

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile**

Tesi di Laurea Magistrale

**Modelli dinamici e quasi stazionari per il
calcolo del fabbisogno di energia termica degli
edifici: dalla UNI EN ISO 13790 alla UNI EN
ISO 52016**



Relatori

Prof. Ing. Vincenzo Corrado

Arch. Giovanni Murano

Candidato

Franz Giorgio Maria Bianco Mauthe Degerfeld

A.A. 2017/2018

Sommario

1	Introduzione	1
2	Le norme per il calcolo del fabbisogno di energia termica	3
2.1	L'evoluzione nel tempo delle norme e delle leggi italiane ed europee inerenti al calcolo del fabbisogno di energia termica	3
2.2	Le principali differenze dei modelli di calcolo.....	5
2.3	I modelli di approssimazione dei componenti edilizi.....	11
2.3.1	Il modello 5R1C	11
2.3.2	Il modello RC della UNI EN ISO 52016-1.....	12
2.4	Gli apporti solari.....	14
2.4.1	Le norme UNI EN ISO 13790, UNI/TS 11300-1 e UNI EN ISO 52016-1 per il metodo mensile.....	14
2.4.2	La norma UNI EN ISO 52016-1 per il metodo orario	18
2.5	La zonizzazione.....	20
2.5.1	Le norme UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1	21
2.5.2	La norma UNI EN ISO 52016-1	21
2.6	Gli ambienti adiacenti non riscaldati	24
2.6.1	La trasmissione termica verso ambienti adiacenti non riscaldati.....	25
2.6	L'intermittenza.....	29
2.7	Umidificazione e deumidificazione	34
3	Caso studio.....	39
3.1	Presentazione del modello.....	39
3.2	Descrizione dei componenti.....	40
3.2.1	Componente M1P1	40
3.2.2	Componente M1S1	41
3.2.3	Componente M1C1	42

3.2.4 Componente M1P2	44
3.2.5 Componente M1F1	45
3.2.6 Componente M1PT1	46
3.2.7 Componente M1PT2	46
3.3 Riassunto dei dati dimensionali dei componenti dell'involucro edilizio.....	47
4 I dati di input per il calcolo del fabbisogno energetico.....	48
4.1 La definizione dei dati necessari	48
4.2 I dati climatici.....	48
4.3 Gli apporti interni.....	48
4.4 La portata di ventilazione.....	50
5 Calcolo mensile	53
5.1 Il calcolo mensile con le norme UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1	53
5.1.1 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	54
5.1.2 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente.....	59
5.1.3 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo.	63
5.1.4 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente	67
5.2 Il calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 52016-1.....	71
5.2.1 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	71
5.2.2 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente.....	75
6 Calcolo orario	79
6.1 Il calcolo orario con la norma UNI EN ISO 13790.....	79
6.1.1 I risultati del calcolo orario con la norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	79

6.1.2 I risultati del calcolo orario con la norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente	84
6.2 Il calcolo orario con la norma UNI EN ISO 52016-1.....	89
6.2.1 I risultati del calcolo orario con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	94
6.2.2 I risultati del calcolo orario con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente.....	99
6.3 Il calcolo orario con la EnergyPlus.....	104
6.3.1 I risultati del calcolo orario con EnergyPlus in regime continuo.....	108
6.3.2 I risultati del calcolo orario con EnergyPlus in regime intermittente	113
7 Confronto dei modelli di calcolo	118
7.1 Confronto dei modelli di calcolo in condizioni di climatizzazione continua	118
7.2 Confronto dei modelli di calcolo in condizioni di climatizzazione intermittente.....	123
7.3 Conclusioni	128
8 Bibliografia	130

Indice delle figure

Figura 2.3.1 - 1 - Rappresentazione del modello 5R1C (UNI EN ISO 13790).....	11
Figura 2.3.2 - 1 - Rappresentazione del modello R-C di un nodo. (ISO/TR 52016-2).....	13
Figura 2.3.2 - 2 - Rappresentazione del modello R-C per un componente edilizio. (ISO/TR 52016-2).....	13
Figura 2.6 - 1 - Rappresentazione grafica della ztue. (UNI EN ISO 52016-1)	24
Figura 2.6 - 2 - Rappresentazione grafica della ztui. (UNI EN ISO 52016-1)	25
Figura 3.1 - 1 - Vista assonometrica dell'edificio	39
Figura 3.1 - 2 - Definizione dell'orientamento dell'edificio.....	39
Figura 3.2.1 - 1 - Stratigrafia del componente M1P1.....	40
Figura 3.2.2 - 1 - Stratigrafia del componente M1S1	42
Figura 3.2.3 - 1 - Stratigrafia del componente M1C1.....	43
Figura 3.2.4 - 1 - Stratigrafia del componente M1P2.....	44
Figura 3.2.5 - 1 - Stratigrafia del componente M1F1.....	45
Figura 3.2.6 - 1 - Particolare del componente M1PT1	46
Figura 3.2.7 - 1 - Particolare del componente M1PT2	46
Figura 4.4 - 1 - Profilo di ventilazione medio	52
Figura 5.1.1 - 1 - Confronto tra i calcoli con la norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	54
Figura 5.1.1 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	57
Figura 5.1.2 - 1 - Confronto tra i calcoli con la norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente	59
Figura 5.1.2 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente	61
Figura 5.1.3 - 1 - Confronto tra i calcoli con la norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo	63
Figura 5.1.3 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo	65
Figura 5.1.4 - 1 - Confronto tra i calcoli con la norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente	67
Figura 5.1.4 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente	69

Figura 5.2.1 - 1 - Confronto tra i calcoli con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	71
Figura 5.2.1 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	73
Figura 5.2.2 - 1 - Confronto tra i calcoli con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente.....	75
Figura 5.2.2 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente.....	77
Figura 6.1.1 - 1 - Confronto tra i calcoli con la norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	79
Figura 6.1.1 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	81
Figura 6.1.2 - 1 - Confronto tra i calcoli orari con la norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente.....	84
Figura 6.1.2 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente	86
Figura 6.2 - 1 - Inserimento dei dati geografici dell'edificio. (Termolog).....	90
Figura 6.2 - 2 - Inserimento dei relativi alle zone dell'edificio. (Termolog)	91
Figura 6.2 - 3 - Inserimento dei profili di riscaldamento dell'edificio. (Termolog)	91
Figura 6.2 - 4 - Definizione delle strutture dell'edificio. (Termolog).....	92
Figura 6.2 - 5 - Modellazione tridimensionale dell'edificio. (Termolog).....	93
Figura 6.2 - 6 - Definizione della tipologia di calcolo orario. (Termolog).....	94
Figura 6.2.1 - 1 - Confronto tra i calcoli orari con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	94
Figura 6.2.1 - 1 - Influenza degli apporti nel calcolo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	96
Figura 6.2.2 - 1 - Confronto tra i calcoli orari con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente.....	99
Figura 6.2.2 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente	101
Figura 6.3 - 1 - Inserimento delle caratteristiche dei componenti dell'edificio. (DesignBuider)	105
Figura 6.3 - 2 - Definizione degli elementi di costruzione di default. (DesignBuider)	105
Figura 6.3 - 3 - Realizzazione del modello tridimensionale dell'edificio. (DesignBuider) ...	106
Figura 6.3 - 4 - Definizione dei carichi interni. (DesignBuider)	107
Figura 6.3 - 5 - Assegnazione dei profili di occupazione. (DesignBuider)	107

Figura 6.3 - 6 - Definizione di un profilo di occupazione. (DesignBuidier).....	108
Figura 6.3.1 - 1 - Confronto tra i calcoli orari con EnergyPlus in regime continuo	108
Figura 6.3.1 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario di EnergyPlus in regime continuo	110
Figura 6.3.2 - 1 - Confronto tra i calcoli orari con EnergyPlus in regime intermittente.....	113
Figura 6.3.2 - 2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario di EnergyPlus in regime intermittente.....	115
Figura 7.1 - 1 - Confronto tra i fabbisogni in regime continuo.....	118
Figura 7.1 - 2 - Confronto tra i fabbisogni in regime continuo per il mese di febbraio	120
Figura 7.1 - 3 - Confronto tra i fabbisogni in regime continuo per il mese di maggio	121
Figura 7.1 - 4 - Confronto tra i fabbisogni in regime continuo per il mese di luglio	122
Figura 7.2 - 1 - Confronto tra i fabbisogni in regime intermittente	123
Figura 7.2 - 2 - Confronto tra i fabbisogni in regime intermittente per il mese di febbraio	125
Figura 7.2 - 3 - Confronto tra i fabbisogni in regime intermittente per il mese di maggio.	126
Figura 7.2 - 4 - Confronto tra i fabbisogni in regime intermittente per il mese di luglio....	127

Indice delle tabelle

Tabella 2.2 - 1 - Principali differenze tra i metodi di calcolo.....	6
Tabella 2.5.2 - 1 - Classi di capacità termica areica.....	23
Tabella 2.6.1.1 - 1 - Valori del fattore di correzione br.....	27
Tabella 3.1 - 1 - Dati generali dell'edificio.....	39
Tabella 3.2.1 - 1 - Dati generali del componente M1P1.....	40
Tabella 3.2.1 - 2 - Dati stratigrafici del componente M1P1.....	41
Tabella 3.2.2 - 1 - Dati generali del componente M1S1.....	41
Tabella 3.2.2 - 2 - Dati stratigrafici del componente M1S1.....	42
Tabella 3.2.3 - 1 - Dati generali del componente M1C1.....	42
Tabella 3.2.3 - 2 - Dati stratigrafici del componente M1C1.....	43
Tabella 3.2.4 - 1 - Dati generali del componente M1P2.....	44
Tabella 3.2.4 - 2 - Dati stratigrafici del componente M1P2.....	44
Tabella 3.2.5 - 1 - Dati generali del componente M1F1.....	45
Tabella 3.2.5 - 2 - Dati stratigrafici del componente M1F1.....	45
Tabella 3.2.6 - 1 - Dati generali del componente M1PT1.....	46
Tabella 3.2.7 - 1 - Dati generali del componente M1PT2.....	46
Tabella 3.3 - 1 - Dati dimensionali dell'edificio.....	47
Tabella 4.3 - 1 - Apporti interni per la tipologia "Residential, Detached House".....	49
Tabella 4.3 - 2 - Profili di utilizzo per la tipologia "Residential, Detached House".....	49
Tabella 4.4 - 1 - Profili di occupazione e valori medi di ventilazione.....	51
Tabella 5.1.1 - 1 - Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo.....	56
Tabella 5.1.1 - 2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo.....	58
Tabella 5.1.2 - 1 - Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente.....	60
Tabella 5.1.2 - 2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente.....	62
Tabella 5.1.3 - 1 - Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo.....	64
Tabella 5.1.3 - 2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo.....	66

Tabella 5.1.4 - 1 - Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente.....	68
Tabella 5.1.4 - 2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente.....	70
Tabella 5.2.1 - 1 - Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo.....	72
Tabella 5.2.1 - 2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	74
Tabella 5.2.2 - 1 - Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente	76
Tabella 5.2.2 - 2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente.....	78
Tabella 6.1.1 - 1 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	80
Tabella 6.1.1 - 2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	82
Tabella 6.1.1 - 3 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo	83
Tabella 6.1.2 - 1 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente.....	85
Tabella 6.1.2 - 2 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente.....	87
Tabella 6.1.2 - 3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente	88
Tabella 6.2 - 1 - Definizione dei coefficienti per le frazioni convettive.....	93
Tabella 6.2.1 - 1 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	95
Tabella 6.2.1 - 2 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo	97
Tabella 6.2.1 - 3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo.....	98
Tabella 6.2.2 - 1 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente.....	100
Tabella 6.2.2 - 2 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente.....	102
Tabella 6.2.2 - 3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente	103
Tabella 6.3.1 - 1 - Fabbisogni del metodo orario di EnergyPlus in regime continuo	109

Tabella 6.3.1 - 2 - Fabbisogni del metodo orario di EnergyPlus in regime continuo	111
Tabella 6.3.1 - 3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario di EnergyPlus in regime continuo	112
Tabella 6.3.2 - 1 - Fabbisogni del metodo orario di EnergyPlus in regime intermittente...	114
Tabella 6.3.2 - 2 - Fabbisogni del metodo orario di EnergyPlus in regime intermittente...	116
Tabella 6.3.2 - 3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario di EnergyPlus in regime intermittente.....	117
Tabella 7.1 - 1 - Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile in regime continuo	119
Tabella 7.2 - 1 - Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile in regime intermittente	124

1 Introduzione

Questa tesi di laurea approfondisce il calcolo della prestazione energetica degli edifici determinato con più metodologie di calcolo, con il fine di poter apprezzare quanto esse influenzino i risultati e quali siano le rispettive caratteristiche di forza.

In un primo momento vengono analizzati, dopo alcuni cenni storici, i riferimenti normativi ad oggi vigenti, quali la UNI EN ISO 13790, la UNI/TS 11300-1 e la UNI EN ISO 52016-1, sottolineando le differenze contenute nelle varie metodologie al fine di poter comprendere come le procedure di calcolo si siano evolute negli anni e come esse possano pesare nei risultati della simulazione.

Avendo questa procedura lo scopo di mettere in risalto le principali differenze, si è preferito scegliere un caso studio privo di particolarità capaci di alterare in maniera sensibile o inaspettata i risultati finali, si è quindi optato per una villa monofamiliare ad uso residenziale con pianta rettangolare composta da due piani fuori terra ed uno interrato non climatizzato; quest'ultima presenta inoltre un tetto a falde, privo di sottotetto, con struttura in laterocemento e manto in laterizio; le partizioni orizzontali sono anch'esse in laterocemento, mentre le chiusure orizzontali sono in laterizio intonacato.

Descritte quindi le caratteristiche termofisiche e geometriche dell'edificio oggetto di analisi e definito il luogo in cui esso è inserito, ovverosia Torino, si procede con la presentazione degli altri parametri necessari per la completa delineazione del modello, quali i dati climatici, gli apporti interni e le portate di ventilazione, esponendo le fonti da cui sono stati tratti nonché le procedure con cui sono stati preliminarmente elaborati.

Volendo questo lavoro sottolineare le principali differenze delle metodologie si è inoltre applicata un'altra semplificazione: avendo scelto di considerare come scopo quello del confronto dei fabbisogni di energia termica utile si è pertanto elisa tutta la porzione di impianti di emissione, distribuzione e generazione, ottenendo così, senza perdere l'affidabilità e la completezza dei risultati, un notevole snellimento delle procedure di calcolo.

Al fine di confrontare al meglio tutte le possibilità proposte dalle norme, si è proceduto considerando le metodologie mensili ed orarie applicandole nei due casi di funzionamento dell'impianto continuo ed intermittente; per approfondire non solo le variazioni di fabbisogno di energia termica utile, ma anche le variazioni degli altri apporti, si è inoltre

reiterata la procedura di calcolo elidendo di volta in volta parte degli apporti in modo da poter ricavare per sottrazione con i dati iniziali il peso dei singoli parametri nel bilancio totale.

Come conclusione vengono confrontati i vari risultati ottenuti analizzando in maniera critica similitudini e differenze riscontrate in modo da poter definire i punti di forza delle varie metodologie.

2 Le norme per il calcolo del fabbisogno di energia termica

Dopo un'analisi dell'evoluzione delle norme e delle leggi negli ultimi anni vengono presentate le principali e più marcate differenze tra i metodi di calcolo proposti dalle norme attualmente disponibili, ponendo una particolare attenzione al paragone tra la UNI EN ISO 13790 e la UNI EN ISO 52016-1, minore rilievo verrà invece dato all'analisi UNI/TS 11300-1, essendo di fatto un rimaneggiamento nazionale della UNI EN ISO 13790.

2.1 L'evoluzione nel tempo delle norme e delle leggi italiane ed europee inerenti al calcolo del fabbisogno di energia termica

L'ambito della termofisica nell'edilizia, nonostante la sua grande importanza, viene trascurato fino agli inizi degli anni '70 quando, a causa dei notevoli disagi causati dalla crisi petrolifera, il mondo si rende conto della propria dipendenza dai combustibili fossili, iniziando quindi a prevedere misure atte a ridurre i consumi, in un primo momento, ma anche a favorire uno spostamento verso sistemi di produzione con fonti alternative.

A tal senso in Italia viene emanata la legge 373 del 30/04/1976 con il titolo "*Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*"; essa, come facilmente intuibile dal nome, mette le prime basi per la regolamentazione in ambito termotecnico dell'uso di materiali edilizi e della gestione degli impianti. Queste ultime però, nonostante si basassero su ottimi presupposti, non riescono a definire dei parametri di valutazione e di applicazione sufficienti, risultando di fatto inefficaci; analoga sorte hanno anche le successive leggi, fino a quando con la n.10 del 9 gennaio 1991 viene posta la prima pietra miliare di questo ambito. In essa vengono infatti definiti i criteri per una vera e propria valutazione del bilancio energetico di un edificio, ottenuto mediante il conteggio di apporti e dispersioni termiche. In questa prima fase viene tenuto in considerazione solo per il periodo invernale, a causa del poco utilizzo di sistemi di climatizzazione estiva, risultava infatti essere la frazione di anno con la maggior parte dei consumi. Vengono inoltre definiti nuovi parametri per la definizione delle caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi, nonché alcune disposizioni per la progettazione, messa in opera e certificazione di edifici ed impianti. Tale legge viene quindi attuata mediante il D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, che insieme alle norme UNI 10344:1993 "*Riscaldamento degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia*" e UNI 10348:1993 "*Riscaldamento degli edifici. Rendimenti dei sistemi di riscaldamento. Metodo di*

calcolo” fornisce il primo vero approccio pratico alla materia del calcolo e del controllo del fabbisogno energetico degli edifici, in questa fase limitatamente però ai soli casi residenziali.

In maniera analoga a quanto avviene in Italia, anche l’Europa si muove verso procedure finalizzate alla riduzione dei fabbisogni energetici; è possibile trovare a prova di ciò la norma EN 832:1998 *“Thermal Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Heating - Residential Buildings”* che definisce nuove e più efficaci metodologie di calcolo dei fabbisogni energetici riferiti al periodo invernale.

Negli anni seguenti la consapevolezza dei rischi delle emissioni di gas serra che fino a quel momento avevano avuto ben poche regolamentazioni a livello globale, porta alla redazione del protocollo di Kyoto, trattato dove viene sancita la volontà di ridurre in maniera operativa l’inquinamento; l’Unione europea, essendo una dei principali sostenitori di tale iniziativa, emana la direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del consiglio del 16 dicembre 2002, anche chiamata *“Energy Performance of Buildings Directive”* o EPBD . In essa viene preso atto della grande rilevanza dei consumi energetici attribuibili all’edilizia, addirittura un terzo del totale europeo, e di come ci fosse la necessità di una normazione chiara e condivisibile in tutta l’Europa in modo da avere un più efficiente controllo. Al fine di ciò viene pertanto definito un metodo di calcolo comune, di fatto concretizzato con la EN ISO 13790:2004, nonché dei requisiti minimi di rendimento energetico per gli edifici nuovi e quelli soggetti a ristrutturazioni a cui viene inoltre associato un sistema di certificazione per gli stessi; al fine di controllare anche la parte impiantistica esistente viene inoltre stabilito l’obbligo di ispezioni periodiche dei sistemi di generazione di energia termica, nonché degli impianti di climatizzazione.

Con il Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, l’Italia, pur mantenendo una grande variabilità legislativa regionale, si mette in pari attuando la direttiva europea del 2002.

Con il passare degli anni si assiste ad un successivo miglioramento dei procedimenti di calcolo, infatti con la EN ISO 13790:2008 si ha la presa di coscienza del notevole incremento, a causa del sempre più diffuso impiego di impianti di climatizzazione, dei consumi estivi con la conseguente definizione di un metodo finalizzato all’analisi energetica di tale periodo.

In Italia, quasi contemporaneamente al recepimento di tale norma, si ha la pubblicazione della UNI/TS 11300-1:2008 *“Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”* in

cui vengono definite le procedure di applicazione nazionale del metodo mensile della UNI EN ISO 13790:2008.

Per sostenere e portare avanti quanto iniziato nel 2002, otto anni dopo l'Unione europea emana la direttiva 2010/31/EU, coerentemente definita come *EPBD Recast*, dove vengono definiti nuove condizioni per il calcolo del fabbisogno di energia termica degli edifici, nonché nuovi obiettivi, e quindi nuove prescrizioni da rispettare, per la riduzione delle emissioni e dei consumi; particolare importanza viene data agli edifici nZEB, ovverosia *nearly Zero Energy Buildings*, aventi caratteristiche di performance estremamente elevate con consumi prossimi allo zero, destinati a diventare il modello per gli edifici di nuova costruzione.

In maniera temporalmente analoga a quanto precedentemente avvenuto, l'Italia attua tale direttiva con la Legge 3 agosto 2013, n. 90, "*Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE*". L'anno successivo, per migliorare le norme di calcolo vigenti, si ha un vero e proprio rinnovo con le UNI/TS 11300:2014, dove vengono rinnovati i metodi di definizione delle stagioni di climatizzazione, vengono inserite procedure di calcolo per le energie latenti, vengono riformulati i modi di delineazione degli apporti solari e viene ridotta la presenza di dati precalcolati.

Appena tre anni dopo anche in Europa si ha un sostanziale aggiornamento della precedente EN ISO 13790:2008 che, venendo sostituita dalla EN ISO 52016:2017, porta a notevoli cambiamenti, specialmente riscontrabili nella metodologia di calcolo orario. Benché ad oggi solo quest'ultima norma sia stata recepita in Italia, sono in programmazione i rinnovi del pacchetto UNI/TS 11300, in modo da poter fornire delle nuove procedure di applicazione specifiche per i casi nazionali.

Per quanto concerne la legislazione europea, l'ultimo disposto pubblicato è la Direttiva 2018/844/UE che, otto anni dopo l'*EPBD Recast*, aggiorna nuovamente il quadro comunitario in merito all'efficienza degli edifici esistenti e di nuova edificazione, ampliando inoltre con nuove indicazioni la regolamentazione nei controlli degli impianti.

2.2 Le principali differenze dei modelli di calcolo

Di seguito viene riportato un quadro comparativo con le principali differenze riscontrate nei modelli di calcolo, in modo da dare una iniziale panoramica su quanto verrà più dettagliatamente descritto nei successivi capitoli.

Tabella 2.2-1 – Principali differenze tra i metodi di calcolo

	Tipologia di calcolo				
	EN ISO 13790 Mensile	EN ISO 13790 Orario	UNI/TS 11300-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Orario
Modelli di approssimazione degli elementi	-	Impiego di un modello a cinque resistenze e una capacità (5R1C)	-	-	Impiego di un modello con numero di resistenze e capacità variabile a seconda delle caratteristiche dell'elemento considerato (RC)

	Tipologia di calcolo				
	EN ISO 13790 Mensile	EN ISO 13790 Orario	UNI/TS 11300-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Orario
Apporti solari	Gli apporti solari derivati da componenti opachi e trasparenti, nonché gli extraflussi vengono considerati nella medesima maniera e compongono il valore finale degli apporti solari	Gli apporti solari derivati da componenti opachi e trasparenti, nonché gli extraflussi vengono considerati nella medesima maniera e compongono il valore finale degli apporti solari	I soli apporti solari derivati da componenti trasparenti compongono gli apporti solari totali, mentre gli apporti su componenti opachi e l'extraflusso vengono calcolati congiuntamente alle dispersioni dell'involucro.	I soli apporti solari derivati da componenti trasparenti compongono gli apporti solari totali, mentre gli apporti su componenti opachi e l'extraflusso vengono calcolati congiuntamente alle dispersioni dell'involucro.	I soli apporti solari derivati da componenti trasparenti compongono gli apporti solari totali, mentre gli apporti su componenti opachi e l'extraflusso vengono calcolati congiuntamente alle dispersioni dell'involucro.
Zonizzazione	Vengono definiti 5 criteri per la definizione delle zone termiche	Vengono definiti 5 criteri per la definizione delle zone termiche	Ai cinque criteri precedentemente citati ne viene aggiunto un sesto inerente i carichi latenti.	Viene definita una procedura in dieci step finalizzata all'individuazione delle zone termiche.	Viene definita una procedura in dieci step finalizzata all'individuazione delle zone termiche.

	Tipologia di calcolo				
	EN ISO 13790 Mensile	EN ISO 13790 Orario	UNI/TS 11300-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Orario
Zone adiacenti non climatizzate	<ul style="list-style-type: none"> Viene definita una sola tipologia di zona adiacente non climatizzata Il coefficiente di correzione b_{tr} si applica sui coefficienti di scambio termico 	<ul style="list-style-type: none"> Viene definita una sola tipologia di zona adiacente non climatizzata Il coefficiente di correzione b_{tr} si applica sui coefficienti di scambio termico 	<ul style="list-style-type: none"> Viene definita una sola tipologia di zona adiacente non climatizzata Il coefficiente di correzione b_{tr} si applica sui coefficienti di scambio termico 	<ul style="list-style-type: none"> Vengono definite due tipologie di zona adiacenti non climatizzata Il coefficiente di correzione b_{tr} si applica sulle temperature 	<ul style="list-style-type: none"> Vengono definite due tipologie di zona adiacenti non climatizzata Il coefficiente di correzione b_{tr} si applica sulle temperature

	Tipologia di calcolo				
	EN ISO 13790 Mensile	EN ISO 13790 Orario	UNI/TS 11300-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Orario
Calcolo dell'intermittenza	Il coefficiente di correzione a_{red} si applica sui fabbisogni di energia termica	Data la metodologia di calcolo non viene calcolata l'intermittenza.	Il coefficiente di correzione a_{red} si applica sui fabbisogni di energia termica	Il coefficiente di correzione a_{red} si applica sulle temperature per il caso invernale; per il caso estivo si applica invece sui fabbisogni di energia termica, con particolare attenzione al finesettimana.	Data la metodologia di calcolo non viene calcolata l'intermittenza.

	Tipologia di calcolo				
	EN ISO 13790 Mensile	EN ISO 13790 Orario	UNI/TS 11300-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Mensile	EN ISO 52016-1 Orario
Umidificazione e deumidificazione	-	-	Riferita alla differenza di portate di vapore acqueo entranti ed uscenti nonché alla produzione interna.	Per l'umidificazione è riferita alla differenza di portate di vapore acqueo entranti ed uscenti nonché alla produzione interna; per la deumidificazione è correlata al fabbisogno di energia termica per raffrescamento.	Riferita alla differenza di portate di vapore acqueo entranti ed uscenti nonché alla produzione interna e ad altri parametri.

2.3 I modelli di approssimazione dei componenti edilizi

L'atto del costruire può essere visto come un momento di fusione di elementi che, una volta aggregati, pur divenendo visivamente unitari risultano essere ancora molto differenti; non c'è pertanto da stupirsi di come fenomeni quali gli scambi di energia risultino estremamente complessi da analizzare precisamente. Le norme, al fine di rendere la procedura di calcolo speditiva ma non eccessivamente approssimata, si riconducono per le procedure orarie a modelli semplificati.

2.3.1 Il modello 5R1C

Nella UNI EN ISO 13790 viene presentato come metodo di approssimazione dei componenti edili il modello 5R1C, ovvero a cinque resistenze ed una capacità, il cui scopo è quello di semplificare il comportamento reale dei flussi termici senza però inficiare la bontà dei risultati; una sua rappresentazione schematica viene di seguito presentata nella Figura 2.3.1.1.

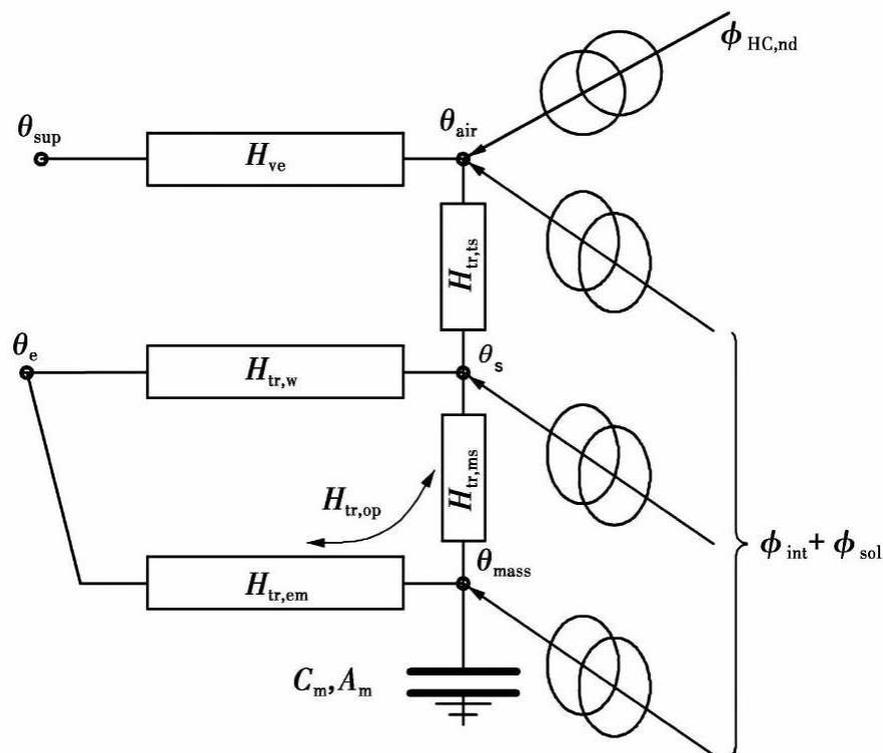


Figura 2.3.1-1 – Rappresentazione del modello 5R1C (UNI EN ISO 13790)

Graficamente si hanno cinque resistenze, rappresentate da altrettanti rettangoli, tra loro connesse da nodi indicanti le temperature nei quali confluiscono quattro potenze,

corrispondenti alle frecce intersecanti i cerchi; è infine presente una capacità, complessiva per l'intera massa dell'elemento analizzato.

Iniziando dall'alto, si può notare $\Phi_{H/C}$, ovvero sia il fabbisogno per il riscaldamento e/o raffrescamento, il quale rappresenta la potenza che occorre fornire o sottrarre dal nodo corrispondente all'aria interna θ_{air} al fine di mantenere una determinata temperatura *di set-point* o *set-back* nell'ambiente. Si ha quindi H_{ve} interposto tra la temperatura dell'aria immessa, θ_{sup} , e quella interna, che tiene conto delle dispersioni legate alla ventilazione.

Partendo dal nodo dell'aria interna si considera quindi una conduttanza di accoppiamento, $H_{tr,is}$, giungendo alla temperatura θ_s , una combinazione di θ_{air} e della temperatura media radiante $\theta_{r,mn}$.

Per quanto riguarda lo scambio termico per trasmissione attraverso i componenti dell'involucro, si ha inoltre una divisione tra componenti vetrati, $H_{tr,w}$, ed opachi; questi ultimi sono ulteriormente suddivisi in due parti, $H_{tr,ms}$ e $H_{tr,em}$, scindendo quindi anche la capacità termica C_m in modo da legare il tutto più coerentemente agli scambi reali al fine di giungere ad una più corretta delineazione della temperatura della massa θ_{mass} . I flussi termici riferiti agli apporti interni sensibili e quelli solari vengono infine suddivisi sui tre nodi riferiti alle caratteristiche dell'edificio, ovvero sia θ_{air} , θ_s e θ_{mass} .

2.3.2 Il modello RC della UNI EN ISO 52016-1

Nella UNI EN ISO 52016-1 i vari elementi che compongono l'edificio vengono divisi in un numero finito di nodi che, analogamente a quanto enunciato precedentemente, presentano resistenze e capacità associate.

