_Vert_E_Roma';
save Qsol_Vert_E_Roma.mat Qsol_Vert_E_Roma;
% superficie verticale a sud
Qsol_Vert_S_Roma = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','O3:O3986');
Qsol_Vert_S_Roma{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_S_Roma{1}.Name = 'Qsol_Vert_S_Roma';
save Qsol_Vert_S_Roma.mat Qsol_Vert_S_Roma;
% superficie verticale a ovest
Qsol_Vert_O_Roma = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','P3:P3986');
Qsol_Vert_O_Roma{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_O_Roma{1}.Name = 'Qsol_Vert_O_Roma';
save Qsol_Vert_O_Roma.mat Qsol_Vert_O_Roma;

%DATI INPUT - MILANO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Temperatura esterna
Text_Milano = Simulink.SimulationData.Dataset;
time = xlsread('dati_input.xlsx','Text','A3:A4394');
data = xlsread('dati_input.xlsx','Text','E3:E4394');
Text_Milano{1} = timeseries(data,time);
Text_Milano{1}.Name = 'Text_Milano';
save Text_Milano.mat Text_Milano;

% Irraggiamento solare
% riferimento tempo
time = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','A3:A4394');
% superficie orizzontale
Qsol_Orizz_Milano = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','Q3:Q4394');
Qsol_Orizz_Milano{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Orizz_Milano{1}.Name = 'Qsol_Orizz_Milano';
save Qsol_Orizz_Milano.mat Qsol_Orizz_Milano;
% superficie verticale a nord
Qsol_Vert_N_Milano = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','R3:R4394');
Qsol_Vert_N_Milano{1} = timeseries(data,time);

```

```
Qsol_Vert_N_Milano{1}.Name = 'Qsol_Vert_N_Milano';
save Qsol_Vert_N_Milano.mat Qsol_Vert_N_Milano;
% superficie verticale a est
Qsol_Vert_E_Milano = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','S3:S4394');
Qsol_Vert_E_Milano{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_E_Milano{1}.Name = 'Qsol_Vert_E_Milano';
save Qsol_Vert_E_Milano.mat Qsol_Vert_E_Milano;
% superficie verticale a sud
Qsol_Vert_S_Milano = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','T3:T4394');
Qsol_Vert_S_Milano{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_S_Milano{1}.Name = 'Qsol_Vert_S_Milano';
save Qsol_Vert_S_Milano.mat Qsol_Vert_S_Milano;
% superficie verticale a ovest
Qsol_Vert_O_Milano = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qsol','U3:U4394');
Qsol_Vert_O_Milano{1} = timeseries(data,time);
Qsol_Vert_O_Milano{1}.Name = 'Qsol_Vert_O_Milano';
save Qsol_Vert_O_Milano.mat Qsol_Vert_O_Milano;
```

A.2 – Script importazione profili di occupazione da Excel a Matlab

Script realizzato in linguaggio Matlab per l'importazione degli apporti energetici gratuiti interni in funzione dei profili di occupazione. L'importazione porta i dati da Spreadsheet all'ambiente Matlab; una volta importati i dati vengono definite delle "struct" che consentono la comunicazione dall'ambiente Matlab all'interfaccia Simulink. Ogni struttura è definita come una "time-series" di dati, ovvero ad ogni specifico istante di tempo è associato un determinato valore.

```
% DATI INPUT - APPORTI PER PROFILI DI OCCUPAZIONE %%%%%%%%%%
% riferimento tempo
time = xlsread('dati_input.xlsx','Qprsn','A3:A4394');
% 1P
Q_1p = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qprsn','B3:B4394');
Q_1p{1} = timeseries(data,time);
Q_1p{1}.Name = 'Q_1p';
save Q_1p.mat Q_1p;

% 2P
Q_2p = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qprsn','C3:C4394');
Q_2p{1} = timeseries(data,time);
Q_2p{1}.Name = 'Q_2p';
```

```

save Q_2p.mat Q_2p;

% 3P
Q_3p = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qprsn','D3:D4394');
Q_3p{1} = timeseries(data,time);
Q_3p{1}.Name = 'Q_3p';
save Q_3p.mat Q_3p;

% 4P
Q_4p = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qprsn','E3:E4394');
Q_4p{1} = timeseries(data,time);
Q_4p{1}.Name = 'Q_4p';
save Q_4p.mat Q_4p;

```

A.3 – Script importazione profili di utilizzo utenze da Excel a Matlab

Script realizzato in linguaggio Matlab per l'importazione degli apporti energetici gratuiti interni per utilizzo delle utenze domestiche, illuminazione artificiale interna. L'importazione porta i dati da Spreadsheet all'ambiente Matlab; una volta importati i dati vengono definite delle “*struct*” che consentono la comunicazione dall'ambiente Matlab all'interfaccia Simulink. Ogni struttura è definita come una “*time-series*” di dati, ovvero ad ogni specifico istante di tempo è associato un determinato valore.

```

% DATI INPUT - APPORTI PER UTILIZZO UTENZE (illuminazione) %%%%%%%%%%
% riferimento tempo
time = xlsread('dati_input.xlsx','Qutnz','A3:A4394');
% utenze con 1P
Q_utnz1p = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qutnz','B3:B4394');
Q_utnz1p{1} = timeseries(data,time);
Q_utnz1p{1}.Name = 'Q_utnz1p';
save Q_utnz1p.mat Q_utnz1p;

% utenze con 2P
Q_utnz2p = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qutnz','C3:C4394');
Q_utnz2p{1} = timeseries(data,time);
Q_utnz2p{1}.Name = 'Q_utnz2p';
save Q_utnz2p.mat Q_utnz2p;

% utenze con 3P
Q_utnz3p = Simulink.SimulationData.Dataset;
data = xlsread('dati_input.xlsx','Qutnz','D3:D4394');
Q_utnz3p{1} = timeseries(data,time);

```

```
Q_utnz3p{1}.Name = 'Q_utnz3p';  
save Q_utnz3p.mat Q_utnz3p;  
  
% utenze con 4P  
Q_utnz4p = Simulink.SimulationData.Dataset;  
data = xlsread('dati_input.xlsx', 'Qutnz', 'E3:E4394');  
Q_utnz4p{1} = timeseries(data,time);  
Q_utnz4p{1}.Name = 'Q_utnz4p';  
save Q_utnz4p.mat Q_utnz4p;
```

Allegato B

Script realizzato in linguaggio Matlab per l'esportazione dei dati ottenuti all'interno dell'ambiente di lavoro Simulink. L'esportazione sfrutta un blocco "Scope" che sotto una determinata configurazione genera una struttura definita "time-series" di dati, ovvero ad ogni specifico istante di tempo è associato un determinato valore. Successivamente la struttura creata viene associata ad un foglio di calcolo excel attraverso la funzione "writetable".

Questo script viene eseguito al termine di ogni simulazione di ogni modello permettendo di memorizzare i dati all'interno dello spreadsheet.

```
%Esportazione dei dati dall'interfaccia simulink a spreadsheet
%Questa funzione consente di estrapolare attraverso il blocco scope il
profilo di temperatura interna ricavato tramite la modellazione.
%Successivamente questo script crea un foglio di calcolo con i dati di
tempo e temperatura

%creazione della tabella che associa tempo e valore registrato
T_interna = table(out.T_int_C01.time, out.T_int_C01.signals.values,
out.T_int_C02.signals.values, out.T_int_C03.signals.values,
out.T_int_C04.signals.values, out.T_int_C05.signals.values,
out.T_int_C06.signals.values, out.T_int_C07.signals.values,
out.T_int_C08.signals.values);

%assegnazione del nome alle colonne della tabella da esportare
T_interna.Properties.VariableNames = {'Tempo [s]' 'T_int C01 [C]' 'T_int
C02 [C]' 'T_int C03 [C]' 'T_int C04 [C]' 'T_int C05 [C]' 'T_int C06 [C]'
'T_int C07 [C]' 'T_int C08 [C]'}

