



Ricerca di Sistema elettrico

Metodo semplificato per la stima dei risparmi energetici
su determinati canali di uso dell'energia in edifici
scolastici: integrazione, revisione e preparazione di un
documento guida per l'implementazione finale.

R. Armani, A. Sangalli, S. Erba, L. Pagliano

POLITECNICO MILANO



end-use Efficiency Research Group

METODO SEMPLIFICATO PER LA STIMA DEI RISPARMI ENERGETICI SU DETERMINATI CANALI DI USO DELL'ENERGIA IN EDIFICI SCOLASTICI: INTEGRAZIONE, REVISIONE E PREPARAZIONE DI UN DOCUMENTO GUIDA PER L'IMPLEMENTAZIONE FINALE

R. Armani, A. Sangalli, S.Erba, L. Pagliano

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: Tecnologie

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

Work package: Local Energy District

Linea di attività: Servizi Urbani Energivori: Individuazione canali informativi da implementare nel PELL. Metodo semplificato per la stima dei risparmi energetici su determinati canali di uso dell'energia in edifici scolastici: preparazione di un documento guida per l'implementazione finale.

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Metodo semplificato per la stima dei risparmi energetici su determinati canali di uso dell'energia in edifici scolastici: integrazione, revisione e preparazione di un documento guida per l'implementazione finale.*"

Responsabile scientifico ENEA: Michele Zinzi

Responsabile scientifico: Prof. Lorenzo Pagliano (Politecnico di Milano)

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DEFINIZIONI.....	7
3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	9
3.1 DEFINIZIONE DELLA PRESENZA O MENO DI UNO SPAZIO DEDICATO AD ATTIVITÀ MOTORIE (PALESTRA).....	9
3.2 DEFINIZIONE DEGLI ARCHI TEMPORALI DI RIFERIMENTO.....	10
3.3 DEFINIZIONE DEI DATI CLIMATICI IN INGRESSO.....	12
3.3.1 <i>Temperatura dell'aria esterna e calcolo dei BIN</i>	12
3.3.2 <i>Irradiazione solare</i>	19
3.4 DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA E DELLE CARATTERISTICHE TERMOFISICHE DEI COMPONENTI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.....	20
3.4.1 <i>Superfici opache e trasparenti</i>	20
3.4.2 <i>Volume di aria netta interna</i>	21
3.5 CALCOLO DELLA TEMPERATURA DI BILANCIO.....	22
3.5.1 <i>Calcolo degli apporti interni dovuti alla presenza di persone</i>	22
3.5.2 <i>Calcolo degli apporti interni generati dalle apparecchiature elettriche</i>	25
3.5.3 <i>Calcolo semplificato degli apporti interni generati dall'impianto di illuminazione dell'edificio prima dell'intervento di ristrutturazione</i>	32
3.5.4 <i>Calcolo semplificato degli apporti interni generati dall'impianto di illuminazione dell'edificio dopo l'intervento di ristrutturazione</i>	36
3.5.5 <i>Calcolo degli apporti solari attraverso le superfici trasparenti</i>	37
<i>Viene di seguito proposto un esempio di calcolo degli apporti solari mensili specifici per il plesso scolastico descritto in ALLEGATO 1, nel suo stato di fatto, con serramenti caratterizzati da una trasmittanza termica U_w del serramento (vetro più telaio) di $3,5 \text{ W/m}^2$ ed un fattore di trasmittanza solare g dei vetri pari a $0,85$, sito nella città di Milano.....</i>	<i>38</i>
3.5.6 <i>Calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio ristrutturato</i>	<i>39</i>
3.5.7 <i>Calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio nel suo stato di fatto</i>	<i>39</i>
3.5.8 <i>Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione</i>	<i>45</i>
3.5.9 <i>Calcolo della temperatura di bilancio per ciascun arco temporale di riferimento</i>	<i>47</i>
3.6 CALCOLO DEI RISPARMI IN TERMINI DI FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA UTILE MEDIANTE L'UTILIZZO DELLA TEMPERATURA DI BILANCIO.....	49
3.6.1 <i>Analisi di sensitività della stima dei risparmi energetici al variare del livello di intervento e del contesto climatico</i>	<i>52</i>
3.6.2 <i>Analisi di sensitività della stima dei risparmi energetici al variare dei dati di ingresso nella valutazione del fabbisogno termico utile dell'edificio nel suo stato di fatto</i>	<i>54</i>
3.7 DEFINIZIONE RISPARMI ENERGETICI PER IL CANALE D'USO RELATIVO ALL'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE DELL'EDIFICIO.....	55
3.7.1 <i>Analisi di sensitività rispetto ai dati di ingresso della procedura di calcolo individuata</i>	<i>58</i>
3.8 DEFINIZIONE RISPARMI ENERGETICI PER IL SERVIZIO DI ACQUA CALDA SANITARIA.....	60
3.8.1 <i>Analisi di sensitività rispetto ai valori di benchmark definiti per quantificare i risparmi energetici per servizio di acqua calda sanitaria</i>	<i>61</i>
3.9 CONTROLLO DEI CARICHI ELETTRICI NON LEGATI A SISTEMI IMPIANTISTI PER LA CLIMATIZZAZIONE DEGLI AMBIENTI O ALLA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA.....	65
4 CONCLUSIONI.....	67
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	68
6 ABBREVIAZIONI E ACRONIMI.....	71
7 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO.....	73
ALLEGATO 1: DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO UTILIZZATO PER LE ANALISI DI SENSITIVITÀ DELLA PROCEDURA DI CALCOLO E SUE PARTI DISCUSSE NEL PRESENTE RAPPORTO.....	74

Sommario

Questo rapporto è stato strutturato come parte integrante e conclusiva dei precedenti rapporti:

- *“Criteri di normalizzazione dei KPI di riferimento e di stime di risparmi energetici conseguibili in reali condizioni d'uso per edifici scolastici esistenti” [1].*
- *“Criteri di stima di risparmi energetici conseguibili in reali condizioni d'uso per la produzione di acqua calda sanitaria in edifici scolastici e metodologia per l'individuazione di inefficienze sugli usi elettrici dell'edificio” [2].*

Il documento ha lo scopo di strutturare la descrizione della procedura semplificata proposta nelle annualità precedenti, per agevolare l'implementazione in un applicativo informatico della metodologia di stima dei risparmi energetici a fronte di determinati interventi di efficientamento energetico su edifici scolastici.

La scrittura della procedura ha avuto un taglio prettamente operativo, in quanto la trattazione teorica degli algoritmi di calcolo presenti all'interno della procedura è stata già trattata nei rapporti precedenti [1] [2].

Per ogni canale di consumo che è stato considerato, sono stati riportati gli algoritmi, i dati di ingresso, e quando ritenuto strettamente necessario i riferimenti normativi o legislativi da implementare all'interno del calcolo.

Per alcuni canali di consumo sono state svolte delle analisi di sensitività al fine di valutare la variabilità dei risparmi energetici quantificati dal metodo semplificato, al variare dei dati di ingresso.

1 Introduzione

Questo rapporto è stato redatto con un taglio prettamente operativo. Lo scopo è stato quello di strutturare la metodologia di calcolo semplificata (che è stata trattata in modo teorico nei precedenti rapporti [1] [2]), per la quantificazione dei risparmi energetici, a seguito di interventi di efficienza energetica sugli edifici scolastici, per permettere a enti terzi di tradurre questa procedura di calcolo in un applicativo informatico.

La metodologia è da intendersi come una prima proposta di analisi e calcolo della domanda di energia fornita (per ciascun vettore energetico), di un generico edificio scolastico, a supporto dello sviluppo di una piattaforma informatica finalizzata alla categorizzazione, analisi prestazionale e monitoraggio in remoto dei consumi, da mettere a disposizione dei tecnici e degli amministratori locali come aiuto al processo decisionale di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio scolastico esistente.

Questo metodo non ha avuto lo scopo di sostituire le diverse procedure e metodologie di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici presenti negli standard o nei processi di certificazione ambientale o di sostenibilità. Tali metodi si basano spesso su ipotesi convenzionali, per consentire la confrontabilità diretta dei risultati rispetto a valori di riferimento. Questo, tuttavia, genera incertezza nel momento in cui si vogliono valutare le prestazioni energetiche di un edificio rispetto alle reali condizioni d'uso e di esercizio. Per questo motivo, consapevoli dell'imprecisione intrinseca dei metodi di calcolo, si è preferito quantificare i possibili risparmi energetici raggiungibili con i diversi interventi di efficienza in termini percentuali, rispetto ad uno stato di fatto di riferimento. Una quantificazione dei consumi in termini assoluti (in kWh) sarebbe infatti potuta risultare, in alcuni casi, fuorviante, o non coerente con i consuntivi delle spese energetiche sostenute dal plesso scolastico.

Per quanto riguarda la validazione del metodo rispetto alla climatizzazione invernale degli edifici scolastici, non è stato possibile testare il metodo su casi reali. Per tale motivo, sono stati costruiti diversi modelli energetici "test" in ambito di simulazione numerica in regime dinamico (attraverso l'utilizzo del software EnergyPlus), per una prima comparazione di massima dei risultati ottenuti applicando la metodologia semplificata, rispetto a metodologie di calcolo che si basano sulla fisica o su metodologie di calcolo applicate da standard internazionali di decennale e comprovata attendibilità (ad esempio standard ASHRAE). Tale analisi di sensitività è stata condotta per quattro climi di riferimento del contesto nazionale: Milano, Roma, Bari, Palermo.

Le stime dei risparmi energetici per la climatizzazione invernale, rispetto a possibili interventi di efficientamento energetico, sono quantificate sulla base del fabbisogno di energia termica utile. La richiesta di definire un metodo semplificato non ha permesso di valutare il peso dei sistemi impiantistici installati o installabili nell'edificio. È stato assunto, con ragionevole approssimazione, che il risparmio energetico stimato in termini di fabbisogno termico utile sia estensibile ai sistemi impiantistici. La diversità di sistemi impiantistici presenti negli edifici esistenti, delle loro architetture, delle svariate possibilità di configurazioni possibili nella ristrutturazione impiantistica (pompe di calore, caldaie ad alta efficienza, solare termico, teleriscaldamento, solare termico ecc... e loro combinazioni), non ha permesso di definire una metodologia semplice e caratterizzata da pochi dati di input che permettesse di quantificare l'efficienza di impianto. Persino l'attuale procedura di calcolo normativa vigente, in alcuni casi, genera delle perplessità sulla attendibilità dei risultati nel quantificare l'efficienza dei sistemi impiantistici di regolazione, di emissione, di distribuzione, di accumulo e di generazione.