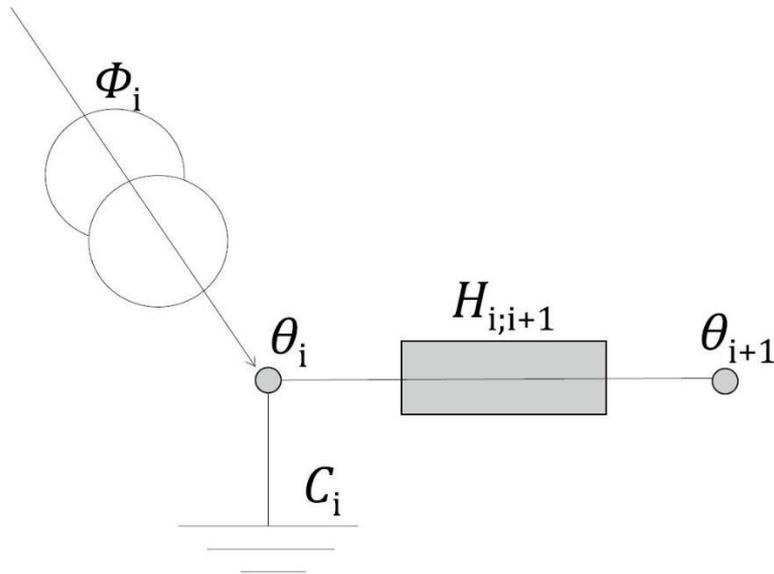


Figura 2.3.2-1 – Rappresentazione del modello R-C di un nodo. (ISO/TR 52016-2)

Nella rappresentazione della Figura 2.3.2.1 si ha la schematizzazione di un singolo nodo, avente una temperatura θ_i , nel quale convergono i flussi di potenza nel tempo t e a cui sono associati la capacità termica C_i e la conduttanza $H_{i,i}$ che lega il nodo a quello successivo.

Dipendentemente dall'elemento costruttivo analizzato esso sarà suddiviso in un insieme di *layer* paralleli separati da nodi, comprendenti quello superficiale interno, esterno, nonché l'eventuale insieme di nodi interni. A ciascuno di questi ultimi verrà applicata l'equazione di conservazione dell'energia inserendo le potenze convergenti, quali la radiazione solare assorbita, l'emissione di radiazione a onde lunghe verso la volta celeste, la parte radiativa degli apporti interni ed i carichi di riscaldamento e raffreddamento.

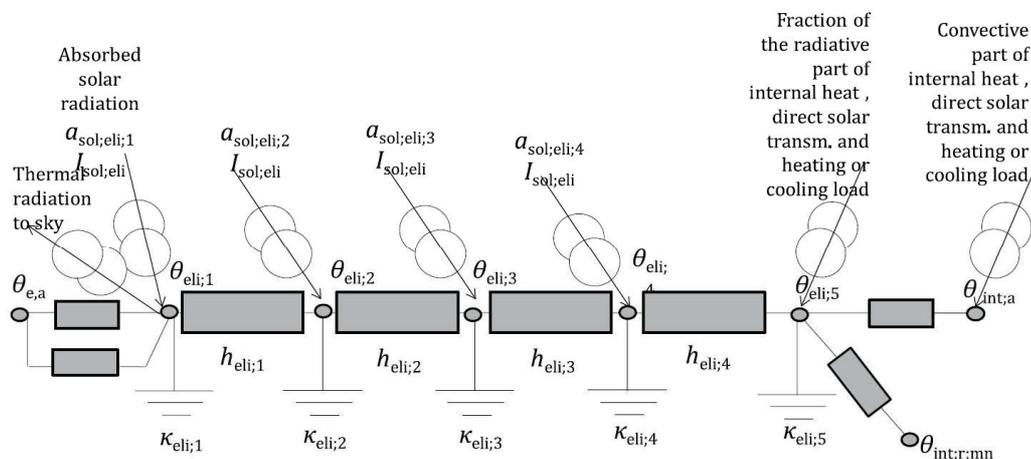


Figura 2.3.2-2 – Rappresentazione del modello R-C per un componente edilizio. (ISO/TR 52016-2)

2.4 Gli apporti solari

Dato che gli apporti solari risultano essere di notevole rilevanza nell'ambito del bilancio energetico, particolare attenzione va data alla metodologia impiegata per il loro calcolo in quanto anche variazioni apparentemente minime possono generare rilevanti modifiche ai valori finali.

2.4.1 Le norme UNI EN ISO 13790, UNI/TS 11300-1 e UNI EN ISO 52016-1 per il metodo mensile
Dopo una breve analisi delle metodologie implicate, è possibile notare come gran parte dei procedimenti, fatta eccezione per il metodo orario della UNI EN ISO 52016-1, risultino essere molto simili, in particolare il metodo mensile della UNI EN ISO 52016-1 risulta essere identico, seppur con qualche mera differenza nella scrittura delle formule, a quello presentato nella UNI EN ISO 13790. Si procede di seguito quindi presentando le differenze tra quest'ultima, privilegiando per semplicità la procedura mensile, e la UNI/TS 11300-1.

La somma degli apporti solari nella UNI EN ISO 13790 viene espressa in MJ e presenta la seguente definizione:

$$Q_{sol,13790} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left[\sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{sol,mn,u,l} \right] \cdot t$$

Dove:

$\Phi_{sol,mn,k}$ è il flusso termico, mediato sul tempo, riferito alla sorgente termica solare k, espresso in W;

$b_{tr,l}$ è il fattore di correzione per l'ambiente adiacente non climatizzato nel quale è presente la fonte di calore l, come definito dalla ISO 13789;

$\Phi_{sol,mn,u,l}$ è il flusso termico, mediato sul tempo, riferito alla sorgente termica solare l, nell'ambiente non climatizzato adiacente, espresso in W.

Già nella formulazione iniziale possiamo notare una prima differenza rispetto a quanto proposto nella UNI/TS 11300-1, in quanto, ai fini dei calcoli successivi, si ha una divisione tra quanto concerne i componenti opachi e quelli trasparenti, si ha infatti:

per le partizioni trasparenti

$$Q_{sol,w,11300} = \left(\sum_k \Phi_{sol,w,mn,k} \right) \cdot t + \sum_j Q_{sd,w,j}$$

per le partizioni opache

$$Q_{sol,op,11300} = (\sum_k \Phi_{sol,op,mn,k}) \cdot t + [\sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{sol,mn,u,l}] \cdot t + \sum_j (Q_{sd,op,j} + Q_{si,j})$$

Dove:

$\Phi_{sol,mn,k}$ è il flusso termico, mediato sul tempo, riferito alla sorgente termica solare k, espresso in W;

$b_{tr,l}$ è il fattore di correzione per l'ambiente adiacente non climatizzato nel quale è presente la fonte di calore l, come definito dalla ISO 13789;

$\Phi_{sol,mn,u,l}$ è il flusso termico, mediato sul tempo, riferito alla sorgente termica solare l, nell'ambiente non climatizzato adiacente, espresso in W;

$Q_{sd,w,j}$ sono gli apporti di energia termica diretti attraverso le partizioni trasparenti dovute alla radiazione solare passante attraverso la serra solare j, espressi in MJ;

$Q_{sd,op,j}$ sono gli apporti di energia termica diretti attraverso le partizioni opache dovute alla radiazione solare passante attraverso la serra solare j, espressi in MJ;

$Q_{si,j}$ sono gli apporti di energia termica indiretti dovute alla radiazione solare proveniente dalla serra solare j, espressi in MJ.

Questa prima differenza è di fatto solamente semantica in quanto, basandosi sulle definizioni, si può apprezzare come le formule presentate nella UNI/TS 11300-1 siano solamente la scissione di quella presentata nella UNI EN ISO 13790; vere e proprie variazioni possono essere invece apprezzate nell'analisi dei flussi termici solari. I due parametri, espressi in W, vengono definiti nelle norme nella seguente maniera:

Per la UNI EN ISO 13790

$$\Phi_{sol,k,13790} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{t,k} \cdot \Phi_{t,k}$$

Per la UNI/TS 11300-1

$$\Phi_{sol,w/op,k,11300} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k}$$

Dove:

$F_{sh,ob,k}$ è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura, riferito ad ostacoli esterni per l'area soleggiata efficace della superficie k;

$A_{sol,k}$ è l'area efficace di captazione della superficie k, noti orientamento e angolo di inclinazione su piano orizzontale della stessa, nella zona o ambiente considerato, espressa in m²; essa viene determinata in maniera differente a seconda che il componente sia trasparente od opaco, la sua definizione viene presentata in maniera identica nelle tre norme;

$I_{sol,k}$ è l'irradianza solare media nel periodo di tempo considerato, considerato sulla superficie k, riferito ad un orientamento ed un angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, espresso in W/m²;

$F_{t,k}$ è il fattore di forma tra l'elemento edilizio considerato e la volta celeste;

$\Phi_{t,k}$ è l'extra flusso termico dovuto all'irraggiamento termico ad alta lunghezza d'onda del componente edilizio k verso la volta celeste, viene espresso in W.

Come è facilmente notabile la sola differenza consiste nella maniera in cui vengono considerati gli scambi termici dovuti all'irraggiamento con la volta celeste: nella UNI EN ISO 13790 tali apporti vengono direttamente sottratti a quelli solari entranti, di fatto riducendoli, nella UNI/TS 11300-1 essi vengono invece impiegati al fine di aumentare le dispersioni termiche. Analizzando infatti le formulazioni degli scambi termici totali per trasmissione, in questo caso si è scelto per il riscaldamento, si possono apprezzare tali disuguaglianze:

$$Q_{H,tr,13790} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t$$

$$Q_{H,tr,11300} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t + \left(\sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,mn,k} \right) \cdot t + \left[\sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{sol,mn,u,l} \right] \cdot t - Q_{sol,op}$$

Dove:

$H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona analizzata, espresso in W/K;

$\theta_{int,set,H}$ è la temperatura di set-point interna per il riscaldamento nella zona considerata, espressa in °C;

θ_e è la temperatura esterna media del periodo temporale considerato, espressa in °C;

t è la durata del periodo considerato, espresso in Ms;

$F_{r,k}$ è il fattore di forma tra l'elemento edilizio considerato e la volta celeste;

$\Phi_{r,mn,k}$ è l'extra flusso termico dovuto all'irraggiamento termico ad alta lunghezza d'onda del componente edilizio k verso la volta celeste, viene espresso in W;

$b_{tr,l}$ è il fattore di correzione per l'ambiente adiacente non climatizzato nel quale è presente la fonte di calore l, come definito dalla UNI EN ISO 13789;

$\Phi_{sol,mn,u,l}$ è il flusso termico, mediato sul tempo, riferito alla sorgente termica solare I, nell'ambiente non climatizzato adiacente, espresso in W;

$Q_{sol,op}$ sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti opachi, espresso in MJ.

Si può immediatamente notare che nella formulazione della UNI/TS 11300-1 i termini siano notevolmente di più; oltre ai termini già annunciati, ossia quelli inerenti all'extra flusso con la volta celeste, appare anche $Q_{sol,op}$, indicante gli apporti termici solari trasmessi dai componenti opachi. In questa norma infatti essi non vengono, come invece nella UNI EN ISO 13790, conteggiati unitamente ai termini riferiti ai componenti opachi e quindi uniti per formare gli apporti termici solari, bensì sono impiegati al fine di ridurre il termine degli scambi termici totali per dispersione.

Appare quindi evidente che, ad un primo confronto, si avranno delle discrepanze tra i valori di apporti solari totali e scambi termici totali per trasmissione tra UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1, che cresceranno o diminuiranno a seconda del segno della differenza tra apporti solari da componenti opachi ed extra flusso verso la volta celeste.

2.4.2 La norma UNI EN ISO 52016-1 per il metodo orario

In maniera analoga a quanto proposto dalla UNI/TS 11300-1, anche il metodo orario della UNI EN ISO 52016-1 non considera in maniera complessiva gli apporti solari incidenti sui componenti opachi e trasparenti, preferendo una scissione dei termini. Si ha infatti:

$$\Phi_{sol;ztc;t} = \Phi_{sol;dir;ztc;t}$$

$$\Phi_{sol;dir;ztc;t} = \sum_{wi=1}^{win} [g_{gl;ei;t} \cdot (I_{sol;dif;wi;t} + I_{sol;dir;wi;t} \cdot F_{sh;obs;ei;t}) \cdot A_{wi} \cdot (1 - F_{fr;wi})]$$

Tale presentazione, anche se non immediatamente riconoscibile, risulta essere di fatto sovrapponibile a quella presentata nella UNI/TS 11300-1, data l'uguaglianza:

$$A_{sol,wi} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl;ei;t} \cdot A_{wi} \cdot (1 - F_{fr;wi})$$

Dove:

$\Phi_{sol;ztc;t}$ sono gli apporti solari riferiti alla zona climatizzata zct, riferiti all'intervallo di tempo t ed espressi in W;

$\Phi_{sol;dir;ztc;t}$ sono gli apporti solari diretti riferiti alla zona climatizzata zct, riferiti all'intervallo di tempo t ed espressi in W;

$g_{gl;ei;t}$ è la trasmittanza solare totale del componente vetrato wi

$I_{sol;dif;wi;t}$ è l'irradianza solare diffusa, inclusa la parte circumsolare, espressa in W/m²;

$I_{sol;dir;wi;t}$ è l'irradianza solare diretta, fatta eccezione per la parte circumsolare, riferita all'intervallo di tempo t ed espressa in W/m²;

$F_{sh;obs;ei;t}$ è il fattore di riduzione dovuto all'oscuramento per elementi esterni per la finestra wi, nell'intervallo di tempo t;

A_{wi} è l'area proiettata totale dell'elemento vetrato, espressa in m²;

$F_{fr;wi}$ è il fattore indicante la percentuale di area che il telaio rappresenta nell'intera finestra;

$A_{sol,wi}$ è l'area solare efficace dell'elemento vetrato, espresso in m².

Anche per quanto riguarda invece gli apporti solari incidenti sui componenti opachi, così come per l'extra flusso verso la volta celeste, la procedura risulta essere quantomeno analoga rispetto alla UNI/TS 11300-1: essi vengono infatti inglobati nel calcolo delle dispersioni termiche dell'involucro e pertanto tali valori vanno a gravare sull'equazione di bilancio dei nodi esterni dei componenti di chiusura.

$$\begin{aligned} & \left(\frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} + h_{ce,eli} + h_{re,eli} + h_{pli,eli} \right) \cdot \theta_{pli,eli;t} - h_{pli,eli} \cdot \theta_{pli+1,eli;t} \\ & = \frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli,eli;t-1} + (h_{ce,eli} + h_{re,eli}) \cdot \theta_{e;t} + a_{sol;pli,eli} \\ & \cdot (I_{sol;dif;eli;t} + I_{sol;dir;eli;t} \cdot F_{sh,obst;eli;t}) - \Phi_{sky,eli;t} \end{aligned}$$

Dove:

- $k_{pli;eli}$ è la capacità termica areica del nodo pli, espressa in $J/(m^2K)$;
- Δt è la lunghezza dell'intervallo di tempo t, in s;
- $h_{ce,eli}$ è il coefficiente di scambio termico liminare convettivo riferito all'esterno, espresso in $W/(m^2K)$;
- $h_{re,eli}$ è il coefficiente di scambio termico liminare radiativo riferito all'esterno, espresso in $W/(m^2K)$;
- $h_{pli,eli}$ è la conduttanza del nodo pli, espresso in $W/(m^2K)$;
- $\theta_{pli;eli;t}$ è la temperatura nel nodo pli, in °C;
- $\theta_{pli+1;eli;t}$ è la temperatura nel nodo pli+1, in °C;
- $\theta_{pli;eli;t-1}$ è la temperatura nel nodo pli nel precedente intervallo temporale ($t - \Delta t$), in °C;
- $\theta_{e;t}$ è la temperatura dell'ambiente esterno, in °C;
- $a_{sol;pli;eli}$ è il coefficiente di assorbanza della superficie esterna, espressa in $W/(m^2K)$;
- $I_{sol,dif;eli;t}$ è l'irradianza solare diffusa, inclusa la parte circumsolare, espressa in W/m^2 ;
- $I_{sol,dir;eli;t}$ è l'irradianza solare diretta, fatta eccezione per la parte circumsolare, espressa in W/m^2 ;
- $F_{sh;obst;eli;t}$ è il fattore di riduzione dovuto all'oscuramento per elementi esterni per la finestra w_i , nell'intervallo di tempo t;
- $\Phi_{sky;eli;t}$ è l'extra flusso termico dovuto all'irraggiamento termico ad alta lunghezza d'onda del componente edilizio k verso la volta celeste, viene espresso in W.

2.5 La zonizzazione

Definiti gli elementi edilizi che compongono le chiusure dell'edificio analizzato, e quindi definiti i limiti di ciò che verrà analizzato in fase di calcolo, è indispensabile definire le zone termiche presenti. Si procede di seguito con la definizione di queste ultime secondo le norme di interesse.

2.5.1 Le norme UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1

Le due norme, a causa della genesi della seconda, risultano essere molto simili in quanto ai criteri di suddivisione; per ambedue troviamo le seguenti prescrizioni:

- Le temperature di regolazione per il riscaldamento differiscono tra di loro di un massimo di 4 K;
- Gli ambienti, nel caso in cui siano raffrescati, non presentano differenze tra le temperature di regolazione superiori ai 4 K;
- Gli ambienti presentano il medesimo impianto di riscaldamento e raffrescamento, se presenti;
- Nel caso in cui ci sia uno o più impianti di ventilazione, questi ultimi devono coprire almeno l'80% delle aree di pavimento degli ambienti;
- Se sono presenti uno o più impianti di ventilazione, i tassi di ventilazione non differiscono di oltre un fattore 4 all'interno dell'80% di pavimento, oppure si suppone che le porte tra gli ambienti siano frequentemente aperte.

Nella norma UNI/TS 11300-1 viene inoltre aggiunta un'ulteriore condizione in quanto, contrariamente alla norma UNI EN ISO 13790 è possibile procedere con il calcolo del fabbisogno di energia termica per umidificazione e deumidificazione.

- Nel caso in cui ci sia controllo dell'umidità, le umidità relative interne di regolazione non possono avere differenze superiori al 20%

2.5.2 La norma UNI EN ISO 52016-1

In questa norma, contrariamente alle precedenti in cui si aveva un semplice elenco dei requisiti necessari, viene presentata una dettagliata procedura finalizzata alla corretta definizione delle zone che compongono l'edificio, o la parte di esso, soggetto alla procedura di calcolo del fabbisogno energetico.

In prima istanza bisogna definire la tipologia per ogni ambiente presente, tenendo conto che, in alcuni casi, è possibile accorpare spazi non climatizzati ad altri climatizzati ad essi adiacenti, supponendo per tutti le medesime condizioni di utilizzo. È inoltre di particolare rilevanza la scelta di quale parametro utilizzare per il dimensionamento degli spazi, come ad esempio il volume di riferimento o la superficie utile, decisione che, chiaramente, può avere una notevole influenza sui valori di output finali.

Vengono quindi definite due tipologie di spazi da considerate sempre come termicamente non climatizzati:

- spazi altamente ventilati, come garage e parcheggi interni; essi vengono definiti come tali nel caso in cui abbiano una capacità di ventilazione costante pari ad almeno 3 l/s per m² di superficie utile;
- spazi con larghe aperture verso l'esterno; esse vengono definita come una o più aperture permanenti verso l'esterno con un'area totale di almeno 0,003 m² per m² di superficie utile.

Le categorie di utilizzo, per loro definizione, presentano alcune caratteristiche inerenti alle condizioni di uso; completata quindi l'assegnazione si procede con un primo accorpamento degli spazi aventi la medesima tipologia.

Gli spazi non climatizzati adiacenti vengono solitamente considerati come zone a parte e modellate secondo una procedura semplificata; nel caso in cui però esse presentino degli effetti particolarmente rilevanti sui risultati di calcolo è preferibile considerarle come zone termiche climatizzate aventi potere di riscaldamento e raffrescamento nulli. Nel caso in cui poi siano presenti spazi non climatizzati completamente circondati da altri spazi interni all'involucro esterno, essi sono considerati avere la medesima categoria dello spazio adiacente o, in caso di più spazi, di quello avente la maggiore superficie in pianta.

Nel caso in cui siano presenti larghe aperture, precedentemente definite ed includenti le porte frequentemente aperte, che collegano due differenti spazi, questi ultimi vengono considerati come un'unica zona termica avente, in caso di differenti categorie di utilizzo, le condizioni più restrittive

Si ha quindi un'ulteriore suddivisione, in modo da generare zone termiche aventi il medesimo sistema di climatizzazione: solo riscaldamento, solo raffrescamento, raffrescamento e deumidificazione, una combinazione delle precedenti o anche altro.

Si procede quindi fondendo le zone termiche adiacenti fin ora individuate, nel caso in cui siano uguali le condizioni di climatizzazione, ovvero sia le temperature di set-point e set-back, nonché le umidità ed i periodi in cui esse sono richieste.

È possibile inoltre attuare questa unione anche nel caso in cui le differenze, pur presenti, risultino essere di minima entità, ossia quando:

- la differenza tra i set-point di riscaldamento e raffrescamento, se presenti, non deve eccedere 4 K;
- la differenza tra il contenuto minimo e massimo di umidità ammessa, se applicabile, non può superare 0,2 kg/kg di aria secca;

- il periodo di funzionamento giornaliero non può differire di più di tre ore.

Nel caso in cui tali condizioni vengano rispettate, si procede quindi unendo le due o più zone in modo da ottenerne una avente come condizioni termiche la media pesata di quelle iniziali.

Se poi la tipologia di calcolo è quella *system specific*, vi è la possibilità che le zone termiche sin ora evidenziate siano ulteriormente da dividere, a causa della presenza di regole nello specifico sistema di calcolo atte ad ottenere una certa omogeneità nel sistema della zona stessa.

Altri possibili criteri di divisione da tenere in considerazione nascono dalla necessità di ottenere uniformità per quanto riguarda il bilanciamento termico; se:

- tra due parti della zona i valori medi mensili di apporti interni comprensivi degli apporti gratuiti ricavati dalle dispersioni dal sistema di climatizzazione, sommati agli apporti solari differiscono di un fattore superiore a 3;
- il valore medio mensile è pari o superiore a 15 W per m² di superficie utile;

è opportuno dividere la zona in due coprenti ciascuna almeno il 25% della superficie utile iniziale.

Nell'eventualità in cui la zonizzazione sia anche finalizzata al calcolo riferito alla stagione di raffrescamento, ulteriori condizioni sono da tenere in considerazione; si avrà pertanto da scindere in due una zona se:

- tra due porzioni la capacità termica interna effettiva, secondo il metodo mensile, o la capacità termica media areica pesata dell'edificio, per il metodo orario, differiscano di più di due classi, in accordo con la seguente tabella;

Tabella 2.5.2-1 - Classi di capacità termica areica

Classe	Capacità termica areica $C_{m,int,eff}$ [J/K]
Molto leggera	$80\,000 \cdot A_{use}$
Leggera	$110\,000 \cdot A_{use}$
Media	$165\,000 \cdot A_{use}$
Pesante	$260\,000 \cdot A_{use}$
Molto pesante	$370\,000 \cdot A_{use}$

- tra due parti della zona i valori medi mensili di apporti interni comprensivi degli apporti gratuiti ricavati dalle dispersioni dal sistema di climatizzazione, sommati agli apporti solari differiscono di un fattore superiore a 3; tale condizione non viene applicata se il valore medio mensile è inferiore a 30 W per m² di superficie utile.

Attuate queste divisioni è possibile invece riunire e fondere altre zone, quali quelle non condizionate adiacenti tra loro.

Sono infine presenti alcune semplificazioni che portano al riassetto di zone precedentemente divise; è possibile ricongiungerle se presentano la medesima combinazione di sistemi di climatizzazione, ma differenti condizioni termiche di utilizzo o distinte proprietà riferite al bilancio termico, fatto salvo che l'area utile della minore non sia inferiore del 5% dell'intero agglomerato. È inoltre possibile riunire una zona ad un'altra anche se in presenza di differenti impianti nel caso in cui la sua superficie rappresenti al massimo l'1% dell'insieme finale.

2.6 Gli ambienti adiacenti non riscaldati

Possiamo, seguendo quanto indicato dalle norme, definire due distinte tipologie; la prima, presente sia nelle UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1 che nella UNI EN ISO 52016-1, viene definita come zona non climatizzata esterna, in inglese presenta l'acronimo *ztue*. Essa impiega come elementi limite per il calcolo delle dispersioni termiche la partizione interna; rappresenta la condizione di default.

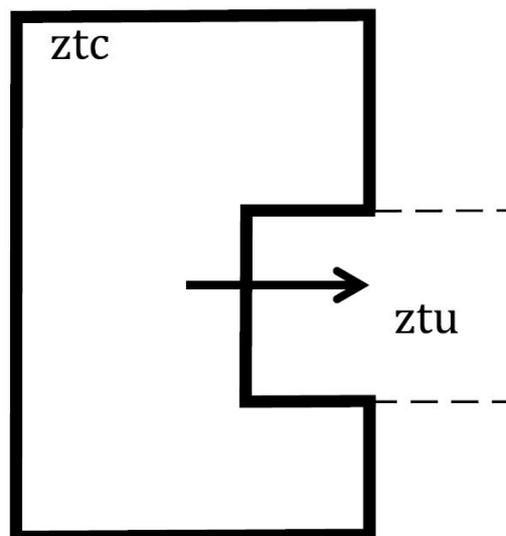


Figura 2.6-1 - Rappresentazione grafica della *ztue*. (UNI EN ISO 52016-1)

Solamente nella UNI EN ISO 52016-1, viene presentata una seconda possibilità, con la definizione della zona non climatizzata interna, indicata come avente per limite per gli scambi termici la partizione esterna. Diverse requisiti sono però necessari al fine di poter impiegare questa diversa tipologia:

- le proprietà termiche e geometriche della costruzione esterna possono essere determinate con maggiore precisione rispetto a quelle della partizione interna;
- gli apporti interni e solari dello spazio adiacente non sono predominanti.

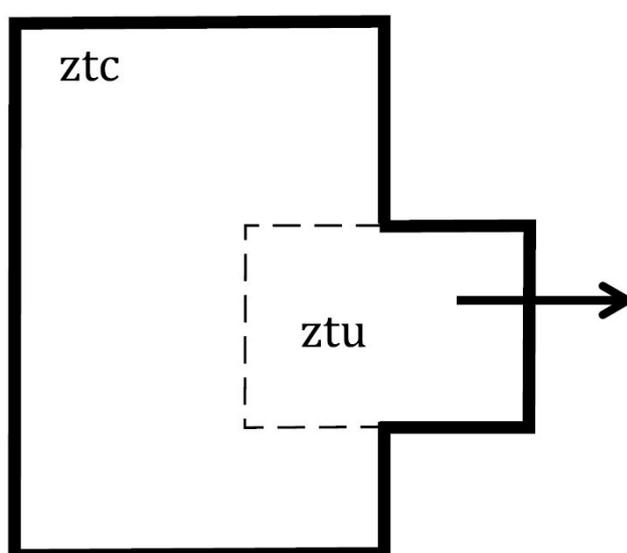


Figura 2.6-2 - Rappresentazione grafica della ztui. (UNI EN ISO 52016-1)

Questa seconda tipologia, benché presentata dalla norma, risulta però non applicabile in Italia, in quanto normativamente non recepita.

2.6.1 La trasmissione termica verso ambienti adiacenti non riscaldati

Benché la trasmissione verso gli ambienti adiacenti sia solitamente minore rispetto agli scambi diretti verso l'ambiente esterno, questi ultimi risultano comunque di notevole importanza e non vanno pertanto trascurati. Di seguito vengono riportati i diversi metodi nei quali essi vengono considerati nei procedimenti di calcolo delle norme analizzate.

2.6.1.1 Le norme UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1

Nella UNI EN ISO 13790, così come nella UNI/TS 11300-1, la differenza temperatura ridotta rispetto alla temperatura esterna, e la conseguente variazione di trasmissione termica viene tenuta in considerazione grazie all'inserimento di un fattore di correzione, b_{tr} , che, al posto di correggere le temperature, riduce il coefficiente di scambio termico.

Tale coefficiente viene definito come:

$$b_{tr} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

Dove:

H_{ue} è il coefficiente di scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno, determinato secondo la UNI EN ISO 13789 ed espresso in W/K;

H_{iu} è il coefficiente di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato, determinato secondo la UNI EN ISO 13789 ed espresso in W/K.

Nella UNI/TS 11300-1 si riporta inoltre una possibile variante per gli edifici esistenti; nei casi in cui, non sia possibile reperire dati di progetto attendibili, è infatti fornita una tabella ricavata dalla UNI EN 12831:2006 che, dipendentemente dalla tipologia dell'ambiente confinante non climatizzato, permette di ricavare un corrispondente valore del fattore di correzione dello scambio termico per trasmissione.

Tabella 2.6.1.1-1 – Valori del fattore di correzione b_r

Ambiente confinante	$b_{r,U}$
Ambiente	
- con una parete esterna	0,4
- senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,5
- con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse)	0,6
- con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni)	0,8
Piano interrato o seminterrato	
- senza finestre o serramenti esterni	0,5
- con finestre o serramenti esterni	0,8
Sottotetto	
- tasso di ventilazione del sottotetto elevato (per esempio tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura discontinua) senza rivestimento con feltro o assito	1,0
- altro tetto non isolato	0,9
- tetto isolato	0,7
Aree interne di circolazione (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria minore di $0,5 \text{ h}^{-1}$)	0,0
Aree interne di circolazione liberamente ventilate (rapporto tra l'area delle aperture e volume dell'ambiente maggiore di $0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$)	1,0
Solette sospese (solette sopra vespaio)	0,8
Pavimento o parete controterra	0,45

2.6.1.2 La norma UNI EN ISO 52016-1

In questa norma, per conteggiare le differenze dovute alla trasmissione di energia termica da ambienti adiacenti non climatizzati, viene ripresa la medesima metodologia presentata nella UNI EN ISO 13790 venendo infatti definito un fattore di correzione b_{ztu} . Esso risulta essere concettualmente identico a quello precedentemente esposto, avendo però dalla sua un maggiore riguardo per i casi in cui siano presenti più zone adiacenti tra loro; per tale parametro viene data la seguente formulazione:

$$b_{ztu;m} = \frac{H_{ztu;e;m}}{H_{ztu;tot;m}}$$

Si enunciano inoltre:

$$H_{ztu;tot;m} = \sum_j (H_{ztc,j;ztu;m}) + H_{ztu;e;m}$$

$$F_{ztc,i;ztu;m} = \frac{H_{ztc,i;ztu;m}}{\sum_j (H_{ztc,j;ztu;m})}$$

Dove:

$b_{ztu,m}$ è il fattore di correzione per la trasmissione di energia dall'ambiente non climatizzato adiacente ztu , per il mese m ;

$H_{ztu,e;m}$ è il coefficiente di trasmissione termica tra la zona termica non climatizzata ztu e l'ambiente esterno per il mese m ; calcolata secondo la norma ISO 13789 ed espressa in W/K;

$H_{ztu,tot;m}$ è la somma dei coefficienti di trasmissione termica tra l'ambiente non climatizzato ztu , l'ambiente adiacente climatizzato e l'ambiente esterno, calcolato per il mese m ed espresso in W/K;

$H_{ztc,j;ztu,m}$ è il coefficiente di trasmissione termica tra la zona termica climatizzata ztc,j e la zona non climatizzata ztu per il mese m , calcolata secondo la norma ISO 13789 ed espressa in W/K;

$F_{ztc,i;ztu,m}$ è il fattore di distribuzione per il coefficiente di trasmissione termica per il mese m tra la zona termica climatizzata i e la zona adiacente non climatizzata ztu . Nel caso in cui sia presente una sola di queste ultime tale fattore ha valore unitario.

Benché il fattore di correzione sia pressoché identico a quello della UNI EN ISO 13790, il modo in cui esso viene applicato differisce; esso viene infatti utilizzato per ricavare una temperatura interna all'ambiente non climatizzato. Nel caso dei calcoli mensili questa ultima viene così definita:

$$\theta_{ztu,k;H/C;m} = \theta_{e;a;m} + b_{ztu,k;m} \cdot (\theta_{calc;H/C;ztc,j;m} - \theta_{e;a;m})$$

Dove:

$\theta_{e;a;m}$ è la temperatura media dell'aria esterna riferita al mese m ed espressa in °C;

$b_{ztu,k;m}$	è il fattore di correzione per la trasmissione di energia dall'ambiente non climatizzato adiacente $z_{tu,k}$, per il mese m ;
$\theta_{calc;H/C;ztc,j;m}$	è la temperatura di calcolo interna per l'ambiente climatizzato j per la climatizzazione estiva ed invernale, espressa in °C.