%creazione del spreadsheet
writetable(T_interna, 'outT_interna.xlsx')
```

Allegato C

C.1 – Valore dei Termini R e C per UAM

IL PRODOTTO TRA I PARAMETRI DELL'EDIFICIO CON CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLE STRATIGRAFIE, CAPACITA' TERMICA INTERNA Cint E RESISTENZA TERMICA PER VENTILAZIONE Rve RAPPRESENTA IL VALORE COMPLESSIVO DA ATTRIBUIRE AL SINGOLO COMPONENTE SU SIMULINK.				UAM - unità abitativa monofamiliare												
NOTA: il valore di C espresso in Joule su mq°K va diviso per 3600 per riportarlo in regime orario				Riepilogo delle caratteristiche della tipologia abitativa di riferimento												
				dati generali				distribuzione superfici								
				sup interna netta	h interpiano	volume netto	solaio copertura	murature ext	solaio contro terra	solaio interp	porte	fin orizz	fin est	fin sud	fin ovest	fin nord
				156,30	3,00	468,90	124,50	239,80	107,80	107,80	2,40	0,00	5,86	7,82	5,86	0,00
PARAMETRI AGGIUNTIVI DALLA EQ BILANCIO ENERGETICO																
Capacità termica interna Cint e Ventilazione Rve																
Codice di riferimento		n. strato	descrizione	Hve [J/m ³ K]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [Wh/K]	Hve [Wh/K]	Rve [K/W]							
Cint	---	---	capacità termica arredi ed aria interna	---	10000,00	---	434,17									
Hve	---	---	coefficiente scambio termico per ventilazione	363,3672	---			47,33	0,02							
ELENCO DELLE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE																
Solai contro terra																
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]				R [K/W]	C [Wh/K]							
Sc_terra,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---				0,000928	---							
	1	pavimentazione interna in gres	0,0102	18105,00				0,000095	542,14							
	2	malta di cemento	0,0214	40200,00				0,000199	1203,77							
	3	calcestruzzo ordinario	0,0862	200000,00				0,000800	5988,89							
	4	ghiaione, ciotoli di fiume	0,3333	680000,00				0,003092	20362,22							
	0	liminare esterno	0,0400	---				0,000371	---							
Sc_terra,02	0	liminare interno ascendente	0,1000	---				0,000928	---							
	1	pavimentazione interna in gres	0,0102	18105,00				0,000095	542,14							
	2	malta di cemento	0,0143	26800,00				0,000133	802,51							
	3	massetto in calcestruzzo alleggerito	0,1034	54000,00				0,000960	1617,00							
	4	malta di cemento	0,3300	26800,00				0,003061	802,51	7989,18						
	5	calcestruzzo armato	0,0000	96000,00				0,000000	2874,67							
	6	soletta con blocchi laterizio e travetti	0,0000	144000,00				0,000000	4312,00							
	7	ghiaione, ciotoli di fiume	0,3333	680000,00				0,003092	20362,22							
	0	liminare esterno	0,0400	---				0,000371	---							
Solai interpiano, modellati come tramezzature 3R1C																
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]				R [K/W]	C [Wh/K]							
Sint,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---				0,000928	---							
	1	stratigrafia complessiva	0,5356	377705,00				0,004968	11310,17							
Sint,02	0	liminare interno ascendente	0,1000	---				0,000928	---							
	1	stratigrafia complessiva	0,4203	123225,00				0,003899	3689,90							
Solai di copertura																
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]				R [K/W]	C [Wh/K]							
Scop,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---				0,000803	---							
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00				0,000229	968,33							
	2	soletta con blocchi laterizio e travetti		288000,00				0,002651	9960,00	14206,83						
	3	calcestruzzo armato	0,3300	96000,00				0,000000	3320,00							
	4	malta di cemento		26800,00				0,000000	926,83							
	5	Tegole/coppi in laterizi	0,0214	22680,00				0,000172	784,35							
	0	liminare esterno	0,0400	---				0,000321	---							
Scop,02	0	liminare interno ascendente	0,1000	---				0,000803	---							
	1	travicelli secondari		---				---	---							
	2	assito in legno	0,2000	26400,00				0,001606	913,00							
	3	pannello isolante in polistirolo	1,1111	1830,00				0,008925	63,29							
	4	Tegole/coppi in laterizi	0,0214	22680,00				0,000172	784,35							
	0	liminare esterno	0,0400	---				0,000321	---							

Pareti involucro						
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [Wh/K]
Penv,pietra	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000542	---
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000119	1865,11
	2	blocchi in pietra	0,2500	1500000,00	0,001043	99916,67
	3	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000093	2398,00
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000167	---
Penv,lat01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000542	---
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000119	1865,11
	2	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,002606	16652,78
	3	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000093	2398,00
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000167	---
Penv,lat02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000542	---
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000119	1865,11
	2	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,002606	16652,78
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	1,3333	1026,00	0,005560	68,34
	4	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,0345	18000,00	0,000144	1199,00
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000093	2398,00
Penv,lat03	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000542	---
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000119	1865,11
	2	mattoni forati (MCV02)	0,2000	64000,00	0,000834	4263,11
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	2,6667	2052,00	0,011120	136,69
	4	mattoni forati (MCV02)	0,2000	64000,00	0,000834	4263,11
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000093	2398,00
Penv,lat04	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000542	---
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000119	1865,11
	2	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,0345	18000,00	0,000144	1199,00
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	1,3333	1026,00	0,005560	68,34
	4	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,002606	16652,78
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000093	2398,00
Penv,legno	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000542	---
	1	cartongesso interno aquapanel	0,0357	12031,88	0,000149	801,46
	2	intercapedine con isolante xps	1,8750	2871,00	0,007819	191,24
	3	pannello in xlam	0,7500	62748,00	0,003128	4179,71
	4	intercapedine con isolante xps	3,1250	4785,00	0,013032	318,73
	5	cartongesso esterno aquapanel	0,0357	12031,88	0,000149	801,46
Tramezzature interne, modellati come solai interpiano 3R1C, 1mq di superficie netta = 1 mq tramezzature	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000167	---
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [Wh/K]
Tint,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000832	---
	1	stratigrafia complessiva	0,4765	267000,00	0,003048	11592,25
Tint,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000832	---
	1	stratigrafia complessiva	0,5029	106000,00	0,003217	4602,17
Tint,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000832	---
	1	stratigrafia complessiva	0,5314	26934,75	0,003400	1169,42
Finestre e Porte						
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]		
Fin,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	R [K/W]	R [K/W]
	1	doppio vetro e intercapedine d'aria	0,5000	---	0,054167	---
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,022184	0,016624
					0,022184	---
					0,208333	---
					0,085324	0,063939
					0,085324	---
					0,016667	---
					0,006826	0,005115
					0,006826	---