L'uso finale relativo alla climatizzazione estiva non è stato considerato all'interno di questo studio. La maggior parte degli edifici scolastici esistenti non è dotato di impianto di climatizzazione. Quando questo uso finale è presente, spesso questo canale di consumo è associato ad una piccola porzione del fabbricato: spazi direzionali, amministrativi, locali insegnanti. Tali spazi, di volumetria molto inferiore rispetto al volume dell'intero edificio scolastico, sono risultati non rappresentativi di un possibile carico di climatizzazione del fabbricato. L'obiettivo del metodo è quello di stimare una percentuale di risparmio energetico rispetto ad usi finali presenti nell'edificio. Il metodo non permette di stimare nuovi consumi energetici, ad esempio per l'installazione di un nuovo impianto di climatizzazione estivo. Infine, per via del grado di semplificazione del metodo, i risultati attesi dei consumi legati alla climatizzazione estiva, risulterebbero troppo piccoli (qualche kWh/(m²anno)) per ottenere delle variazioni percentuali attendibili dei consumi (in diminuzione o in aumento rispetto allo stato di fatto). Infatti, gli ambienti didattici risultano normalmente non utilizzati nei mesi più caldi della stagione estiva (luglio e agosto). Nella realtà, l'ipotetica richiesta di attivazione di un impianto di climatizzazione estiva, si concretizzerebbe solo per qualche ora e qualche giorno della seconda metà di maggio, dei primi giorni di giugno e talvolta nei primi giorni di settembre.

Il rapporto è stato accompagnato da un foglio di calcolo in formato editabile dove sono stati implementati gli algoritmi di seguito discussi.

Prima della messa a disposizione pubblica dell'applicativo, riteniamo indispensabile l'applicazione del metodo su interventi di riqualificazione energetica di istituti scolastici di cui si dispone di dati che descrivono puntualmente l'edificio prima dell'intervento edilizio e almeno un anno, meglio due o tre, di esercizio dell'edificio a valle della riqualificazione.

Questa fase di test permetterebbe di valutare l'introduzione di eventuali ulteriori semplificazioni o aggiornamenti del metodo che, allo stato attuale, non è stato possibile valutare.

2 Definizioni

Viene di seguito riproposto il glossario di armonizzazione delle definizioni che sono state utilizzate all'interno del presente e dei precedenti rapporti e che hanno trovato riscontro nella terminologia riportata nella normativa e nella legislazione nazionale vigente.

Fabbisogno di energia termica (utile).

Quantità di calore che deve essere fornita o sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo [1].

Fabbisogno netto di energia termica utile.

Fabbisogno diminuito della quantità di perdite recuperate [4].

Ad esempio, per l'acqua calda sanitaria da intendersi come energia necessaria per innalzare la temperatura dell'acqua di fornitura dell'acquedotto alla temperatura desiderata, al netto delle perdite del sistema impiantistico.

Apporti termici utili.

Porzione degli apporti termici interni e solari che contribuisce alla riduzione del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento [5].

Energia totale usata per l'illuminazione.

Energia consumata nel periodo t, espressa dalla somma delle potenze degli apparecchi di illuminazione con le lampade attive, alla quale si sommano i carichi parassiti quando le lampade sono inattive, in un locale o zona, misurata in kWh [6].

Energia consegnata o fornita.

Energia espressa per vettore energetico finale, fornita al confine dell'edificio agli impianti tecnici per produrre energia termica o elettrica per i servizi energetici dell'edificio [8].

Confine del sistema o confine energetico dell'edificio.

Confine che include tutte le aree di pertinenza dell'edificio, sia all'interno che all'esterno dello stesso, dove l'energia è consumata o prodotta [8].

Energia da fonti rinnovabili.

Energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idro-termica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas [8].

Energia primaria.

Energia, da fonti rinnovabili e non, che non ha subito alcun processo di conversione o trasformazione [8].

Energia prodotta in situ: energia prodotta o captata o prelevata all'interno del confine del sistema [8].

Fattore di conversione in energia primaria.

Valore adimensionale che indica la quantità di energia primaria impiegata per produrre un'unità di energia fornita, per un dato vettore energetico; tiene conto dell'energia necessaria per l'estrazione, il processamento, lo stoccaggio, il trasporto e, nel caso dell'energia elettrica, del rendimento medio del sistema di generazione e delle perdite medie di trasmissione del sistema elettrico nazionale e nel caso del teleriscaldamento, delle perdite medie di distribuzione della rete. Questo fattore può riferirsi all'energia primaria non rinnovabile, all'energia primaria rinnovabile o all'energia primaria totale come somma delle precedenti [8].

Fattore di conversione in energia primaria totale [9] $f_{P,tot}$ è pari a:

$$f_{P,tot} = f_{P,nren} + f_{P,ren}$$

dove:

$f_{P,nren}$: fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile

$f_{P,ren}$: fattore di conversione in energia primaria rinnovabile

Edificio.

È un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti [8].

Fabbricato.

Sistema costituito dalle strutture edilizie esterne, costituenti l'involucro dell'edificio, che delimitano un volume definito e dalle strutture interne di ripartizione dello stesso volume. Sono esclusi gli impianti e i dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno [8].

Involucro di un edificio.

Elementi e componenti integrati di un edificio che ne separano gli ambienti interni dall'ambiente esterno [8].

Superficie disperdente S (m²).

Superficie che delimita il volume climatizzato "V" rispetto all'esterno, al terreno, ad ambienti a diversa temperatura o ambienti non dotati di impianto di climatizzazione [9].

Ambiente climatizzato.

Vano o spazio chiuso che, ai fini del calcolo, è considerato riscaldato o raffrescato a determinate temperature di regolazione [1].

Ambiente non climatizzato.

Vano o spazio chiuso che non fa parte di un ambiente climatizzato [5].

Area climatizzata.

Area del pavimento degli ambienti climatizzati, comprendente l'area di tutti i piani se più di uno, esclusi piani interrati o altri ambienti non abitabili. Ai fini del calcolo degli apporti termici interni, è intesa al netto delle pareti perimetrali e di tutti i divisori verticali [1].

Apporti termici interni.

Calore generato all'interno dell'edificio dagli occupanti (calore metabolico sensibile) e dalle apparecchiature, quali apparecchi domestici, dispositivi d'ufficio, ecc., diverse dall'energia intenzionalmente fornita per il riscaldamento, il raffrescamento o la preparazione dell'acqua calda sanitaria [5].

Apporti termici solari.

Calore fornito dalla radiazione solare entrante nell'edificio, direttamente o indirettamente (in seguito all'assorbimento negli elementi edilizi), attraverso le finestre, le pareti opache e le coperture, o i dispositivi solari passivi come le serre solari, l'isolamento trasparente e le pareti solari [5].

3 Descrizione delle attività svolte e risultati

3.1 Definizione della presenza o meno di uno spazio dedicato ad attività motorie (palestra).

DESCRIZIONE

L'utente dovrà definire la presenza o meno di uno spazio dedicato ad attività motorie (palestre).
Questo permetterà di definire profili di uso e gestione dello spazio palestra differenti rispetto all'edificio scolastico

METODO

Metodo di inserimento dati di tipo tabellare.

RIFERIMENTI

n.a.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

→ Indicare se è presente o meno uno spazio palestra

CALCOLO

↓ Nessun calcolo previsto. Sezione di dati di ingresso

OUTPUT

← Informazione relativa alla presenza o meno di uno spazio dedicato ad attività motorie (palestra)

ESEMPIO

In grigio sono evidenziati i campi da rendere editabili

È PRESENTE UNA PALESTRA?	si/no
--------------------------	-------

3.2 Definizione degli archi temporali di riferimento.

DESCRIZIONE

Il metodo di calcolo semplificato implementato permette all'utente di differenziare temporalmente le modalità di uso e gestione dell'edificio. Questo è propedeutico al calcolo della temperatura di bilancio, con lo scopo di considerare nel tempo la variazione degli apporti interni dovuti alla presenza di persone, apparecchiature elettriche, il contributo degli apporti solari, la variazione dei set point di regolazione impiantistica.

In funzione di come l'edificio scolastico viene utilizzato dovrà essere implementata una schermata che permetta all'utente di indicare se in quello specifico arco temporale l'impianto di riscaldamento risulta acceso o spento, con quale temperatura di setpoint, e se nello stesso arco temporale sono presenti o meno degli studenti.

Questa profilazione verrà applicata a tutto l'edificio, ad eccezione degli spazi dedicati allo svolgimento di attività motorie (palestre).

METODO

Metodo di inserimento dati di tipo tabellare.

RIFERIMENTI

n.a.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

La discretizzazione temporale delle funzioni svolte non può tener conto delle singolarità (di spazio o di uso dell'edificio), eventi eccezionali, o festività. La profilazione è costruita sulla base di una settimana tipo.