2.6 L'intermittenza

Benché i calcoli mensili presentati nelle norme siano pressoché analoghi, questi ultimi si differiscono, nell'ambito della delineaione dei parametri dinamici, per la metodologia del calcolo dell'intermittenza. Si procede quindi di seguito con la presentazione dei due metodi.

Per il calcolo invernale, in ambedue le norme viene in primis calcolato il rapporto di bilancio termico γ_H , ottenuto comparando gli apporti termici totali nella modalità di riferimento $Q_{H,ht}$ con lo scambio termico totale nella modalità di riscaldamento $Q_{H,gn}$.

$$\gamma_H = Q_{H,gn}/Q_{H,ht}$$

Si definisce quindi il fattore di utilizzazione degli apporti termici $\eta_{H,gn}$ calcolato con le seguenti formule:

$$\eta_{H,gn} \begin{cases} \text{se } \gamma_H > 0 & \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{\gamma_H^{a_H+1}} \\ \text{se } \gamma_H = 1 & \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \\ \text{se } \gamma_H < 0 & \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \end{cases}$$

Dove

a_H è il parametro numerico adimensionale che dipende dalla costante di tempo τ_H , ed è pari a

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

Dove

$a_{H,0}$ è un parametro numerico di riferimento adimensionale, assunto pari a 1,0

$\tau_{H,0}$ è una costante di tempo di riferimento, assunta pari a 15 ore.

τ è la costante di tempo della zona dell'edificio, espressa in ore.

La prima differenza viene riscontrata nel calcolo di τ ; nella procedura presentata nella UNI EN ISO 52106 viene infatti mantenuto separato il coefficiente riferito agli scambi termici verso il terreno, di valore diverso rispetto alla UNI EN ISO 13790 in quanto calcolato sulla differenza annuale di temperature.

$$\tau_{13790} = \frac{C_m/3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}}$$

Con

C_m capacità termica interna dell'edificio espressa in J/K

$H_{tr,adj}$ valore rappresentativo del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, in W/K

$H_{ve,adj}$ valore rappresentativo del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione, in W/K.

$$\tau_{52016} = \frac{C_m/3600}{H_{H;tr(excl,grfl)} + H_{H;ve} + H_{H;gr}}$$

Dove

C_m è la capacità termica interna dell'edificio espressa in J/K

$H_{H;tr(excl,grfl)}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione escluso il pavimento controterra, in W/K

$H_{H;ve}$ è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione, in W/K

$H_{H;gr}$ è il coefficiente globale medio stagionale per trasmissione attraverso il pavimento controterra, in W/K.

Nel caso in cui sia presente un tipo di riscaldamento intermittente il fabbisogno di energia $Q_{H,nd,interm}$, secondo la UNI EN ISO 13790, viene calcolato usando la seguente equazione:

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red,13790} \cdot Q_{H,nd,cont}$$

Dove

$Q_{H,nd,cont}$ è il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento continuo espresso in MJ

$a_{H,red,13790}$ è il fattore adimensionale di riduzione per il riscaldamento intermittente

Questo ultimo fattore viene calcolato come segue

$$a_{H,red,13790} = 1 - b_{H,red} \cdot (\tau_{H,0}/\tau) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr})$$

Dove

$f_{H,hr}$ è la frazione del numero di ore della settimana con una normale regolazione del riscaldamento

$b_{H,red}$ è un fattore di correlazione empirico, pari a 3

τ è la costante di tempo della zona dell'edificio, espressa in ore

$\tau_{H,0}$ è una costante di tempo di riferimento, assunta pari a 15 ore.

γ_H è il rapporto di bilancio termico per la modalità di riscaldamento.

Nella realtà, quando la temperatura di *set-point* viene abbassata, la temperatura effettiva interna decresce gradualmente a causa delle trasmissioni di calore attraverso l'involucro e per la ventilazione, spesso non raggiungendo la temperatura di *set-back*. Nella UNI EN ISO 13790 si è deciso, al fine di considerare questa variazione, di applicare un fattore di riduzione, ovverosia $a_{H,red,13790}$, direttamente al fabbisogno mensile di energia; questa metodologia porta però ad alcuni risultati inattesi: se infatti si applica il fattore di riduzione per la riduzione del set-point di riscaldamento i valori saranno molto elevati, mentre la riduzione sul trasferimento di energia, sarà invece molto ridotta. In più tale errore risulta più accentuato nel caso di edifici ben isolati, con una variazione del parametro $a_{H,red}$ non coerente con l'andamento dei fabbisogni reali.

Al fine di correggere queste problematiche e rendere più realistici i risultati ottenuti con questa metodologia, nella UNI EN ISO 52106 si è invece deciso di applicare il fattore di riduzione direttamente alle temperature, secondo la seguente formula:

$$\theta_{int,calc;H} = a_{H,red,52106} \cdot (\theta_{int,set;H} - \theta_{e,a;m}) + \theta_{e,a;m}$$

Dove:

$\theta_{int,set;H}$ è la temperatura di set-point della zona

$\theta_{e,a;m}$ è la temperatura media mensile dell'aria esterna

$a_{H,red,5016}$ è il fattore adimensionale di riduzione per il riscaldamento intermittente.

Questo ultimo termine prevede una metodologia di calcolo differente rispetto alla UNI EN ISO 13790, viene in primis attuata una differenziazione tra il periodo del giorno, della notte e dei weekend, calcolando tre fattori distinti che, una volta sommati, riconducono al valore $a_{H,red}$; la motivazione di ciò è proprio nella scelta di applicare il fattore di riduzione alla temperatura, che porta alla necessità della differenziazione in tali periodi al fine di tenere conto delle diverse scale temporali.

$$a_{H,red,52016} = 1 - (1 - a_{H,red,day}) - (1 - a_{H,red,night}) - (1 - a_{H,red,wknd})$$

Con

$$a_{H;red;y;m} = 1 - f_{H;red;y} + f_{H;red;y} \cdot d\theta_{H;red;mn;y;m}$$

Con

$$f_{H;red;y} = \frac{\Delta t_{H;red;y} \cdot n_{rep;H;red;y}}{24 \cdot 7}$$

Dove per ogni mese m si ha:

$a_{H;red;y;m}$ è il fattore di riduzione per riscaldamento intermittente con riduzione del set-point e con y =giorno, notte o weekend.

$f_{H;red;y}$ è la relativa parte del periodo y con set-point ridotto

$n_{rep;H;red;y}$ è il numero di ripetizioni in una settimana del periodo di riduzione.

$d\theta_{H;red;mn;y;m}$ è la riduzione media delle differenze di temperatura durante il periodo di applicazione del *set-back*

$\Delta t_{H;red;y}$ è la durata del periodo di applicazione del *set-back*.

Definita poi la lunghezza adimensionale del periodo con riduzione del set-point o spegnimento dell'impianto

$$f_{H;red;low;y;m} = \frac{\Delta t_{H;red;low;y;m} / \tau_{H;m}}{\Delta t_{H;red;y;m} / \tau_{H;m}}$$

Con

$$\frac{\Delta t_{H;red;low;y;m}}{\tau_{H;m}} = -\ln \left(\frac{d\theta_{set;H;low;y;m} - d\theta_{float;m}}{1 - d\theta_{float;m}} \right)$$

Dove

$d\theta_{set;H;low;y;m}$ è la riduzione del set-point correlata alla differenza con la temperatura esterna, pari a:

$$d\theta_{set;H;low;y;m} = \frac{\theta_{int;set;H;low;y} - \theta_{e;a;m}}{\theta_{int;set;H} - \theta_{e;a;m}}$$

$d\theta_{float;m}$ rappresenta la riduzione della differenza tra temperatura interna ed esterna in condizioni di *free floating*, ovvero senza climatizzazione, ed è pari a:

$$se (\theta_{int;set;H;m} - \theta_{e;a;m} \leq 0) \quad d\theta_{float;m} = 1$$

$$altrimenti \quad d\theta_{float;m} = \frac{Q_{H;gn;m}}{(H_{H;tr;m} + H_{H;ve;m}) \cdot (\theta_{int;set;H} - \theta_{e;a;m}) \cdot \Delta t_m}$$

Dove

$Q_{H;gn;m}$ rappresenta gli apporti gratuiti totali mensili per il riscaldamento

$H_{H;tr;m}$ è il coefficiente di scambio termico globale per trasmissione per il riscaldamento

$H_{H;ve;m}$ è il coefficiente di scambio termico globale per ventilazione per il riscaldamento.

Si definisce quindi:

se $f_{H;red;low;y;m} > 1$, o se $d\theta_{float;m} > d\theta_{set;H;low;y;m}$

$$d\theta_{H;red;mn;y;m} = d\theta_{float;m} + \left(\frac{1 - d\theta_{float;m}}{\Delta t_{H;red;low;y;m} / \tau_{H;m}} \right) \cdot (1 - e^{\Delta t_{H;red;low;y;m} / \tau_{H;m}})$$

Altrimenti

$$d\theta_{H;red;mn;y;m} = \left(\frac{1 - f_{H;red;low;y;m}}{\Delta t_{H;red;low;y;m} / \tau_{H;m}} \right) + f_{H;red;low;y;m} \cdot d\theta_{float;m} \\ + (1 - d\theta_{set;H;low;y;m}) \cdot d\theta_{set;H;low;y;m}$$

Diversamente da quanto precedentemente delineato, nel caso estivo si trovano delle vere e proprie differenze sostanziali nella metodologia. Mentre infatti con la UNI EN ISO 13790 e per la UNI/TS 11300-1 la procedura rimane invariata, nella UNI EN ISO 52016-1 si ha una modifica sostanziale: i fattori di riduzione vengono infatti applicati solamente ai fabbisogni di

energia termica, mentre le temperature, precedentemente interessate dalla correzione, rimangono invariate, come se il sistema agisse in un regime continuo. In più nel caso in cui la lo spegnimento dell'impianto non interessi l'intero periodo del weekend, l'intera intermittenza viene considerata come trascurabile. Si ha infatti:

$$a_{C;red;ztc;m} = a_{C;red;wknd;ztc;m} = 1 - f_{C;red;wknd;ztc} + f_{C;red;wknd;ztc} \cdot b_{C;red;wknd}$$

Con

$$f_{C;red;wknd;ztc} = \frac{\Delta t_{C;red;wknd;ztc} \cdot n_{rep;C;red;ztc}}{24 \cdot 7}$$

Dove per ogni mese m si ha:

$a_{C;red;ztc;m}$ è il fattore di riduzione per raffrescamento intermittente con riduzione del set-point;

$a_{C;red;wknd;ztc;m}$ è il fattore di riduzione per il raffrescamento intermittente con riduzione del set-point per il weekend;

$f_{C;red;wknd;ztc}$ è la relativa parte della settimana con set-point ridotto;

$b_{C;red;wknd}$ è un fattore di correlazione empirico, pari a 0,3;

$\Delta t_{C;red;wknd;ztc}$ è la durata del finesettimana con applicazione del set-back nel periodo estivo, espresso in h;

$n_{rep;C;red;ztc}$ è il numero di ripetizioni in una settimana del periodo di intermittenza considerata.

Da definizione quest'ultimo può ottenere solamente i valori di 1 o 0, valore che porta il coefficiente $a_{C;red;ztc;m}$ ad assumere valore unitario, con il conseguente annullamento dell'azione dell'intermittenza estiva sui consumi globali.

2.7 Umidificazione e deumidificazione

Per quanto riguarda il calcolo dell'energia termica necessaria per i processi di umidificazione e deumidificazione si può notare come le norme presentino notevoli differenze nella

metodologia di calcolo; benché nella UNI EN ISO 13790 non vengano presentate procedure finalizzate all'ottenimento di tali valori, nella specifica tecnica italiana, la UNI/TS 11300-1, così come anche nella UNI EN ISO 52016-1, esse vengono invece definite.

Nella UNI/TS 11300-1 troviamo un approccio identico per i casi estivi e invernali con i fabbisogni di energia termica per umidificazione, $Q_{H,hum,nd}$, e deumidificazione, $Q_{C,dhum,nd}$, definiti come:

$$Q_{H,hum,nd} = -\min[0; Q_{wv,int} - Q_{H,wv,ve}]$$

$$Q_{C,dhum,nd} = \max[0; Q_{wv,int} - Q_{C,wv,ve}]$$

Dove:

$Q_{wv,int}$ è l'entalpia relativa al vapore acqueo prodotto internamente la zona termica da occupanti e sorgenti varie, espressa in MJ e calcolata direttamente a partire dalle portate massiche medie orarie di vapore;

$Q_{H,wv,ve}$ è l'entalpia della porzione di vapore acqueo giunta nella zona termica a causa dei processi di ventilazione ed infiltrazione nel periodo di riscaldamento, espressa in MJ; e calcolata in funzione della differenza di umidità specifica tra le portate di aria entranti ed uscenti l'ambiente in analisi;

$Q_{C,wv,ve}$ è l'entalpia della porzione di vapore acqueo giunta n nella zona termica a causa dei processi di ventilazione ed infiltrazione nel periodo di raffrescamento, espressa in MJ e calcolata maniera analoga alla sua controparte invernale.

Nel calcolo mensile della UNI EN ISO 52016-1 è possibile notare alcune differenze non tanto per quanto riguarda il fabbisogno di energia termica invernale quanto per quello estivo:

$$Q_{H,hum,nd} = (1 - \eta_{HU}) \cdot f_{hum} \cdot h_{we} \cdot \rho_a \cdot q_v \cdot (\Delta x \cdot t)$$

$$Q_{C,dhum,nd} = f_{dhum} \cdot Q_{C,nd}$$

Dove:

η_{HU} è l'efficienza del sistema di recupero dell'energia latente;

f_{hum} è la frazione del mese in cui è richiesta umidificazione;

h_{we} è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua, in J/kg;

ρ_a è la densità dell'aria, in kg/m³;

q_V è la media mensile delle portate d'aria entranti nella zona, espresse in m³/s;

$(\Delta x \cdot t)$ è la quantità di vapore acqueo raggruppata annualmente che è necessario inserire nell'ambiente per ogni kg di aria secca;

f_{dhum} è la frazione di energia sensibile che è necessario aggiungere per la deumidificazione, dipendentemente dal tipo di sistema di raffrescamento;

$Q_{C,nd}$ è il fabbisogno energetico sensibile per il raffrescamento, espresso in kWh.

È possibile immediatamente notare che mentre per l'umidificazione sia stato aggiunto solamente un termine riferito all'efficienza del sistema, invece per il caso estivo il calcolo venga interamente modificato definendo l'energia necessaria per la deumidificazione al fabbisogno come una porzione del fabbisogno di energia termica di climatizzazione estiva e spostando la vera e propria parte di calcolo alla definizione della frazione f_{dhum} .

Nel calcolo orario della UNI EN ISO 52016-1 si ha di nuovo una perfetta analogia tra umidificazione e deumidificazione dove, a meno di alcuni segni, risultano essere identici; i carichi latenti, riferiti all'intervallo temporale t ed espressi in kg/s, vengono così definiti:

$$\Phi_{hum} = h_{we} \cdot G_{hum}$$

$$\Phi_{dhum} = h_{we} \cdot G_{dhum}$$

Dove:

h_{we} è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua, in J/kg;

G_{hum} è la portata di vapore acqueo necessaria per mantenere il livello minimo di umidità nell'ambiente;

G_{dhum} è la portata di vapore acqueo che è necessario estrarre dall'ambiente per mantenere il livello minimo di umidità nell'ambiente.

Le portate vengono poi definite come:

$$G_{hum} = \sum_k (\rho_a \cdot q_v \cdot \Delta x_{sup}) - G_{int} + G_{abs} + \frac{\rho_a \cdot V_{int}}{\Delta t} \cdot \Delta x_{int}$$
$$G_{dhum} = - \sum_k (\rho_a \cdot q_v \cdot \Delta x_{sup}) + G_{int} - G_{abs} - \frac{\rho_a \cdot V_{int}}{\Delta t} \cdot \Delta x_{int}$$

Dove:

ρ_a è la densità dell'aria, in kg/m³;

q_v è la media mensile delle portate d'aria entranti nella zona, espresse in m³/s;

Δx_{sup} è la differenza di umidità specifica tra la quantità contenuta nell'aria interna e quella massima, per la deumidificazione, o minima, per l'umidificazione; espressa in kg/kg;

G_{int} è la porzione di vapore acqueo prodotto internamente all'ambiente, espresso in kg/s;

G_{abs} è la porzione di vapore acqueo assorbito o rilasciato dai materiali dell'ambiente, espresso in kg/s;

V_{int} è il volume netto dell'ambiente, espresso in m³;

Δt è la lunghezza dell'intervallo temporale, in s;

Δx_{int} è la differenza di umidità specifica tra la quantità contenuta nell'aria in ingresso nell'ambiente e quella massima, per la deumidificazione, o minima, per l'umidificazione; espressa in kg/kg.

Mentre per la prima parte risulta essere del tutto identico alla metodologia impiegata nella UNI/TS 11300-1, possiamo notare un notevole incremento della precisione dell'analisi, si ha infatti l'aggiunta della possibilità di interazione con gli oggetti interni l'ambiente, i cui apporti possono anche essere importanti, nonché un termine, l'ultimo, che indica l'energia necessaria a portare l'umidità interna al livello di set-point, termine che di fatto copre tutte le possibili eventualità dovute da una gestione intermittente dell'impianto di deumidificazione e umidificazione.

Benché siano state riscontrate queste differenze, si è però deciso, non prevedendo la UNI EN ISO 13790 tale procedura, di non procedere al calcolo di umidificazione e deumidificazione, interrompendo prima il calcolo e rendendo possibile il confronto di tutte le metodologie.

3 Caso studio

3.1 Presentazione del modello

L'edificio preso in considerazione è una villetta monofamiliare, ad uso residenziale, a due piani fuori terra con tetto a falde sita in Torino. Di seguito vengono riportati i vari dati geometrici ed inerenti i componenti opachi e trasparenti.



Figura 3.1-1 - Vista assometrica dell'edificio

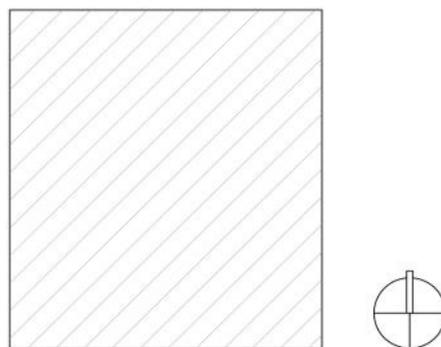


Figura 3.1-2 - Definizione dell'orientamento dell'edificio

Tabella 3.1-1 - Dati generali dell'edificio

Dato	Simbolo	U.d.m.	Valore
Volume lordo	V_i	$[m^3]$	725
Volume netto	V_n	$[m^3]$	537
Superficie lorda	$A_{f,l}$	$[m^2]$	230
Superficie netta	A_f	$[m^2]$	199

Dato	Simbolo	U.d.m.	Valore
Superficie involucro	A_{env}	[m ²]	519
Superficie finestrata	A_w	[m ²]	25
Rapporto Superficie-volume	A_{env}/V_i	[1/m]	0,72
Numero di piani climatizzati	-	[-]	2
Altezza netta interpiano	-	[m]	2,7

3.2 Descrizione dei componenti

Vengono di seguito definite, componente per componente, le principali caratteristiche termofisiche necessarie per una corretta definizione delle proprietà dell'elemento e quindi per la metodologia di calcolo.

3.2.1 Componente M1P1

Tabella 3.2.1-1 - Dati generali del componente M1P1

Descrizione dell'elemento: Muratura a cassa-vuota con mattoni forati, debolmente isolata ed intonacata da entrambi i lati.			
Tipologia:	Componente opaco - Facciata	Disposizione:	Verticale
Verso:	Esterno	Spessore:	390,0 mm
Trasmittanza U:	0,760 W/(m ² K)	Resistenza R:	1,316 (m ² K)/W
Massa superficiale:	385 kg/m ²	Colore:	Medio

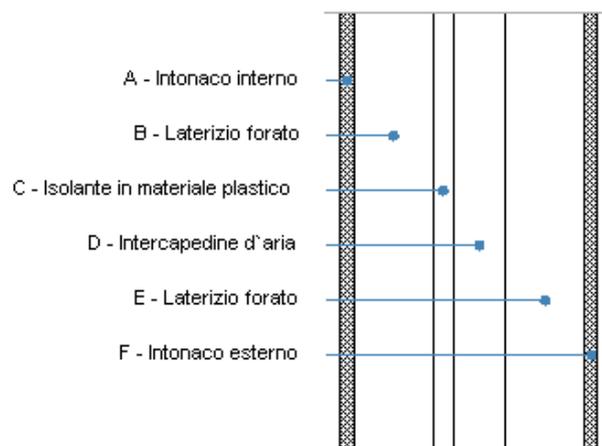


Figura 3.2.1-1 – Stratigrafia del componente M1P1

Tabella 3.2.1-2 - Dati stratigrafici del componente M1P1

	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m ² K)/W]	Densità ρ [kg/m ³]	Capacità termica C [kJ/(kgK)]	Fattore μ [-]
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Intonaco interno	20,0	0,700	0,029	1.400	0,84	11,0
B	Laterizio forato	120,0	0,590	0,203	1.600	0,84	7,0
C	Isolante in materiale plastico	30,0	0,059	0,508	10	1,25	32,0
D	Intercapedine d'aria	80,0	0,444	0,180	8	1,00	1,0
E	Laterizio forato	120,0	0,590	0,203	1.600	0,84	7,0
F	Intonaco esterno	20,0	0,900	0,022	1.800	0,84	24,0
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	390,0		1,316			

Conduttanza unitaria superficiale interna: 7,690 W/(m ² K)	Resistenza unitaria superficiale interna: 0,130 (m ² K)/W
Conduttanza unitaria superficiale esterna: 25,000 W/(m ² K)	Resistenza unitaria superficiale esterna: 0,040 (m ² K)/W

3.2.2 Componente M1S1

Tabella 3.2.2-1 - Dati generali del componente M1S1

Descrizione dell'elemento: Solaio latero-cementizio debolmente isolato.			
Tipologia:	Componente opaco - Solaio	Disposizione:	Orizzontale
Verso:	Ambiente interno	Spessore:	300,0 mm
Trasmittanza U:	0,982 W/(m ² K)	Resistenza R:	1,019 (m ² K)/W
Massa superficiale:	331 kg/m ²	Colore:	Medio

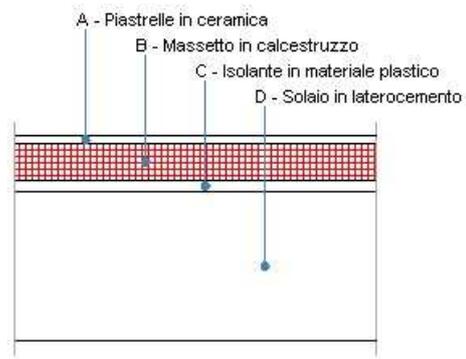


Figura 3.2.2-1 – Stratigrafia del componente M1S1

Tabella 3.2.2-2 - Dati stratigrafici del componente M1S1

	Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m ² K)/W]	Densità ρ [kg/m ³]	Capacità termica C [kJ/(kgK)]	Fattore μ [-]
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-
A	Piastrelle in ceramica	10,0	1,000	0,010	2.300	0,84	213,0
B	Massetto in calcestruzzo	55,0	0,650	0,085	1.600	0,84	69,0
C	Isolante in materiale plastico	15,0	0,059	0,254	10	1,25	32,0
D	Solaio in laterocemento	220,0	0,667	0,330	1.000	0,84	16,0
	Adduttanza interna (flusso verticale discendente)	-	-	0,170	-	-	-
	TOTALE	300,0		1,019			

Conduttanza unitaria superficiale interna: 5,880 W/(m²K)

Resistenza unitaria superficiale interna: 0,170 (m²K)/W

Conduttanza unitaria superficiale esterna: 5,880 W/(m²K)

Resistenza unitaria superficiale esterna: 0,170 (m²K)/W

3.2.3 Componente M1C1

Tabella 3.2.3-1 - Dati generali del componente M1C1

Descrizione dell'elemento: Copertura a falde debolmente isolata con struttura latero-cementizia e manto in laterizio.

Tipologia:	Componente opaco - Copertura	Disposizione:	Orizzontale
Verso:	Esterno	Spessore:	282,0 mm
Trasmittanza U:	1,144 W/(m ² K)	Resistenza R:	0,874 (m ² K)/W
Massa superficiale:	242 kg/m ²	Colore:	Medio

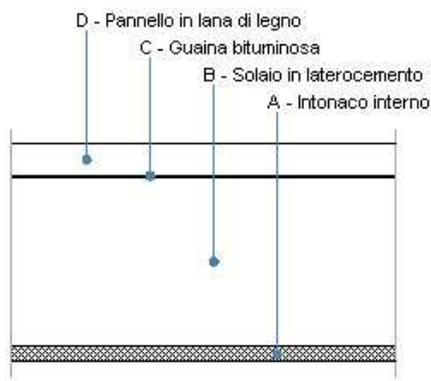


Figura 3.2.3-1 – Stratigrafia del componente M1C1

Tabella 3.2.3-2 - Dati stratigrafici del componente M1C1

Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m ² K)/W]	Densità ρ [kg/m ³]	Capacità termica C [kJ/(kgK)]	Fattore μ [-]
Adduttanza interna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,100	-	-	-
A Intonaco interno - BAL	20,0	0,700	0,029	1.400	0,84	11,0
B Solai in laterocemento - BAL	220,0	0,667	0,330	1.000	0,84	16,0
C Guaina bituminosa - BAL	2,0	0,170	0,012	1.200	0,92	21.322,0
D Pannello in lana di legno - BAL	40,0	0,110	0,364	500	2,10	3,0
Adduttanza esterna (flusso verticale ascendente)	-	-	0,040	-	-	-
TOTALE	282,0		0,874			

Conduttanza unitaria superficiale interna: 10,000 W/(m ² K)	Resistenza unitaria superficiale interna: 0,100 (m ² K)/W
--	--

Conduttanza unitaria superficiale esterna	25,000 W/(m ² K)	Resistenza unitaria superficiale esterna:	0,040 (m ² K)/W
---	--------------------------------	---	----------------------------

3.2.4 Componente M1P2

Tabella 3.2.4-1 - Dati generali del componente M1P2

Descrizione dell'elemento: Porta in legno a doppio pannello.			
Tipologia:	Componente opaco - Porta	Disposizione:	Verticale
Verso:	Esterno	Spessore:	50,0 mm
Trasmittanza U:	1,704 W/(m ² K)	Resistenza R:	0,587 (m ² K)/W
Massa superficiale:	43 kg/m ²	Colore:	Medio

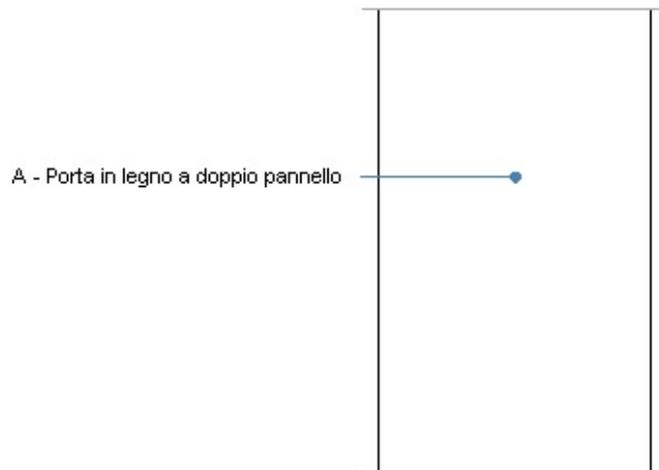


Figura 3.2.4-1 – Stratigrafia del componente M1P2

Tabella 3.2.4-2 - Dati stratigrafici del componente M1P2

Strato	Spessore s [mm]	Conduttività λ [W/(mK)]	Resistenza R [(m ² K)/W]	Densità ρ [kg/m ³]	Capacità termica C [kJ/(kgK)]	Fattore μ [-]
Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-

A	Porta in legno a doppio pannello	50,0	0,120	0,417	850	2,40	44,4
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	50,0		0,587			

Conduttanza unitaria superficiale interna: 7,690 W/(m ² K)	Resistenza unitaria superficiale interna: 0,130 (m ² K)/W
Conduttanza unitaria superficiale esterna: 25,000 W/(m ² K)	Resistenza unitaria superficiale esterna: 0,040 (m ² K)/W

3.2.5 Componente M1F1

Tabella 3.2.5-1 - Dati generali del componente M1F1

Descrizione dell'elemento: Serramento in vetrocamera con intercapedine d'aria e telaio in legno, senza schermature solari e chiusure oscuranti.			
Tipologia:	Componente trasparente - Serramento	Disposizione:	Verticale
Verso:	Esterno	Trasmittanza U _w :	2,800 W/(m ² K)

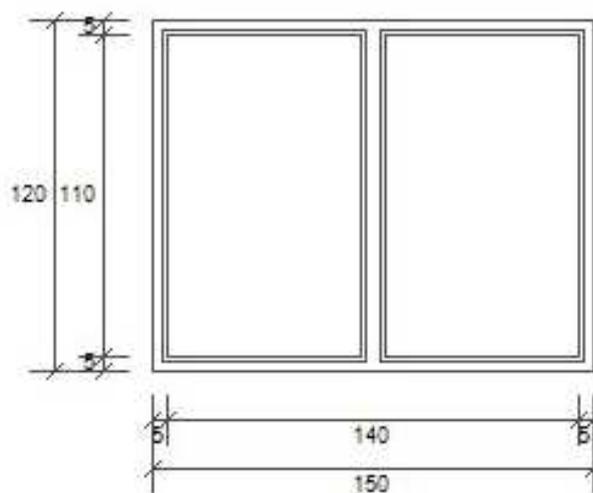


Figura 3.2.5-1 – Stratigrafia del componente M1F1

Tabella 3.2.5-2 - Dati stratigrafici del componente M1F1

Elementi	Caratteristiche
Vetro	Vetrocamera con coefficiente di trasmissione solare $g_{gl,n} = 0,75$

Telaio	In legno con fattore telaio $F_r=0,20$
Schermatura mobile	Assente
Chiusura oscurante	Assente

3.2.6 Componente M1PT1

Tabella 3.2.6-1 - Dati generali del componente M1PT1

Descrizione dell'elemento: Giunzione solaio interpiano – muratura esterna verticale			
Tipologia:	Ponte termico lineare - Solaio	Disposizione:	Orizzontale
Verso:	Esterno	Trasmittanza ψ_ϵ :	0,619 W/(mK)

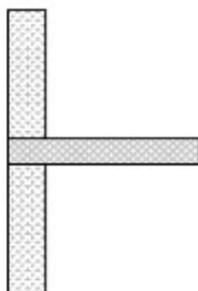


Figura 3.2.6-1 – Particolare del componente M1PT1

3.2.7 Componente M1PT2

Tabella 3.2.7-1 - Dati generali del componente M1PT2

Descrizione dell'elemento: Giunzione serramento – muratura esterna verticale			
Tipologia:	Ponte termico lineare - Serramento	Disposizione:	Orizzontale/verticale
Verso:	Esterno	Trasmittanza ψ_ϵ :	0,124 W/(mK)



Figura 3.2.7-1 – Particolare del componente M1PT2

3.3 Riassunto dei dati dimensionali dei componenti dell'involucro edilizio

Tabella 3.3-1 - Dati dimensionali dell'edificio

Componenti dell'involucro edilizio	Esposizione	Inclinazione	A	l	b _{tr}
		[°]	[m ²]	[m]	[-]
M1P1	N	90	61	-	1
M1P1	S	90	53	-	1
M1P1	E	90	65	-	1
M1P1	O	90	65	-	1
M1P2	N	90	2,4	-	1
M1F1	S	90	10	-	1
M1F1	E	90	7,5	-	1
M1F1	O	90	7,5	-	1
M1C1	N	22	66,5	-	1
M1C2	S	22	66,5	-	2
COI01	OR	0	115	-	0,5
M1PT1	-	-	-	129	1
M1PT2	-	-	-	81,4	1

4 I dati di input per il calcolo del fabbisogno energetico

4.1 La definizione dei dati necessari

In tutte le norme proposte viene enunciato come, a partire da un moderatamente vasto parco di dati iniziali, si possano determinare i fabbisogni di energia termica utile. Appare subito evidente come sia di particolare importanza la definizione dei parametri iniziali da cui partire; nei sotto capitoli seguenti vengono invece enunciati tali parametri e viene definito il modo in cui essi sono stati calcolati o la fonte da cui sono stati tratti.