IL PRODOTTO TRA I PARAMETRI DELL'EDIFICIO CON CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLE STRATIGRAFIE, 'CAPACITA' TERMICA INTERNA C_{int} E RESISTENZA TERMICA PER VENTILAZIONE R_{ve} RAPPRESENTA IL VALORE COMPLESSIVO DA ATTRIBUIRE AL SINGOLO COMPONENTE SU SIMULINK.

NOTA: il valore di C espresso in Joule su mq°K va diviso per 3600 per riportarlo in regime orario

PARAMETRI AGGIUNTIVI DALLA EQ BILANCIO ENERGETICO

Capacità termica interna C_{int} e Ventilazione R_{ve}

Codice di riferimento	n. strato	descrizione	Hve [J/m ³ K]	C [J/m ² K]
C _{int}	---	capacità termica arredi ed aria Interna	---	10000,00
Hve	---	coefficiente scambio termico per ventilazione	363,3672	---

ELENCO DELLE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE

Solai contro terra

codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Sc_terra,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	pavimentazione interna in gres	0,0102	18105,00
	2	malta di cemento	0,0214	40200,00
	3	calcestruzzo ordinario	0,0862	200000,00
	4	ghiaione, ciottoli di fiume	0,3333	680000,00
	0	liminare esterno	0,0400	---
Sc_terra,02	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	pavimentazione interna in gres	0,0102	18105,00
	2	malta di cemento	0,0143	26800,00
	3	massetto in calcestruzzo alleggerito	0,1034	54000,00
	4	malta di cemento	0,3300	26800,00
	5	calcestruzzo armato	0,0000	96000,00
	6	soletta con blocchi laterizio e travetti	0,0000	144000,00
	7	ghiaione, ciottoli di fiume	0,3333	680000,00
	0	liminare esterno	0,0400	---

Solai interpiano, modellati come tramezzature 3R1C

codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Sint,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	stratigrafia complessiva	0,5356	377705,00
Sint,02	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	stratigrafia complessiva	0,4203	123225,00

Solai di copertura

codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Scop,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00
	2	soletta con blocchi laterizio e travetti	---	288000,00
	3	calcestruzzo armato	0,3300	96000,00
	4	malta di cemento	---	26800,00
	5	Tegole/coppi in laterizi	0,0214	22680,00
	0	liminare esterno	0,0400	---
Scop,02	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	travicelli secondari	---	---
	2	assito in legno	0,2000	26400,00
	3	pannello isolante in polistirolo	1,1111	1830,00
	4	Tegole/coppi in laterizi	0,0214	22680,00
	0	liminare esterno	0,0400	---
	0	liminare esterno	0,0400	---

UAS1L - unità abitativa a schiera con affiancamento su un lato

Riepilogo delle caratteristiche della tipologia abitativa di riferimento

dati generali						distribuzione superfici						
sup interna netta	h interpiano	volume netto	solaio copertura	murature ext	solaio contro terra	solaio interp	porte	fin orizz	fin est	fin sud	fin ovest	fin nord
125,20	3,00	375,60	79,50	131,76	68,89	68,89	2,40	0,00	4,69	9,39	0,00	1,56

Allegato C.2 – Valore dei Termini R e C per UAS1L

Pareti involucro							
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [W/K]	
Penv,pietra	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000987	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000217	1024,80	
	2	blocchi in pietra	0,2500	1500000,00	0,001897	54900,00	
	3	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000169	1317,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000304	---	
Penv,lat,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000987	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000217	1024,80	
	2	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,004743	9150,00	
	3	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000169	1317,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000304	---	
Penv,lat,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000987	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000217	1024,80	
	2	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,004743	9150,00	
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	1,3333	1026,00	0,010119	37,55	
	4	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,0345	18000,00	0,000262	658,80	
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000169	1317,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000304	---	
Penv,lat,03	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000987	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000217	1024,80	
	2	mattoni forati (MCV02)	0,2000	64000,00	0,001518	2342,40	
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	2,6667	2052,00	0,020239	75,10	
	4	mattoni forati (MCV02)	0,2000	64000,00	0,001518	2342,40	
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000169	1317,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000304	---	
Penv,lat,04	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000987	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000217	1024,80	
	2	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,0345	18000,00	0,000262	658,80	
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	1,3333	1026,00	0,010119	37,55	
	4	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,004743	9150,00	
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000169	1317,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000304	---	
Penv,legno	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,000987	---	
	1	cartongesso interno aquapanel	0,0357	12031,88	0,000271	440,37	
	2	intercapedine con isolante xps	1,8750	2871,00	0,014230	105,08	
	3	pannello in xlam	0,7500	62748,00	0,005692	2296,58	
	4	intercapedine con isolante xps	3,1250	4785,00	0,023717	175,13	
	5	cartongesso esterno aquapanel	0,0357	12031,88	0,000271	440,37	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000304	---	
Tramezzature interne, modellati come solai interpiano 3R1C, 1mq di superficie netta = 1 mq tramezzature							
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [W/K]	
Tint,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001038	---	
	1	stratigrafia complessiva	0,4765	267000,00	0,003806	9285,67	
Tint,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001038	---	
	1	stratigrafia complessiva	0,5029	106000,00	0,004016	3686,44	
Tint,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001038	---	
	1	stratigrafia complessiva	0,5314	26934,75	0,004245	936,73	
Finestre e Porte							
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]			
Fin,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	R [K/W]	R [K/W]	R [K/W]
	1	doppio vetro e intercapedine d'aria	0,5000	---	0,054167	---	0,013845
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,208333	---	0,053248
					0,016667	---	0,008529
					0,004260	---	0,025641

IL PRODOTTO TRA I PARAMETRI DELL'EDIFICIO CON CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLE STRATIGRAFIE, CAPACITA' TERMICA INTERNA C_{int} E RESISTENZA TERMICA PER VENTILAZIONE R_{ve} RAPPRESENTA IL VALORE COMPLESSIVO DA ATTRIBUIRE AL SINGOLO COMPONENTE SU SIMULINK.

NOTA: il valore di C espresso in Joule su mq°K va diviso per 3600 per riportarlo in regime orario

PARAMETRI AGGIUNTIVI DALLA EQ BILANCIO ENERGETICO

Capacità termica interna C_{int} e Ventilazione R_{ve}

codice di riferimento	n. strato	descrizione	H _{ve} [J/m ³ K]	C [J/m ² K]
C _{int}	---	capacità termica arredi ed aria interna	10000,00	---
H _{ve}	---	coefficiente scambio termico per ventilazione	363,3672	---

ELENCO DELLE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE

Solai contro terra

codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Sc_terra,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	pavimentazione interna in gres	0,0102	18105,00
	2	malta di cemento	0,0214	40200,00
	3	calcestruzzo ordinario	0,0862	200000,00
	4	ghiaione, ciotoli di fiume	0,3333	680000,00