DATI DI INGRESSO

- Ora di inizio dell'arco temporale.
- Ora di fine dell'arco temporale.
- Giorno della settimana di applicazione.
- Attivazione o meno dell'impianto di riscaldamento.
- Temperatura di setpoint dell'impianto di riscaldamento $[T_{int,stp}]$ in $[^{\circ}C]$.
- Presenza o meno di attività didattiche.
- Inserire un minimo di n. 4 intervalli (archi) temporali

CALCOLO

- ↓ Nessun calcolo previsto. Sezione di dati di ingresso

OUTPUT

- ← Tabella riassuntiva dei dati di ingresso inseriti

ESEMPIO

In grigio sono evidenziati i campi da rendere editabili

NOME PROFILO: PROFILO 1 Scuola

Definizione archi temporali	Impianto ON	Impianto OFF	Temperatura aria interna di setpoint	Presenza di studenti	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
					x	Lunedì
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7		x			x	Martedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13	x		21	x	x	Mercoledì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18	x		21		x	Giovedì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24		x			x	Venerdì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y						Sabato
						Domenica

NOME PROFILO: PROFILO 2 Scuola

Definizione archi temporali	Impianto ON	Impianto OFF	Temperatura aria interna di setpoint	Presenza di studenti	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
						Lunedì
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7		x				Martedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13		x				Mercoledì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18		x				Giovedì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24		x				Venerdì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y					x	Sabato
					x	Domenica

NOME PROFILO: PROFILO 1 Palestra

Definizione archi temporali	Impianto ON	Impianto OFF	Temperatura aria interna di setpoint	Presenza di studenti	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
					x	Lunedì
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7		x			x	Martedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13	x		18	x	x	Mercoledì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18		x			x	Giovedì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24		x			x	Venerdì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y						Sabato
						Domenica

NOME PROFILO: PROFILO 2 Palestra

Definizione archi temporali	Impianto ON	Impianto OFF	Temperatura aria interna di setpoint	Presenza di studenti	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
						Lunedì
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7		x				Martedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13		x				Mercoledì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18		x				Giovedì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24		x				Venerdì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y					x	Sabato
					x	Domenica

3.3 Definizione dei dati climatici in ingresso.

3.3.1 Temperatura dell'aria esterna e calcolo dei BIN.

DESCRIZIONE

Calcolo dei BIN di temperatura che entrano nell'equazione di bilancio semplificata, sulla base degli archi temporali definiti al paragrafo 2.2.

METODO

Metodo BIN.

RIFERIMENTI

REGIONE LOMBARDIA Decreto dirigente unità organizzativa, 8 marzo 2017 - 2456 - Allegato H, PUNTO 11.8.8.2.1.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

Metodo applicabile solo se disponibile un file climatico orario.

DATI DI INGRESSO

- Valori orari della temperatura a bulbo secco dell'aria esterna $[T_{o,i}]$. Questi valori possono essere ricavati da centraline installate presso l'edificio scolastico, oppure in prossimità (messe a disposizione dalle Agenzie Regionali di Protezione Ambientale, o enti analoghi).
Qualora i dati climatici non siano disponibili, è ritenuto plausibile procedere alla valutazione dei risparmi energetici calcolabili dalla procedura semplificata sulla base di file climatici disponibili liberamente in rete¹, oppure considerando gli anni climatici tipo costruiti dal Comitato Termotecnico Italiano, adottati per determinare i parametri climatici mensili della UNI 10349:2016.

CALCOLO

- ↓ Calcolare per ogni arco temporale il numero di BIN (con $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$, BIN a passi di 1°C) ricompresi in un determinato intervallo di temperatura

Per ogni BIN di temperatura θ con ampiezza $\Delta\theta$, l'intervallo è così definito:

$$\theta - \frac{\Delta\theta}{2} < x < \theta + \frac{\Delta\theta}{2}$$

Ad esempio, per il bin $\theta=10^\circ\text{C}$ con ampiezza $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$ l'intervallo è: $9,5^\circ\text{C} < x \leq 10,5^\circ\text{C}$

- ↓ Assumere come temperature esterne di riferimento per il calcolo dei BIN le temperature comprese tra 40°C e -15°C con un passo di 1°C (ad esempio: -15, -14, -13, -12 ... 36, 37, 38, 39, 40). È auspicabile implementare un sistema di autoscala per definire i valori di minimo e di massimo per ogni località di riferimento, in funzione dei dati orari di temperatura a bulbo secco dell'aria esterna caricati ed utilizzabili nella procedura di calcolo.

OUTPUT

- ← Per ogni arco temporale il numero di BIN per ogni temperatura di riferimento che verrà utilizzato nell'equazione del bilancio energetico

¹ https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/#TMY
https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/ITA%20%20

ESEMPIO

In grigio sono evidenziati i campi da rendere editabili

Di seguito viene riportato il calcolo dei BIN per il mese di gennaio per gli archi temporali individuati.

I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24

Fonte dati climatici: Arpa Lombardia – città di Milano – Stazione di rilevamento di via Juvara

ACCORDO DI PROGRAMMA MSE-ENEA

DATI CLIMATICI							
data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}
01/01/2020 00:00	5,8	03/01/2020 00:00	5,4	05/01/2020 00:00	9,3	07/01/2020 00:00	4,2
01/01/2020 01:00	5,2	03/01/2020 01:00	5,2	05/01/2020 01:00	6,2	07/01/2020 01:00	2,8
01/01/2020 02:00	4,8	03/01/2020 02:00	5,1	05/01/2020 02:00	4,9	07/01/2020 02:00	2
01/01/2020 03:00	4,8	03/01/2020 03:00	5,2	05/01/2020 03:00	4,5	07/01/2020 03:00	1,3
01/01/2020 04:00	4,4	03/01/2020 04:00	5	05/01/2020 04:00	4,4	07/01/2020 04:00	0,4
01/01/2020 05:00	4,3	03/01/2020 05:00	5	05/01/2020 05:00	4,4	07/01/2020 05:00	0,1
01/01/2020 06:00	4,1	03/01/2020 06:00	4,6	05/01/2020 06:00	4,7	07/01/2020 06:00	0,7
01/01/2020 07:00	4,1	03/01/2020 07:00	4,7	05/01/2020 07:00	5,2	07/01/2020 07:00	0,5
01/01/2020 08:00	3,4	03/01/2020 08:00	5	05/01/2020 08:00	5,7	07/01/2020 08:00	0,5
01/01/2020 09:00	2,7	03/01/2020 09:00	5,1	05/01/2020 09:00	6	07/01/2020 09:00	0,4
01/01/2020 10:00	4,1	03/01/2020 10:00	5,9	05/01/2020 10:00	7,8	07/01/2020 10:00	1
01/01/2020 11:00	5,9	03/01/2020 11:00	6,2	05/01/2020 11:00	10	07/01/2020 11:00	2,4
01/01/2020 12:00	7,7	03/01/2020 12:00	7	05/01/2020 12:00	11,2	07/01/2020 12:00	1,9
01/01/2020 13:00	9,7	03/01/2020 13:00	8	05/01/2020 13:00	13,2	07/01/2020 13:00	1,8
01/01/2020 14:00	11,2	03/01/2020 14:00	7,8	05/01/2020 14:00	13,4	07/01/2020 14:00	2,5
01/01/2020 15:00	12,1	03/01/2020 15:00	7,5	05/01/2020 15:00	13,5	07/01/2020 15:00	3,4
01/01/2020 16:00	11,9	03/01/2020 16:00	7,8	05/01/2020 16:00	12,4	07/01/2020 16:00	2,5
01/01/2020 17:00	10,3	03/01/2020 17:00	8,2	05/01/2020 17:00	11,7	07/01/2020 17:00	1,8
01/01/2020 18:00	8,9	03/01/2020 18:00	7,7	05/01/2020 18:00	11,1	07/01/2020 18:00	2
01/01/2020 19:00	7,8	03/01/2020 19:00	7,4	05/01/2020 19:00	10,5	07/01/2020 19:00	1,9
01/01/2020 20:00	7,1	03/01/2020 20:00	7,7	05/01/2020 20:00	9,5	07/01/2020 20:00	1,4
01/01/2020 21:00	6,7	03/01/2020 21:00	7,2	05/01/2020 21:00	8	07/01/2020 21:00	1,6
01/01/2020 22:00	6,2	03/01/2020 22:00	6,9	05/01/2020 22:00	6,8	07/01/2020 22:00	1,2
01/01/2020 23:00	5,8	03/01/2020 23:00	6,5	05/01/2020 23:00	6,4	07/01/2020 23:00	0,9
02/01/2020 00:00	5,6	04/01/2020 00:00	6,1	06/01/2020 00:00	6,2	08/01/2020 00:00	1
02/01/2020 01:00	5,6	04/01/2020 01:00	6	06/01/2020 01:00	5,9	08/01/2020 01:00	1,2
02/01/2020 02:00	5,4	04/01/2020 02:00	4,9	06/01/2020 02:00	5,6	08/01/2020 02:00	1
02/01/2020 03:00	5,1	04/01/2020 03:00	4,9	06/01/2020 03:00	5,5	08/01/2020 03:00	0,7
02/01/2020 04:00	4,8	04/01/2020 04:00	4,4	06/01/2020 04:00	5,5	08/01/2020 04:00	0,2
02/01/2020 05:00	4,5	04/01/2020 05:00	4	06/01/2020 05:00	5,6	08/01/2020 05:00	0,2
02/01/2020 06:00	4,4	04/01/2020 06:00	3,5	06/01/2020 06:00	5,2	08/01/2020 06:00	0,1
02/01/2020 07:00	4,4	04/01/2020 07:00	3,7	06/01/2020 07:00	4,7	08/01/2020 07:00	0,1
02/01/2020 08:00	4,1	04/01/2020 08:00	3,8	06/01/2020 08:00	4,8	08/01/2020 08:00	0,2
02/01/2020 09:00	3	04/01/2020 09:00	3,6	06/01/2020 09:00	4,6	08/01/2020 09:00	0,3
02/01/2020 10:00	3,5	04/01/2020 10:00	4	06/01/2020 10:00	5,4	08/01/2020 10:00	0,2
02/01/2020 11:00	4,5	04/01/2020 11:00	5,1	06/01/2020 11:00	5,9	08/01/2020 11:00	0,7
02/01/2020 12:00	5,9	04/01/2020 12:00	6,7	06/01/2020 12:00	6,1	08/01/2020 12:00	2,7
02/01/2020 13:00	7,2	04/01/2020 13:00	9,1	06/01/2020 13:00	6,7	08/01/2020 13:00	5,1
02/01/2020 14:00	8,7	04/01/2020 14:00	10,9	06/01/2020 14:00	5,7	08/01/2020 14:00	4,8
02/01/2020 15:00	9,5	04/01/2020 15:00	11,9	06/01/2020 15:00	4,8	08/01/2020 15:00	5,1
02/01/2020 16:00	9,3	04/01/2020 16:00	11,3	06/01/2020 16:00	5,1	08/01/2020 16:00	4
02/01/2020 17:00	8,7	04/01/2020 17:00	10,2	06/01/2020 17:00	5	08/01/2020 17:00	4,3
02/01/2020 18:00	7,5	04/01/2020 18:00	9,6	06/01/2020 18:00	4,7	08/01/2020 18:00	4,4
02/01/2020 19:00	6,7	04/01/2020 19:00	9,6	06/01/2020 19:00	4,9	08/01/2020 19:00	2,6
02/01/2020 20:00	6,8	04/01/2020 20:00	9,3	06/01/2020 20:00	4,5	08/01/2020 20:00	1,4
02/01/2020 21:00	6,4	04/01/2020 21:00	8,9	06/01/2020 21:00	4,1	08/01/2020 21:00	1,9
02/01/2020 22:00	6	04/01/2020 22:00	9	06/01/2020 22:00	4,1	08/01/2020 22:00	2,4
02/01/2020 23:00	5,6	04/01/2020 23:00	9,4	06/01/2020 23:00	4,6	08/01/2020 23:00	2,3