4.2 I dati climatici

Al fine del calcolo del fabbisogno energetico degli edifici, è indispensabile la conoscenza dei profili annuali dei parametri del clima, quali temperatura, umidità, pressione di vapore, velocità e direzione del vento ed irradianza solare; tali valori sono contenuti nell' "anno tipo climatico" il quale è formato secondo alcuni criteri, quali le vere frequenze, medie e distribuzioni di frequenze devono essere infatti il più vicino possibile a quelli tipici della località, vere sequenze, ovverosia l'evoluzione nel tempo è reale, e vere correlazioni tra i diversi parametri. Esso di fatto non è un anno reale né una qualche media, bensì una serie di mesi reali riferiti però ad anni diversi; i dati considerati sono su base oraria e da essi, mediandoli, si ottengono i valori necessari per il calcolo mensile.

I dati dell'anno tipo utilizzati provengono dall'archivio del Comitato Termotecnico Italiano (CTI) e si riferiscono a dodici mesi caratteristici ricavati da un database di dati meteorologici di un periodo della lunghezza di almeno 10 anni. La metodologia impiegata dal CTI è quella indicata nella norma europea EN ISO 15927-4 "Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling".

È pertanto possibile ottenere i valori orari di temperatura, umidità relativa, pressione di vapore, velocità del vento, nonché irradianza solare globale, diretta e diffusa sul piano orizzontale. Al fine di ottenere le irradianze su piani di varie inclinazioni ed orientamenti, è stata utilizzata la norma UNI EN ISO 52010-1:2017.

4.3 Gli apporti interni

Al fine di calcolare gli apporti interni su base oraria si è proceduto considerando i dati proposti dalla norma prEN 16798-1 riferiti alla tipologia di edificio considerata.

Tabella 4.3-1 - Apporti interni per la tipologia "Residential, Detached House"

Apporti interni; Tipologia "Residential, Detached House"		
Parametro	Valore	Unità di misura
Occupanti (Sensibili)	1,9	[W/m ²]
Dispositivi	2,4	[W/m ²]
Luci		[W/m ²]

Tabella 4.1-2 - Profili di utilizzo per la tipologia "Residential, Detached House"

Profili di utilizzo; Tipologia "Residential, Detached House"						
h	Lavorativi			Weekend		
	Occupanti	Applicazioni	Luci	Occupanti	Applicazioni	Luci
1	1	0,5	0	1	0,5	0
2	1	0,5	0	1	0,5	0
3	1	0,5	0	1	0,5	0
4	1	0,5	0	1	0,5	0
5	1	0,5	0	1	0,5	0
6	1	0,5	0	1	0,5	0
7	0,5	0,5	0,15	0,8	0,5	0,15
8	0,5	0,7	0,15	0,8	0,7	0,15
9	0,5	0,7	0,15	0,8	0,7	0,15
10	0,1	0,5	0,15	0,8	0,5	0,15
11	0,1	0,5	0,05	0,8	0,5	0,05
12	0,1	0,6	0,05	0,8	0,6	0,05
13	0,1	0,6	0,05	0,8	0,6	0,05
14	0,2	0,6	0,05	0,8	0,6	0,05
15	0,2	0,6	0,05	0,8	0,6	0,05
16	0,2	0,5	0,05	0,8	0,5	0,05
17	0,5	0,5	0,2	0,8	0,5	0,2
18	0,5	0,7	0,2	0,8	0,7	0,2
19	0,5	0,7	0,2	0,8	0,7	0,2
20	0,8	0,8	0,2	0,8	0,8	0,2
21	0,8	0,8	0,2	0,8	0,8	0,2

Profili di utilizzo; Tipologia "Residential, Detached House"						
h	Lavorativi			Weekend		
	Occupanti	Applicazioni	Luci	Occupanti	Applicazioni	Luci
22	0,8	0,8	0,2	0,8	0,8	0,2
23	1	0,6	0,15	1	0,6	0,15
24	1	0,6	0,15	1	0,6	0,15

Stabiliti quindi i valori di picco normalizzati ed i profili orari giornalieri è possibile definire gli apporti interni orari annuali specifici per l'edificio considerato.

4.4 La portata di ventilazione

Per il calcolo della portata di ventilazione si è invece proceduto utilizzando i dati proposti dalla UNI/TS 11300-1.

Si calcola in primis la portata minima di progetto di aria esterna che, per edifici residenziali, risulta essere pari a:

$$q_{ve,0} = n \cdot V / 3600$$

Con:

n tasso di ricambio d'aria [1/h], che per le civili abitazioni viene assunto pari a 0,5 h⁻¹;

V volume netto della zona termica considerata [m³];

Essendo presente nel caso in analisi la sola ventilazione naturale, si applica la seguente formula:

$$q_{ve,mn} = q_{ve,0} \cdot f_{ve,t}$$

Dove:

$q_{ve,mn}$ è la portata media giornaliera media mensile [m³/s]

$f_{ve,t}$ è il fattore di correzione che rappresenta la frazione di tempo in cui si attua il flusso d'aria e che tiene conto dell'effettivo profilo di utilizzo e delle infiltrazioni che si hanno quando non si opera l'areazione. Tale parametro viene riportato nel prospetto E.2 della UNI/TS 11300 – 1 ed è pari a 0,6 per le abitazioni civili.

Si ha quindi:

$$q_{ve,mn} = 0,5 \cdot 655,8/3600 \cdot 0,6 = 0,05465 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tale valore giornaliero, benché sia riferito alla media mensile, essendo uguale per tutti i mesi è possibile trattarlo come media giornaliera media annuale. Essendo la ventilazione unicamente naturale essa è influenzata dalla presenza di occupanti nell'edificio, appare quindi immediata la sua correlazione con i profili occupazionali. Considerando un anno tipo, composto da 365 giorni di cui 263 lavorativi, pari al 72%, e 102 nel weekend si procede realizzando un profilo giornaliero ricavato dalla media pesata dei profili precedentemente proposti. Fatto ciò si ricava quindi la portata oraria che se applicata porta come valore medio $q_{ve,mn}$, pari quindi al valore massimo.

Tabella 4.4-1 - Profili di occupazione e valori medi di ventilazione

Ora	Profilo di occupazione mensile	Valori medi giornalieri generali [m ³ /s]	Valori medi giornalieri lavorativi [m ³ /s]	Valori medi giornalieri weekend [m ³ /s]
1	1	0,081021	0,081021	0,081021
2	1	0,081021	0,081021	0,081021
3	1	0,081021	0,081021	0,081021
4	1	0,081021	0,081021	0,081021
5	1	0,081021	0,081021	0,081021
6	1	0,081021	0,081021	0,081021
7	0,583836	0,047303	0,04051	0,064816
8	0,583836	0,047303	0,04051	0,064816
9	0,583836	0,047303	0,04051	0,064816
10	0,295616	0,023951	0,008102	0,064816
11	0,295616	0,023951	0,008102	0,064816
12	0,295616	0,023951	0,008102	0,064816
13	0,295616	0,023951	0,008102	0,064816

Ora	Profilo di occupazione mensile	Valori medi giornalieri generali [m ³ /s]	Valori medi giornalieri lavorativi [m ³ /s]	Valori medi giornalieri weekend [m ³ /s]
14	0,367671	0,029789	0,016204	0,064816
15	0,367671	0,029789	0,016204	0,064816
16	0,367671	0,029789	0,016204	0,064816
17	0,583836	0,047303	0,04051	0,064816
18	0,583836	0,047303	0,04051	0,064816
19	0,583836	0,047303	0,04051	0,064816
20	0,8	0,064816	0,064816	0,064816
21	0,8	0,064816	0,064816	0,064816
22	0,8	0,064816	0,064816	0,064816
23	1	0,081021	0,081021	0,081021

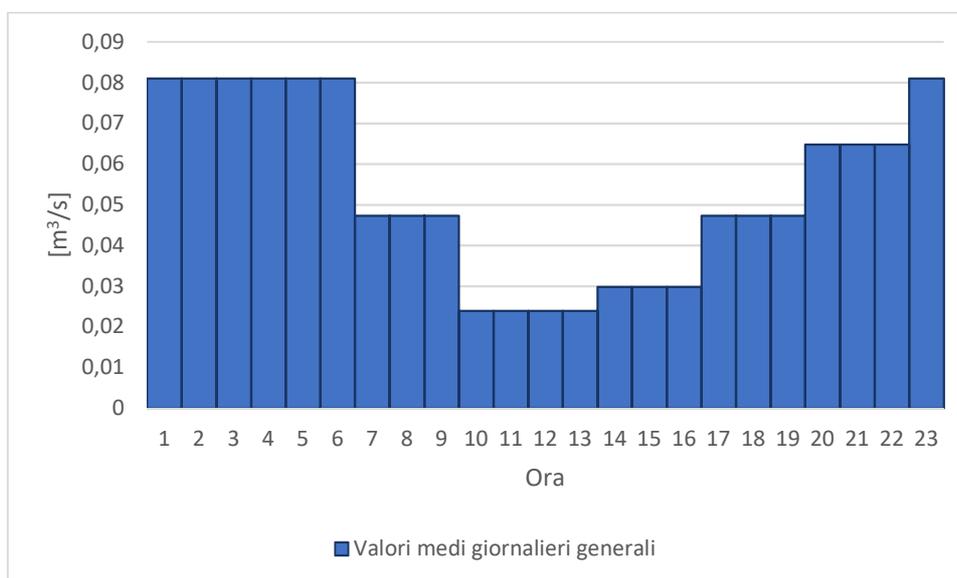


Figura 4.4-1 – Profilo di ventilazione medio

5 Calcolo mensile

5.1 Il calcolo mensile con le norme UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1

La metodologia di calcolo mensile presentata nella norma UNI EN ISO 13790 è una procedura di analisi quasi stazionaria che, secondo i suoi ideatori, fornisce risultati attendibili su base annuale ma che può presentare errori relativi di grande entità nei mesi prossimi alla fine o all'inizio delle stagioni di riscaldamento e raffrescamento.

Le metodologie quasi stazionarie utilizzano dei fattori di correlazione finalizzati a tenere conto degli effetti dinamici quali, ad esempio, le fluttuazioni dei valori di temperatura esterna, irradianza e di occupazione.

Per quanto concerne il riscaldamento, si ha un fattore di utilizzazione degli apporti termici interni e solari che tiene conto del fatto che solamente una parte di tali apporti venga effettivamente impiegata per ridurre il fabbisogno di energia termica, mentre la restante parte non ha effetti benefici in quanto causa un innalzamento indesiderato della temperatura interna al di sopra del valore di regolazione.

Invece, per il raffrescamento, due metodologie sono proposte nella norma; nella prima viene impiegato un fattore di utilizzazione delle dispersioni in maniera opposta a quanto fatto per il riscaldamento, al fine di considerare che non tutta la parte di dispersioni dovute a ventilazione e trasmissione viene impiegata per ridurre i consumi in quanto essi possono sopraggiungere durante periodi temporali, quali ad esempio la notte, in cui i fabbisogni risultano essere molto limitati, se non addirittura nulli. Un secondo metodo impiega invece un fattore di utilizzazione degli apporti, in questo caso analogamente a quanto fatto per il riscaldamento, che, similmente a quanto precedentemente spiegato, valuta il fatto che solamente una porzione degli apporti termici interni e solari venga bilanciata dallo scambio termico per ventilazione e trasmissione, mentre la restante parte conduce a fabbisogni di raffrescamento finalizzati a mantenere un valore fissato di temperatura interna.

In maniera concettualmente identica, anche nella UNI/TS 11300-1, viene presentato un modello quasi stazionario mensile finalizzato al calcolo del fabbisogno energetico degli edifici; l'unica differenza è insita nella sola possibilità, per il calcolo riferito al periodo di raffrescamento, di utilizzare i fattori di utilizzazione degli apporti.

Al fine di rendere più simili le due procedure e quindi rendere un confronto più attuabile e di più semplice lettura, si è quindi deciso di impiegare anche per la metodologia di calcolo mensile attuata con la norma UNI EN ISO 13790 i fattori di utilizzazione degli apporti.

Queste metodologie risultano avere una procedura di calcolo non eccessivamente complessa che, volendo è persino possibile realizzare a mano. Per facilità di attuazione e, al fine di rendere la procedura facilmente modificabile e ripetibile, si è scelto di procedere con una scrittura su foglio di calcolo.

Al fine di poter apprezzare quanto gli apporti solari e quelli interni influiscano sui fabbisogni energetici dell'edificio di interesse, si è proceduto reiterando la metodologia di calcolo considerando inizialmente il caso reale, nel quale risultano quindi essere tutti presenti, e procedendo poi elidendo ogni volta uno dei parametri sopra citati; si è poi continuato attuando la medesimo procedura con le dispersioni dovute alla ventilazione, in modo da poter ricavare anche il peso degli scambi di calore tramite trasmissione.

5.1.1 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

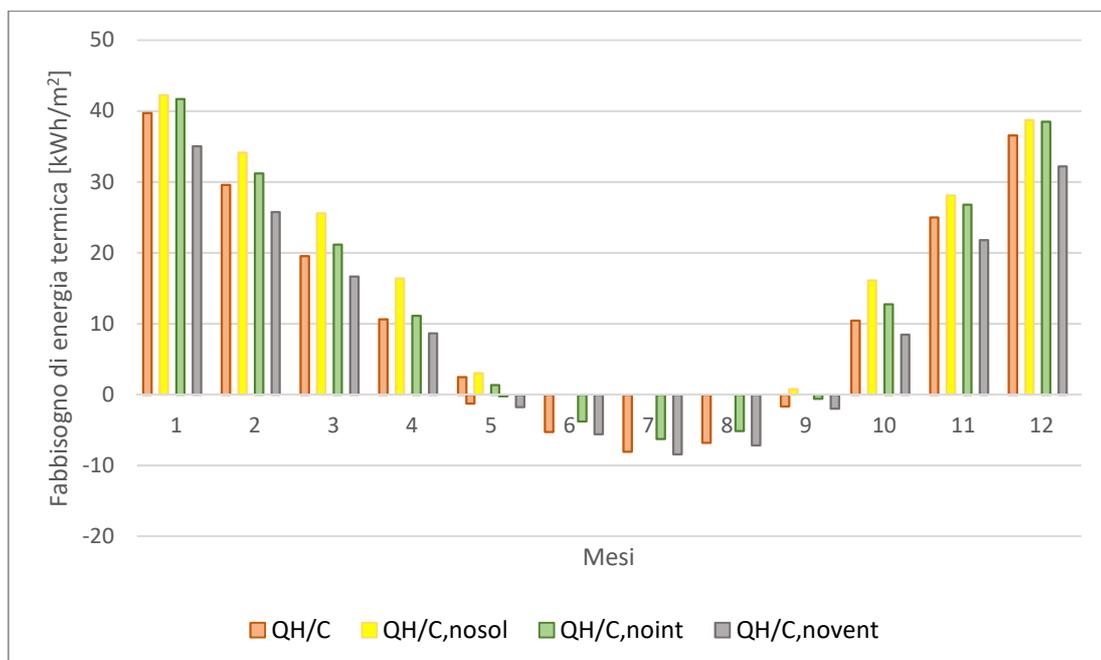


Figura 5.1.1-1 – Confronto tra i calcoli mensili con la norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Tabella 5.1.1-1 – Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Mensile	Continuo	Fabbisogno	Q _H	40	30	20	11	2	0	0	0	0	10	25	37
				Q _C	0	0	0	0	-1	-5	-8	-7	-2	0	0	0
13790	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	42	34	26	16	3	0	0	0	1	16	28	39
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13790	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	42	31	21	11	1	0	0	0	0	13	27	39
				Q _C	0	0	0	0	0	-4	-6	-5	-1	0	0	0
13790	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	35	26	17	9	0	0	0	0	0	8	22	32
				Q _C	0	0	0	0	-2	-6	-8	-7	-2	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

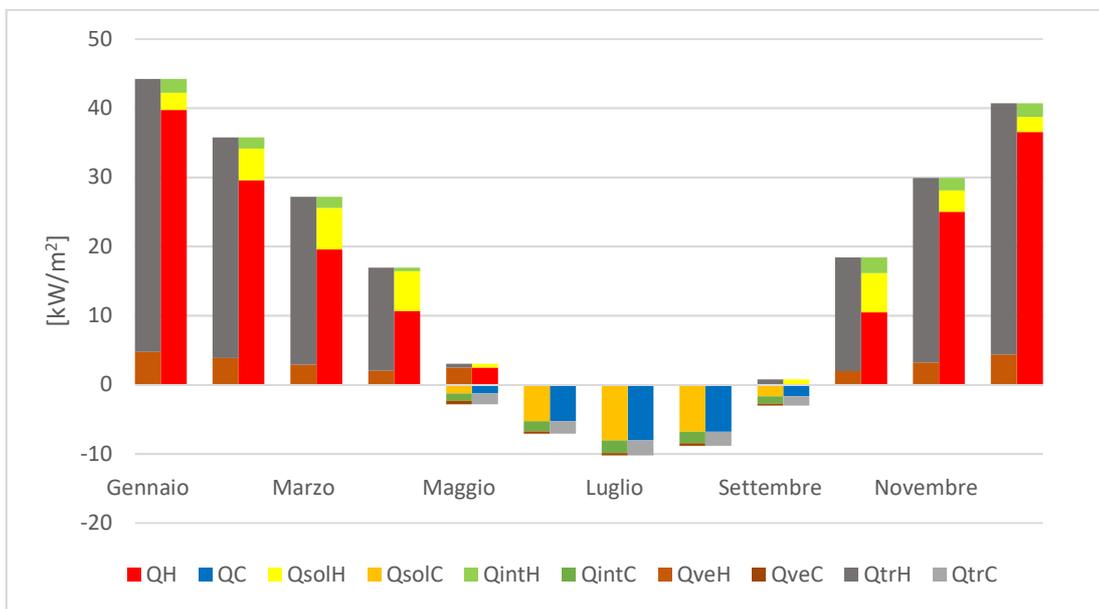


Figura 5.1.1-2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Si conclude infine riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 5.1.1-2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Mensile	Continuo	Q _{sol}	Q _H	2	5	6	6	1	0	0	0	1	6	3	2
				Q _C	0	0	0	0	-1	-5	-8	-7	-2	0	0	0
13790	Mensile	Continuo	Q _{int}	Q _H	2	2	2	1	0	0	0	0	0	2	2	2
				Q _C	0	0	0	0	-1	-1	-2	-2	-1	0	0	0
13790	Mensile	Continuo	Q _{ve}	Q _H	5	4	3	2	2	0	0	0	0	2	3	4
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13790	Mensile	Continuo	Q _{tr}	Q _C	39	32	24	15	1	0	0	0	1	16	27	36
				Q _C	0	0	0	0	2	2	2	2	1	0	0	0

5.1.2 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

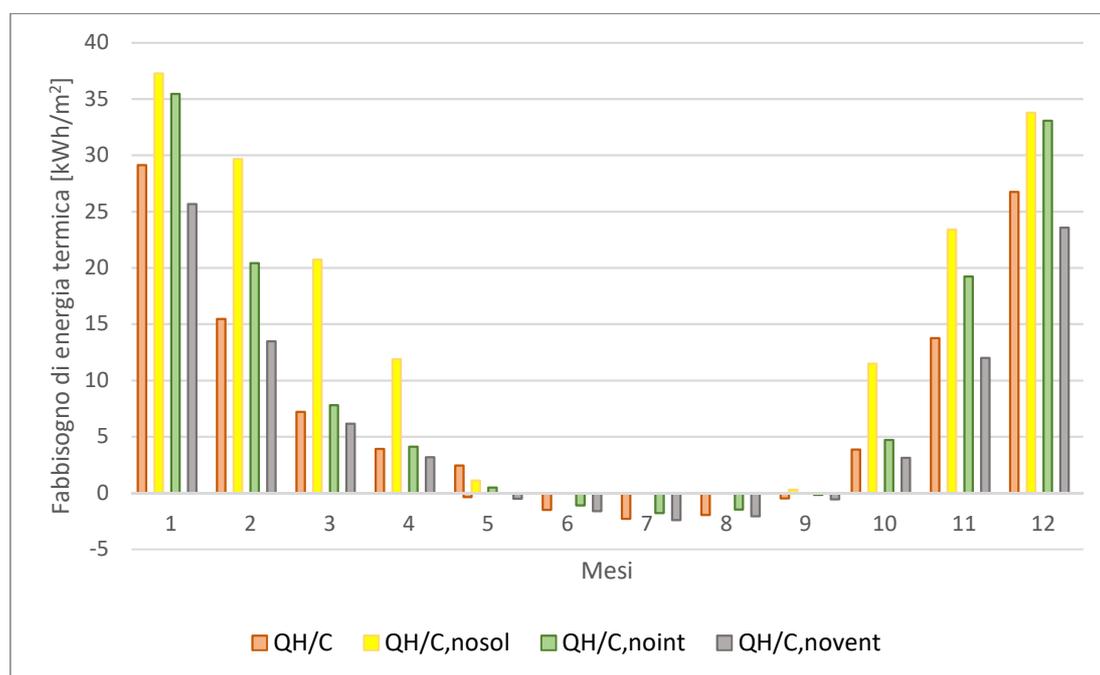


Figura 5.1.2-1 – Confronto tra i calcoli mensili con la norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente

Tabella 5.1.2-1 – Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Mensile	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	29	15	7	4	2	0	0	0	0	4	14	27
				Q _C	0	0	0	0	0	-2	-2	-2	0	0	0	0
13790	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	37	30	21	12	1	0	0	0	0	11	23	34
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13790	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	35	20	8	4	0	0	0	0	0	5	19	33
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	0
13790	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	26	13	6	3	0	0	0	0	0	3	12	24
				Q _C	0	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-1	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

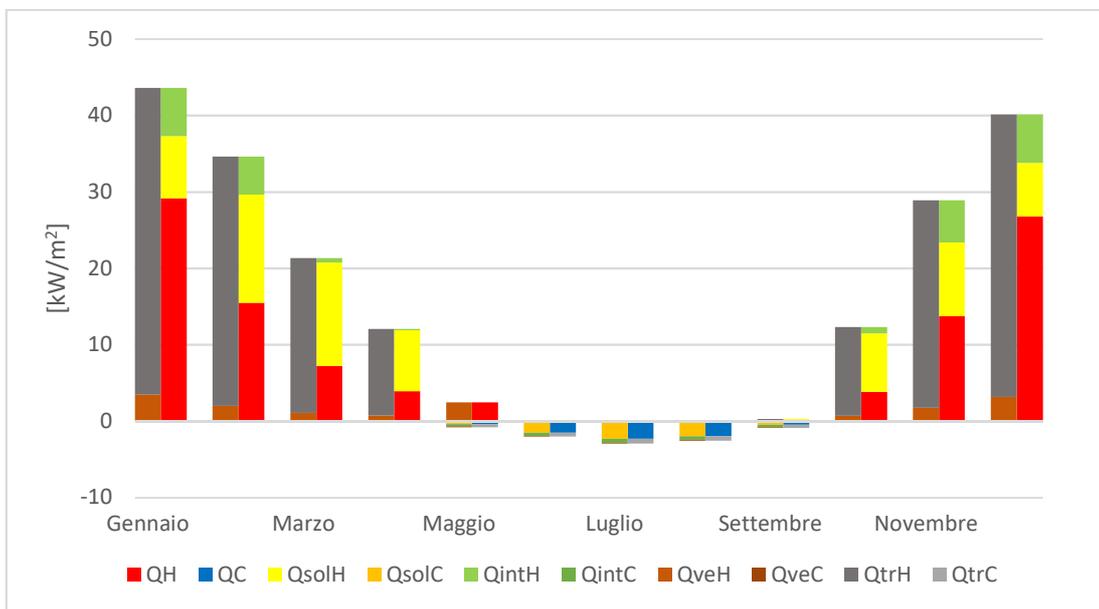


Figura 5.1.2-2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente

Si conclude infine riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 5.1.2-2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 13790 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Mensile	Intermittente	Q _{sol}	Q _H	8	14	14	8	0	0	0	0	0	8	10	7
				Q _C	0	0	0	0	0	-2	-2	-2	0	0	0	0
13790	Mensile	Intermittente	Q _{int}	Q _H	6	5	1	0	0	0	0	0	0	1	5	6
				Q _C	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
13790	Mensile	Intermittente	Q _{ve}	Q _H	3	2	1	1	2	0	0	0	0	1	2	3
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13790	Mensile	Intermittente	Q _{tr}	Q _C	40	33	20	11	0	0	0	0	0	12	27	37
				Q _C	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

5.1.3 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

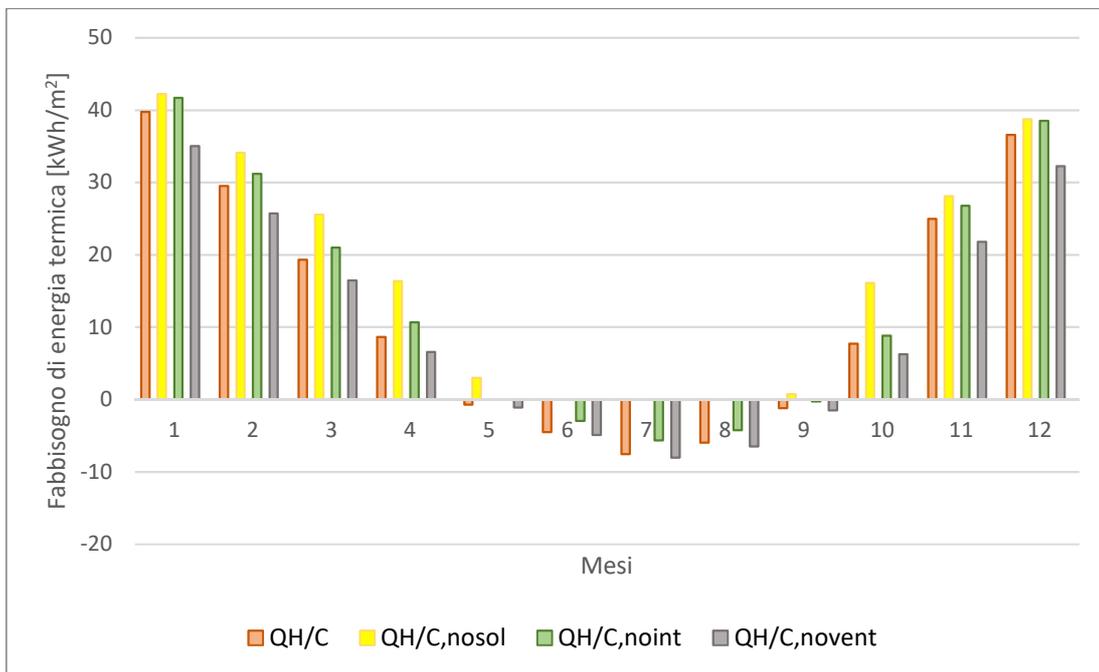


Figura 5.1.3-1 – Confronto tra i calcoli mensili con la norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo

Tabella 5.1.3-1 – Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
11300-1	Mensile	Continuo	Fabbisogno	Q _H	40	30	19	9	0	0	0	0	0	8	25	37
				Q _C	0	0	0	0	-1	-5	-8	-6	-1	0	0	0
11300-1	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	42	34	26	16	3	0	0	0	1	16	28	39
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	42	31	21	11	0	0	0	0	0	9	27	39
				Q _C	0	0	0	0	0	-3	-6	-4	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	35	26	16	7	0	0	0	0	0	6	22	32
				Q _C	0	0	0	0	-1	-5	-8	-6	-1	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

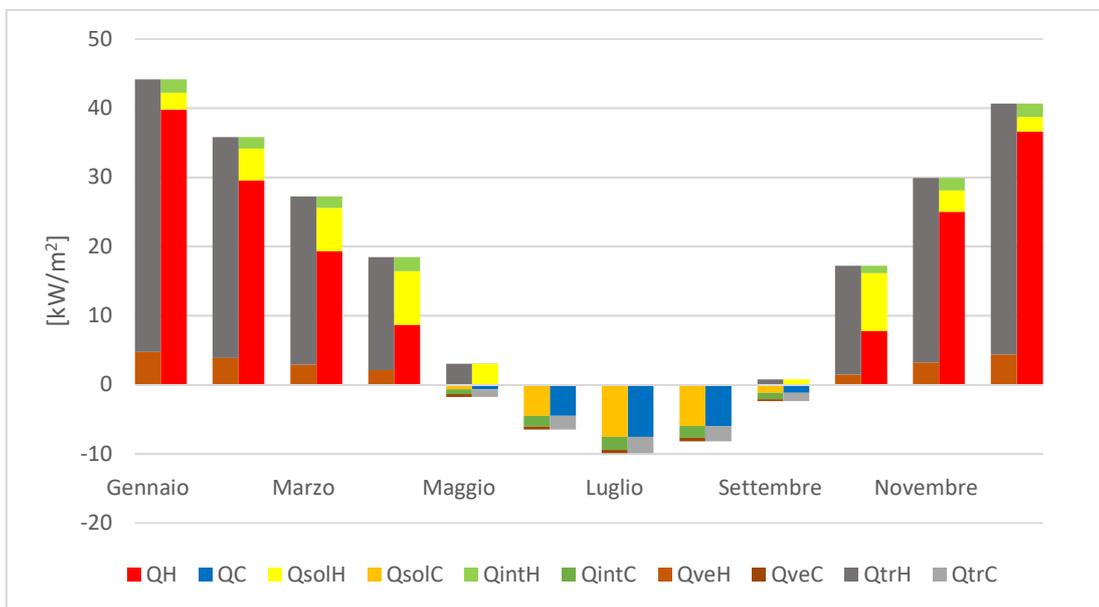


Figura 5.1.3-2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo

Si conclude infine riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 5.1.3-2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
11300-1	Mensile	Continuo	Q _{sol}	Q _H	2	5	6	8	3	0	0	0	1	8	3	2
				Q _C	0	0	0	0	-1	-5	-8	-6	-1	0	0	0
11300-1	Mensile	Continuo	Q _{int}	Q _H	2	2	2	2	0	0	0	0	0	1	2	2
				Q _C	0	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-1	0	0	0
11300-1	Mensile	Continuo	Q _{ve}	Q _H	5	4	3	2	0	0	0	0	0	1	3	4
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Continuo	Q _{tr}	Q _C	39	32	24	16	3	0	0	0	1	16	27	36
				Q _C	0	0	0	0	1	2	2	2	1	0	0	0

5.1.4 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

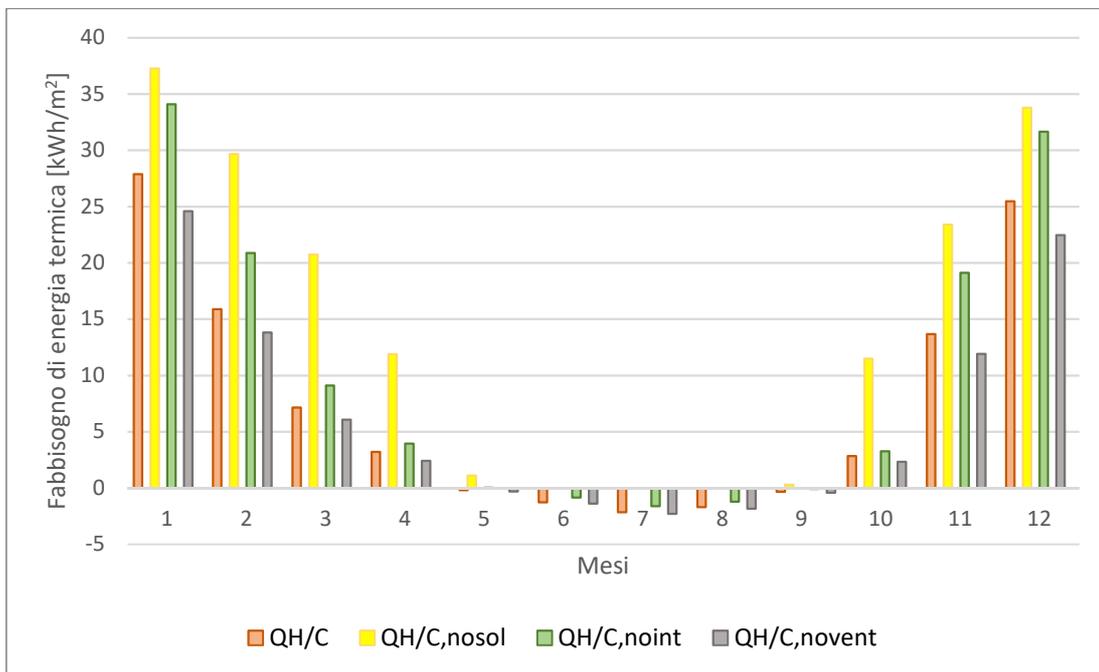


Figura 5.1.4-1 – Confronto tra i calcoli mensili con la norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente

Tabella 5.1.4-1 – Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
11300-1	Mensile	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	28	16	7	3	0	0	0	0	0	3	14	25
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	37	30	21	12	1	0	0	0	0	11	23	34
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	34	21	9	4	0	0	0	0	0	3	19	32
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	25	14	6	2	0	0	0	0	0	2	12	22
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

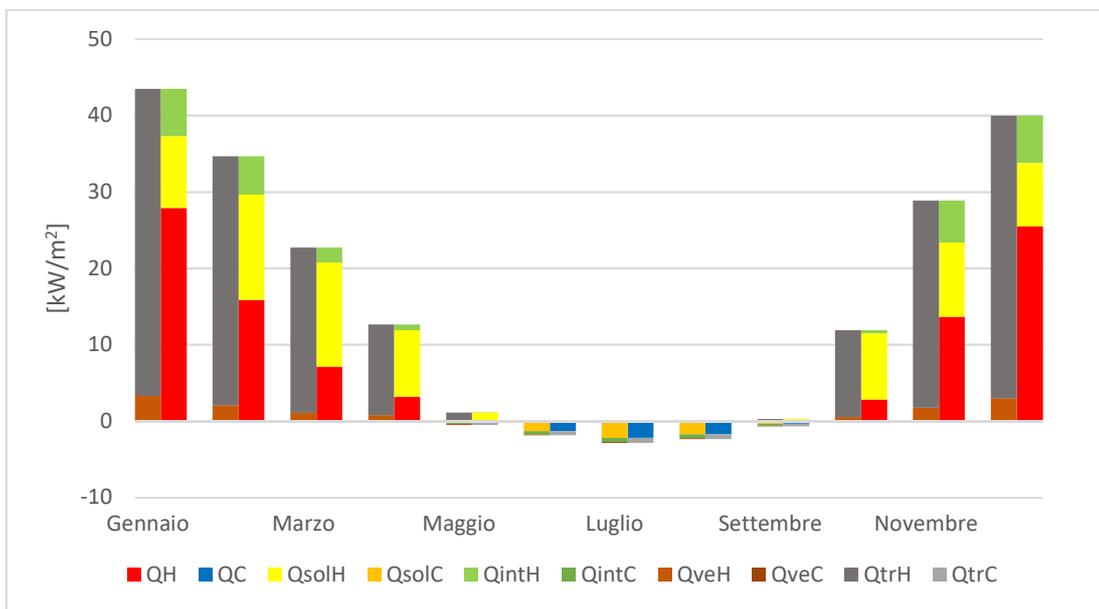


Figura 5.1.4-2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente

Si conclude infine riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 5.1.4-2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI/TS 11300-1 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
11300-1	Mensile	Intermittente	Q _{sol}	Q _H	9	14	14	9	1	0	0	0	0	9	10	8
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Intermittente	Q _{int}	Q _H	6	5	2	1	0	0	0	0	0	0	5	6
				Q _C	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Intermittente	Q _{ve}	Q _H	3	2	1	1	0	0	0	0	0	1	2	3
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11300-1	Mensile	Intermittente	Q _{tr}	Q _C	40	33	22	12	1	0	0	0	0	11	27	37
				Q _C	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

5.2 Il calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 52016-1

Analogamente a quanto precedentemente definito, anche la UNI EN ISO 52016-1 presenta una metodologia di calcolo quasi stazionaria che di fatto non si distacca molto dalla UNI EN ISO 13790, condividendo la presenza di un calcolo semplificato con l'applicazione di coefficienti di utilizzazione degli apporti atti a portare una maggiore somiglianza con il comportamento reale. Data la relativa semplicità di questo metodo si è nuovamente proceduto impiegando dei fogli di calcolo.