Sc_terra,02	0	liminare esterno	0,0400	---
	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	pavimentazione interna in gres	0,0102	18105,00
	2	malta di cemento	0,0143	26800,00
	3	massetto in calcestruzzo alleggerito	0,1034	54000,00
	4	malta di cemento	0,3300	26800,00
	5	calcestruzzo armato	0,0000	96000,00
	6	soletta con blocchi laterizio e travetti	0,0000	144000,00
	7	ghiaione, ciotoli di fiume	0,3333	680000,00
	0	liminare esterno	0,0400	---

Solai interpiano, modellati come tramezzature 3R1C

codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Sint,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	stratigrafia complessiva	0,5356	377705,00
Sint,02	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	stratigrafia complessiva	0,4203	123225,00

Solai di copertura

codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]
Scop,01	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00
	2	soletta con blocchi laterizio e travetti	---	288000,00
	3	calcestruzzo armato	0,3300	96000,00
	4	malta di cemento	---	26800,00
	5	Tegole/coppi in laterizi	0,0214	22680,00
Scop,02	0	liminare esterno	0,0400	---
	0	liminare interno ascendente	0,1000	---
	1	travicelli secondari	---	---
	2	assito in legno	0,2000	26400,00
	3	pannello isolante in polistirolo	1,1111	1830,00
	4	Tegole/coppi in laterizi	0,0214	22680,00
	0	liminare esterno	0,0400	---

UAS2L - unità abitativa a schiera con affiancamento su due lati

Riepilogo delle caratteristiche della tipologia abitativa di riferimento

dati generali			distribuzione superfici							
sup.interna netta	h.interpiano	volume netto	solaio copertura	murature ext	solaio contro terra	solaio interp	porte	fin orizz	fin est	fin sud
89,00	3,00	267,00	59,43	61,36	59,43	59,43	2,40	0,00	0,00	6,67
										0,00
										4,45

Allegato C.3 – Valore dei Termini R e C per UAS2L

Pareti involucro							
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [W/K]	
Penv,pietra	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,002119	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000466	477,24	
	2	blocchi in pietra	0,2500	1500000,00	0,004074	25566,67	
	3	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000362	613,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000652	---	
Penv,lat,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,002119	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000466	477,24	
	2	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,010186	4261,11	
	3	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000362	613,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000652	---	
Penv,lat,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,002119	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000466	477,24	
	2	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,010186	4261,11	
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	1,3333	1026,00	0,021730	17,49	
	4	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,0345	18000,00	0,000562	306,80	
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000362	613,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000652	---	
Penv,lat,03	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,002119	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000466	477,24	
	2	mattoni forati (MCV02)	0,2000	64000,00	0,003259	1090,84	
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	2,6667	2052,00	0,043459	34,98	
	4	mattoni forati (MCV02)	0,2000	64000,00	0,003259	1090,84	
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000362	613,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000652	---	
Penv,lat,04	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,002119	---	
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00	0,000466	477,24	
	2	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,0345	18000,00	0,000562	306,80	
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	1,3333	1026,00	0,021730	17,49	
	4	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00	0,010186	4261,11	
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00	0,000362	613,60	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000652	---	
Penv,legno	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,002119	---	
	1	cartongesso interno aquapanel	0,0357	12031,88	0,000582	205,08	
	2	intercapedine con isolante xps	1,8750	2871,00	0,030557	48,93	
	3	pannello in xlam	0,7500	62748,00	0,012223	1069,50	
	4	intercapedine con isolante xps	3,1250	4785,00	0,050929	81,56	
	5	cartongesso esterno aquapanel	0,0357	12031,88	0,000582	205,08	
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,000652	---	
Tramezzature interne, modellati come solai interpiano 3R1C, 1mq di superficie netta = 1 mq tramezzature							
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [W/K]	
Tint,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001461	---	
	1	stratigrafia complessiva	0,4765	267000,00	0,005354	6600,83	
Tint,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001461	---	
	1	stratigrafia complessiva	0,5029	106000,00	0,005650	2620,56	
Tint,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001461	---	
	1	stratigrafia complessiva	0,5314	26934,75	0,005971	665,89	
Finestre e Porte							
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W]	R [K/W]	R [K/W]
Fin,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,054167	---	0,019490
	1	doppio vetro e intercapedine d'aria	0,5000	---	0,208333	---	0,074963
	0	liminare esterno	0,0400	---	0,016667	---	0,005997
							0,029213
							0,112360
							0,008989

Allegato C.4 – Valore dei Termini R e C per UAC

IL PRODOTTO TRA I PARAMETRI DELL'EDIFICIO CON CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLE STRATIGRAFIE, CAPACITA' TERMICA INTERNA C _{int} E RESISTENZA TERMICA PER VENTILAZIONE R _{ve} RAPPRESENTA IL VALORE COMPLESSIVO DA ATTRIBUIRE AL SINGOLO COMPONENTE SU SIMULINK.					UAC - unità abitativa all'interno di un condominio												
NOTA: il valore di C espresso in Joule su mq°K va diviso per 3600 per riportarlo in regime orario					Riepilogo delle caratteristiche della tipologia abitativa di riferimento												
					dati generali				distribuzione superfici								
					sup interna netta	h interpiano	volume netto	solaio interp sup	murature ext	solaio interp inf	solaio interp	porte	fin orizz	fin est	fin sud	fin ovest	fin nord
					73,10	2,70	197,37	73,10	43,29	73,10	73,10	2,40	0,00	0,00	0,38	7,75	0,00
PARAMETRI AGGIUNTIVI DALLA EQ BILANCIO ENERGETICO																	
Capacità termica interna C _{int} e Ventilazione R _{ve}																	
Codice di riferimento n. strato descrizione					Hve [J/m ³ K]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [Wh/K]	Hve [Wh/K]	R _{ve} [K/W]							
C _{int}	---	capacità termica arredi ed aria interna			---	10000,00	---	731000,00									
Hve	---	coefficiente scambio termico per ventilazione			363,3672	---			19,92	0,05							
ELENCO DELLE TIPOLOGIE COSTRUTTIVE																	
Solai contro terra																	
codice riferimento n. strato nome strato					R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W] C [Wh/K]										
Sc_terra,01	0	liminare interno ascendente			0,1000	---		NOTA: l'unità abitativa considerata per la tipologia UAC si trova ad un piano intermedio, pertanto non ha contatto diretto con il terreno	---								
	1	pavimentazione interna in gres			0,0102	18105,00			---								
	2	malta di cemento			0,0214	40200,00			---								
	3	calcestruzzo ordinario			0,0862	200000,00			---								
	4	ghiaione, ciotoli di fiume			0,3333	680000,00			---								
	0	liminare esterno			0,0400	---	---										
Sc_terra,02	0	liminare interno ascendente			0,1000	---			---								
	1	pavimentazione interna in gres			0,0102	18105,00			---								