DATI CLIMATICI							
data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}
09/01/2020 00:00	1	11/01/2020 00:00	6,6	13/01/2020 00:00	5,1	15/01/2020 00:00	6,3
09/01/2020 01:00	1,3	11/01/2020 01:00	6,4	13/01/2020 01:00	4,8	15/01/2020 01:00	6
09/01/2020 02:00	0,7	11/01/2020 02:00	6,2	13/01/2020 02:00	4,9	15/01/2020 02:00	6,2
09/01/2020 03:00	0,3	11/01/2020 03:00	5,3	13/01/2020 03:00	4,8	15/01/2020 03:00	5,3
09/01/2020 04:00	-0,5	11/01/2020 04:00	4,3	13/01/2020 04:00	4,5	15/01/2020 04:00	5,4
09/01/2020 05:00	-0,6	11/01/2020 05:00	4,6	13/01/2020 05:00	4,2	15/01/2020 05:00	5,3
09/01/2020 06:00	-0,7	11/01/2020 06:00	3,4	13/01/2020 06:00	3,8	15/01/2020 06:00	5,5
09/01/2020 07:00	-0,1	11/01/2020 07:00	3,6	13/01/2020 07:00	3	15/01/2020 07:00	5,6
09/01/2020 08:00	-0,5	11/01/2020 08:00	3,7	13/01/2020 08:00	2,8	15/01/2020 08:00	5,1
09/01/2020 09:00	0,1	11/01/2020 09:00	3,9	13/01/2020 09:00	3	15/01/2020 09:00	5,3
09/01/2020 10:00	0,8	11/01/2020 10:00	5,2	13/01/2020 10:00	4,4	15/01/2020 10:00	5,4
09/01/2020 11:00	3,4	11/01/2020 11:00	7,3	13/01/2020 11:00	5,8	15/01/2020 11:00	5,6
09/01/2020 12:00	6,7	11/01/2020 12:00	9,9	13/01/2020 12:00	7,3	15/01/2020 12:00	5,7
09/01/2020 13:00	9	11/01/2020 13:00	10,3	13/01/2020 13:00	8,2	15/01/2020 13:00	6
09/01/2020 14:00	10,5	11/01/2020 14:00	11,7	13/01/2020 14:00	8,6	15/01/2020 14:00	6,4
09/01/2020 15:00	11,3	11/01/2020 15:00	11,6	13/01/2020 15:00	8	15/01/2020 15:00	5,8
09/01/2020 16:00	11,8	11/01/2020 16:00	12,3	13/01/2020 16:00	8,7	15/01/2020 16:00	6,1
09/01/2020 17:00	8,1	11/01/2020 17:00	11,6	13/01/2020 17:00	7,7	15/01/2020 17:00	6,5
09/01/2020 18:00	5,2	11/01/2020 18:00	10,3	13/01/2020 18:00	6,5	15/01/2020 18:00	6,4
09/01/2020 19:00	4,2	11/01/2020 19:00	9,4	13/01/2020 19:00	5,3	15/01/2020 19:00	6,2
09/01/2020 20:00	5,1	11/01/2020 20:00	9,1	13/01/2020 20:00	5,4	15/01/2020 20:00	6,5
09/01/2020 21:00	5,7	11/01/2020 21:00	8,9	13/01/2020 21:00	5,2	15/01/2020 21:00	6,6
09/01/2020 22:00	6,1	11/01/2020 22:00	8,4	13/01/2020 22:00	4,9	15/01/2020 22:00	6,8
09/01/2020 23:00	6,2	11/01/2020 23:00	7,5	13/01/2020 23:00	4,9	15/01/2020 23:00	6,6
10/01/2020 00:00	6,6	12/01/2020 00:00	6,6	14/01/2020 00:00	4,4	16/01/2020 00:00	6,5
10/01/2020 01:00	7	12/01/2020 01:00	6,1	14/01/2020 01:00	4,3	16/01/2020 01:00	6,4
10/01/2020 02:00	5,7	12/01/2020 02:00	5,8	14/01/2020 02:00	4,2	16/01/2020 02:00	6,3
10/01/2020 03:00	5,1	12/01/2020 03:00	5,5	14/01/2020 03:00	4,3	16/01/2020 03:00	6,3
10/01/2020 04:00	6,1	12/01/2020 04:00	5,4	14/01/2020 04:00	4,1	16/01/2020 04:00	6
10/01/2020 05:00	6,4	12/01/2020 05:00	5,3	14/01/2020 05:00	4	16/01/2020 05:00	5,7
10/01/2020 06:00	6,5	12/01/2020 06:00	5,1	14/01/2020 06:00	4,1	16/01/2020 06:00	5,4
10/01/2020 07:00	6,7	12/01/2020 07:00	5,2	14/01/2020 07:00	3,7	16/01/2020 07:00	5,3
10/01/2020 08:00	6,7	12/01/2020 08:00	5,1	14/01/2020 08:00	4,5	16/01/2020 08:00	5,6
10/01/2020 09:00	7,1	12/01/2020 09:00	5	14/01/2020 09:00	4,7	16/01/2020 09:00	6,1
10/01/2020 10:00	7,8	12/01/2020 10:00	6,9	14/01/2020 10:00	5,1	16/01/2020 10:00	6,9
10/01/2020 11:00	7,6	12/01/2020 11:00	7,3	14/01/2020 11:00	5,2	16/01/2020 11:00	8,2
10/01/2020 12:00	7,8	12/01/2020 12:00	7,3	14/01/2020 12:00	4,8	16/01/2020 12:00	8
10/01/2020 13:00	7,2	12/01/2020 13:00	8,2	14/01/2020 13:00	5,6	16/01/2020 13:00	8,9
10/01/2020 14:00	8,2	12/01/2020 14:00	8,9	14/01/2020 14:00	6,6	16/01/2020 14:00	9
10/01/2020 15:00	8,3	12/01/2020 15:00	9,2	14/01/2020 15:00	6,5	16/01/2020 15:00	9,7
10/01/2020 16:00	8,6	12/01/2020 16:00	9,2	14/01/2020 16:00	5,7	16/01/2020 16:00	9,4
10/01/2020 17:00	8,9	12/01/2020 17:00	8,7	14/01/2020 17:00	6	16/01/2020 17:00	9,2
10/01/2020 18:00	8	12/01/2020 18:00	8,2	14/01/2020 18:00	6,3	16/01/2020 18:00	8,5
10/01/2020 19:00	7,7	12/01/2020 19:00	7,5	14/01/2020 19:00	6,3	16/01/2020 19:00	8
10/01/2020 20:00	7,6	12/01/2020 20:00	6,8	14/01/2020 20:00	6,2	16/01/2020 20:00	7,6
10/01/2020 21:00	7,3	12/01/2020 21:00	6,3	14/01/2020 21:00	6,2	16/01/2020 21:00	7,3
10/01/2020 22:00	7	12/01/2020 22:00	6	14/01/2020 22:00	6,3	16/01/2020 22:00	7
10/01/2020 23:00	6,8	12/01/2020 23:00	5,6	14/01/2020 23:00	6,5	16/01/2020 23:00	6,4