5.2.1 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

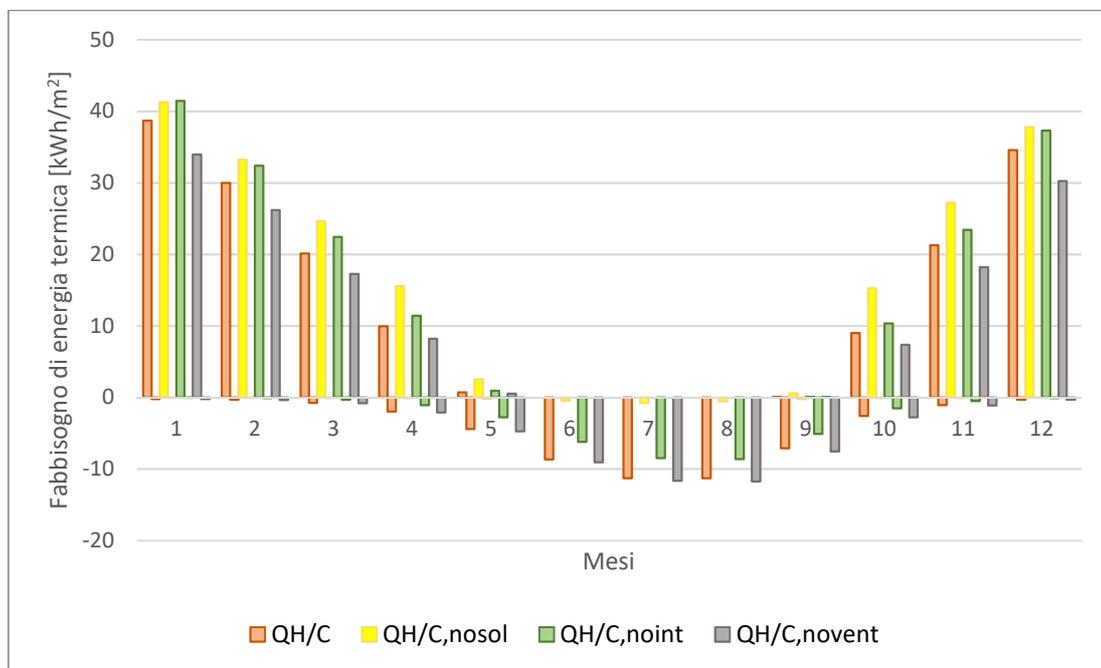


Figura 5.2.1-1 – Confronto tra i calcoli mensili con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Tabella 5.2.1-1 – Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Mensile	Continuo	Fabbisogno	Q _H	39	30	20	10	1	0	0	0	0	9	21	35
				Q _C	0	0	-1	-2	-4	-9	-11	-11	-7	-3	-1	0
52016-1	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	41	33	25	16	3	0	0	0	1	15	27	38
				Q _C	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
52016-1	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	41	32	22	11	1	0	0	0	0	10	23	37
				Q _C	0	0	0	-1	-3	-6	-8	-9	-5	-2	0	0
52016-1	Mensile	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	34	26	17	8	1	0	0	0	0	7	18	30
				Q _C	0	0	-1	-2	-5	-9	-12	-12	-8	-3	-1	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

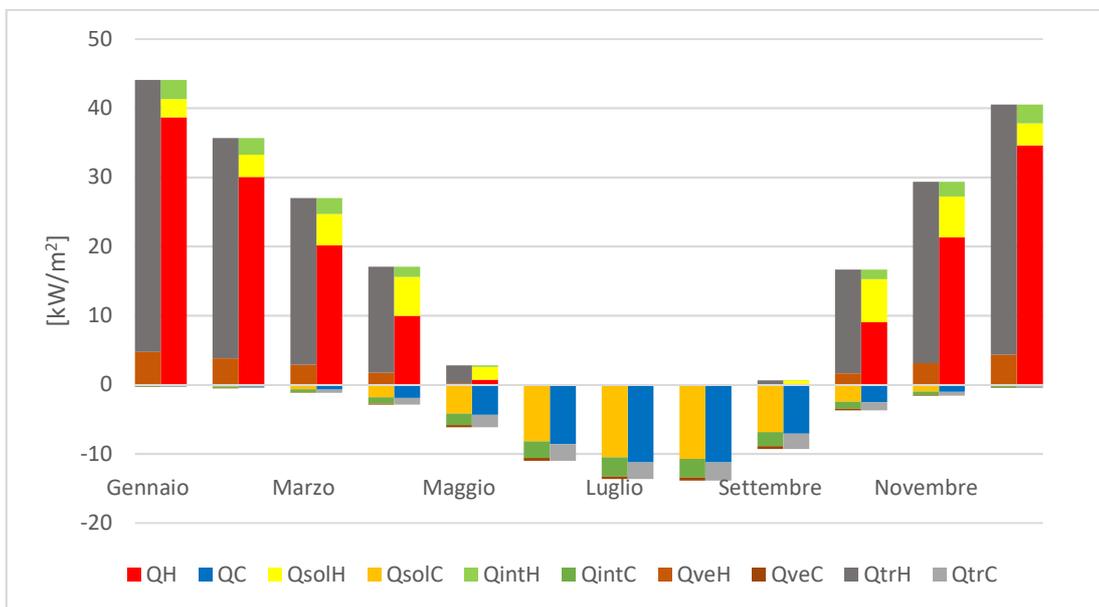


Figura 5.2.1-2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Si conclude infine riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 5.2.1-2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Mensile	Continuo	Q _{sol}	Q _H	3	3	5	6	2	0	0	0	1	6	6	3
				Q _C	0	0	-1	-2	-4	-8	-11	-11	-7	-2	-1	0
52016-1	Mensile	Continuo	Q _{int}	Q _H	3	2	2	1	0	0	0	0	0	1	2	3
				Q _C	0	0	0	-1	-2	-2	-3	-3	-2	-1	-1	0
52016-1	Mensile	Continuo	Q _{ve}	Q _H	5	4	3	2	0	0	0	0	0	2	3	4
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52016-1	Mensile	Continuo	Q _{tr}	Q _C	39	32	24	15	3	0	0	0	1	15	26	36
				Q _C	0	0	0	1	2	2	2	3	2	1	1	0

5.2.2 I risultati del calcolo mensile con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

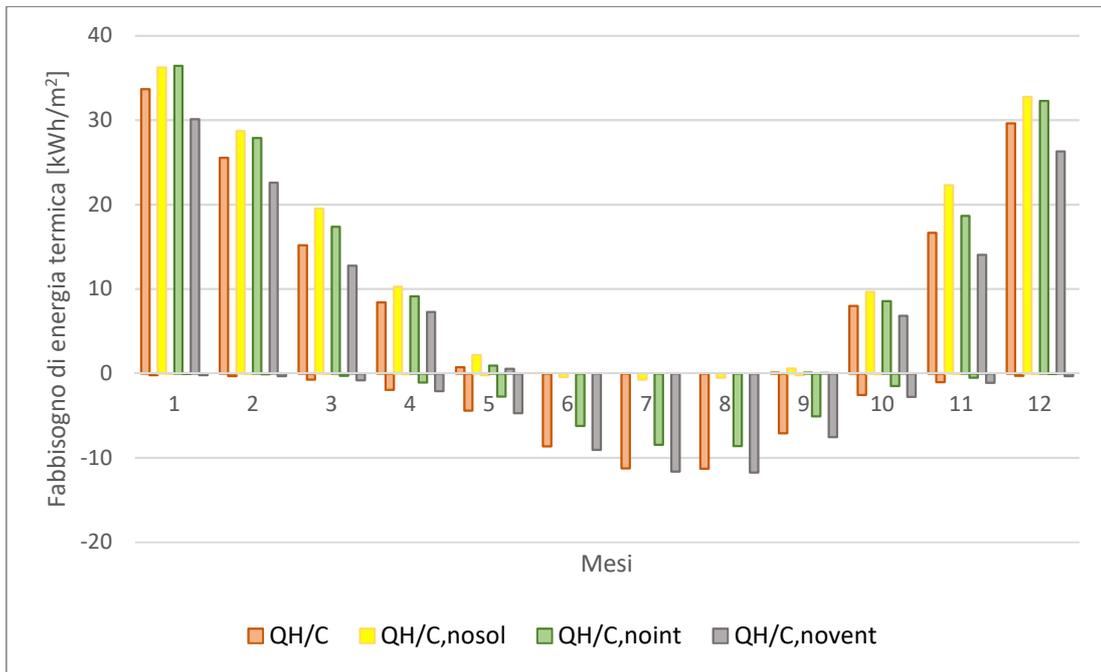


Figura 5.2.2-1 – Confronto tra i calcoli mensili con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Tabella 5.2.2-1 – Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile del metodo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Mensile	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	34	26	15	8	1	0	0	0	0	8	17	30
				Q _C	0	0	-1	-2	-4	-9	-11	-11	-7	-3	-1	0
52016-1	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	36	29	20	10	2	0	0	0	1	10	22	33
				Q _C	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
52016-1	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	36	28	17	9	1	0	0	0	0	9	19	32
				Q _C	0	0	0	-1	-3	-6	-8	-9	-5	-2	0	0
52016-1	Mensile	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	30	23	13	7	1	0	0	0	0	7	14	26
				Q _C	0	0	-1	-2	-5	-9	-12	-12	-8	-3	-1	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

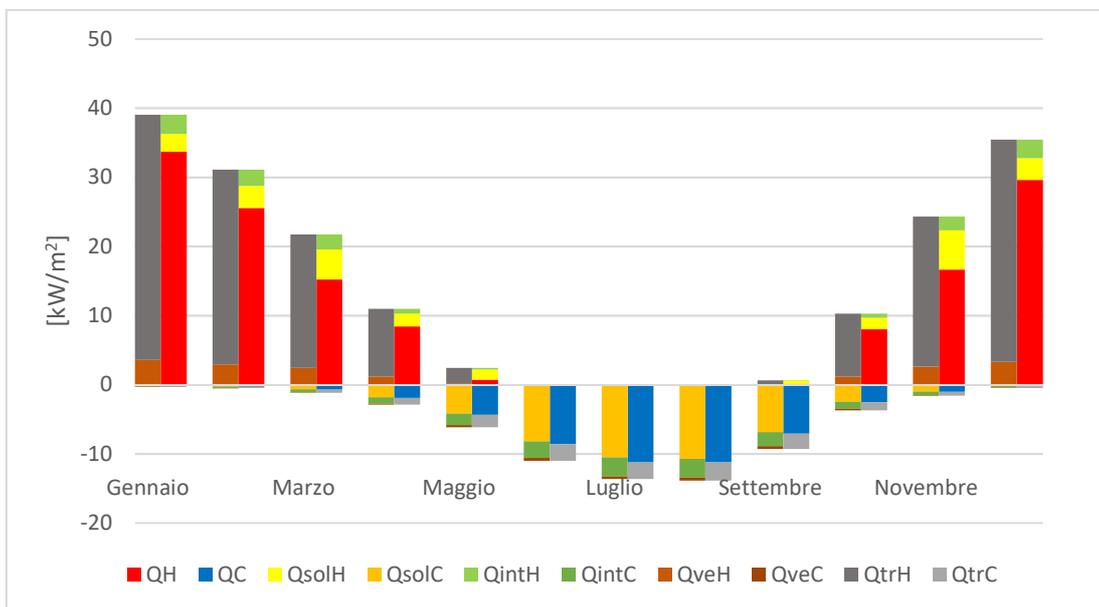


Figura 5.2.2-2 - Influenza degli apporti nel calcolo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Si conclude infine riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 5.2.2-2 - Fabbisogni del metodo mensile della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Mensile	Intermittente	Q _{sol}	Q _H	3	3	4	2	1	0	0	0	1	2	6	3
				Q _C	0	0	-1	-2	-4	-8	-11	-11	-7	-2	-1	0
52016-1	Mensile	Intermittente	Q _{int}	Q _H	3	2	2	1	0	0	0	0	0	1	2	3
				Q _C	0	0	0	-1	-2	-2	-3	-3	-2	-1	-1	0
52016-1	Mensile	Intermittente	Q _{ve}	Q _H	4	3	2	1	0	0	0	0	0	1	3	3
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52016-1	Mensile	Intermittente	Q _{tr}	Q _C	35	28	19	10	2	0	0	0	1	9	22	32
				Q _C	0	0	0	1	2	2	2	3	2	1	1	0

6 Calcolo orario

6.1 Il calcolo orario con la norma UNI EN ISO 13790

Al fine di poter apprezzare quanto gli apporti solari e quelli interni influiscano sui fabbisogni energetici dell'edificio di interesse, si è proceduto in maniera analoga a quanto fatto per i metodi mensili, reiterando quindi la metodologia di calcolo considerando inizialmente il caso reale, nel quale risultano quindi essere tutti presenti, e procedendo poi elidendo ogni volta uno dei parametri sopra citati; si è poi continuato attuando la medesimo procedura con le dispersioni dovute alla ventilazione, in modo da poter ricavare anche il peso degli scambi di calore tramite trasmissione.

6.1.1 I risultati del calcolo orario con la norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

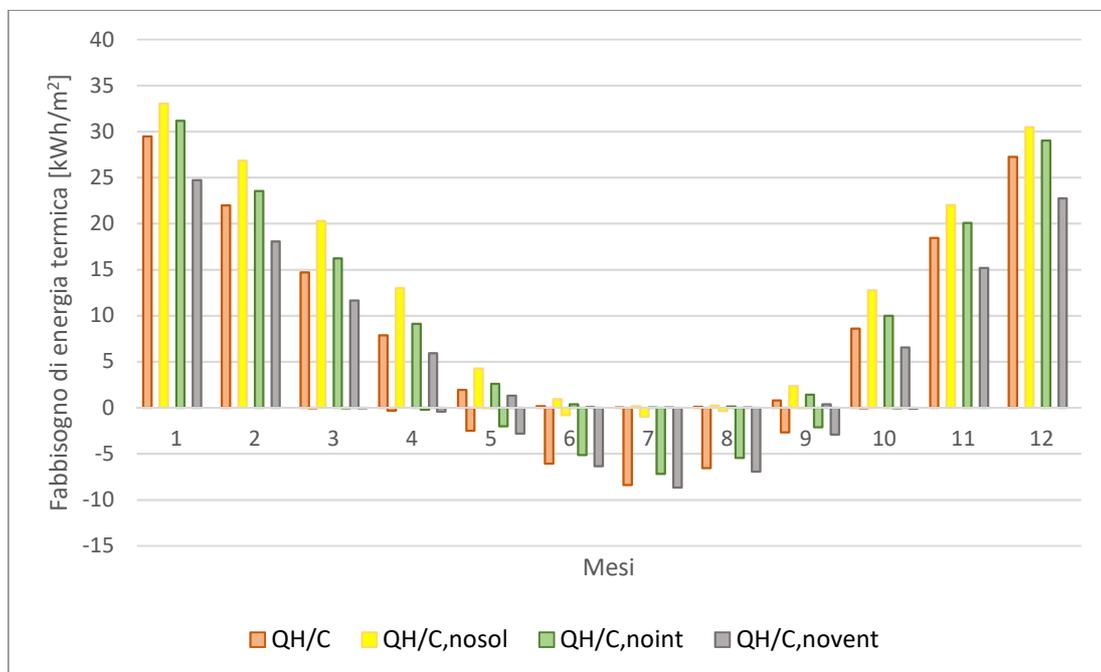


Figura 6.1.1-1 – Confronto tra i calcoli orari con la norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Tabella 6.1.1-1 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Orario	Continuo	Fabbisogno	Q _H	29	22	15	8	2	0	0	0	1	9	18	27
				Q _C	0	0	0	0	-3	-6	-8	-7	-3	0	0	0
13790	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	33	27	20	13	4	1	0	0	2	13	22	31
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0
13790	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	31	24	16	9	3	0	0	0	1	10	20	29
				Q _C	0	0	0	0	-2	-5	-7	-5	-2	0	0	0
13790	Orario	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	25	18	12	6	1	0	0	0	0	7	15	23
				Q _C	0	0	0	0	-3	-6	-9	-7	-3	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

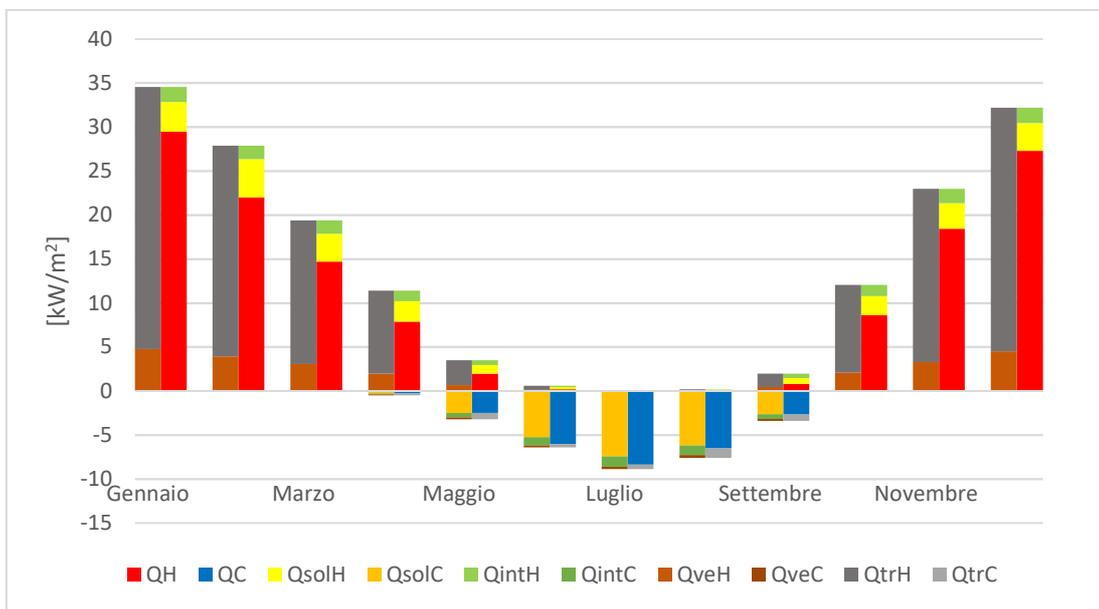


Figura 6.1.1-2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Si continua riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 6.1.1-2 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Orario	Continuo	Q _{sol}	Q _H	3	4	3	2	1	0	0	0	1	2	3	3
				Q _C	0	0	0	0	-2	-5	-7	-6	-3	0	0	0
13790	Orario	Continuo	Q _{int}	Q _H	2	2	2	1	1	0	0	0	0	1	2	2
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0
13790	Orario	Continuo	Q _{ve}	Q _H	5	4	3	2	1	0	0	0	0	2	3	5
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13790	Orario	Continuo	Q _{tr}	Q _C	30	24	16	9	3	0	0	0	2	10	20	28
				Q _C	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0

Si conclude con la presentazione dei valori dei picchi orari analizzati mensilmente.

Tabella 6.1.1-3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Potenza di picco degli impianti di climatizzazione [W/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Orario	Continuo	Fabbisogno	Q _H	63	58	54	44	24	18	5	17	13	51	57	61
				Q _C	0	0	-3	-21	-35	-41	-44	-40	-31	-8	0	0
13790	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	64	59	54	45	25	22	10	18	19	51	57	61
				Q _C	0	0	0	0	-3	-16	-19	-14	-4	0	0	0
13790	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	66	61	57	47	27	22	8	20	17	54	59	64
				Q _C	0	0	0	-19	-33	-39	-42	-37	-28	-6	0	0
13790	Orario	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	51	48	43	34	19	11	1	12	9	41	47	50
				Q _C	0	0	-4	-22	-35	-40	-41	-38	-31	-9	0	0

6.1.2 I risultati del calcolo orario con la norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

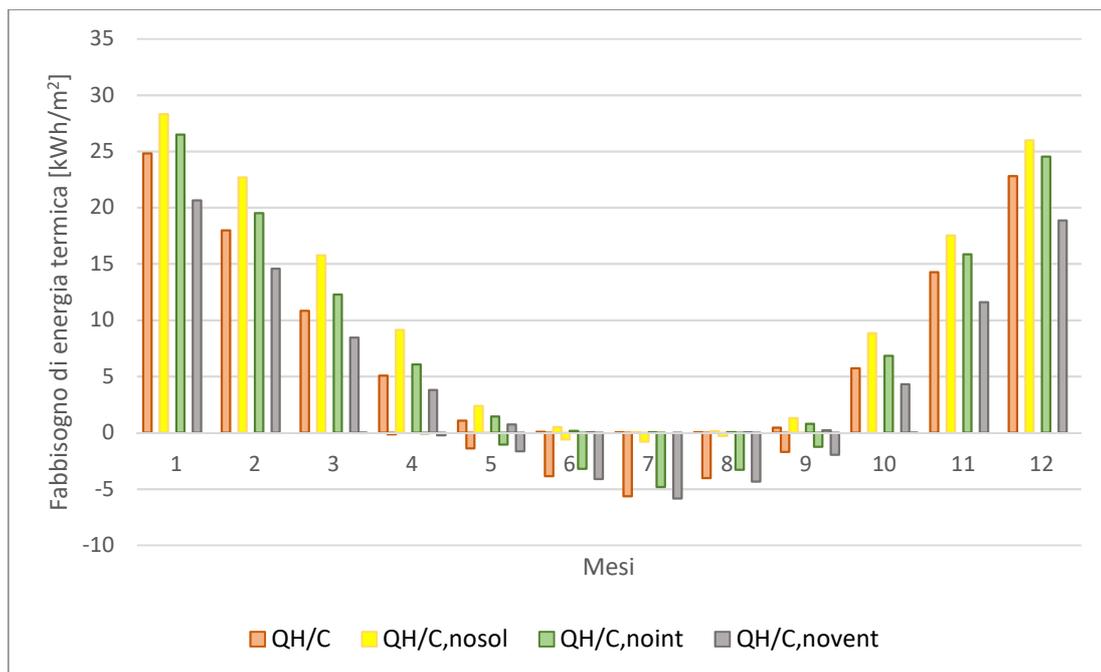


Figura 6.1.2-1 – Confronto tra i calcoli orari con la norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente

Tabella 6.1.2-1 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Orario	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	25	18	11	5	1	0	0	0	0	6	14	23
				Q _C	0	0	0	0	-1	-4	-6	-4	-2	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	28	23	16	9	2	1	0	0	1	9	18	26
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	27	20	12	6	1	0	0	0	1	7	16	25
				Q _C	0	0	0	0	-1	-3	-5	-3	-1	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	21	15	8	4	1	0	0	0	0	4	12	19
				Q _C	0	0	0	0	-2	-4	-6	-4	-2	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

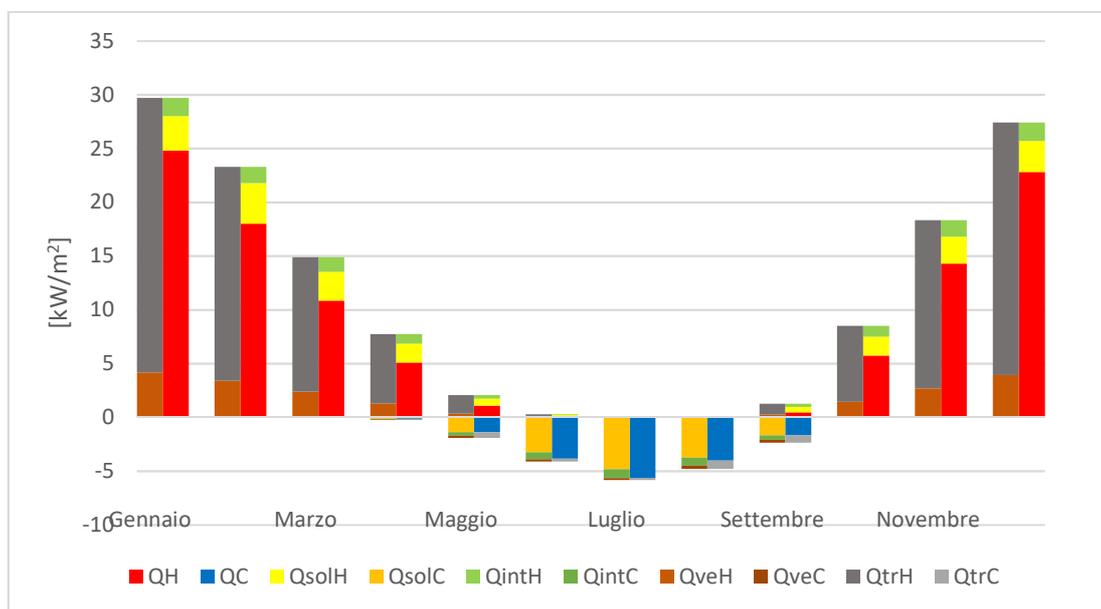


Figura 6.1.2-2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente

Si continua riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 6.1.2-2 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Orario	Intermittente	Q _{sol}	Q _H	3	4	3	2	1	0	0	0	0	2	3	3
				Q _C	0	0	0	0	-1	-3	-5	-4	-2	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Q _{int}	Q _H	2	2	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Q _{ve}	Q _H	4	3	2	1	0	0	0	0	0	1	3	4
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Q _{tr}	Q _C	26	20	12	6	2	0	0	0	1	7	16	23
				Q _C	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0

Si conclude con la presentazione dei valori dei picchi orari analizzati mensilmente.

Tabella 6.1.2-3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario della norma UNI EN ISO 13790 in regime Intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Potenza di picco degli impianti di climatizzazione [W/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Orario	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	79	75	71	61	40	22	2	21	22	66	74	77
				Q _C	0	0	0	-28	-56	-78	-70	-66	-44	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	79	75	71	62	42	35	14	31	27	67	74	77
				Q _C	0	0	0	0	-3	-27	-22	-14	-5	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	81	77	73	63	43	28	8	27	27	69	76	79
				Q _C	0	0	0	-23	-50	-73	-65	-61	-38	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	68	63	59	51	34	13	0	13	18	58	62	67
				Q _C	0	0	0	-32	-58	-78	-71	-67	-45	-3	0	0

6.2 Il calcolo orario con la norma UNI EN ISO 52016-1

Il procedimento di calcolo del metodo orario della UNI EN ISO 52016-1, contrariamente a quello proposto nella UNI EN ISO 13790, presenta delle formule ricorsive e dei calcoli matriciali, operazioni pertanto non realizzabili in tempi ragionevoli mediante un calcolo manuale od un semplice foglio di calcolo anche se, di fatto, è comunque possibile implementare a quest'ultimo una macro al fine di ottenere i dati di input necessari. Tale procedimento è stato applicato dai realizzatori della norma ma, analizzando nel dettaglio lo script da essi proposto, si sono notate alcune variazioni rispetto alle formule proposte in norma, nonché diverse limitazioni sulla dimensione dei dati di input inerenti, ad esempio, il numero di nodi massimi considerabili. Essendo la macro di difficile modifica e ritenendo quindi inefficiente una completa riscrittura, si è deciso di impiegare un vero e proprio programma di calcolo termotecnico già contenente le metodologie di calcolo presenti nella succitata norma. Per soddisfare tale compito si è deciso di impiegare Termolog, un software di proprietà della Logical Soft.

Di seguito vengono delineati i passaggi impiegati per definire l'input, sono inoltre presentati gli output proposti dal programma.

Vengono in primis definiti i dati geografici dell'edificio, quali il comune e l'indirizzo, nonché le coordinate della località, inseribili o in alternativa calcolabili automaticamente.