	2	malta di cemento			0,0143	26800,00			---								
	3	massetto in calcestruzzo alleggerito			0,1034	54000,00			---								
	4	malta di cemento			0,3300	26800,00			---								
	5	calcestruzzo armato			0,0000	96000,00			---								
	6	soletta con blocchi laterizio e travetti			0,0000	144000,00			---								
	7	ghiaione, ciotoli di fiume			0,3333	680000,00			---								
	0	liminare esterno			0,0400	---	---										
Solai interpiano, modellati come tramezzature 3R1C																	
codice riferimento n. strato nome strato					R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W] C [W/K]										
Sint,01	0	liminare interno ascendente			0,1000	---		NOTA: l'unità abitativa considerata per la tipologia UAC si sviluppa su un solo piano per cui solai interpiano esclusi	---								
	1	stratigrafia complessiva			0,5356	377705,00			---								
	2	liminare interno ascendente			0,1000	---			---								
Sint,02	0	liminare interno ascendente			0,1000	---			---								
	1	stratigrafia complessiva			0,4203	123225,00			---								
	2	liminare interno ascendente			0,1000	---			---								
Solai di copertura																	
codice riferimento n. strato nome strato					R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W] C [W/K]										
Scop,01	0	liminare interno ascendente			0,1000	---		NOTA: l'unità abitativa considerata per la tipologia UAC si trova ad un piano intermedio, pertanto non ha contatto diretto con il solaio di copertura	---								
	1	intonaco interno			0,0286	28000,00			---								
	2	soletta con blocchi laterizio e travetti				288000,00			---								
	3	calcestruzzo armato			0,3300	96000,00			---								
	4	malta di cemento				26800,00			---								
	5	Tegole/coppi in laterizi			0,0214	22680,00			---								
	0	liminare esterno			0,0400	---	---										
Scop,02	0	liminare interno ascendente			0,1000	---			---								
	1	travicelli secondari				---			---								
	2	assito in legno			0,2000	26400,00			---								
	3	pannello isolante in polistirolo			1,1111	1830,00			---								
	4	Tegole/coppi in laterizi			0,0214	22680,00			---								
	0	liminare esterno			0,0400	---			---								

pareti involucro										
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]		R [K/W]	C [W/K]			
Penv,pietra	0	liminare interno ascendente	0,1300	---		0,003003	---			
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00		0,000660	336,66			
	2	blocchi in pietra	0,2500	1500000,00		0,005776	18035,42			
	3	intonaco esterno	0,0222	36000,00		0,000513	432,85			
	0	liminare esterno	0,0400	---		0,000924	---			
Penv,lat,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---		0,003003	---			
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00		0,000660	336,66			
	2	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00		0,014439	3005,90			
	3	intonaco esterno	0,0222	36000,00		0,000513	432,85			
	0	liminare esterno	0,0400	---		0,000924	---			
Penv,lat,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---		0,003003	---			
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00		0,000660	336,66			
	2	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00		0,014439	3005,90			
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	1,3333	1026,00		0,030804	12,34			
	4	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,0345	18000,00		0,000797	216,43			
	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00		0,000513	432,85			
	0	liminare esterno	0,0400	---		0,000924	---			
Penv,lat,03	0	liminare interno ascendente	0,1300	---		0,003003	---			
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00		0,000660	336,66			
	2	mattoni forati (MCV02)	0,2000	64000,00		0,004621	769,51			
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	2,6667	2052,00		0,061607	24,67			
	4	mattoni forati (MCV02)	0,2000	64000,00		0,004621	769,51			
Penv,lat,04	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00		0,000513	432,85			
	0	liminare esterno	0,0400	---		0,000924	---			
	0	liminare interno ascendente	0,1300	---		0,003003	---			
	1	intonaco interno	0,0286	28000,00		0,000660	336,66			
	2	rasatura in calcestruzzo alleggerito	0,0345	18000,00		0,000797	216,43			
	3	intercapedine con isolante (MCV02)	1,3333	1026,00		0,030804	12,34			
	4	blocchi in laterizio	0,6250	250000,00		0,014439	3005,90			
Penv,legno	5	intonaco esterno	0,0222	36000,00		0,000513	432,85			
	0	liminare esterno	0,0400	---		0,000924	---			
	0	liminare interno ascendente	0,1300	---		0,003003	---			
	1	cartongesso interno aquapanel	0,0357	12031,88		0,000825	144,67			
	2	intercapedine con isolante xps	1,8750	2871,00		0,043318	34,52			
	3	pannello in xlam	0,7500	62748,00		0,017327	754,46			
	4	intercapedine con isolante xps	3,1250	4785,00		0,072196	57,53			
	5	cartongesso esterno aquapanel	0,0357	12031,88		0,000825	144,67			
	0	liminare esterno	0,0400	---		0,000924	---			
	Tramezzature interne, modellati come solai interpiano 3R1C, 1mq di superficie netta = 1 mq tramezzature									
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W]	C [W/K]				
Tint,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001778	---				
	1	stratigrafia complessiva	0,4765	267000,00	0,006518	5421,58				
Tint,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001778	---				
	1	stratigrafia complessiva	0,5029	106000,00	0,006879	2152,39				
Tint,02	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	0,001778	---				
	1	stratigrafia complessiva	0,5314	26934,75	0,007270	546,93				
Finestre e Porte										
codice riferimento	n. strato	nome strato	R [m ² K/W]	C [J/m ² K]	R [K/W] R [K/W] R [K/W] R [K/W] R [K/W] R [K/W]					
Fin,01	0	liminare interno ascendente	0,1300	---	---	---	---	0,346667	0,016774	---
	1	doppio vetro e intercapedine d'aria	0,5000	---	---	---	---	1,333333	0,064516	---
	0	liminare esterno	0,0400	---	---	---	---	---	0,106667	0,005161

Allegato D

Si riportano di seguito le schede tecniche delle pompe di calore dei principali produttori.

D.1 – Schede Tecniche Pompe di Calore Mitsubishi



Unità esterne	
	
MXZ-2F33VF2(3) - MXZ-2F42VF2(3) - MXZ-2F53VF2(3)	MXZ-3F54VF2(3) - MXZ-3F68VF2(3)
Key Technologies	
	
	
	
	
	
	
* Optional	

Tabella delle combinazioni unità interne																																								
		Parete																		Cassetta 1 via			Pavimento		Cassetta 4 vie			Canalizzata						Soffitto pensile						
Capacità max collegabile	MODELLO	Kirigamine Style		Kirigamine Zen				Linea Plus													60x60		Compatta																	
		MSZ-LN		MSZ-EF				MSZ-AP					MSZ-BT					MLZ-KP		MFZ-KT		SLZ-M		SEZ-M						PEAD-M JA**		PCA-M KA								
		25	35	50*	18	22	25	35	42	50	15	20	25	35	42	50	60	71	20	25	35	25	35	50	25	35	50	25	35	50	25	35	50	60	71	50	60	50	60	
2	50	MXZ-2F33VF2(3)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	60	MXZ-2F42VF2(3)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	75	MXZ-2F53VF2(3)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	100	MXZ-3F54VF2(3)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	120	MXZ-3F68VF2(3)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* È possibile utilizzare la taglia 50 solo se MSZ-LN50VG2.

** Per informazioni relative alla possibilità di connessione di PEAD rivolgersi alla rete vendita.

Specifiche tecniche		DC INVERTER / POMPA DI CALORE					
MODELLO		SET	MXZ- 2F33VF2(3)	MXZ- 2F42VF2(3)	MXZ- 2F53VF2(3)	MXZ- 3F54VF2(3)	MXZ- 3F68VF2(3)
		N unità interna	2	2	2	da 2 a 3	da 2 a 3
		Unità esterna	MXZ-2F33VF2(3)	MXZ-2F42VF2(3)	MXZ-2F53VF2(3)	MXZ-3F54VF2(3)	MXZ-3F68VF2(3)
Alimentazione	Tensione/Freq./Fasi	V/Hz/n°	230 / 50 / 1	230 / 50 / 1	230 / 50 / 1	230 / 50 / 1	230 / 50 / 1
	Capacità nominale (min/max) T=+35°C	kW	3,3 (1,1-4,0)	4,2 (1,1-4,5)	5,3 (1,1-6,0)	5,4 (2,9-6,8)	6,8 (2,9-8,4)