ACCORDO DI PROGRAMMA MSE-ENEA

DATI CLIMATICI							
data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}
17/01/2020 00:00	5,9	19/01/2020 00:00	4,5	21/01/2020 00:00	5,2	23/01/2020 00:00	5,5
17/01/2020 01:00	5,6	19/01/2020 01:00	3,9	21/01/2020 01:00	4,9	23/01/2020 01:00	4,9
17/01/2020 02:00	5,2	19/01/2020 02:00	3,9	21/01/2020 02:00	3,8	23/01/2020 02:00	4,1
17/01/2020 03:00	5,2	19/01/2020 03:00	3,4	21/01/2020 03:00	4,1	23/01/2020 03:00	3,5
17/01/2020 04:00	5,3	19/01/2020 04:00	3,6	21/01/2020 04:00	3,7	23/01/2020 04:00	2,8
17/01/2020 05:00	4,8	19/01/2020 05:00	4,7	21/01/2020 05:00	4	23/01/2020 05:00	2,7
17/01/2020 06:00	4,5	19/01/2020 06:00	4,8	21/01/2020 06:00	3,9	23/01/2020 06:00	2,7
17/01/2020 07:00	4,5	19/01/2020 07:00	4,8	21/01/2020 07:00	3,5	23/01/2020 07:00	2,7
17/01/2020 08:00	4,1	19/01/2020 08:00	5	21/01/2020 08:00	3,1	23/01/2020 08:00	2,9
17/01/2020 09:00	4,3	19/01/2020 09:00	5	21/01/2020 09:00	3,7	23/01/2020 09:00	3,6
17/01/2020 10:00	5,1	19/01/2020 10:00	4,7	21/01/2020 10:00	4,8	23/01/2020 10:00	5,1
17/01/2020 11:00	7	19/01/2020 11:00	6,4	21/01/2020 11:00	5,8	23/01/2020 11:00	6,3
17/01/2020 12:00	9,3	19/01/2020 12:00	8,3	21/01/2020 12:00	6,6	23/01/2020 12:00	7,3
17/01/2020 13:00	10,4	19/01/2020 13:00	8	21/01/2020 13:00	6,3	23/01/2020 13:00	9
17/01/2020 14:00	11,2	19/01/2020 14:00	7,3	21/01/2020 14:00	6,5	23/01/2020 14:00	9,7
17/01/2020 15:00	11,4	19/01/2020 15:00	7,6	21/01/2020 15:00	6,2	23/01/2020 15:00	10,1
17/01/2020 16:00	11,6	19/01/2020 16:00	7,7	21/01/2020 16:00	6,6	23/01/2020 16:00	10
17/01/2020 17:00	11,4	19/01/2020 17:00	6,8	21/01/2020 17:00	6,1	23/01/2020 17:00	10,1
17/01/2020 18:00	10,2	19/01/2020 18:00	6,1	21/01/2020 18:00	5,9	23/01/2020 18:00	8,6
17/01/2020 19:00	9,3	19/01/2020 19:00	6,4	21/01/2020 19:00	5,8	23/01/2020 19:00	7,8
17/01/2020 20:00	9	19/01/2020 20:00	6,3	21/01/2020 20:00	5,6	23/01/2020 20:00	7,2
17/01/2020 21:00	8,6	19/01/2020 21:00	5,9	21/01/2020 21:00	5,3	23/01/2020 21:00	6,8
17/01/2020 22:00	7,4	19/01/2020 22:00	5,6	21/01/2020 22:00	5,3	23/01/2020 22:00	6,6
17/01/2020 23:00	6,8	19/01/2020 23:00	5,5	21/01/2020 23:00	5,1	23/01/2020 23:00	6
18/01/2020 00:00	7,2	20/01/2020 00:00	5,6	22/01/2020 00:00	4,9	24/01/2020 00:00	5,7
18/01/2020 01:00	6,8	20/01/2020 01:00	5,4	22/01/2020 01:00	4,1	24/01/2020 01:00	5,5
18/01/2020 02:00	6,5	20/01/2020 02:00	5,5	22/01/2020 02:00	3,5	24/01/2020 02:00	5,2
18/01/2020 03:00	6,7	20/01/2020 03:00	5,7	22/01/2020 03:00	3,1	24/01/2020 03:00	5,2
18/01/2020 04:00	6,4	20/01/2020 04:00	5,7	22/01/2020 04:00	2,9	24/01/2020 04:00	5
18/01/2020 05:00	5,9	20/01/2020 05:00	5,6	22/01/2020 05:00	3	24/01/2020 05:00	4,3
18/01/2020 06:00	6,1	20/01/2020 06:00	5,3	22/01/2020 06:00	3	24/01/2020 06:00	4,1
18/01/2020 07:00	6	20/01/2020 07:00	5	22/01/2020 07:00	2,8	24/01/2020 07:00	4,3
18/01/2020 08:00	6,2	20/01/2020 08:00	4,6	22/01/2020 08:00	2,8	24/01/2020 08:00	3,7
18/01/2020 09:00	6,4	20/01/2020 09:00	4,7	22/01/2020 09:00	3	24/01/2020 09:00	3,3
18/01/2020 10:00	6,6	20/01/2020 10:00	5,6	22/01/2020 10:00	3,9	24/01/2020 10:00	4
18/01/2020 11:00	6,8	20/01/2020 11:00	7,9	22/01/2020 11:00	6,1	24/01/2020 11:00	5,1
18/01/2020 12:00	7,6	20/01/2020 12:00	9,1	22/01/2020 12:00	7,7	24/01/2020 12:00	7,4
18/01/2020 13:00	8	20/01/2020 13:00	10,7	22/01/2020 13:00	8	24/01/2020 13:00	9,1
18/01/2020 14:00	9,5	20/01/2020 14:00	10,6	22/01/2020 14:00	8,9	24/01/2020 14:00	10,1
18/01/2020 15:00	10,1	20/01/2020 15:00	10,8	22/01/2020 15:00	9,8	24/01/2020 15:00	9,5
18/01/2020 16:00	9,3	20/01/2020 16:00	10,2	22/01/2020 16:00	10,1	24/01/2020 16:00	8,8
18/01/2020 17:00	8,4	20/01/2020 17:00	9,3	22/01/2020 17:00	9,4	24/01/2020 17:00	8,3
18/01/2020 18:00	8,1	20/01/2020 18:00	8	22/01/2020 18:00	8,4	24/01/2020 18:00	7,5
18/01/2020 19:00	7,4	20/01/2020 19:00	7,5	22/01/2020 19:00	7,5	24/01/2020 19:00	6,9
18/01/2020 20:00	7	20/01/2020 20:00	7,1	22/01/2020 20:00	7,1	24/01/2020 20:00	7,1
18/01/2020 21:00	6,8	20/01/2020 21:00	7,2	22/01/2020 21:00	7	24/01/2020 21:00	7,1
18/01/2020 22:00	6,2	20/01/2020 22:00	6,7	22/01/2020 22:00	7	24/01/2020 22:00	7,1
18/01/2020 23:00	5,6	20/01/2020 23:00	5,9	22/01/2020 23:00	6,5	24/01/2020 23:00	6,9

DATI CLIMATICI							
data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}	data e ora	T _{aria}
25/01/2020 00:00	6,7	27/01/2020 00:00	7,7	29/01/2020 00:00	6,3	31/01/2020 00:00	6,9
25/01/2020 01:00	6,3	27/01/2020 01:00	7,6	29/01/2020 01:00	6,1	31/01/2020 01:00	6,9
25/01/2020 02:00	5,8	27/01/2020 02:00	7,5	29/01/2020 02:00	6,1	31/01/2020 02:00	7
25/01/2020 03:00	5,5	27/01/2020 03:00	6,7	29/01/2020 03:00	6	31/01/2020 03:00	7,3
25/01/2020 04:00	5,4	27/01/2020 04:00	5,7	29/01/2020 04:00	6,4	31/01/2020 04:00	7,2
25/01/2020 05:00	5,4	27/01/2020 05:00	5,8	29/01/2020 05:00	6,1	31/01/2020 05:00	6,9
25/01/2020 06:00	5,7	27/01/2020 06:00	5,6	29/01/2020 06:00	6	31/01/2020 06:00	6,8
25/01/2020 07:00	6	27/01/2020 07:00	5,5	29/01/2020 07:00	5,8	31/01/2020 07:00	6,8
25/01/2020 08:00	6,3	27/01/2020 08:00	5,2	29/01/2020 08:00	6,1	31/01/2020 08:00	6,9
25/01/2020 09:00	6	27/01/2020 09:00	4,8	29/01/2020 09:00	6	31/01/2020 09:00	6,5
25/01/2020 10:00	6,4	27/01/2020 10:00	5,6	29/01/2020 10:00	7,7	31/01/2020 10:00	8,2
25/01/2020 11:00	6,7	27/01/2020 11:00	7,1	29/01/2020 11:00	10	31/01/2020 11:00	9,3
25/01/2020 12:00	6,9	27/01/2020 12:00	8,9	29/01/2020 12:00	11,8	31/01/2020 12:00	10,8
25/01/2020 13:00	7,4	27/01/2020 13:00	9	29/01/2020 13:00	13,2	31/01/2020 13:00	12,5
25/01/2020 14:00	8,4	27/01/2020 14:00	10,6	29/01/2020 14:00	14,1	31/01/2020 14:00	12,2
25/01/2020 15:00	8,5	27/01/2020 15:00	11,1	29/01/2020 15:00	15,3	31/01/2020 15:00	14
25/01/2020 16:00	8,2	27/01/2020 16:00	10,1	29/01/2020 16:00	15,7	31/01/2020 16:00	15,4
25/01/2020 17:00	8,3	27/01/2020 17:00	10	29/01/2020 17:00	14,6	31/01/2020 17:00	14,7
25/01/2020 18:00	8,5	27/01/2020 18:00	9,6	29/01/2020 18:00	13,3	31/01/2020 18:00	11,8
25/01/2020 19:00	7,7	27/01/2020 19:00	9,1	29/01/2020 19:00	12,2	31/01/2020 19:00	10,9
25/01/2020 20:00	7,9	27/01/2020 20:00	9,1	29/01/2020 20:00	11,4	31/01/2020 20:00	10,2
25/01/2020 21:00	7,6	27/01/2020 21:00	8,9	29/01/2020 21:00	10,8	31/01/2020 21:00	10,1
25/01/2020 22:00	6,7	27/01/2020 22:00	8,9	29/01/2020 22:00	10,3	31/01/2020 22:00	10,7
25/01/2020 23:00	6,8	27/01/2020 23:00	8,4	29/01/2020 23:00	10,2	31/01/2020 23:00	10,9
26/01/2020 00:00	6,6	28/01/2020 00:00	7,5	30/01/2020 00:00	9,6		
26/01/2020 01:00	6,5	28/01/2020 01:00	7,2	30/01/2020 01:00	8,9		
26/01/2020 02:00	6,4	28/01/2020 02:00	7	30/01/2020 02:00	8,5		
26/01/2020 03:00	6,5	28/01/2020 03:00	7	30/01/2020 03:00	8,1		
26/01/2020 04:00	6,2	28/01/2020 04:00	7,1	30/01/2020 04:00	7,5		
26/01/2020 05:00	6,3	28/01/2020 05:00	7,2	30/01/2020 05:00	7,1		
26/01/2020 06:00	6,1	28/01/2020 06:00	6,9	30/01/2020 06:00	6,7		
26/01/2020 07:00	5,9	28/01/2020 07:00	7	30/01/2020 07:00	6,4		
26/01/2020 08:00	5,8	28/01/2020 08:00	7,1	30/01/2020 08:00	6,8		
26/01/2020 09:00	5,6	28/01/2020 09:00	7,4	30/01/2020 09:00	6		
26/01/2020 10:00	6,1	28/01/2020 10:00	7,1	30/01/2020 10:00	7,5		
26/01/2020 11:00	8,1	28/01/2020 11:00	7,3	30/01/2020 11:00	9,3		
26/01/2020 12:00	9,7	28/01/2020 12:00	7,8	30/01/2020 12:00	9,7		
26/01/2020 13:00	10,8	28/01/2020 13:00	7,7	30/01/2020 13:00	10,6		
26/01/2020 14:00	11,5	28/01/2020 14:00	7,6	30/01/2020 14:00	11,6		
26/01/2020 15:00	11,5	28/01/2020 15:00	7,8	30/01/2020 15:00	11,8		
26/01/2020 16:00	10,2	28/01/2020 16:00	8,4	30/01/2020 16:00	11,3		
26/01/2020 17:00	9,9	28/01/2020 17:00	9,1	30/01/2020 17:00	11		
26/01/2020 18:00	9,2	28/01/2020 18:00	8,6	30/01/2020 18:00	10,1		
26/01/2020 19:00	8,7	28/01/2020 19:00	8,1	30/01/2020 19:00	9,4		
26/01/2020 20:00	8,2	28/01/2020 20:00	8	30/01/2020 20:00	8,8		
26/01/2020 21:00	7,8	28/01/2020 21:00	7,8	30/01/2020 21:00	8,6		
26/01/2020 22:00	7,7	28/01/2020 22:00	7,7	30/01/2020 22:00	7,8		
26/01/2020 23:00	7,6	28/01/2020 23:00	7,1	30/01/2020 23:00	7,3		