Nel caso in esame si è deciso di considerare Corso Duca degli Abruzzi 24 a Torino come indirizzo di riferimento.

Altri dati possono essere inseriti, inerentemente le caratteristiche d'intervento e la data di costruzione, informazioni che però non sono di fatto necessarie per lo scopo prefissato di questo lavoro. Si inserisce inoltre la destinazione d'uso prevalente dell'edificio in analisi, in questo caso abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, con codice E.1(1).

The screenshot shows the 'Compi i dati generali' (Complete general data) form in the Termolog software. The form is organized into several sections:

- Comune:** Torino
- Indirizzo:** Corso Duca degli Abruzzi
- Coordinate GIS:** Lat. 45,22, Long. 7,65
- Descrizione:** (Empty text area)
- Anno costruzione edificio:** 2018
- Edificio:** pubblico ad uso pubblico in centro storico
- Intervento:**
 - Riqualificazione energetica: intervento che interessa l'involucro
 - Comprende la sostituzione del generatore
 - Edificio a energia quasi zero (nZEB)
- Destinazione prevalente:** E.1(1). - residenza e assimilabili: abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo
- Permits:**
 - Richiesta permesso di costruire o presentazione DIA: Data 12/03/2018, n° pratica
 - Permesso di costruire / DIA / SCIA / CIL o CIA: Data 12/03/2018, n° pratica
 - Variante permesso di costruire / DIA / SCIA / CIL o CIA: Data 12/03/2018, n° pratica

Figura 6.2-1 – Inserimento dei dati geografici dell'edificio. (Termolog)

Di notevole importanza è inoltre l'inserimento dei dati climatici; benché sia possibile considerare i profili orari già presenti nell'archivio di Termolog, si è preferito inserire i dati ottenuti applicando la norma UNI EN ISO 52010-1 ai profili orari proposti dal Comitato Termotecnico Italiano.

Contestualmente è inoltre possibile definire presenza e la tipologia, centralizzata o autonoma, della climatizzazione estiva, invernale e dell'acqua calda sanitaria; tale procedura è però non indispensabile in quanto questa tesi di laurea ha l'obiettivo di analizzare i fabbisogni di energia termica utile dell'edificio.

Si procede quindi definendo le zone termiche di interesse, con la possibilità di suddividere queste ultime nei vari ambienti che le compongono; è possibile inoltre definire le caratteristiche inerenti alle capacità termiche dell'ambiente, nonché quelle geometriche che però si è preferito definire mediante input grafico.

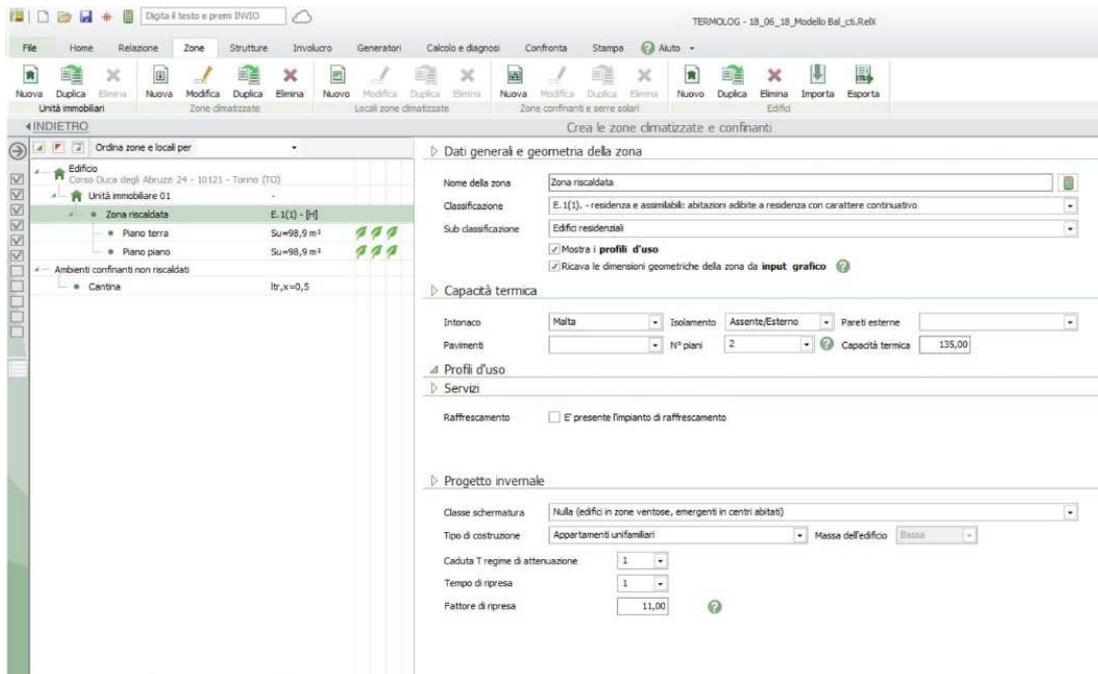


Figura 6.2-2 – Inserimento dei relativi alle zone dell'edificio. (Termolog)

Di particolare importanza è inoltre la definizione dei profili d'uso: è infatti possibile definire su base oraria per le settimane delle varie stagioni di riscaldamento e raffrescamento diversi parametri, quali il set-point di riscaldamento e di raffrescamento, le portate di ventilazione, i carichi interni totali nonché le portate di vapore acqueo prodotte internamente all'ambiente.

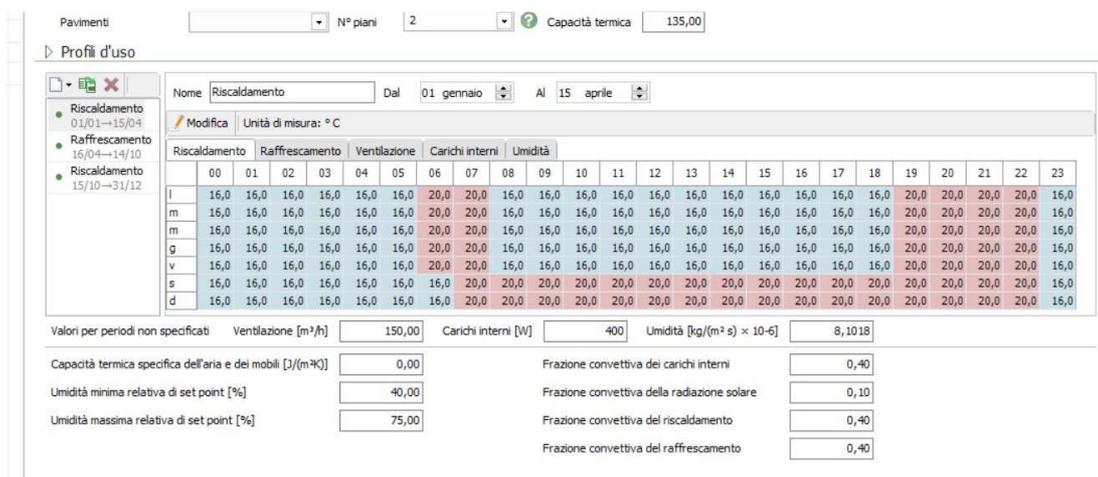


Figura 6.2-3 – Inserimento dei profili di riscaldamento dell'edificio. (Termolog)

Si procede quindi definendo nel *tab* strutture i vari componenti opachi e trasparenti, nonché i ponti termici, che andranno a formare l'edificio interessato, definendo per ciascuno di essi le stratigrafie e quindi i vari materiali che li compongono, delineando in maniera precisa le caratteristiche termiche ed igrometriche di questi ultimi.

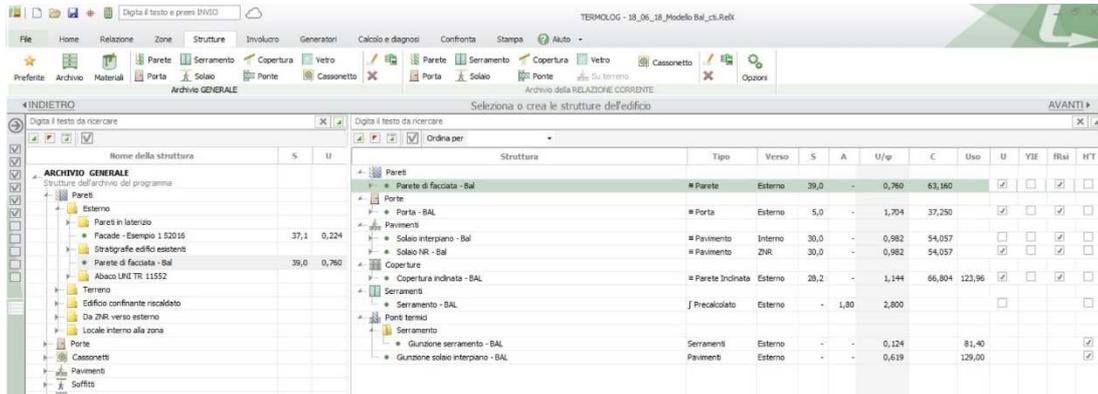


Figura 6.2-4 – Definizione delle strutture dell'edificio. (Termolog)

Si conclude infine la vera e propria fase di delineazione dell'input definendo le caratteristiche geometriche dell'edificio di interesse, al fine di fare ciò due strade sono percorribili; una prima possibilità consiste nell'inserimento mediante una tabella delle strutture precedentemente definite, indicando l'orientamento nonché l'estensione delle stesse; l'altra opzione prevede la modellazione dell'edificio in un campo di lavoro tridimensionale. Quest'ultima è stata la via scelta in quanto rende possibile un controllo diretto sull'inserimento dei dati rendendo, secondo l'opinione di chi scrive, più semplice e privo di errori l'inserimento dei componenti dell'edificio.

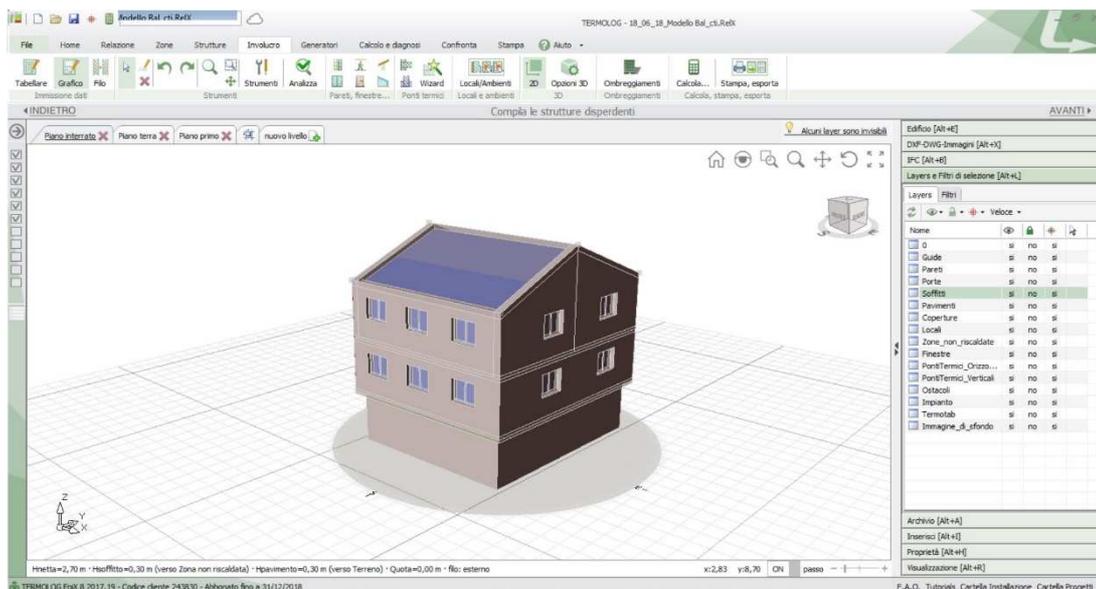


Figura 6.2-5 – Modellazione tridimensionale dell’edificio. (Termolog)

Prima di effettuare il vero e proprio calcolo orario, viene infine aperta un’ultima scheda nella quale è possibile definire come l’impianto eventualmente precedentemente definito influisce sul calcolo stesso; data la tipologia di calcolo in questo caso richiesta, si attua la scelta “Profilo reale e potenza infinita” che, come chiaramente definito dal nome stesso, utilizza i profili di impiego inizialmente definiti impiegando però non l’impianto “reale” bensì uno fittizio avente potenza infinita, caso ideale per la sola definizione del fabbisogno energetico di un edificio. È inoltre possibile controllare i dati inerenti alla superficie utile sottoposta a calcolo nonché la somma complessiva dei ponti termici, espressa in W/m.

Si definiscono infine le frazioni convettive di carichi interni, radiazione solare, di riscaldamento e raffrescamento; tali parametri, i cui valori sono riportati nella tabella 6.2-1, sono stati definiti seguendo quanto indicato nell’appendice B della UNI EN ISO 52016-1 come valori da considerare nei casi generali.

Tabella 6.2-1 – Definizione dei coefficienti per le frazioni convettive

Definizione dei coefficienti per le frazioni convettive	
Frazione interessata	Coefficiente [-]
Frazione convettiva dei carichi interni	0,40
Frazione convettiva della radiazione solare	0,10
Frazione convettiva del riscaldamento	0,40
Frazione convettiva dei carichi interni	0,40

Calcolo orario

Opzioni di calcolo

Carico termico con impianto specifico
 Edificio senza impianto
 Temperature di involucro (Free floating)
 Carico termico con profilo ideale
 Carico termico ideale con profilo d'uso reale

Edificio e impianto reali
 Edificio senza impianto
 Profilo ideale e potenza infinita
 Profilo reale e potenza infinita

Valuta la temperatura di set-point secondo:
 calcolo ISO 52016 (utilizza temperatura operante)
 calcolo ASHRAE 140 (utilizza temperatura dell'aria interna)

specifica intervallo

Zona climatizzata:
 Unità immobiliare 01 - Zona riscaldata

Dettagli di calcolo

Superficie utile	197,86 m ²	Frazione convettiva dei carichi interni	<input type="text" value="0,40"/>
Somma dei ponti termici (Htr, tb)	89,945 W/K	Frazione convettiva della radiazione solare	<input type="text" value="0,10"/>
Potenza massima riscaldamento	∞ W	Frazione convettiva del riscaldamento	<input type="text" value="0,40"/>
Potenza massima raffrescamento	∞ W	Frazione convettiva del raffrescamento	<input type="text" value="0,40"/>

OK Annulla

Figura 6.2-6 – Definizione della tipologia di calcolo orario. (Termolog)

6.2.1 I risultati del calcolo orario con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

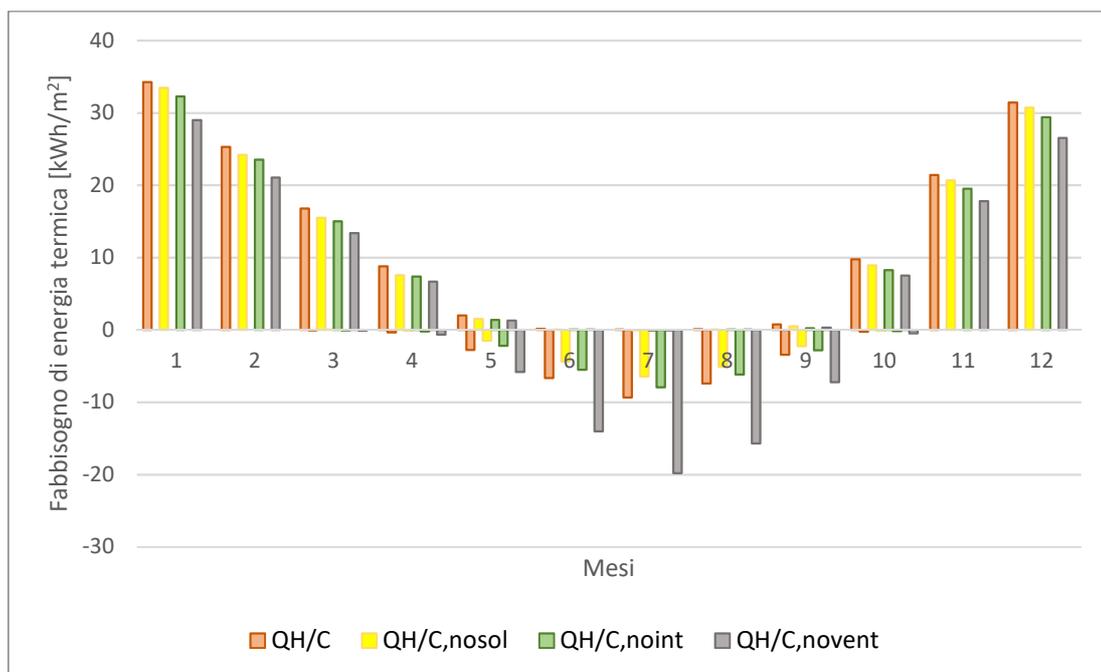


Figura 6.2.1-1 – Confronto tra i calcoli orari con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Tabella 6.2.1-1 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Orario	Continuo	Fabbisogno	Q _H	34	25	17	9	2	0	0	0	1	10	21	31
				Q _C	0	0	0	0	-3	-7	-9	-7	-3	0	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	33	24	15	8	2	0	0	0	0	9	21	31
				Q _C	0	0	0	0	-1	-4	-6	-5	-2	0	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	32	24	15	7	1	0	0	0	0	8	20	29
				Q _C	0	0	0	0	-2	-6	-8	-6	-3	0	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	29	21	13	7	1	0	0	0	0	8	18	27
				Q _C	0	0	0	-1	-6	-14	-20	-16	-7	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

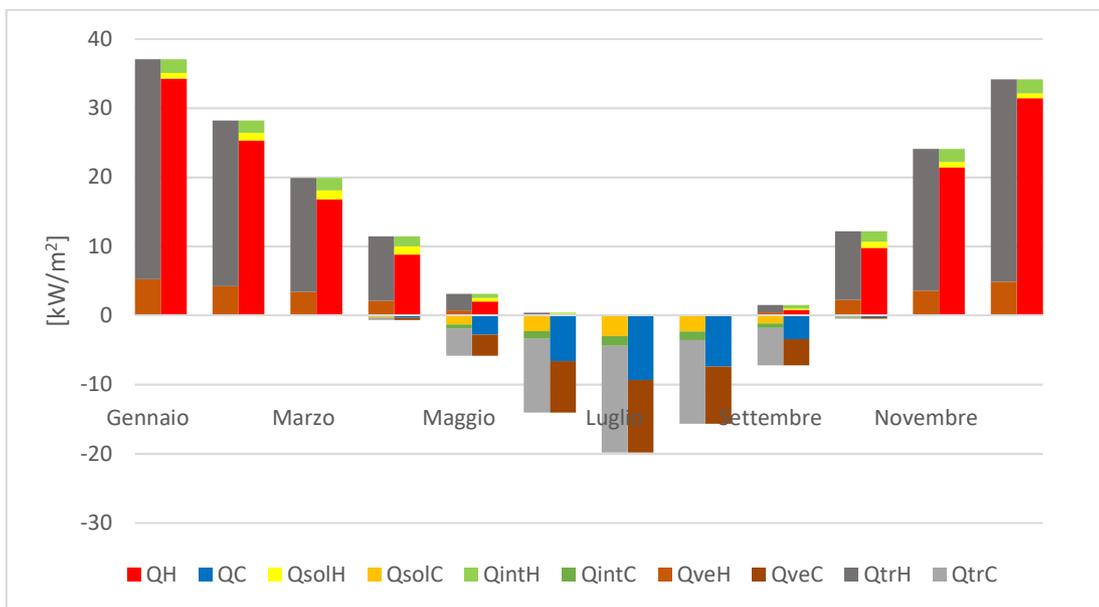


Figura 6.2.1-2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Si continua riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 6.2.1-2 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Orario	Continuo	Q _{sol}	Q _H	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
				Q _C	0	0	0	0	-1	-2	-3	-2	-1	0	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Q _{int}	Q _H	2	2	2	1	1	0	0	0	1	2	2	2
				Q _C	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Q _{ve}	Q _H	5	4	3	2	1	0	0	0	0	2	4	5
				Q _C	0	0	0	0	3	7	10	8	4	0	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Q _{tr}	Q _C	32	24	16	9	2	0	0	0	1	10	20	29
				Q _C	0	0	0	0	-4	-11	-15	-12	-5	0	0	0

Si conclude con la presentazione dei valori dei picchi orari analizzati mensilmente.

Tabella 6.2.1-3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Potenza di picco degli impianti di climatizzazione [W/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Orario	Continuo	Fabbisogno	Q _H	78	72	64	54	28	19	2	17	13	60	69	74
				Q _C	0	0	-8	-22	-38	-48	-52	-48	-40	-13	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	78	73	65	55	29	22	5	17	16	61	70	75
				Q _C	0	0	0	-14	-29	-40	-45	-40	-35	-7	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	81	75	67	57	31	23	6	20	17	64	72	77
				Q _C	0	0	-5	-19	-36	-46	-49	-44	-37	-10	0	0
52016-1	Orario	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	65	60	53	43	22	12	0	12	10	50	58	63
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.2.2 I risultati del calcolo orario con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

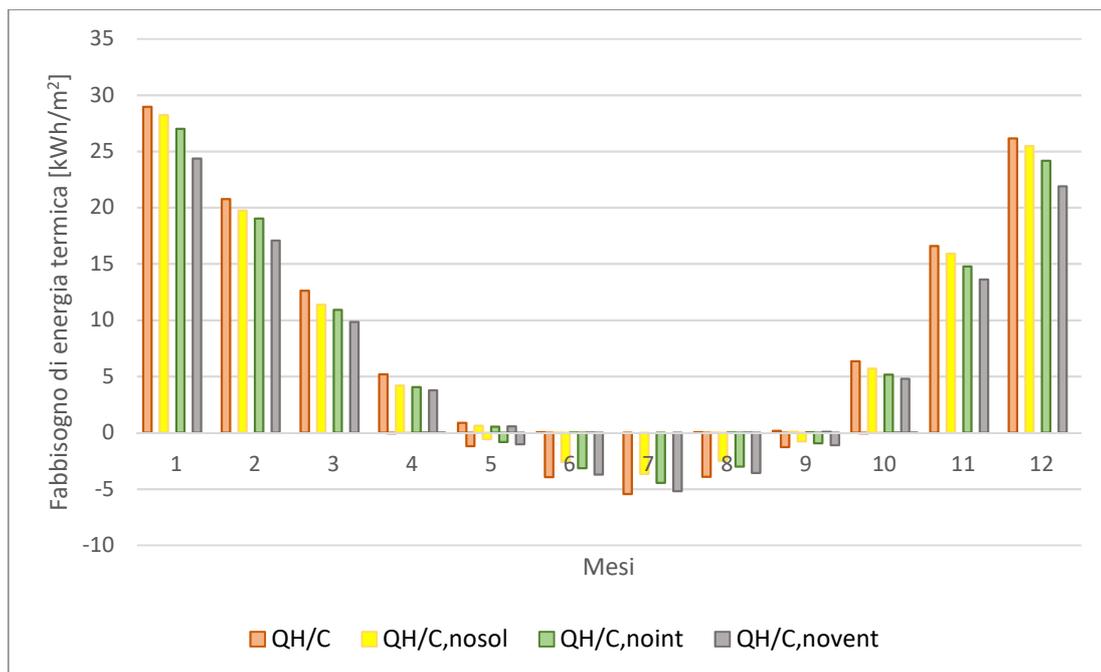


Figura 6.2.2-1 – Confronto tra i calcoli orari con la norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Tabella 6.2.2-1 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Orario	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	29	21	13	5	1	0	0	0	0	6	17	26
				Q _C	0	0	0	0	-1	-4	-5	-4	-1	0	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	28	20	11	4	1	0	0	0	0	6	16	25
				Q _C	0	0	0	0	-1	-3	-4	-2	-1	0	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	27	19	11	4	1	0	0	0	0	5	15	24
				Q _C	0	0	0	0	-1	-3	-4	-3	-1	0	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	24	17	10	4	1	0	0	0	0	5	14	22
				Q _C	0	0	0	0	-1	-4	-5	-4	-1	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

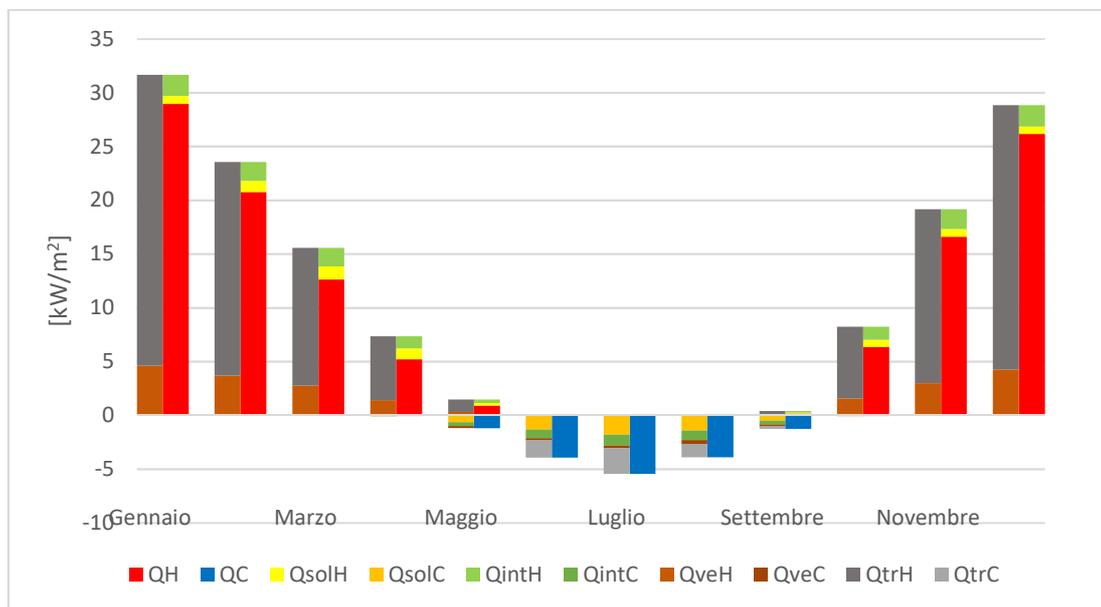


Figura 6.2.2-2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Si continua riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 6.2.2-2 - Fabbisogni del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Orario	Intermittente	Q _{sol}	Q _H	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
				Q _C	0	0	0	0	-1	-1	-2	-1	0	0	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Q _{int}	Q _H	2	2	2	1	0	0	0	0	0	1	2	2
				Q _C	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Q _{ve}	Q _H	5	4	3	1	0	0	0	0	0	2	3	4
				Q _C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Q _{tr}	Q _C	27	20	13	6	1	0	0	0	0	7	16	25
				Q _C	0	0	0	0	0	-2	-2	-1	0	0	0	0

Si conclude con la presentazione dei valori dei picchi orari analizzati mensilmente.

Tabella 6.2.2-3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Potenza di picco degli impianti di climatizzazione [W/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
52016-1	Orario	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	86	80	69	61	31	1	0	4	17	68	78	87
				Q _C	0	0	0	-10	-37	-54	-54	-50	-39	-10	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	86	81	69	62	33	8	4	6	19	69	78	87
				Q _C	0	0	0	0	-28	-43	-46	-41	-32	-5	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	89	83	71	65	35	7	4	9	22	71	80	90
				Q _C	0	0	0	-5	-33	-48	-51	-46	-35	-6	0	0
52016-1	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	77	74	64	53	26	0	0	0	14	62	72	76
				Q _C	0	0	-1	-14	-36	-53	-51	-47	-38	-16	0	0

6.3 Il calcolo orario con la EnergyPlus

Tra i vari software di simulazione energetica dinamica degli edifici di notevole importanza risulta essere EnergyPlus; quest'ultimo grazie alla sua notevole longevità, l'inizio della sua progettazione risale infatti al 1996, e all'importanza dei suoi sviluppatori, ovvero la università di Berkley su richiesta del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti, è riuscito ad imporsi nel mondo dei programmi di termofisica diventando uno dei più affermati ed affidabili riferimenti per il calcolo della prestazione energetica degli edifici.

EnergyPlus nasce come da due altri programmi, BLAST, *Building Loads Analysis and System Thermodynamics*, e DOE-2 risultando non solo una loro fusione, ma anche una vera e propria evoluzione avendo implementato le proprietà di calcolo nonché avendo reso più agevole l'inserimento dei dati di input e il recepimento dell'output. Benché tali progressi l'abbiano reso migliore dei suoi precursori in quanto a fruibilità, quest'ultima rimane il suo vero punto debole; nonostante gli sviluppatori di EnergyPlus abbiano deciso di non prevedere un'interfaccia più facilmente gestibile dall'utenza, forse a causa del fatto che il programma viene fornito gratuitamente, altre *software house* hanno provveduto a fornire la soluzione, come ad esempio OpenStudio e DesignBuilder. Ambedue presentano la possibilità di una realizzazione tridimensionale del modello rendendo possibile l'inserimento dell'input geometrico in maniera più semplice e chiara, oltre a fornire, chiaramente, la procedura di calcolo di EnergyPlus integralmente o con alcune semplificazioni.

DesignBuilder, avendo un'interfaccia più completa ed essendo il più immediato nel disegnare gli edifici, è stato scelto per svolgere la simulazione del caso studio. Esso, nonostante le notevoli differenze, si presenta per molti aspetti simile a Termolog in quanto a definizione dei dati di input; il primo passo consiste nella definizione della posizione geografica dell'edificio di interesse, nonché nell'inserimento dei dati climatici da considerare per i calcoli. Fatto ciò si procede con la definizione delle stratigrafie dei componenti che verranno utilizzati, nonché dei materiali di cui essi sono formati.

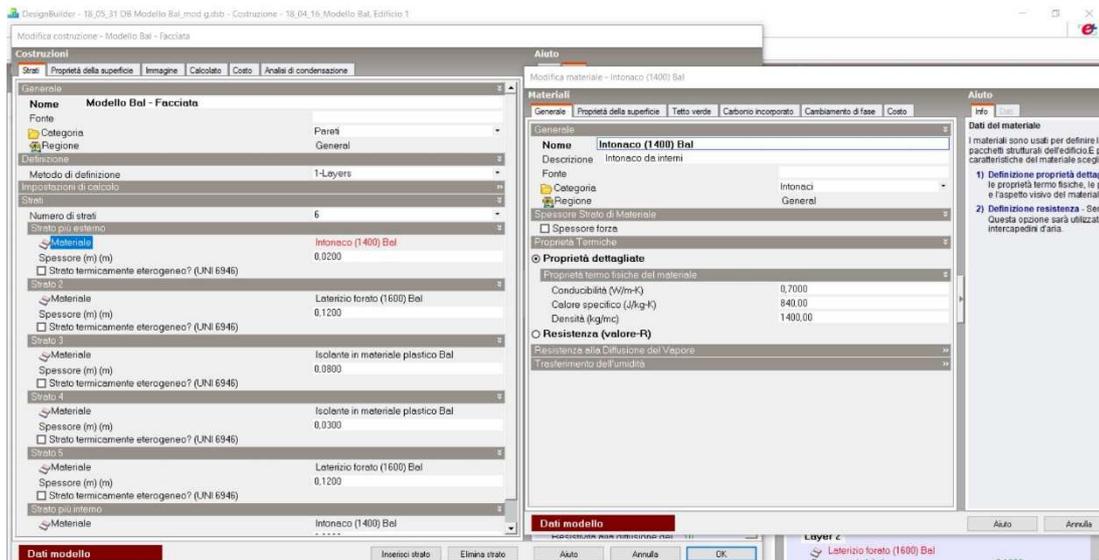


Figura 6.3-1 – Inserimento delle caratteristiche dei componenti dell'edificio. (DesignBuilder)

È inoltre possibile assegnare delle stratigrafie di default, in modo che nel momento della realizzazione del modello tridimensionale vengano direttamente assegnate.