Raffreddamento	Potenza assorbita nominale T=+35°C	kW	0,85	0,98	1,4	1,32	1,84
	EER		3,88	4,29	3,79	4,09	3,7
	Carico teorico (Pdesign)	kW	3,3	4,2	5,3	5,4	6,8
	SEER ¹		6,13	8,69	8,63	8,52	7,96
	Classe di efficienza energetica		A++	A+++	A+++	A+++	A++
	Consumo energetico annuo ¹	kWh/a	188	169	215	222	299
Riscaldamento Stagione media	Capacità nominale (min/max) T=+7°C	kW	4,0 (1,0-4,4)	4,5 (1,1-5,0)	6,4 (1,0-7,0)	7,0 (2,6-9,0)	8,6 (2,6-10,6)
	Potenza assorbita nominale T=+7°C	kW	0,91	0,88	1,56	1,4	1,91
	COP		4,4	5,11	4,1	5	4,5
	Carico teorico (Pdesign)	kW	2,7	3,2	3,2	5	6,8
	SCOP ¹		4,16	4,6	4,6	4,61	4,12
	Classe di efficienza energetica		A+	A++	A++	A++	A+
	Consumo energetico annuo ¹	kWh/a	908	974	973	1520	2312
	Dimensioni	A x L x P mm	550x800x285	550x800x285	550x800x285	710x840x330	710x840x330
Unità esterna	Peso	kg	33	37	37	58	58
	Pressione sonora min/max	dB(A)	49/50	44/50	46/51	46/50	48/53
	Potenza sonora	Nominale dB(A)	60	59	61	60	63
	Massima corrente assorbita	A	10	12,2	12,2	18	18
Linee frigorifere	Diametri	Liquido/gas mm	6,35x2/9,52x2	6,35x2/9,52x2	6,35x2/9,52x2	6,35x3/9,52x3	6,35x3/9,52x3
	Lunghezza max (totale/ogni ramo)	m	20/15	30/20	30/20	50/25	60/25
	Dislivello max (UE sopra/UE sotto)	m	10	15/10	15/10	15/10	15/10
Campo di funzionamento garantito	Raffreddamento	°C	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46
	Riscaldamento	°C	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24
Refrigerante	Tipo / Precarica	kg	R32/1	R32/1,2	R32/1,2	R32/2,4	R32/2,4
	GWP ¹ / Tons CO ₂ Eq.		675/0,675	675/0,81	675/0,81	675/1,620	675/1,620

¹ Note di riferimento vedi pag. 56.

SERIE MXZ / MXZ-F

Unità esterne	
	
MXZ-4F72VF2(3) - MXZ-4F80VF2(3) - MXZ-5F102VF	MXZ-6F122VF
Key Technologies	
	
	
	
	
* Optional	

Tabella delle combinazioni unità interne																																			
		Parete																		Cassetta 1 via	Pavimento	Cassetta 4 vie	Canalizzata						Soffitto pensile						
Capacità max collegabile	MODELLO	Kirigamine Style	Kirigamine Zen		Linea Plus														60x60						Compatta						PEAD-M JA**	PCA-M KA			
		MSZ-LN	MSZ-EF	MSZ-AP										MSZ-BT		MLZ-KP		MFZ-KT		SLZ-M		SEZ-M													
				25	35	50*	18	22	25	35	42	50	60	71	20	25	35	25	35	50	25	35	50	25	35	50	25	35	50	60			71	50	60
4	125	MXZ-4F72VF2(3)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	125	MXZ-4F80VF2(3)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	172	MXZ-5F102VF	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	180	MXZ-6F122VF	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

*È possibile utilizzare la taglia 50 solo se MSZ-LN50VG2

**Per informazioni relative alla possibilità di connessione di PEAD rivolgersi alla rete vendita.

* È possibile utilizzare la taglia 50 solo se MSZ-LNS0VG2

** Per informazioni relative alla possibilità di connessione di PEAD rivolgersi alla rete vendita.

Specifiche tecniche		DC INVERTER / POMPA DI CALORE				
MODELLO		SET	MXZ-4F72VF2(3)	MXZ-4F80VF2(3)	MXZ-5F102VF	MXZ-6F122VF
		N. unità interne	da 2 a 4	da 2 a 4	da 2 a 5	da 2 a 6
		Unità esterna	MXZ-4F72VF2(3)	MXZ-4F80VF2(3)	MXZ-5F102VF	MXZ-6F122VF
Alimentazione	Tensione/Freq./Fasi	V/Hz/n°	230 / 50 / 1	230 / 50 / 1	230 / 50 / 1	230 / 50 / 1
Raffreddamento	Capacità nominale (min/max) T=+35°C	kW	7,2 (3,7-8,8)	8,0 (3,7-9,0)	10,2 (3,9-11,0)	12,2 (3,5-13,5)
	Potenza assorbita nominale T=+35°C	kW	1,85	2,25	2,8	3,66
	EER		3,89	3,56	3,64	3,33
	Carico teorico (PdesignC)	kW	7,2	8	10,2	-
	SEER ¹		8,13	7,55	8,21	n.d
	Classe di efficienza energetica		A++	A++	A++	n.d
Consumo energetico annuo ¹		kWh/a	310	371	-	-
Riscaldamento Stagione media	Capacità nominale (min/max) T=+7°C	kW	8,6 (3,4-10,7)	8,8 (3,4-11,0)	10,5 (4,1-14,0)	14,0 (3,5 - 16,5)
	Potenza assorbita nominale T=+7°C	kW	1,87	2	2,28	3,31
	COP		4,6	4,4	4,6	4,23
	Carico teorico (Pdesignh) T=+10°C	kW	7	7	8,9	-
	SCOP ¹		4,07	4,07	4,65	n.d
	Classe di efficienza energetica		A+	A+	A++	n.d
Consumo energetico annuo ¹		kWh/a	2410	2410	-	-
Unità esterna	Dimensioni	A x L x P mm	710x840x330	710x840x330	796x950x330	1048x950x330
	Peso	kg	59	59	63	88
	Pressione sonora	min/max dB(A)	48/54	50/55	52/56	55/57
	Potenza sonora	Nominale dB(A)	63	65	65	69
Massima corrente assorbita		A	18	18	21,4	26,8
Linee frigorifere	Diametri	Liquido/gas mm	6,35x4/12,7x1+9,52x3	6,35x4/12,7x1+9,52x3	6,35x5/12,7x1+9,52x4	6,35x6/12,7x1+9,52x5
	Lunghezza max (totale/ogni ramo)	m	60/25	60/25	80/25	80/25
	Dilivello max (UE sopra/UE sotto)	m	15/(10)	15/(10)	15	15
Campo di funzionamento garantito	Raffreddamento	°C	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46	-10 ~ +46
	Riscaldamento	°C	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24	-15 ~ +24
Refrigerante	Tipo / Precarica	kg	R32/2,4	R32/2,4	R32/n.d	R32/n.d
	GWP ² / Tons CO ₂ Eq.		675/1.620	675/1.620	675/	675/

¹ Note di riferimento vedi pag. 56

D.2 – Schede Tecniche Pompe di Calore Hitachi

Multizone Premium Serie E

HITACHI

Sistemi Multisplit ad alta efficienza energetica e bassissimo assorbimento in modulazione fino a soli 200 W***.

Possibilità di collegare fino a 5 unità interne a un'unica motocondensante disponibile in 8 taglie di potenza.



Unità esterna		RAM-33NP2E	RAM-40NP2E	RAM-53NP2E	RAM-53NP3E	RAM-68NP3E	RAM-70NP4E	RAM-90NP5E	RAM-110NP5E
Numero minimo / massimo di unità interne collegabili		2	2	2	2/3	2/3	2/4	2/5	2/5
Capacità	Raffrescamento (min-nom-max) kW	1,50-3,30-3,80	1,50-4,00-4,20	1,50-5,30-6,60	1,50-5,30-6,60	2,40-6,80-8,00	2,40-7,00-8,80	1,52-8,50-9,50	n.d.
	Riscaldamento (min-nom-max) kW	1,50-4,00-4,60	1,50-5,20-5,50	1,50-6,80-7,20	1,50-6,80-7,20	2,40-8,50-9,50	2,60-8,50-9,50	1,50-10,00-11,50	n.d.
Assorbimento	Raffrescamento (min-nom-max) kW	0,20-0,73-1,05	0,20-0,95-1,15	0,20-1,26-1,66	0,20-1,29-1,68	0,46-1,83-2,96	0,46-1,89-3,20	0,50-2,50-3,85	n.d.
	Riscaldamento (min-nom-max) kW	0,20-0,90-1,50	0,20-1,18-1,50	0,20-1,61-2,01	0,20-1,62-2,01	0,43-2,12-2,60	0,48-2,02-3,12	0,50-2,56-3,85	n.d.
Alimentazione elettrica		1-230V 50Hz	1-230V 50Hz	1-230V 50Hz	1-230V 50Hz	1-230V 50Hz	1-230V 50Hz	1-230V 50Hz	1-230V 50Hz
EER		4,50	4,20	4,20	4,10	3,70	3,70	3,40	n.d.
COP		4,40	4,40	4,20	4,20	4,00	4,20	3,90	n.d.
SEER*		8,50	8,50	8,50	8,50	8,10	8,10	7,90	n.d.
SCOP*		4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,60	4,30	n.d.
Classe energetica (clima medio)	Raffrescamento	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	n.d.
	Riscaldamento	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A+++/A++	A++/A++	A++/A++	A++/A++	n.d.
Intervallo di funzionamento	Raffrescamento (BS) °C	-10 ÷ 46	-10 ÷ 46	-10 ÷ 46	-10 ÷ 46	-10 ÷ 46	-10 ÷ 46	-10 ÷ 46	-10 ÷ 46
	Riscaldamento (BS) °C	-15 ÷ 24	-15 ÷ 24	-15 ÷ 24	-15 ÷ 24	-15 ÷ 24	-15 ÷ 24	-15 ÷ 24	-15 ÷ 24
Pressione sonora	Raffrescamento dB(A)	48	49	50	50	50	50	53	n.d.
	Riscaldamento dB(A)	50	51	51	51	53	53	56	n.d.
Potenza sonora dB(A)		60	60	61	61	63	63	66	n.d.
Refrigerante		R32	R32	R32	R32	R32	R32	R32	R32
Dimensioni (A x L x P) mm		570x750x280	570x750x280	750x850x298	800x850x298	800x850x298	800x850x298	800x950x370	n.d.
Bonus**	Ecobonus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.d.
	Conto Termico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.d.

* I valori di SEER, SCOP e classi energetiche sono relativi ad una combinazione tipo al 100% del carico nominale. Per ulteriori informazioni sull'etichetta energetica visitare il sito www.hitachiaircon.it

** Consultare il sito www.hitachiaircon.it per verificare le combinazioni che beneficiano delle detrazioni fiscali o del piano di incentivazione conto termico

*** in funzione del modello

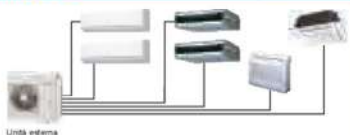
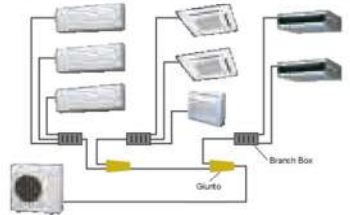


Per maggiori informazioni
visita www.hitachiaircon.it

Cooling & Heating

D.3 – Schede Tecniche Pompe di Calore General-Fujitsu