CALCOLO BIN	I ARCO + IV ARCO 0:00-7:00 + 18:00-0:00	II ARCO 7:00-13:00	III ARCO 13:00-18:00
θ_e [°C]	Ore al giorno = 13	Ore al giorno = 6	Ore al giorno = 5
40	0	0	0
39	0	0	0
38	0	0	0
37	0	0	0
36	0	0	0
35	0	0	0
34	0	0	0
33	0	0	0
32	0	0	0
31	0	0	0
30	0	0	0
29	0	0	0
28	0	0	0
27	0	0	0
26	0	0	0
25	0	0	0
24	0	0	0
23	0	0	0
22	0	0	0
21	0	0	0
20	0	0	0
19	0	0	0
18	0	0	0
17	0	0	0
16	0	0	1
15	0	0	4
14	0	0	2
13	1	0	4
12	2	1	15
11	6	2	18
10	12	5	20
9	25	5	29
8	34	15	26
7	74	30	9
6	94	37	14
5	71	35	6
4	41	24	2
3	14	17	1
2	7	2	4
1	13	3	0
0	6	9	0
-1	3	1	0
-2	0	0	0
-3	0	0	0
-4	0	0	0
-5	0	0	0
-6	0	0	0
-7	0	0	0
-8	0	0	0
-9	0	0	0
-10	0	0	0
-11	0	0	0
-12	0	0	0
-13	0	0	0
-14	0	0	0
-15	0	0	0

3.3.2 Irradiazione solare.

DESCRIZIONE

Definizione dell'irradiazione solare per il calcolo degli apporti solari in ingresso all'edificio attraverso le superfici trasparenti.

Tali valori devono essere esplicitati per esposizione (Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ovest, Ovest, Nord-Ovest, Piano Orizzontale), per ogni mese dell'anno (da gennaio a dicembre).

METODO

Applicare il metodo della UNI 10349:2016.

RIFERIMENTI

UNI 10349:2016.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

→ Irradiazione solare media mensile per orientamento.

CALCOLO

↓ Applicare metodo della UNI 10349:2016.

OUTPUT

→ Irradiazione solare media mensile per orientamento per il calcolo degli apporti solari attraverso le superfici trasparenti.

3.4 Definizione della geometria e delle caratteristiche termofisiche dei componenti dell'involucro edilizio.

3.4.1 Superfici opache e trasparenti.

DESCRIZIONE

Definizione delle superfici disperdenti opache e trasparenti della porzione di edificio dedicata all'attività didattica. Ripetere l'operazione per gli spazi dedicati alle attività motorie (palestre).

METODO

n.a.

RIFERIMENTI

n.a.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

- Sulla base della tabella di raccolta dati allegata al rapporto [1] è necessario creare un database di raccolta dati in cui vengano inserite:
 - le superfici lorde disperdenti degli elementi opachi suddivise per valore di trasmittanza termica ed esposizione. Il valore di trasmittanza termica $[W/m^2K]$ deve essere predeterminato prima dell'ingresso dei dati e associato a ciascuna superficie;
 - le superfici lorde disperdenti degli elementi trasparenti suddivise per valore di trasmittanza termica, fattore di trasmittanza solare, ed esposizione. Il valore di trasmittanza termica $[W/m^2K]$ ed il fattore di trasmittanza solare deve essere predeterminato prima dell'ingresso dei dati e associato a ciascuna superficie.

La raccolta dei dati geometrici e prestazionali degli elementi tecnici di involucro deve essere costruita in modo da poter differenziare l'edificio scolastico dagli spazi dedicati ad attività motorie (palestre).

CALCOLO

- ↓ Nessun calcolo previsto. Sezione di dati di ingresso.

OUTPUT

- ← Elenco (differenziato tra edificio scolastico e palestra) delle superfici disperdenti opache, differenziate per esposizione e trasmittanza termica per il calcolo delle dispersioni per trasmissione.
- ← Elenco (differenziato tra edificio scolastico e palestra) delle superfici disperdenti trasparenti, differenziate per esposizione e trasmittanza termica per il calcolo delle dispersioni per trasmissione.
- ← Elenco (differenziato tra edificio scolastico e palestra) delle superfici disperdenti trasparenti, differenziate per esposizione e fattore di trasmittanza solare per il calcolo degli apporti solari.

3.4.2 Volume di aria netta interna.

DESCRIZIONE

Definizione del volume di aria netto interno della porzione di edificio dedicata all'attività didattica. Ripetere l'operazione per gli spazi dedicati alle attività motorie (palestre).

METODO

n.a.

RIFERIMENTI

n.a.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

- Sulla base della tabella di raccolta dati allegata al rapporto [1] è necessario creare un database di raccolta dati in cui inserire:
 - il volume netto di aria della porzione di edificio dedicata alle attività didattiche;
 - il volume netto di aria della porzione di edificio dedicata alle attività motorie (palestra).

CALCOLO

- ↓ Nessun calcolo previsto. Sezione di dati di ingresso.

OUTPUT

- ← Volume di aria netto della porzione di edificio dedicata alle attività didattiche.
- ← Volume di aria netto della porzione di edificio dedicata alle attività motorie.

3.5 Calcolo della temperatura di bilancio.

3.5.1 Calcolo degli apporti interni dovuti alla presenza di persone.

DESCRIZIONE

Definizione dell'apporto interno dovuto alla presenza di persone

METODO

Definizione dell'apporto termico generato dagli occupanti dell'edificio sulla base del numero di studenti. Differenziare l'apporto termico degli spazi dedicati ad attività didattiche da quelli destinati allo svolgimento delle attività motorie.

L'apporto termico dovuto alla presenza di studenti deve essere caratterizzato per ogni arco temporale di riferimento selezionato in 2.2.

RIFERIMENTI

EN 16798-2:2019 [7]

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

- Numero di alunni iscritti (nP_{Tx}) presenti nello specifico arco temporale di riferimento
- Età media degli alunni (AGE_{Ave})

CALCOLO

- ↓ Calcolo dell'apporto termico ($IG_{pers,Tx}$) dovuto alla presenza di persone all'interno degli spazi confinati nello specifico arco temporale di riferimento T_x

$$IG_{pers} = nP_{Tx} \times AGE_{Ave} \times MET_{Tx} \times 58,15 \times A_{DU} \quad [W]$$

Dove:

MET_{Tx} : rappresenta l'attività metabolica di un soggetto svolta nello specifico arco temporale di riferimento (Table C.3 EN 16798-2)

58,15: rappresenta la potenza termica immessa da un soggetto per 1 MET per unità di superficie corporea [W/m^2]

A_{DU} : la superficie corporea media di un soggetto riferita all'età media (Table C.1 oppure Table C.2 EN 16798-2)

Di seguito sono riportati gli estratti del riferimento normativo citato nella presente sezione.

Table C.1 — Body surface area of occupants in day care centre, kinder garden and school [2]

	Age	Girl/Female					Boy/Male				
		W		H		A_{DU}	W		H		A_{DU}
		Lb	Kg	Inch	m		m ²	Lb	Kg	Inch	
Day care centre	2	26,5	12,0	33,5	0,9	0,5	27,5	12,5	34,2	0,9	0,5
	3	31,5	14,3	37,0	0,9	0,6	31,0	14,1	37,5	1,0	0,6
	4	34,0	15,5	39,5	1,0	0,6	36,0	16,4	40,3	1,0	0,7
Kindergarden	5	39,5	18,0	42,5	1,1	0,7	40,5	18,4	43,0	1,1	0,7
	Age	Girl/Female					Boy/Male				
		W		H		A_{DU}	W		H		A_{DU}
		Lb	Kg	Inch	m		m ²	Lb	Kg	Inch	
	6	44,0	20,0	45,5	1,2	0,8	45,5	20,7	45,5	1,2	0,8
School											
G - 1	7	49,5	22,5	47,7	1,2	0,9	50,5	23,0	48,0	1,2	0,9
G - 2	8	57,0	25,9	50,5	1,3	1,0	56,5	25,7	50,4	1,3	1,0
G - 3	9	62,0	28,2	52,5	1,3	1,0	63,0	28,6	52,5	1,3	1,0
G - 4	10	70,5	32,0	54,5	1,4	1,1	70,5	32,0	54,5	1,4	1,1
G - 5	11	81,5	37,0	56,7	1,4	1,2	78,5	35,7	56,5	1,4	1,2
G - 6	12	91,5	41,6	59,0	1,5	1,3	88,0	40,0	58,7	1,5	1,3
G - 7	13	101,0	45,9	61,7	1,6	1,4	100,0	45,5	61,5	1,6	1,4
G - 8	14	105,0	47,7	62,5	1,6	1,5	112,0	50,9	64,5	1,6	1,5
G - 9	15	115,0	52,3	62,9	1,6	1,5	123,5	56,1	67,0	1,7	1,6
G - 10	16	118,0	53,6	64,0	1,6	1,6	134,0	60,9	68,3	1,7	1,7
G - 11	17	120,0	54,5	64,0	1,6	1,6	142,0	64,5	69,0	1,8	1,8
G - 12	18	125,0	56,8	64,2	1,6	1,6	147,0	66,8	69,2	1,8	1,8

Table C.2 — Average body surface area used in the calculations of occupants heat emission

Building type	A_{DU} (m ²)
Detached house	1,70
Apartment building	1,70
Office building	1,70
Department store	1,70
Hotel	1,70
Restaurant	1,70
Sport, terminal, theatre	1,70
School	1,68
Daycare centre (2-4 yr)	0,66
Kindergarden (5-6 yr)	0,77
Hospital	1,70
Meeting room	1,70
Classroom	1,70
Computer classroom	1,70

Table C.3 — Metabolic rates of studied building categories [3, 4, 5, 6]

Institution			Met
Day care centre	Children	2 - 4 yr	1,0
	Professional	Adult people	1,91
Kinder garden	Children	5 - 6 yr	1,39
School	Grade 1 to 6	7 - 12 yr	1,2
	Grade 7 to 12	13 - 18 yr	1,2
	Teacher	Adult people	1,46 - 1,72
Department store		Adult worker	1,6
Office, meeting room		Adult office worker (sedentary)	1,2
Detached house, apartment building		Adult people	1,2
Hotel, restaurant, hospital		Adult people (sedentary)	1,2
Sport, terminal, theatre		Adult people	1,6

OUTPUT

← Valore degli apporti interni in watt, che deve essere inserito nell’equazione per il calcolo della temperatura di bilancio, differenziato per gli spazi dedicati alle attività didattiche rispetto a quelli destinati per lo svolgimento delle attività motorie.