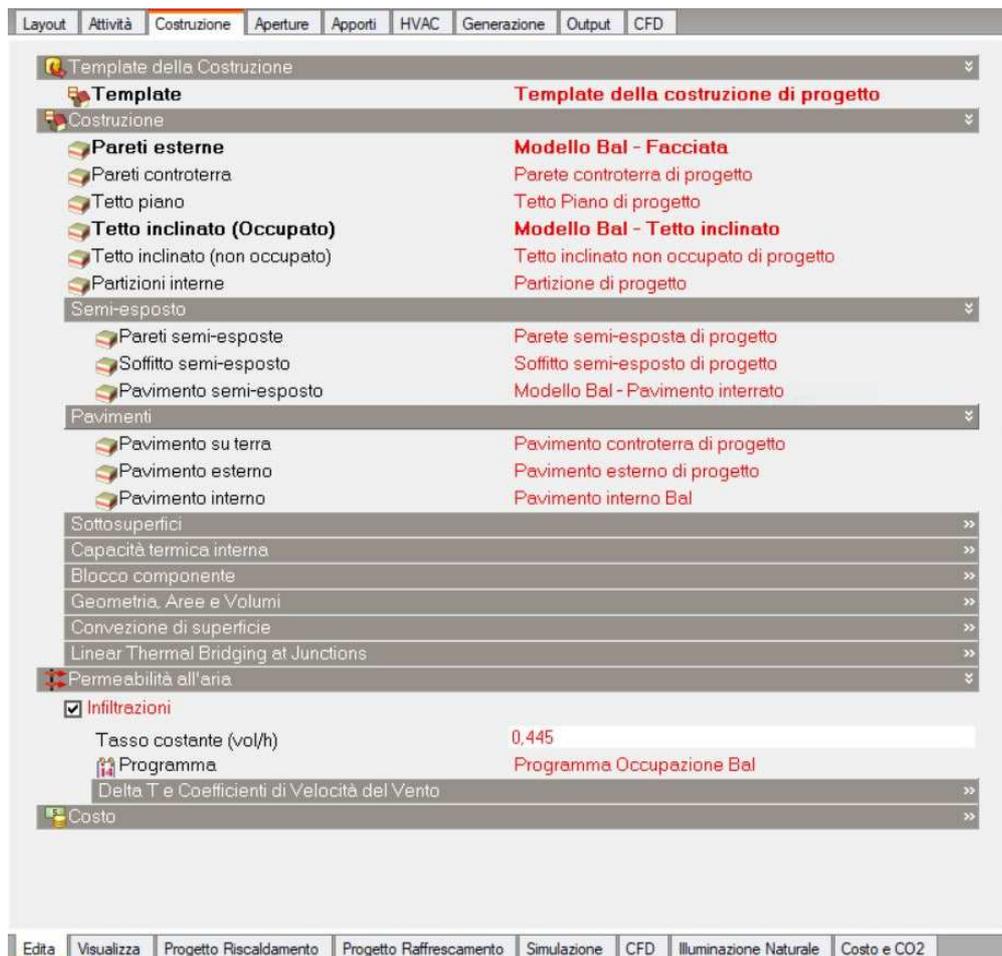


Figura 6.3-2 – Definizione degli elementi di costruzione di default. (DesignBuilder)

Definiti questi primi dati di input, è quindi possibile iniziare la trasposizione digitale dell'edificio, procedura che può essere evitata nel caso in cui sia già presente un file BIM da importare.

La modellazione, in maniera analoga a quanto già visto, è preceduta da una preliminare definizione dei vari edifici componenti il sistema edilizio, nonché dei vari piani presenti e delle zone in cui questi ultimi vengono divisi. La principale differenza rispetto all'altro programma di termofisica analizzato, per quanto riguarda quest'aspetto quantomeno, consta nella metodologia di inserimento degli elementi, in quanto qui si ha una procedura per estrusione, mentre precedentemente si aveva un sistema di posizionamento per componenti.

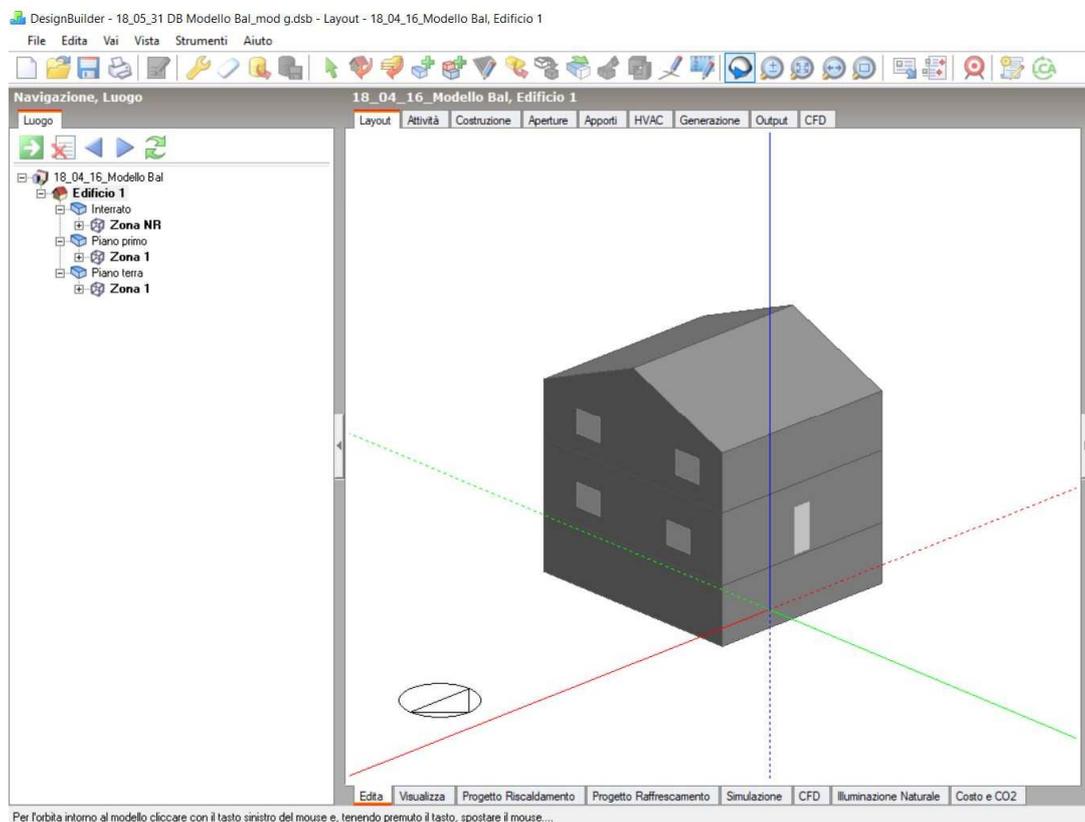


Figura 6.3-3 – Realizzazione del modello tridimensionale dell'edificio. (DesignBuider)

È quindi ora necessario l'inserimento di ulteriori dati di input quali i dati relativi agli impianti, che seppur non necessari ai fini della procedura di calcolo qui trattata sono di obbligatorio inserimento, gli apporti interni e i carichi di ventilazione inseriti come valori di picco.



Figura 6.3-4 - Definizione dei carichi interni. (DesignBuider)

Tali valori chiaramente non sono sufficienti in tale forma, necessitando infatti della definizione dei profili di applicazione degli stessi; obbligatoria è infatti la procedura di definizione della percentuale in cui ogni ora ciascuno dei termini deve essere considerato.

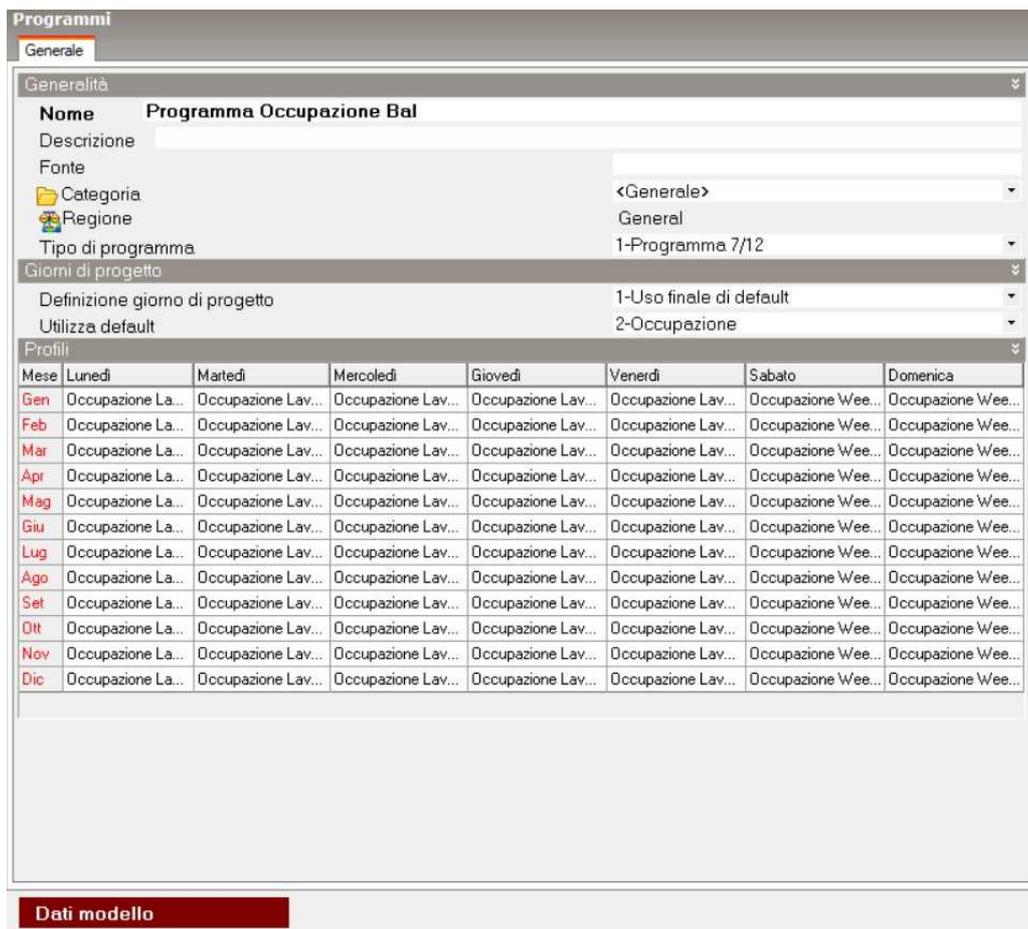


Figura 6.3-5 – Assegnazione dei profili di occupazione. (DesignBuider)

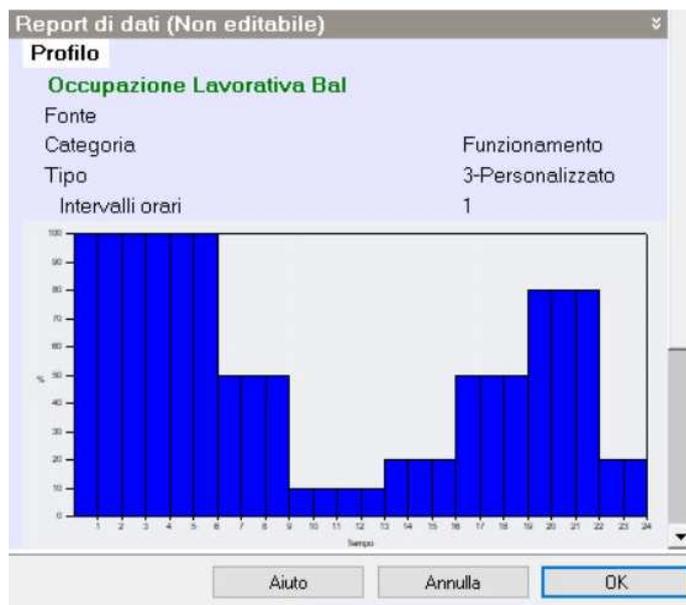


Figura 6.3-6 – Definizione di un profilo di occupazione. (DesignBuider)

Definito tutto ciò è possibile far partire la simulazione che, al fine di essere processata, richiede l’inserimento di ulteriori dati, tra cui il periodo di calcolo considerato, il numero di step temporali per ora, nonché quali dati di output si intendano ricavare.

6.3.1 I risultati del calcolo orario con EnergyPlus in regime continuo

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l’entità dei contributi dell’equazione di bilancio.

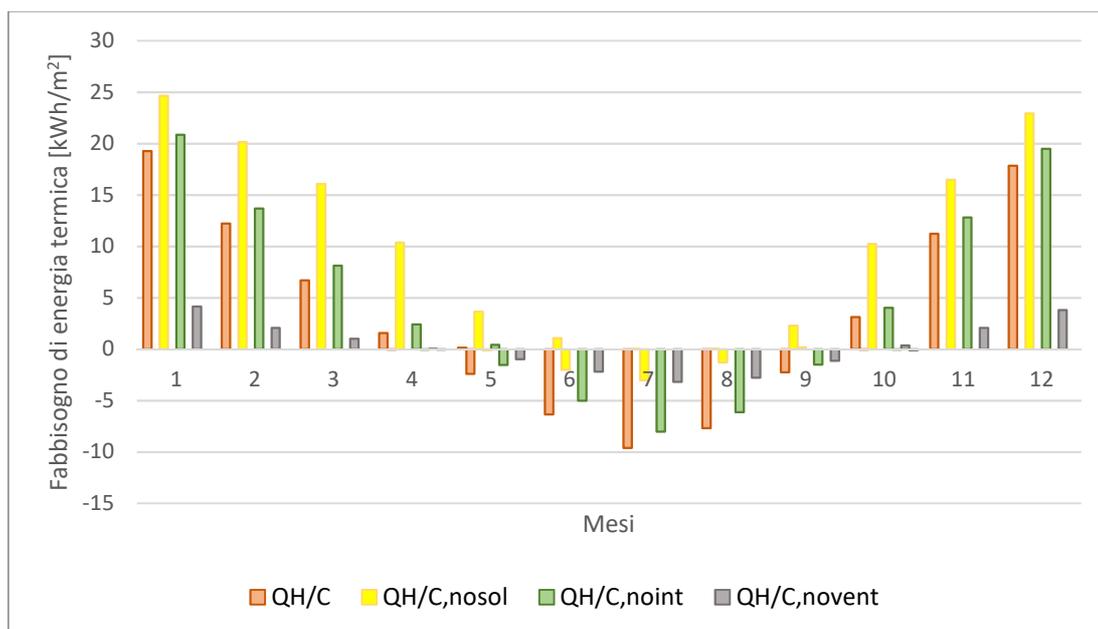


Figura 6.3.1-1 – Confronto tra i calcoli orari con EnergyPlus in regime continuo

Tabella 6.3.1-1 - Fabbisogni del metodo orario di EnergyPlus in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
EnergyPlus	Orario	Continuo	Fabbisogno	Q _H	19	12	7	2	0	0	0	0	0	3	11	18
				Q _C	0	0	0	0	-2	-6	-10	-8	-2	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	25	20	16	10	4	1	0	0	2	10	16	23
				Q _C	0	0	0	0	0	-2	-3	-1	0	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	21	14	8	2	0	0	0	0	0	4	13	19
				Q _C	0	0	0	0	-2	-5	-8	-6	-1	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	4
				Q _C	0	0	0	0	-1	-2	-3	-3	-1	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

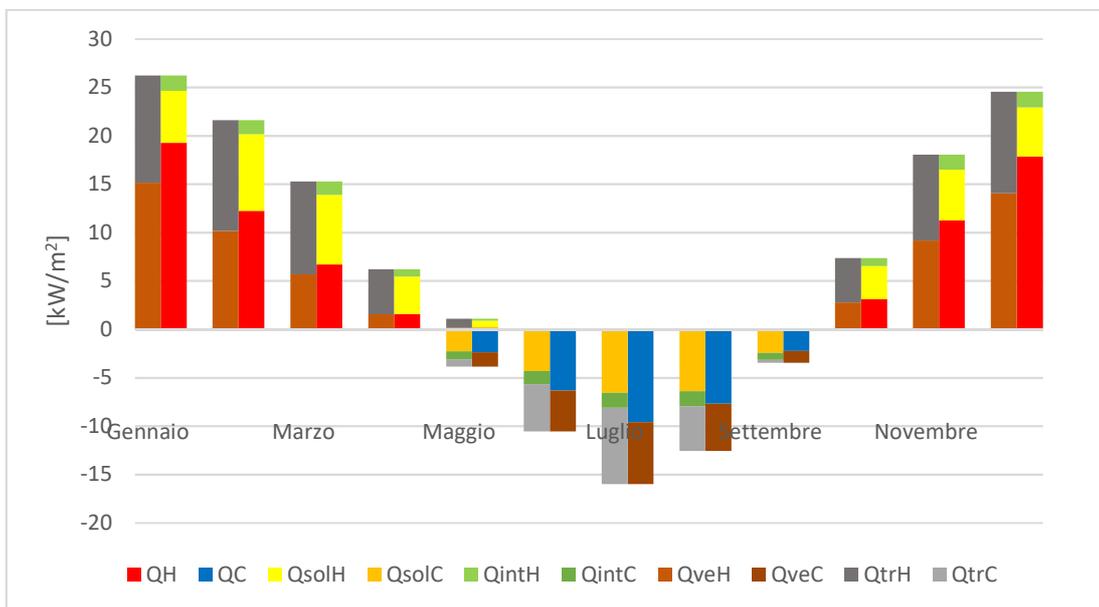


Figura 6.3.1-2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario di EnergyPlus in regime continuo

Si continua riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 6.3.1-2 - Fabbisogni del metodo orario di EnergyPlus in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
EnergyPlus	Orario	Continuo	Q _{sol}	Q _H	5	8	7	4	1	0	0	0	0	3	5	5
				Q _C	0	0	0	0	-2	-4	-7	-6	-2	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Q _{int}	Q _H	2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2
				Q _C	0	0	0	0	-1	-1	-2	-2	-1	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Q _{ve}	Q _H	15	10	6	2	0	0	0	0	0	3	9	14
				Q _C	0	0	0	0	1	4	6	5	1	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Q _{tr}	Q _C	11	11	10	5	1	0	0	0	0	5	9	11
				Q _C	0	0	0	0	-1	-5	-8	-5	0	0	0	0

Si conclude con la presentazione dei valori dei picchi orari analizzati mensilmente.

Tabella 6.3.1-3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario di EnergyPlus in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Potenza di picco degli impianti di climatizzazione [W/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
EnergyPlus	Orario	Continuo	Fabbisogno	Q _H	38	33	29	20	8	0	0	0	0	20	34	37
				Q _C	0	0	0	-3	-17	-24	-24	-24	-16	-4	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	43	41	36	30	17	10	3	2	8	31	40	44
				Q _C	0	0	0	0	-13	-22	-20	-21	-12	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	42	36	32	23	11	0	0	0	0	23	37	39
				Q _C	0	0	0	-1	-14	-21	-21	-21	-13	-1	0	0
EnergyPlus	Orario	Continuo	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	9	8	6	2	0	0	0	0	0	4	7	9
				Q _C	0	0	0	-2	-6	-8	-8	-8	-6	-3	0	0

6.3.2 I risultati del calcolo orario con EnergyPlus in regime intermittente

Di seguito vengono in un primo momento presentati i risultati di fabbisogno di energia termica utile ottenuti nelle varie iterazioni dei calcoli; in un secondo momento si presentano invece le rispettive differenze in modo da mettere in evidenza l'entità dei contributi dell'equazione di bilancio.

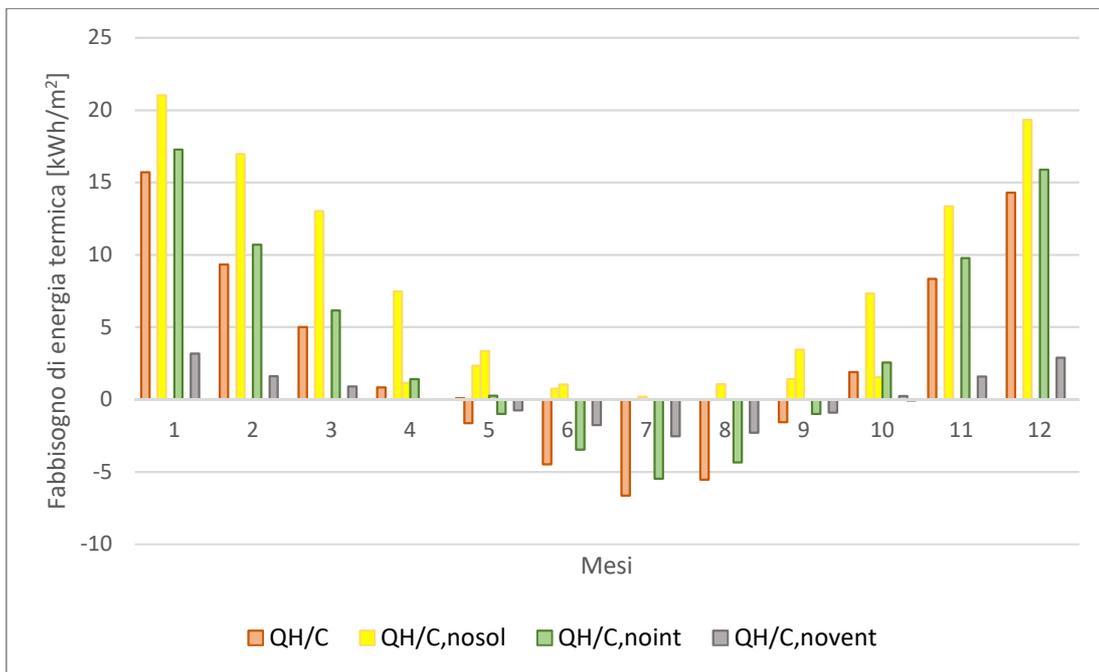


Figura 6.3.2-1 – Confronto tra i calcoli orari con EnergyPlus in regime intermittente

Tabella 6.3.2-1 - Fabbisogni del metodo orario di EnergyPlus in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	16	9	5	1	0	0	0	0	0	2	8	14
				Q _C	0	0	0	0	-2	-4	-7	-6	-2	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	21	17	13	7	2	1	0	0	1	7	13	19
				Q _C	0	0	0	1	3	1	0	1	3	2	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	17	11	6	1	0	0	0	0	0	3	10	16
				Q _C	0	0	0	0	-1	-3	-5	-4	-1	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	3
				Q _C	0	0	0	0	-1	-2	-3	-2	-1	0	0	0

Di seguito si presentano inoltre i dati ricavati combinando i precedenti al fine di evidenziare quanto gli apporti solari e interni partecipino alla riduzione, nel caso invernale, o all'incremento, nel caso estivo, dei fabbisogni energetici, nonché distinguendo le dispersioni dovute alla ventilazione e alla trasmissione di energia termica.

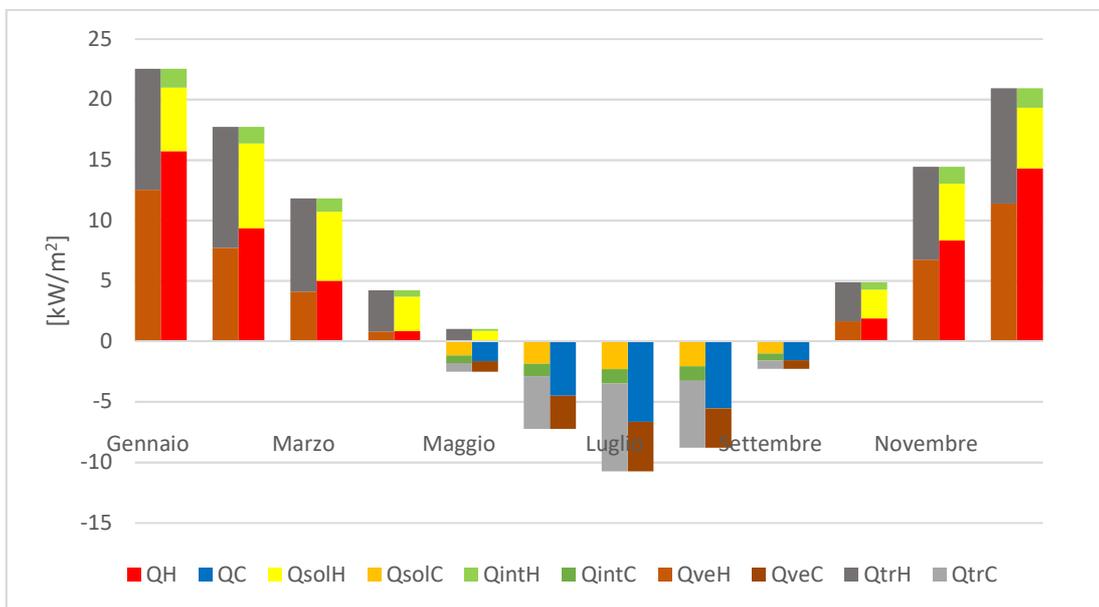


Figura 6.3.2-2 - Influenza degli apporti nel calcolo orario di EnergyPlus in regime intermittente

Si continua riportando i valori mensili degli apporti precedentemente calcolati normalizzati rispetto alla superficie utile.

Tabella 6.3.2-2 - Fabbisogni del metodo orario di EnergyPlus in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Parametro analizzato	Fabbisogno interessato	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Q _{sol}	Q _H	5	7	6	3	1	0	0	0	0	2	5	5
				Q _C	0	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-1	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Q _{int}	Q _H	2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2
				Q _C	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Q _{ve}	Q _H	13	8	4	1	0	0	0	0	0	2	7	11
				Q _C	0	0	0	0	1	3	4	3	1	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Q _{tr}	Q _C	10	10	8	3	1	0	0	0	0	3	8	10
				Q _C	0	0	0	0	-1	-4	-7	-6	-1	0	0	0

Si conclude con la presentazione dei valori dei picchi orari analizzati mensilmente.

Tabella 6.3.2-3 - Fabbisogni massimi mensili del metodo orario di EnergyPlus in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Tipologia	Fabbisogno	Potenza di picco degli impianti di climatizzazione [W/m ²]											
					Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Fabbisogno	Q _H	63	58	54	44	24	18	5	17	13	51	57	61
				Q _C	0	0	-3	-21	-35	-41	-44	-40	-31	-8	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti solari	Q _H	64	59	54	45	25	22	10	18	19	51	57	61
				Q _C	0	0	0	0	-3	-16	-19	-14	-4	0	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza apporti interni	Q _H	66	61	57	47	27	22	8	20	17	54	59	64
				Q _C	0	0	0	-19	-33	-39	-42	-37	-28	-6	0	0
EnergyPlus	Orario	Intermittente	Fabbisogno senza ventilazione	Q _C	51	48	43	34	19	11	1	12	9	41	47	50
				Q _C	0	0	-4	-22	-35	-40	-41	-38	-31	-9	0	0

7 Confronto dei modelli di calcolo

Presentati i dati, si procede con il confronto di tutti i fabbisogni sin ora calcolati, raggruppandoli a seconda che siano riferiti ad una gestione continua od intermittente dell'impianto e confrontando i risultati ottenuti dalle varie norme con quelli ricavati mediante DesignBuilder, e quindi EnergyPlus, in quanto empiricamente ritenuto il metodo più affidabile in modo da poter apprezzare quanto le semplificazioni apportate causino modifiche e quindi quanto esse siano efficaci.

7.1 Confronto dei modelli di calcolo in condizioni di climatizzazione continua

Si riportano in un primo momento i dati riferiti ai fabbisogni precedentemente presentati in modo da rendere più facile un confronto tra i risultati ottenuti con le varie metodologie di calcolo del fabbisogno energetico.

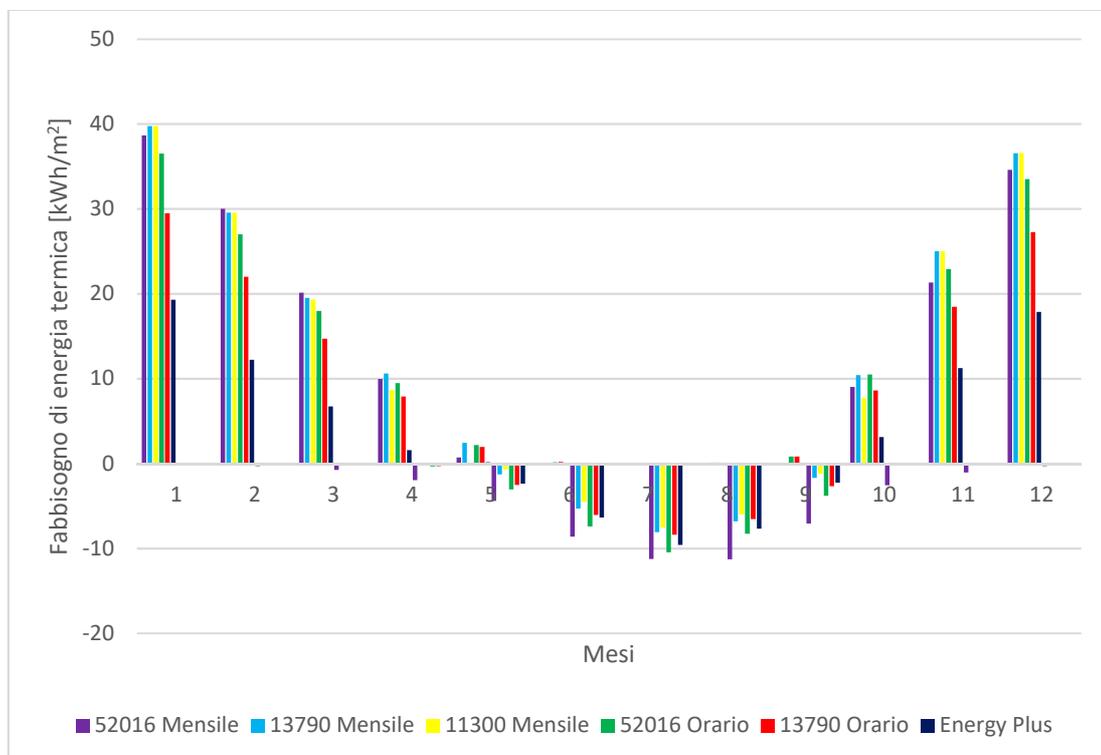


Figura 7.1 -1 – Confronto tra i fabbisogni in regime continuo

Tabella 7.1-1 – Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile in regime continuo

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
				Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Mensile	Continuo	Q _H	40	30	20	11	2	0	0	0	0	10	25	37
			Q _C	0	0	0	0	-1	-5	-8	-7	-2	0	0	0
13790	Orario	Continuo	Q _H	29	22	15	8	2	0	0	0	1	9	18	27
			Q _C	0	0	0	0	-3	-6	-8	-7	-3	0	0	0
11300-1	Mensile	Continuo	Q _H	40	30	19	9	0	0	0	0	0	8	25	37
			Q _C	0	0	0	0	-1	-5	-8	-6	-1	0	0	0
52016-1	Mensile	Continuo	Q _H	39	30	20	10	1	0	0	0	0	9	21	35
			Q _C	0	0	-1	-2	-4	-9	-11	-11	-7	-3	-1	0
52016-1	Orario	Continuo	Q _H	37	27	18	9	2	0	0	0	1	10	23	33
			Q _C	0	0	0	0	-3	-7	-10	-8	-4	0	0	0
Energy Plus	Orario	Continuo	Q _H	19	12	7	2	0	0	0	0	0	3	11	18
			Q _C	0	0	0	0	-2	-6	-10	-8	-2	0	0	0

È possibile notare come nei mesi invernali si abbia un'uniformità dei risultati, con i metodi mensili aventi costantemente valori maggiori rispetto a quelli orari e con i fabbisogni energetici ottenuti da EnergyPlus sempre minori. Tale risultato non stupisce in quanto solitamente maggiori semplificazioni portano ad una sovrastima dei fabbisogni invernali, ciò che però è da sottolineare è la maggiore aderenza del metodo orario della UNI EN ISO 13790, rispetto alla UNI EN ISO 52016-1, ai dati di EnergyPlus mettendo in evidenza come, quantomeno per questo periodo temporale, la maggiore complessità imposta dalla UNI EN ISO 52016-1 non paghi, anzi porti dei risultati meno affidabili.

Per il periodo estivo si ha invece una minore variabilità dei dati nella quale è però possibile notare una buona aderenza tra i dati della UNI EN ISO 52016-1 calcolata col metodo orario ed Energyplus.