GAMMA MULTISPLIT

MODELLI MULTISPLIT	Modello Potenza (kW)	Potenza							
		14 4	18 5	24 5.4	30 6.8	36 8	45 10	45 12.5	45 14
MULTI 2 X 1	 Unità esterna	AOYG 14LAC2	AOYG 18LAC2						
MULTI 3 X 1	 Unità esterna		AOYG 18LAT3	AOYG 24LAT3					
MULTI 4 X 1	 Unità esterna				AOYG 30LAT4				
MULTI 5 X 1	 Unità esterna					AOYG 36LBLA5			
MULTI 6 X 1	 Unità esterna						AOYG 45LBLA6		
MULTI 8 X 1	 Unità esterna							AOYG 45LBT8	

Note: 1. Multi 2 x 1: 2 unità interne collegabili
AOYG14LAC2: la potenza totale delle unità interne collegate deve essere compresa tra 4,0 kW e 6,2 kW.
AOYG18LAC2: la potenza totale delle unità interne collegate deve essere compresa tra 4,0 kW e 7,0 kW.

2. Multi 3 x 1: da 2 a 3 unità interne collegabili
AOYG18LAT3: la potenza totale delle unità interne collegate deve essere compresa tra 4,0 kW e 8,5 kW.
AOYG24LAT3: la potenza totale delle unità interne collegate deve essere compresa tra 4,0 kW e 10,5 kW.

3. Multi 4 x 1: da 3 a 4 unità interne collegabili
AOYG30LAT4: la potenza totale delle unità interne collegate deve essere compresa tra 7,5 kW e 14,0 kW.

4. Multi 5 x 1: da 2 a 5 unità interne collegabili
AOYG36LBLA5: la potenza totale delle unità interne collegate deve essere compresa tra 7,5 kW e 15,5 kW.

5. Multi 6 x 1: da 2 a 6 unità interne collegabili
AOYG45LBLA6: la potenza totale delle unità interne collegate deve essere compresa tra 9,5 kW e 18,0 kW.

6. Multi 8 x 1: da 2 a 8 unità interne collegabili
AOYG45LBT8: la potenza totale delle unità interne collegate deve essere compresa tra 11,0 kW e 18,0 kW.



Unità esterne		Tipo	Multi 2 x 1		Multi 3 x 1		Multi 4 x 1	Multi 5 x 1	Multi 6 x 1	Multi 8 x 1
		Modello	AOYG18LAC2	AOYG18LAC2	AOYG18LAT3	AOYG24LAT3	AOYG30LAT4	AOYG36LBA5	AOYG45LBA6	AOYG45LBT8
MODELLI UNITÀ INTERNE COLLEGABILI										
		Potenza (kW)	Raffresc.	Riscald.	Raffresc.	Riscald.	Raffresc.	Riscald.	Raffresc.	Riscald.
			4.0	5.0	5.4	6.8	8.0	10.0	12.5	14.0
			4.4	5.6	6.8	8.0	9.6	12.0	13.5	16.0

Unità interne		BTU	kW Class							
	ASYG07/09/12/14LMCE	7000	2.0	●	●	●	●	●	●	●
		9000	2.5	●	●	●	●	●	●	●
		12000	3.5	●	●	●	●	●	●	●
	ASYG07/09/12/14LU	14000	4.0		●	●	●	●	●	●
		18000	5.0				●	●	●	●
		24000	7.0				●	●	●	●
	ASYG18/24LF	9000	2.5		●	●	●	●	●	●
		12000	3.5		●	●	●	●	●	●
		14000	4.0			●	●	●	●	●
	AGYG09/12/14LV	7000	2.0		●	●	●	●	●	●
		9000	2.5		●	●	●	●	●	●
		12000	3.5		●	●	●	●	●	●
	AUYG07/09/12/14/18LV	14000	4.0			●	●	●	●	●
		18000	5.0				●	●	●	●
		24000	7.0							
	ABYG14/18LV	7000	2.0		●	●	●	●	●	●
		9000	2.5		●	●	●	●	●	●
		12000	3.5		●	●	●	●	●	●
	ARYG07/09/12/14/18LL	14000	4.0			●	●	●	●	●
		18000	5.0				●	●	●	●
		24000	7.0							
	ARYG07/09/12/14/18LSLAP	7000	2.0		●	●	●	●	●	●
		9000	2.5		●	●	●	●	●	●
		12000	3.5		●	●	●	●	●	●
	ARYG07/09/12/14/18LSLAP	14000	4.0			●	●	●	●	●
		18000	5.0				●	●	●	●
		24000	7.0							

MULTISPLIT



Multi 2 x 1: AOYG14LAC2 · AOYG18LAC2

Multi 3 x 1: AOYG18LAT3 · AOYG24LAT3

Multi 4 x 1: AOYG30LAT4

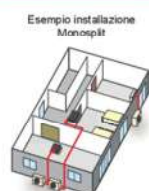


Multi 2 x 1

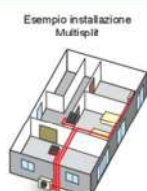
Multi 3 x 1

Multi 4 x 1

Caratteristiche



Esempio installazione Monosplit



Esempio installazione Multisplit



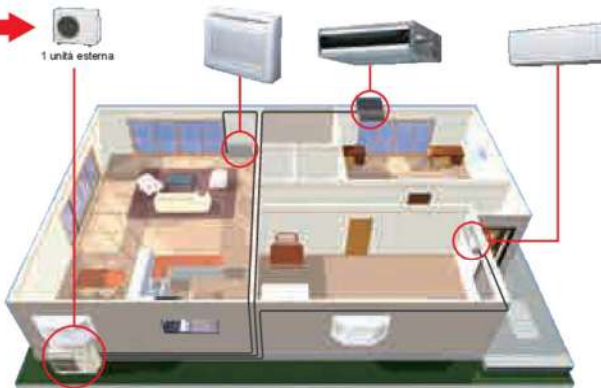
3 unità esterne



1 unità esterna

Installazione salvaspazio

Più unità interne possono essere collegate ad una singola unità esterna, con grande libertà di collocazione. A parità di macchine interne, l'unità esterna del Multisplit permette di risparmiare molto più spazio nell'installazione.



Ampia gamma di unità interne con vari modelli

Otto tipologie e 25 modelli per un range di potenza da 2 a 7 kW. Sono progettati per soddisfare molteplici esigenze: dalle stanze in abitazioni private ai grandi negozi, agli hotel.

Multi 2x1, 3x1, 4x1

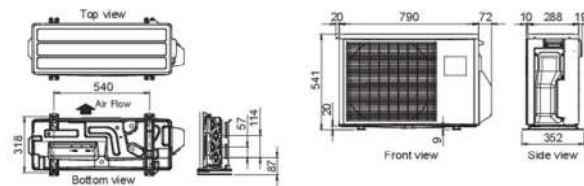
Specifiche

Modello		AOYG14LAC2	AOYG18LAC2	AOYG18LAT3	AOYG24LAT3	AOYG30LAT4
Codice		3NGF8277	3NGF8278	3NGF8279	3NGF8280	3NGF8281
Alimentazione	V/Ø/Hz	230/1/50	230/1/50	230/1/50	230/1/50	230/1/50
Capacità nominale (min-max)	Raffrescamento	4.0 (1.4-4.4)	5.0 (1.7-5.6)	5.4 (1.8-6.8)	6.8 (1.8-8.5)	8.0 (3.5-10.1)
	Riscaldamento	4.4 (1.3-5.4)	5.6 (1.8-6.1)	6.6 (2.0-8.0)	8.0 (2.0-8.8)	9.6 (3.7-12.0)
EER	Raffrescamento	3.67	3.21	4.00	3.51	3.60
COP	Riscaldamento	4.27	3.97	4.20	4.00	4.00
Pressione sonora (High)	Raffrescamento	47	50	46	48	50
	Riscaldamento	49	51	47	49	51
Potenza sonora (High)	Raffrescamento	61	63	65	68	68
	Riscaldamento	63	64	67	70	70
Dimensioni (A x L x P)	mm	540x790x290	540x790x290	700x900x330	700x900x330	830x900x330
Peso	kg	37	38	55	55	68
Tubazioni	Attacchi tubazioni	Liquido	Ø6.35x2	Ø6.35x2	Ø6.35x3	Ø6.35x4 (*Ø6.35x3, Ø8.52)
		Gas	Ø9.52x2	Ø9.52x2, Ø12.7 (*Ø9.52x3)	Ø9.52x2, Ø12.7 (*Ø9.52x3)	Ø9.52x2, Ø12.7x2 (*Ø9.52x3, Ø12.7) Ø12.7, Ø15.88)
	Massima lunghezza	Totale / Singola	30/20	30/20	50/25	70/25
	Dislivello massimo	Tra unità esterna e interne	15	15	15	15
		Tra unità interne	10	10	10	10
Campo di funzionamento	Raffrescamento	10 a 46	10 a 46	-10 a 46	-10 a 46	0 a 46
	Riscaldamento	-15 a 24	-15 a 24	-15 a 24	-15 a 24	-10 a 24
Refrigerante	tipo/GWP	R410A/2088	R410A/2088	R410A/2088	R410A/2088	R410A/2088
Carica/TCO-Eq	kg/TCO-Eq	1.25/2.61	1.30/2.71	2.20/4.59	2.20/4.59	3.30/6.89

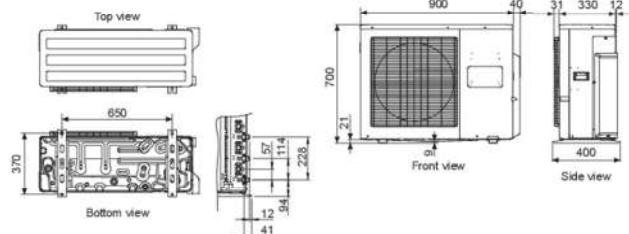
*Collegamento tramite riduzione (inclusa).

Dimensioni (mm)

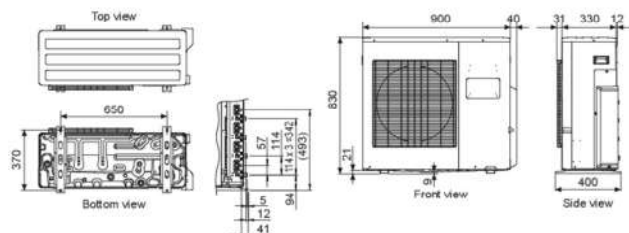
Modelli:
AOYG14LAC2
AOYG18LAC2



Modelli:
AOYG18LAT3
AOYG24LAT3



Modelli:
AOYG30LAT4



9 Riferimenti bibliografici

- 1 <https://www.deltatau.it/wp-content/uploads/2017/04/infografica-zone-climatiche-Italia.jpg>
- 2 Piano Nazionale Integrato per L'Energia e il Clima, Ministero dello Sviluppo Economico, 2019
- 3 Piano di Azione Italiano per l'Efficienza Energetica, Giugno 2017
- 4 <https://meteonorm.com/en/>
- 5 <https://ec.europa.eu/jrc/en>
- 6 <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx>
- 7 <http://dawinci.istat.it/jsp/MD/index.html>
- 8 F. Lucchese, S. Serafini, A. Tinelli, Statistiche catastali 2018, Direzione Catastale Servizi Estimativi e Osservatorio di Mercato Immobiliare e Direzione Centrale Servizi Catastali, Cartografici e di Pubblicità Immobiliare dell'Agenzia delle Entrate – Roma, Luglio 2019
- 9 V. Corrado, I. Ballarini, S. P. Corgnati, Politecnico di Torino, Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana, Luglio 2014
- 10 V. Corrado, I. Ballarini, I. Ottati, S. Paduos, ENEA 2014/107, Ricerca di Sistema elettrico, aggiornamento della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE
- 11 UNI/TR 11552, Ottobre 2014, Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici, parametri termo-fisici.
- 12 UNI EN ISO 6946:2008
- 13 O. Guerra Santin, L. Itard, H. Visscher, The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock, Energy and Buildings, 41 (2009), 1223–1232.
- 14 F. D'Annibale, M. Pieve, G. Boccardi, L. Simonetti, R. Trinchieri (ENEA), Report Ricerca Di Sistema Elettrico, Sistemi Integrati In Pompa Di Calore: Individuazione Dei Casi Studio E Simulazione Software Di Sistemi Polisorgente Con Pdc A Co2 (Dicembre 2019).
- 15 V. Maccanti, Prestazioni energetiche dinamiche di edifici climatizzati con pompe di calore: l'impatto dei profili di occupazione, Tesi di laurea magistrale, Relatori: G. Salvadori, F. Fantozzi, M. Pieve, Università di Pisa, 2018.
- 16 W. Grassi, Termoenergetica dell'edificio (2014), Vol. 1, Maggioli Editore.
- 17 UNITS 11300-1 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, 2014.
- 18 http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS_POPRES1
- 19 <https://www.istat.it/it/archivio/6789>
- 20 Wan, K.K.W., Li, D.H.W., Pan, W., Lam, J.C., 2012 - Impact of climate change on building energy use in different climate zones and mitigation and adaptation implications. Appl. Energy 97, 274-282.