ESEMPIO

Esempio di calcolo per una scuola primaria di primo grado da 120 alunni.

IG_{pers} scuola

				nP _{Tx}	AGE _{ave}	MET _{Tx} ¹⁾	A _{DU} ²⁾	IG _{pers}
				-	anni	-	m ²	Watt
I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7	0				
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13	120	10	1,2	1,1	9206
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18	0				
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24	0				

¹⁾ Table C.3 EN 16798-2:2019

²⁾ Table C.1 EN 16798-2:2020

IG_{pers} palestra

				nP _{Tx}	AGE _{ave}	MET _{Tx} ¹⁾	A _{DU} ²⁾	IG _{pers}
				-	anni	-	m ²	Watt
I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7	0				
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13	20	10	1,6	1,1	2046
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18	0				
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24	0				

¹⁾ Table C.3 EN 16798-2:2019

²⁾ Table C.1 EN 16798-2:2020

3.5.2 Calcolo degli apporti interni generati dalle apparecchiature elettriche.

DESCRIZIONE

Stima del contributo di calore immesso all'interno degli spazi confinati dalle apparecchiature elettriche presenti all'interno dell'edificio.

METODO

Valore stimabile dalle bollette elettriche qualora non sia possibile misurare l'energia elettrica importata per gli usi diversi dalla climatizzazione invernale, estiva, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione.

In alternativa, il metodo prevede l'inserimento di un assorbimento elettrico specifico per unità di superficie utile di pavimento, ricavato da standard tecnici e normativi.

RIFERIMENTI

STANDARD SIA 2024:2015.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

Metodologia non applicabile per gli spazi non dedicati ad uso didattico (cucine, lavanderie, ecc..).

Tale apporto termico è da ritenersi trascurabile per spazi dedicati ad attività motorie come le palestre, e per questo motivo in questi spazi non deve essere considerato.

DATI DI INGRESSO

E' disponibile una lettura degli assorbimenti elettrici diversi dalla climatizzazione invernale, estiva, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione?

❖ SI

→ Inserire la lettura della misurazione disponibile in kWh_{EE}.

→ Inserire il numero di giorni a cui si riferisce la lettura dei kWh elettrici importati dalla rete [n_{gg,EE}].

❖ NO

→ Assegnare una potenza specifica degli apparecchi per unità di superficie utile di pavimento pari a 4 W/m².

→ Superficie utile di pavimento, ricavabile dai dati di input geometrici dell'edificio.

CALCOLO

E' disponibile una lettura degli assorbimenti elettrici diversi dalla climatizzazione invernale, estiva, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione?

- ❖ SI
 - ↓ Ripartire la lettura effettuata rispetto al numero di giorni inseriti come dato di ingresso in $n_{gg,EE}$, ottenendo così un assorbimento medio giornaliero $[kWh_{EE,ave,day}]$.
 - ↓ Definire una ripartizione media del carico nelle ventiquattro ore della giornata tipo. Se non conosciuta o difficilmente stimabile, assumere il profilo di assorbimento medio definito in Tabella 1.
 - ↓ Dividere il valore di assorbimento medio giornaliero ottenuto $[kWh_{EE,ave,day}]$ per un coefficiente definito come la somma algebrica di tutte le frazioni temporali $[F_{h,EE,weekday}]$ indicate in Tabella 1 nella seconda colonna (nel caso specifico pari a 11,4).
 - ↓ Moltiplicare il valore calcolato al punto precedente per la "frazione di assorbimento medio del carico elettrico" riportata in Tabella 1 e Tabella 2 per ogni ora.
 - ↓ Quantificare l'assorbimento elettrico medio per ogni arco temporale T_x sulla base di quanto definito in [2.2], come media dei valori orari ricavati al punto precedente, sulla base del numero di ore dello specifico arco temporale T_x $[n_{m,Tx}]$ $[EE_{Tx,weekday}; EE_{Tx,weekend}]$

$$EE_{Tx,weekday} = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{kWh_{lettura}}{n_{gg,EE}} \right) \times F_{h,EE,weekday,j}}{n_{m,T}} [W]$$

$$EE_{Tx,weekend} = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{kWh_{lettura}}{n_{gg,EE}} \right) \times F_{h,EE,weekend,j}}{n_{m,T}} [W]$$

dove

n: ore del giorno (24)

m: ora ricomprese nello specifico arco temporale T_x

- ❖ NO
 - ↓ Assegnare una potenza specifica degli apparecchi per unità di superficie utile di pavimento pari a 4 W/m² $[EE_{m2}]$
 - ↓ Moltiplicare il valore calcolato al punto precedente per la "frazione di assorbimento medio del carico elettrico" riportata in Tabella 1 e Tabella 2 per ogni ora.
 - ↓ Quantificare l'assorbimento elettrico medio per ogni arco temporale T_x , in Watt, sulla base di quanto definito in [2.2], come media dei valori orari ricavati al punto precedente, sulla base del numero di ore dello specifico arco temporale T_x $[n_{m,Tx}]$ $[EE_{Tx,weekday}; EE_{Tx,weekend}]$
 - ↓ Moltiplicare i valori calcolati di cui al punto precedente per la superficie utile di pavimento della scuola $[S_u]$.

$$EE_{Tx,weekday} = \left[\frac{\sum_{j=1}^m (EE_{m2} \times F_{h,EE,weekday,j})}{n_{m,Tx}} \right] \times S_u [W]$$

$$EE_{Tx,weekend} = \left[\frac{\sum_{j=1}^m (EE_{m2} \times F_{h,EE,weekend,j})}{n_{m,Tx}} \right] \times S_u [W]$$

dove

n: ore del giorno (24)

m: ora ricomprese nello specifico arco temporale T_x
 n_{m,T_x} : numero di ore dello specifico arco temporale T_x

Tabella 1: Frazione di assorbimento medio del carico elettrico, per i giorni di occupazione della scuola.

ora	Frazione di assorbimento medio del carico elettrico $F_{h,EE,weekday}$
1	0,2
2	0,2
3	0,2
4	0,2
5	0,2
6	0,2
7	0,2
8	0,8
9	0,8
10	0,8
11	0,8
12	0,8
13	0,8
14	0,8
15	0,8
16	0,8
17	0,8
18	0,8
19	0,2
20	0,2
21	0,2
22	0,2
23	0,2
24	0,2

Tabella 2: Frazione di assorbimento medio del carico elettrico, per i giorni in cui la scuola rimane chiusa.

ora	Frazione di assorbimento medio del carico elettrico $F_{h,EE,weekend}$
1	0,2
2	0,2
3	0,2
4	0,2
5	0,2
6	0,2
7	0,2
8	0,2
9	0,2
10	0,2
11	0,2
12	0,2
13	0,2
14	0,2
15	0,2
16	0,2
17	0,2
18	0,2
19	0,2
20	0,2
21	0,2
22	0,2
23	0,2
24	0,2

OUTPUT

← Potenza termica immessa dalle apparecchiature elettriche per ogni arco temporale di riferimento T_x , per il giorno tipo in cui la scuola risulta occupata o chiusa [W].

ESEMPIO

Esempio di calcolo nel caso in cui non siano disponibili letture di contatori dedicati o misurazioni in sito.

Passo 1: definizione della potenza specifica per unità di superficie di pavimento [EE_{m2}].

Potenza specifica per unità di superficie di pavimento [EE_{m2}]	4	W/m ²
--	---	------------------

Passo 2: calcolo dell'assorbimento medio orario sulla base della frazione di assorbimento del carico elettrico, per i giorni di occupazione della scuola.

ora	Frazione di assorbimento medio del carico elettrico $F_{h,EE,weekday}$	Assorbimento medio orario $F_{h,EE,weekday} \times EE_{m2}$ [W]
1	0,2	0,80
2	0,2	0,80
3	0,2	0,80
4	0,2	0,80
5	0,2	0,80
6	0,2	0,80
7	0,2	0,80
8	0,8	3,20
9	0,8	3,20
10	0,8	3,20
11	0,8	3,20
12	0,8	3,20
13	0,8	3,20
14	0,8	3,20
15	0,8	3,20
16	0,8	3,20
17	0,8	3,20
18	0,8	3,20
19	0,2	0,80
20	0,2	0,80
21	0,2	0,80
22	0,2	0,80
23	0,2	0,80
24	0,2	0,80

Passo 3: calcolo dell'assorbimento medio orario sulla base della frazione di assorbimento del carico elettrico, per i giorni di chiusura della scuola.

ora	Frazione di assorbimento medio del carico elettrico $F_{h,EE,weekend}$	Assorbimento medio orario $F_{h,EE,weekend} \times EE_{m2}$ [W]
1	0,2	0,80
2	0,2	0,80
3	0,2	0,80
4	0,2	0,80
5	0,2	0,80
6	0,2	0,80
7	0,2	0,80
8	0,2	0,80
9	0,2	0,80
10	0,2	0,80
11	0,2	0,80
12	0,2	0,80
13	0,2	0,80
14	0,2	0,80
15	0,2	0,80
16	0,2	0,80
17	0,2	0,80
18	0,2	0,80
19	0,2	0,80
20	0,2	0,80
21	0,2	0,80
22	0,2	0,80
23	0,2	0,80
24	0,2	0,80

Passo 4: calcolo del carico termico medio per unità di superficie utile di pavimento [W/m²] rispetto all’arco temporale di riferimento considerato, ottenuto come media aritmetica dei valori orari calcolati in Tabella 1 e Tabella 2 ricompresi nello specifico arco temporale Tx.