Si procede quindi analizzando alcuni mesi nel dettaglio, quali febbraio, maggio e luglio.

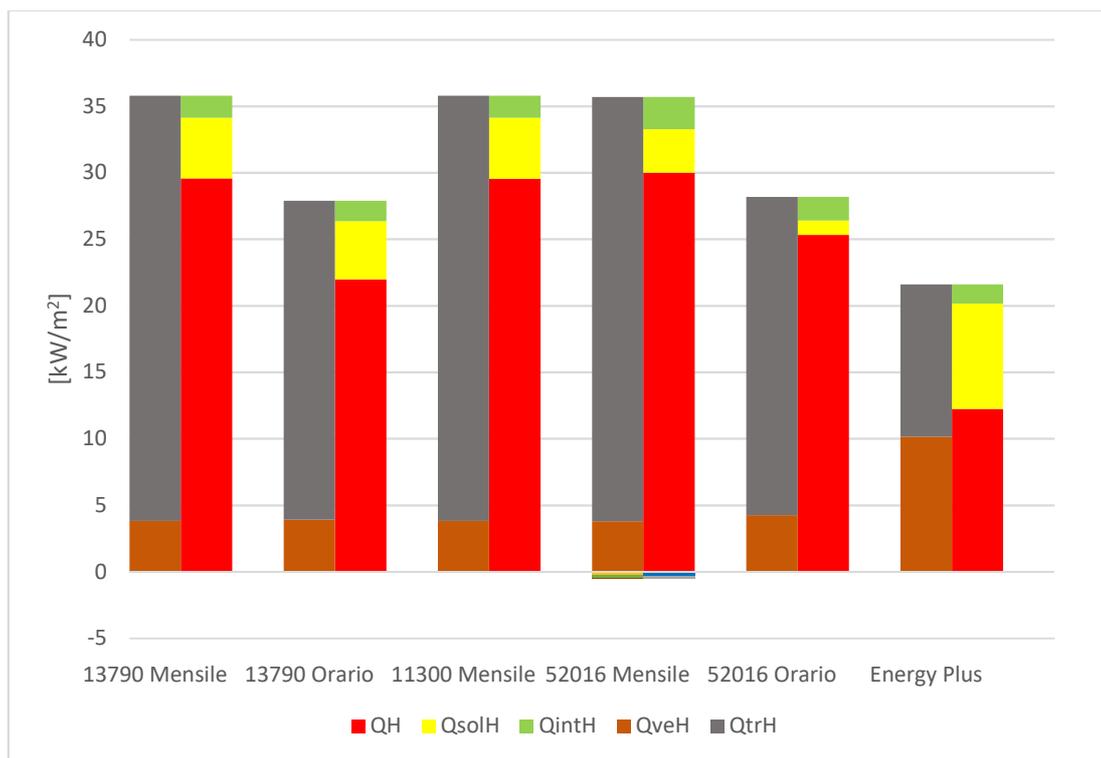


Figura 7.1 -2 – Confronto tra i fabbisogni in regime continuo per il mese di febbraio

Analizzando febbraio come mese per la stagione invernale possiamo notare come per tutti i metodi proposti nelle norme le dispersioni per ventilazione risultano essere costanti, mentre si ha una variazione delle dispersioni per trasmissione, maggiori nei metodi mensili ed

inferiori in quelli orari; per quanto riguarda EnergyPlus si nota come la ventilazione risulti essere molto più significativa mentre le dispersioni complessive, essendo di fatto ottenute con un metodo più preciso, sono coerentemente minori.

Per quanto riguarda invece gli apporti gratuiti si riscontra uniformità nei metodi mensili e in quello orario della UNI EN ISO 13790, mentre nel metodo orario proposto dalla UNI EN ISO 52016-1 si nota come in particolare gli apporti solari siano notevolmente inferiori. Quest'ultima differenza non si ha invece negli apporti solari ricavati da EnergyPlus dove invece risultano essere superiori al doppio degli altri.

Riassumendo quest'analisi mensile è possibile notare come la UNI EN ISO 52016-1 mensile risulti essere del tutto analoga alla UNI EN ISO 13790, mantenendo, data la notevole semplicità del metodo, una sovrastima dei fabbisogni; per quanto riguarda il metodo orario della UNI EN ISO 52016-1 si ha una precisione peggiore rispetto alla UNI EN ISO 13790 oraria, con fabbisogni leggermente maggiori ed una distribuzione degli apporti solari maggiormente dissimile rispetto ad EnergyPlus.

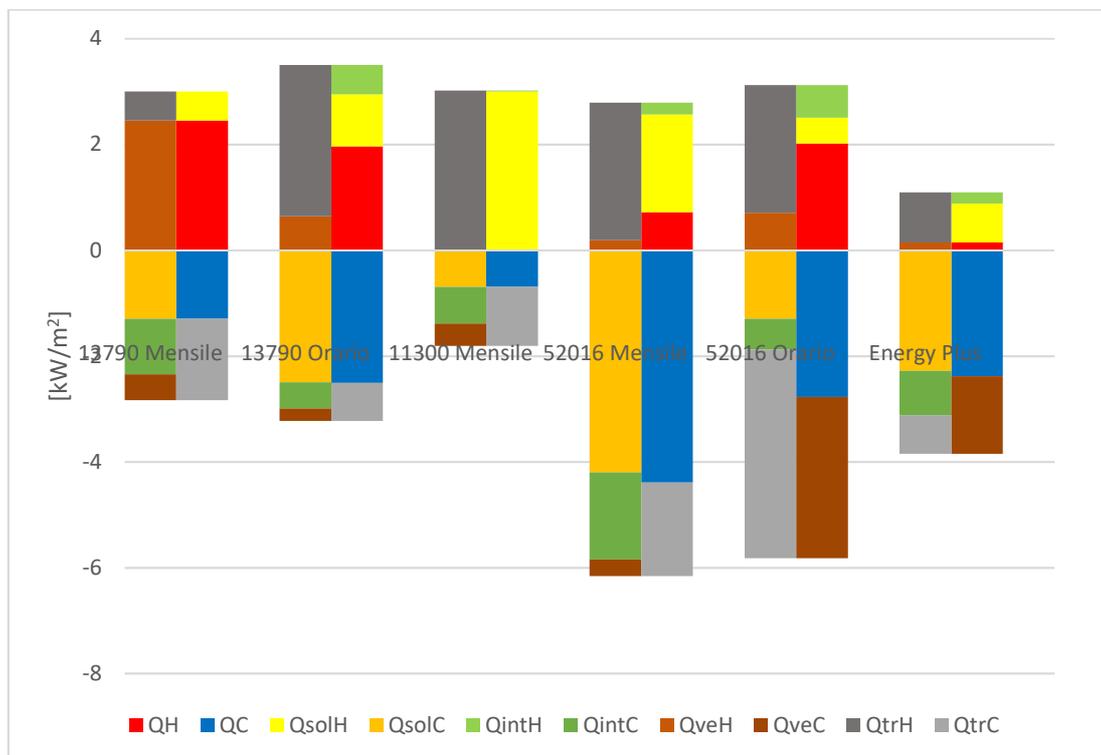


Figura 7.1 -3 – Confronto tra i fabbisogni in regime continuo per il mese di maggio

Differentemente a quanto analizzato per febbraio in questo mese, essendo di transizione tra il periodo di climatizzazione invernale ed estiva, è possibile apprezzare la contemporaneità di fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento, nonché una grande variabilità di dati.

Per il riscaldamento si nota che la UNI EN ISO 13790, mensile ed oraria, nonché la UNI EN ISO 52016-1 sovrastimino notevolmente i fabbisogni, problematica che risulta decrescere con il metodo mensile della UNI EN ISO 52016-1. In questo caso i metodi mensile della UNI/TS 11300-1, avente fabbisogno nullo, risulta essere il più affidabile in quanto più simile ai valori ottenuti con EnergyPlus.

Per il raffrescamento è possibile notare come la i metodi mensili falliscano nell'avvicinarsi ai dati di EnegyPlus con una notevole sottostima data dalla UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1, ed una sovrastima data dalla UNI EN ISO 52016-1. I metodi orari risultano invece essere notevolmente più affidabili, con valori del tutto analoghi a quelli di EnergyPlus, in particolare la UNI EN ISO 52016-1, pur presentando un'eccessiva partecipazione di ventilazione e trasmissione termica si avvicina maggiormente alla distribuzione dei contributi di EnergyPlus.

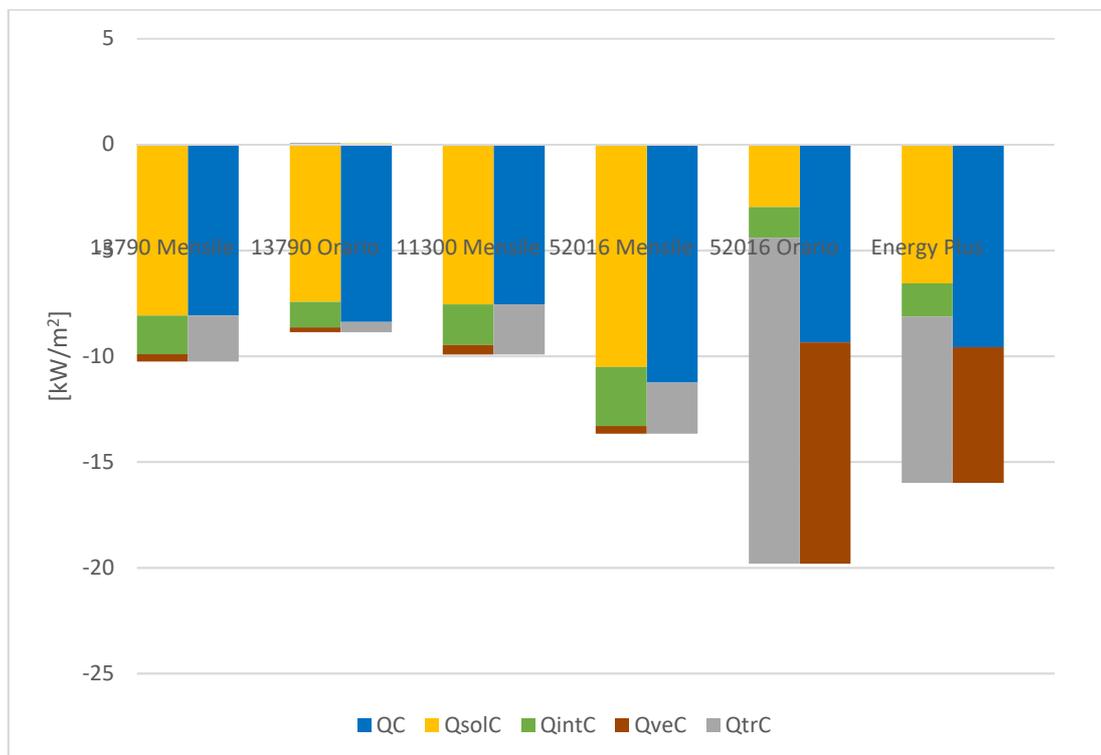


Figura 7.1 -4 – Confronto tra i fabbisogni in regime continuo per il mese di luglio

Per quanto riguarda il mese di luglio è possibile notare una grande somiglianza con maggio, con una sottostima, in questo caso molto più limitata, data dai metodi mensili dalla UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1, ed una sovrastima data dalla UNI EN ISO 52016-1; contrariamente a quanto precedentemente notato si ha però una minore affidabilità del metodo orario della UNI EN ISO 13790 che, pur avendo fabbisogni energetici più vicini a EnergyPlus, di poco si stacca rispetto ai metodi mensili. Analogamente a maggio si ha una quasi uguaglianza tra i valori del metodo orario della UNI EN ISO 52016-1 ed EnergyPlus con sempre una distribuzione dei contributi maggiormente simile seppur avente valori eccessivamente elevati riferiti a ventilazione e trasmissione e molto inferiori per gli apporti solari.

7.2 Confronto dei modelli di calcolo in condizioni di climatizzazione intermittente

Come prima si riportano in un primo momento i dati riferiti ai fabbisogni precedentemente presentati in modo da rendere più facile un confronto tra i risultati ottenuti con le varie metodologie di calcolo del fabbisogno energetico.

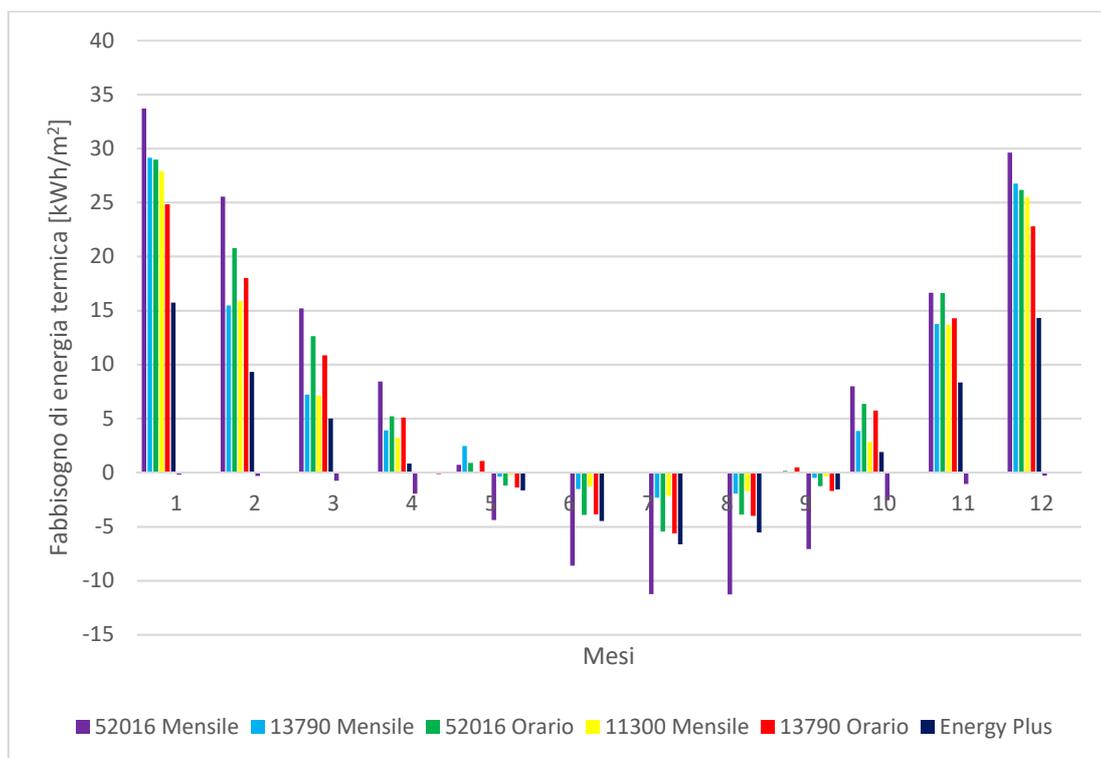


Figura 7.2 -1 – Confronto tra i fabbisogni in regime intermittente

Tabella 7.2-1 – Fabbisogni normalizzati rispetto alla superficie utile in regime intermittente

Norma	Periodo di calcolo	Tipo di regime	Fabbisogno	Fabbisogno per mese [kWh/m ²]											
				Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
13790	Mensile	Intermittente	Q _H	29	15	7	4	2	0	0	0	0	4	14	27
			Q _C	0	0	0	0	0	-2	-2	-2	0	0	0	0
13790	Orario	Intermittente	Q _H	25	18	11	5	1	0	0	0	0	6	14	23
			Q _C	0	0	0	0	-1	-4	-6	-4	-2	0	0	0
11300-1	Mensile	Intermittente	Q _H	28	16	7	3	0	0	0	0	0	3	14	25
			Q _C	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	0	0	0	0
52016-1	Mensile	Intermittente	Q _H	34	26	15	8	1	0	0	0	0	8	17	30
			Q _C	0	0	-1	-2	-4	-9	-11	-11	-7	-3	-1	0
52016-1	Orario	Intermittente	Q _H	29	21	13	5	1	0	0	0	0	6	17	26
			Q _C	0	0	0	0	-1	-4	-5	-4	-1	0	0	0
Energy Plus	Orario	Intermittente	Q _H	16	9	5	1	0	0	0	0	0	2	8	14
			Q _C	0	0	0	0	-2	-4	-7	-6	-2	0	0	0

Contrariamente al caso continuo è possibile notare come anche nei mesi invernali ci sia una maggiore oscillazione dei dati, dove i metodi mensile ed orario della UNI EN ISO 52016-1 ed il metodo orario della UNI EN ISO 13790, nonché EnergyPlus, presentano un andamento costante, mentre i metodi mensile della UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1 hanno invece una grande variabilità che, pur in alcuni casi portando a valori simili a quelli di EnergyPlus, rendono i metodi poco affidabili.

Per il periodo estivo si nota invece una grande aderenza dei metodi orari rispetto ad EnergyPlus mentre i metodi mensili presentano delle notevoli sottostime, nel caso di UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1, o sovrastime, nel caso della UNI EN ISO 52016-1 rispetto ai dati considerati più affidabili.

Si procede quindi analizzando alcuni mesi nel dettaglio, quali febbraio, maggio e luglio.

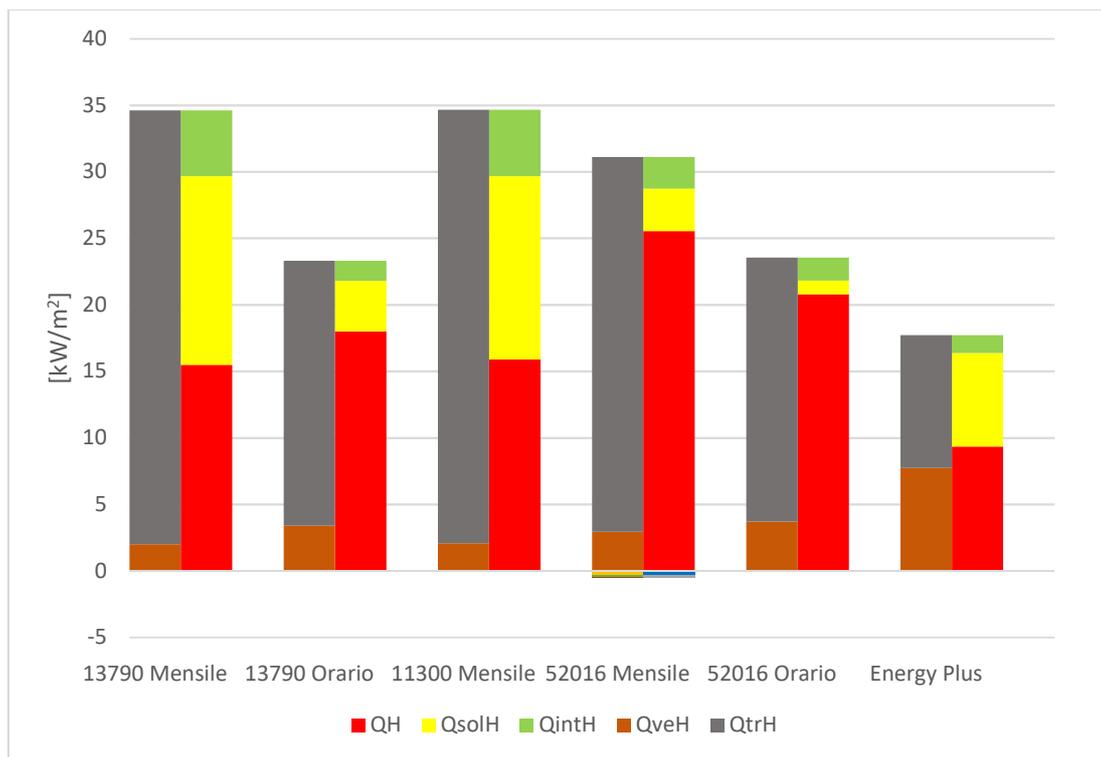


Figura 7.2 -2 – Confronto tra i fabbisogni in regime intermittente per il mese di febbraio

Differentemente al regime continuo si può notare una maggiore variabilità dei contributi dati dalla ventilazione che risultano però essere, analogamente a quanto precedentemente esposto, sempre inferiori ai valori ottenuti con EnergyPlus. Gli apporti ottenuti dai metodi proposti dalla UNI EN ISO 52016-1 risultano essere eccessivamente imprecisi, con delle

sovrastime superiori rispetto agli altri metodi, problematiche che si accentuano nel metodo orario della UNI EN ISO 52016-1 dove i contributi solari risultano essere trascurabili, in contrasto con gli altri metodi. In questo caso la maggiore affidabilità viene data dal metodo orario della UNI EN ISO 13790 che, pur non avendo i fabbisogni più vicini rispetto a quelli di EnergyPlus, presenta una notevole somiglianza di distribuzione dei contributi dell'equazione di bilancio energetico.

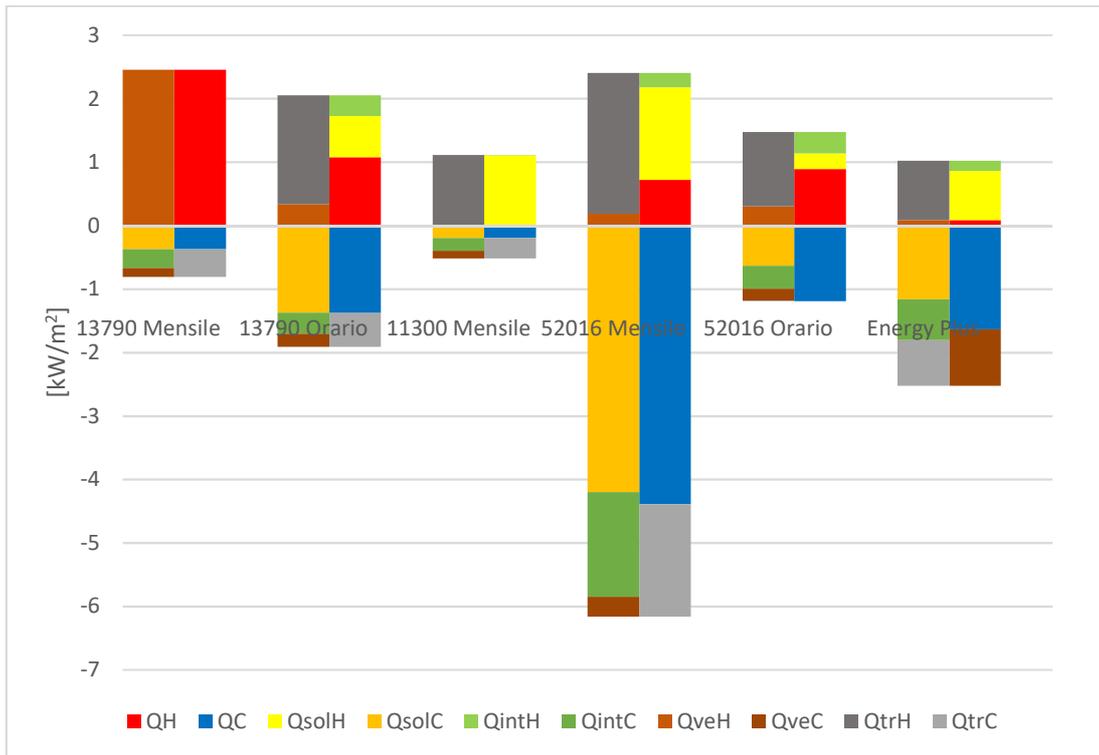


Figura 7.2 -3 – Confronto tra i fabbisogni in regime intermittente per il mese di maggio

Nel mese di maggio è possibile notare una quasi perfetta analogia con il caso continuo, con la contemporaneità di fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento; per il riscaldamento si continua ad apprezzare una maggiore affidabilità del metodo mensile della UNI/TS 11300-1, nuovamente il più vicino ai dati ritenuti più simili alla realtà. I restanti metodi presentano invece maggiori imprecisioni. Per il raffrescamento, coerentemente ai risultati precedentemente esposti, si ha una maggiore affidabilità dei modelli orari, in particolare con la UNI EN ISO 13790.

Per il raffrescamento è possibile notare come la i metodi mensili falliscano nell'avvicinarsi ai dati di EnergyPlus con una notevole sottostima data dalla UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1, ed una sovrastima data dalla UNI EN ISO 52016-1. I metodi orari risultano invece essere notevolmente più affidabili, con valori del tutto analoghi a quelli di EnergyPlus, in particolare la UNI EN ISO 52016-1, pur presentando eccessiva partecipazione di ventilazione e trasmissione termica si avvicina maggiormente alla distribuzione dei contributi di EnergyPlus.

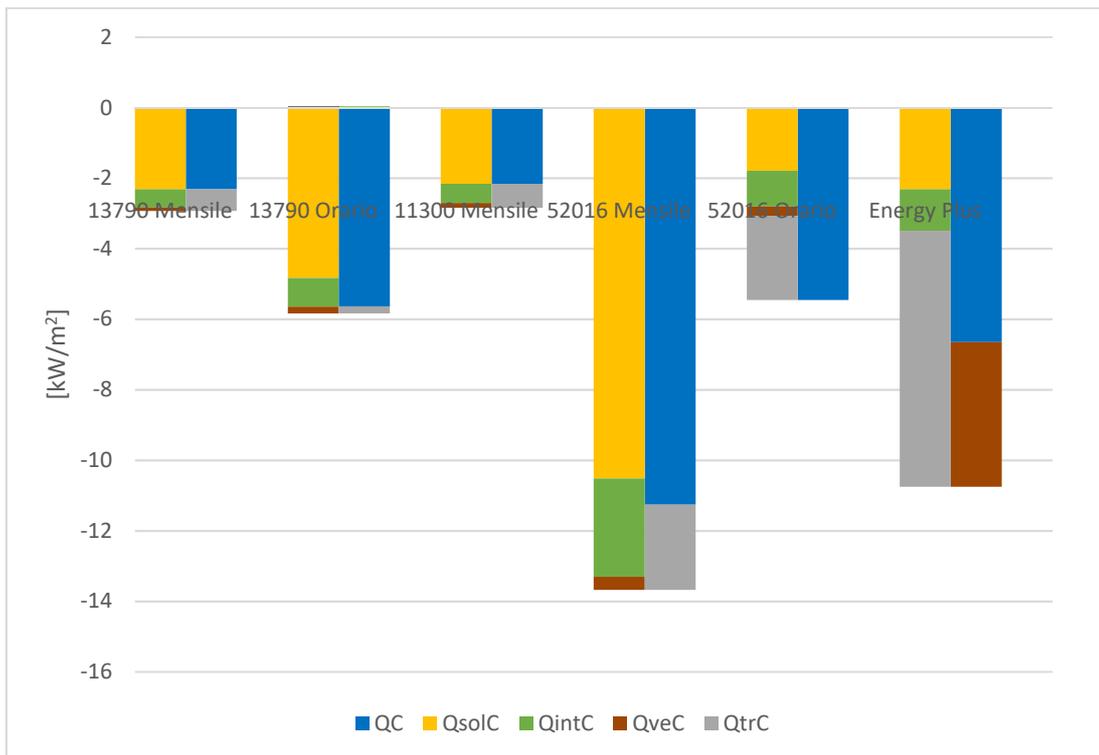


Figura 7.2 -4 – Confronto tra i fabbisogni in regime intermittente per il mese di luglio

Analogamente a quanto riscontrato con maggio, anche per luglio i risultati del calcolo in regime intermittente rispecchiano l'andamento di quelli per regime continuo con una maggiore affidabilità dei metodi orari, in particolare quello della UNI EN ISO 52016-1 grazie alla migliore distribuzione dei contributi del bilancio energetico, mentre i metodi mensili hanno eccessive sottostime, nel caso di UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1, o sovrastime, nel caso della UNI EN ISO 52016-1, i fabbisogni di energia termica.

7.3 Conclusioni

La notevole complessità intrinseca al metodo di calcolo proposto da EnergyPlus rende questo metodo estremamente affidabile, come empiricamente dimostrato; tale punto di forza nasconde però una grande debolezza data appunto dalla estrema mole di dati necessari al programma per procedere alla computazione comportante ovviamente un'incredibile difficoltà di impostazione dei dati iniziali con una conseguente maggiore possibilità di errori. Benché alcuni programmi forniscano un'interfaccia più semplice con anche la possibilità di inserimenti grafici, come DesignBuilder, ciò non risulta essere sufficiente e pertanto il suo utilizzo non può che rimanere relegato principalmente alla ricerca. Data la necessità di un calcolo del fabbisogno energetico più speditivo e meno relegato ai più esperti, le norme UNI EN ISO 13790, UNI/TS 11300-1 e UNI EN ISO 52016-1 vengono in aiuto del termotecnico grazie a metodi dalla più facile comprensione. Come analizzato in questa tesi non tutti però risultano essere analogamente validi e non sempre la differente complessità racchiude anche un miglioramento dei dati di output. Dal confronto precedentemente esposto è possibile notare come il metodo orario della UNI EN ISO 13790 risulti essere il migliore per il periodo invernale, grazie ad una non eccessiva difficoltà di computazione unita ad una migliore aderenza con i dati proposti; la notevole semplicità dei metodi mensili non risulta però essere giustificabile dai risultati che risultano essere troppo imprecisi. Il metodo orario della UNI EN ISO 52016-1 in questo caso risulta nettamente perdente in quanto la notevole maggiorazione della difficoltà conduce però a risultati inaffidabili.

Anche inerentemente al periodo estivo si hanno errori grossolani nei calcoli mensili, che alla luce di quanto visto risultano essere sconsigliabili per qualsivoglia applicazione. Di nuovo il metodo orario della UNI EN ISO 13790 risulta essere molto efficace, con fabbisogni di energia termica per il raffrescamento estremamente simili a quelli ottenuti con EnergyPlus; in maniera analoga anche il metodo orario della UNI EN ISO 52016-1 presenta una buona affidabilità e, data la migliore analogia della distribuzione dei parametri implicati nel bilancio energetico, risulta essere il migliore per il periodo estivo.

8 Bibliografia

Legislazione

- Legge n.373 del 30 aprile 1976 con il titolo “Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici”.
- Legge n. 10 del 09 gennaio 1991, “Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”, Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 13 del 16 gennaio 1991.
- D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993, “Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10”
- Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia
- D. Lgs. n. 192 del 19 agosto 2005, “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico degli edifici”, Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005
- D. Lgs. n. 311 del 29 dicembre 2006, “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia”, Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 26 del 1 febbraio 2007.
- Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea 05/06/2009
- Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione), Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea 18/06/2010.
- Legge 3 agosto 2013, n. 90, Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE
- D.M. 26 Giugno 2015, “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”, Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 39 del 15 luglio 2015.
- Direttiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea 19/06/2018.

Normativa tecnica

- UNI 10344:1993, “Riscaldamento degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia.”
- UNI 10348:1993, “Riscaldamento degli edifici. Rendimenti dei sistemi di riscaldamento. Metodo di calcolo.”
- EN 832:1998; “Thermal Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Heating - Residential Buildings”
- EN ISO 13790:2004, “Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating (ISO 13790:2004)”UNI/TS 11300-1:2008, “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”.
- UNI EN ISO 13790:2008, “Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”.
- EN 16798-1:2016, “Energy performance of buildings – Ventilation of buildings – Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics”.
- EN ISO 15927-4:2005, “Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling”.
- UNI EN 12831:2006, “Impianti di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto”.
- UNI EN ISO 13789:2018, “Prestazione termica degli edifici - Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione - Metodo di calcolo”.
- UNI EN ISO 52010-1:2018, “Prestazione energetica degli edifici – Condizioni climatiche esterne - Parte 1: Conversione dei dati climatici per i calcoli energetici”.
- UNI EN ISO 52016-1:2018, “Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo”.
- ISO/TR 52016-2:2017, “Energy performance of buildings -- Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads -- Part 2: Explanation and justification of ISO 52016-1 and ISO 52017-1”.

Pubblicazioni e riviste

- Marinosci C., Semprini G., “Software di simulazione energetica dinamica degli edifici”, ingenio, 2013

Sitografia

- <https://www.cti2000.it/index.php?controller=news&action=show&newsid=34848>
- http://www.cornaviera.it/pagina.asp?codice=efficienza_energetica
- <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>