- 21 BP, British Petroleum Statistical Review of World Energy, 2010.
- 22 EU, European Commission. EU Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050, 2013.
- 23 EIA, Energy Information Administration, 2014. International Energy Outlook. U.S. Department of Energy.
- 24 IEA, International Energy Agency. Modernising Building Energy Codes, 2013.

- 25 WBCSD, 2008. World Business Council for Sustainable Development. Energy Efficiency in Buildings: Business Realities and Opportunities, Geneva, Switzerland.
- 26 European Environment Agency. Energy consumption by end use per dwelling, 2019. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-on-energy-efficiency-in-europe-3/assessment>
- 27 IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Chapter 9: Building, 2014.
- 28 Woetzel, Mendonca, Devan, Negri S., Hu Y., Jordan L., Li X., Maasry A., Tsen G., Yu F., 2009. Preparing for China's urban Billion. McKinsey Global Institute report.
- 29 UN-Habitat State of the World's Cities 2010/2011, UN-HABITAT, 2010, 224.
- 30 Ghaffarian Hoseini A., Dahlan, Berardi, Makaremi, 2013, Sustainable energy performances of green buildings; a review of current theories, implementations and challenges. *Renew. Sustainable Energy Rev.* 25, 1 - 17.
- 31 Balaras, Gaglia, Georgopoulos, Mirasgedis, Sarafidis, 2007. European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emission and potential energy savings, *Build. Environ.* 42 (3), 1298 - 1314.
- 32 Harvey L. D. D., 2009, Reducing energy use in the building sector: measures, costs, and examples. *Energy Effic.* 2 (2), 139 - 163.
- 33 Ürge-Vorsatz, Eyre, Graham, Harvey, Hertwich, Jiang, Kornevall, Majumdar, McMahon, Mirasgedis, Murakami, Novikova, 2012. Energy End Use: buildings. In: *Global Energy Assessment Towards a Sustainable Future*. Cambridge University Press.
- 34 Enerdata, ODYSSEE Database European Energy Efficiency Indicators NRDLINK 4.1 (SP1), Grenoble, France, 2010.
- 35 Eurostat, 2018. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Figure_1-Share_of_energy_from_renewable_sources_2004-2016.png
- 36 X. Li, J. Wen, Review of building energy modeling for control and operation, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 37 (2014) 517 - 537, doi: 10.1016/j.rser.2014.
- 37 Zhao H., Magoulès F., 2012, A review on the prediction of buildings energy consumption. *Renew, Sustain. Energy Rev.* 16, 3586 - 3592.
- 38 X. Li, J. Wen, Review of building energy modeling for control and operation, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 37 (2014) 517 - 537, doi: 10.1016/j.rser.2014.
- 39 Office of energy efficiency and renewable energy, U.S. Department of Energy (Washington, D.C.) EnergyPlus Energy Simulation Software: About EnergyPlus. <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>
- 40 TRNSYS, Thermal energy specialist
- 41 ESP-r University of Strathclyde, <https://www.strath.ac.uk/research/energysystemsresearchunit/applications/esp-r/>
- 42 Crawley DB, et al. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Build Environ* 2008;43 (4): 661 -73
- 43 Wang S., Yan C., Xiao F., Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. *Energy Build* 2012;55 (0): 873 - 88.
- 44 M. Fels, Special Issues devoted to measuring energy savings: the scorekeeping approach, *Energy and Buildings* 9 (1 - 2) (1986) 5 - 18.

- 45 D. Ruch et al., Journal of D. Ruch, D.E. Claridge, A four-parameter change-point model for predicting energy consumption in commercial buildings, ASME Journal of Solar Energy Engineering 114 (2) (1992) 77 - 83. Solar Energy Engineering, 1992
- 46 S. Katipamula, T.A. Reddy, D.E. Claridge, Multivariate regression modeling, ASME Journal of Solar Energy Engineering 120 (1998) 177–184.
- 47 Y. Hong-Tzer, H. Chao-Ming, H. Ching-Lien, Identification of ARMAX model for short term load forecasting: an evolutionary programming approach, IEEE Transaction on Power Systems 11 (1) (1996) 403–408
- 48 M. Anstett, J.F. Kreider, Application of neural networking models to predict energy use, ASHRAE Transactions 99 (1) (1993) 505–517.
- 49 P.S. Curtiss, J.F. Kreider, M.J. Brandemuehl, Energy management in central HVAC plants using neural networks, ASHRAE Transactions 100 (1) (1994) 476–493.
- 50 S.L. Wong, Kevin K.W. Wan, Tony N.T. Lam, Artificial neural networks for energy analysis of office buildings with daylighting. Applied Energy 87 (2010) 551–557.
- 51 A. Weglarz, P. Narowski. Conference of International Building Performance Simulation Association, Proceeding of Building Simulation, Sydney, 2011
- 52 P.A. Strachan, L. Vandaele, Case studies of outdoor testing and analysis of building components. Build. Environ. 43 (2) (2008) 129 - 142.
- 53 A. Androutsopoulos, J.J. Bloem, H.A.L. van Dijk, P.H. Baker, Comparison of user performance when applying system identification for assessment of the energy performance of building components. Build. Environ. 43 (2) (2008) 189 - 196.
- 54 Fatima Amara, Kodjo Agbossou, Alben Cardenas, Yves Dubé, Souso Kelouwani, Comparison and simulation of building thermal models for effective energy management, Smart Grid and Renewables, 2015, 6, 95-112
- 55 Jean-Robert Millet, The simple hourly method of prEN 13790: a dynamic method for the future, Proceeding of Clima 2007 WellBeing Indoors
- 56 EN ISO 13790:2008 thermal performance of buildings – calculation of energy use for space heating and cooling, Geneva: ISO; 2008
- 57 Andrea Costantino, Ilaria Ballarini, Enrico Fabrizio, Comparison Between Simplified and Detailed Methods for the Calculation of Heating and Cooling Energy Needs of Livestock Housing: A Case Study. Building Simulation applications, Bolzano 2017
- 58 Piotr Michalak, The simple hourly method of EN ISO 13790 standard in Matlab/Simulink: A comparative study for the climatic condition of Poland. Energy 75, 568-578, 2014
- 59 M. Atmaca, E. Kalaycioglu, Evaluation of the heating and cooling energy demand of a case residential building by comparing the national calculation methodology of Turkey and Energyplus through thermal capacity calculations. Technical report, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, 2011
- 60 Arkadiusz Weglarz, Piotr Narowski, The optimal thermal design of residential buildings using energy simulation and fuzzy sets theory. Proceeding of Building simulation 2011
- 61 Piotr Narowski, 2010
- 62 Ilaria Ballarini, Andrea Costantino, Enrico Fabrizio, Vincenzo Corrado, Politecnico di Torino, International Building Performance Simulation Association 16th, 2019
- 63 Bianco Mauthe Degerfeld, Ilaria Ballarini, Giovanna De Luca, Mamak P. Tootkaboni, Vincenzo Corrado, Sensitivity analysis of the thermal energy need of a residential building assessed by means of the EN ISO 52016 simplified dynamic method, 75th ATI Congress 2020, E3S Web of

Conferences 197, 02012, 2020

- 64 Costanzo di Perna, Serena Summa, Luca Tarabelli, Il nuovo metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016-1, 2019, Costruire in Laterizio, 72-77, 2019.
- 65 EN ISO 52016-1 Energy Performance of Buildings – Method for expressing energy performance and for energy certification of buildings
- 66 Livio Mazzarella, Rossano Scoccia, Paola Colombo, Mario Motta, Improvement to EN ISO 52016-1:2017 hourly heat transfer through a wall assessment: the italian national annex, Energy & Buildings 210, 2020
- 67 <https://it.mathworks.com/products/parallel-computing.html>
- 68 <https://it.mathworks.com/products/sysid.html>
- 69 P. Baggio, Valutazione delle prestazioni delle pompe di calore aria-acqua, AICARR Journal #23, Novembre-Dicembre 2013
- 70 UNI EN 14825:2019