Definizione archi temporali Tx	Carico termico per unità di superficie per apparecchiature elettriche EE_{Tx} [W/m ²]	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7	0,8	x	Lunedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13	2,8	x	Martedì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18	3,2	x	Giovedì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24	1,14	x	Venerdì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y			Sabato
			Domenica

Definizione archi temporali Tx	Carico termico per unità di superficie per apparecchiature elettriche EE_{Tx} [W/m ²]	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7	0,8	Lunedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13	0,8	Martedì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18	0,8	Mercoledì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24	0,8	Giovedì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y		Venerdì
		Sabato
		Domenica

Passo 5: calcolo del carico termico per apparecchiature elettriche da applicare allo specifico arco temporale di riferimento EE_{Tx} ottenuto dal prodotto tra la superficie utile di pavimento della scuola [S_u] (dei soli corpi di fabbrica dedicati ad attività didattiche) ed il carico termico specifico [W/m²], calcolato al precedente "Passo 4". Nell'esempio si assume un edificio con una superficie utile netta di pavimento pari a 562m².

Superficie utile netta del fabbricato dedicato ad attività didattiche [m ²]	562	m ²
---	-----	----------------

Definizione archi temporali Tx	Carico termico per apparecchiature elettriche EE_{Tx} [W]	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7	450	x Lunedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13	1574	x Martedì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18	1798	x Mercoledì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24	642	x Giovedì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y		x Venerdì
		Sabato
		Domenica

Definizione archi temporali Tx	Carico termico per apparecchiature elettriche EE_{Tx} [W]	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7	450	Lunedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13	450	Martedì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18	450	Mercoledì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24	450	Giovedì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y		Venerdì
		Sabato
		Domenica

3.5.3 Calcolo semplificato degli apporti interni generati dall'impianto di illuminazione dell'edificio prima dell'intervento di ristrutturazione.

DESCRIZIONE

Stima del contributo di calore immesso all'interno degli spazi confinati dell'edificio dall'impianto di illuminazione artificiale.

METODO

Calcolo del contributo di calore immesso negli ambienti interni come prodotto tra la potenza elettrica installata rilevabile in sede di sopralluogo ed il numero di ore/giorno di utilizzo medio (informazione richiesta nello schema di raccolta dati definito in [1]), da ripartire sui diversi archi temporali di riferimento T_x . È consigliato suddividere l'edificio in aree omogenee in modo da considerare un differente profilo di utilizzo tra aule didattiche, spazi di circolazione e spazi dedicati ad attività motorie.

Quando il numero di ore/giorno di utilizzo risultasse di difficile stima, lo strumento dovrà permettere di calcolare il tempo di funzionamento a pieno carico secondo la procedura indicata all'interno dello STANDARD SIA 387/4:2007.

RIFERIMENTI

STANDARD SIA 387/4:2017

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

Per la stima delle ore/giorno di utilizzo medio si vuole utilizzare la procedura indicata nello STANDARD SIA 387/4:2007?

❖ NO

→ Inserire il valore di potenza elettrica totale installata degli impianti di illuminazione esistenti [IL].

→ Inserire il numero delle ore/giorno di utilizzo medio dell'impianto di illuminazione artificiale [n_{IL}].

❖ SI

→ Inserire il valore di potenza elettrica totale installata degli impianti di illuminazione esistenti [IL].

→ Inserire il numero delle ore a pieno carico [n_{IL}] calcolate secondo il punto 3.3.3 "Metodo di approssimazione delle ore a pieno carico dell'illuminazione del locale" dello standard SIA 387/4:2017, prendendo come riferimento un'aula campione.

CALCOLO

↓ Ripartire il numero di ore di funzionamento dell'impianto di illuminazione, indipendentemente dalla metodologia con la quale tale dato di ingresso è stato stimato, nei periodi di effettivo utilizzo dell'edificio, rispetto agli archi temporali di riferimento T_x [n_{IL}].

↓ Calcolare per ogni arco tempo temporale T_x , la potenza elettrica media assorbita dall'impianto di illuminazione artificiale, in Watt, all'interno dello specifico arco temporale [$IL_{ave,Tx}$] come:

$$IL_{ave,Tx} = \frac{IL \times n_{IL}}{n_{m,Tx}} \text{ [W]}$$

dove

$n_{m,Tx}$: numero di ore dello specifico arco temporale T_x

OUTPUT

← Potenza termica oraria media immessa all'interno dell'edificio dall'impianto di illuminazione per ogni arco temporale di riferimento T_x , [W].

ESEMPIO

Viene di seguito riportato un esempio di calcolo nel caso in cui sia disponibile il rilievo delle potenze elettriche dei corpi illuminanti installati e sia noto il numero ore/giorno di utilizzo medio dell'impianto di illuminazione artificiale.

Passo 1: inserimento dei dati di ingresso

SCUOLA

Potenza elettrica installata dall'impianto di illuminazione (da rilievo) [IL]	10200	Watt
---	-------	------

SCUOLA

numero delle ore/giorno di utilizzo medio dell'impianto di illuminazione artificiale [n _{IL}]	5	ore
---	---	-----

PALESTRA

Potenza elettrica installata dall'impianto di illuminazione (da rilievo) [IL]	6120	Watt
---	------	------

PALESTRA

numero delle ore/giorno di utilizzo medio dell'impianto di illuminazione artificiale [n _{IL}]	3	ore
---	---	-----

Passo 2: ripartizione delle ore/giorno di utilizzo medio dell'impianto di illuminazione artificiale [n_{IL}] all'interno dei diversi archi temporali di riferimento Tx.

SCUOLA

Definizione archi temporali Tx	Numero di ore medio di utilizzo dell'impianto di illuminazione [ore]	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7	0	x	Lunedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13	2	x	Martedì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18	3	x	Giovedì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24	0	x	Venerdì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y			Sabato
			Domenica

SCUOLA

Definizione archi temporali Tx	Numero di ore medio di utilizzo dell'impianto di illuminazione [ore]	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
I ARCO TEMPORALE 0 <= ora < 7	0		Lunedì
II ARCO TEMPORALE 7 <= ora < 13	0		Martedì
III ARCO TEMPORALE 13 <= ora < 18	0		Mercoledì
IV ARCO TEMPORALE 18 <= ora < 24	0		Giovedì
n. ARCO TEMPORALE... x <= ora < y		x	Venerdì
		x	Sabato
		x	Domenica

PALESTRA

Definizione archi temporali T _x				Numero di ore medio di utilizzo dell'impianto di illuminazione [ore]	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
					x	Lunedì
I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7	0	x	Martedì
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13	3	x	Mercoledì
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18	0	x	Giovedì
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24	0	x	Venerdì
n. ARCO TEMPORALE...	x	<= ora <	y			Sabato
						Domenica

PALESTRA

Definizione archi temporali T _x				Numero di ore medio di utilizzo dell'impianto di illuminazione [ore]	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
						Lunedì
I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7	0		Martedì
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13	0		Mercoledì
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18	0		Giovedì
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24	0		Venerdì
n. ARCO TEMPORALE...	x	<= ora <	y		x	Sabato
					x	Domenica

Passo 3: per ogni arco tempo temporale T_x, calcolare la potenza elettrica media assorbita dall'impianto di illuminazione artificiale, in Watt, [I_{Lave,Tx}].

SCUOLA

Definizione archi temporali T _x				Carico termico medio dell'impianto di illuminazione artificiale [I _{Lave,Tx}] Watt	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
					x	Lunedì
I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7	0	x	Martedì
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13	3400	x	Mercoledì
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18	6120	x	Giovedì
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24	0	x	Venerdì
n. ARCO TEMPORALE...	x	<= ora <	y			Sabato
						Domenica

SCUOLA

Definizione archi temporali Tx				Carico termico medio dell'impianto di illuminazione artificiale [L _{ave,Tx}] Watt	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7	0		Lunedì
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13	0		Martedì
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18	0		Mercoledì
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24	0		Giovedì
n. ARCO TEMPORALE...	x	<= ora <	y		x	Venerdì
					x	Sabato
						Domenica

PALESTRA

Definizione archi temporali Tx				Carico termico medio dell'impianto di illuminazione artificiale [L _{ave,Tx}] Watt	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7	0	x	Lunedì
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13	3060	x	Martedì
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18	0	x	Mercoledì
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24	0	x	Giovedì
n. ARCO TEMPORALE...	x	<= ora <	y			Venerdì
						Sabato
						Domenica

PALESTRA

Definizione archi temporali Tx				Carico termico medio dell'impianto di illuminazione artificiale [L _{ave,Tx}] Watt	Giorni della settimana tipo a cui applicare il profilo	
I ARCO TEMPORALE	0	<= ora <	7	0		Lunedì
II ARCO TEMPORALE	7	<= ora <	13	0		Martedì
III ARCO TEMPORALE	13	<= ora <	18	0		Mercoledì
IV ARCO TEMPORALE	18	<= ora <	24	0		Giovedì
n. ARCO TEMPORALE...	x	<= ora <	y		x	Venerdì
						Sabato
					x	Domenica

3.5.4 Calcolo semplificato degli apporti interni generati dall'impianto di illuminazione dell'edificio dopo l'intervento di ristrutturazione.

DESCRIZIONE

Nel caso in cui siano a disposizione dati di progetto relativi alla sostituzione dell'impianto di illuminazione artificiale esistente, seguire la procedura descritta al punto 0, aggiornando i dati di ingresso con i valori di progetto.

Nel caso in cui non sia disponibile il progetto di sostituzione dell'impianto di illuminazione, considerare una potenza specifica per metro quadro di superficie utile di pavimento dei nuovi corpi illuminanti di:

8 W/m² per la tecnologia LED

15 W/m² per la tecnologia a tubi fluorescenti.

3.5.5 Calcolo degli apporti solari attraverso le superfici trasparenti.

DESCRIZIONE

Stima degli apporti solari gratuiti in ingresso agli ambienti climatizzati attraverso le superfici trasparenti.

METODO

Applicazione del metodo contenuto all'interno della norma UNI/TS 11300-1 nella sezione dedicata al calcolo degli apporti solari sui componenti trasparenti, riponderato sulla base del numero di ore di luce giornaliera medie mensili al fine di considerare la durata degli archi temporali di riferimento Tx, coerentemente con il metodo di calcolo BIN.

Ai fini della semplificazione dei dati di ingresso, così come già discusso in [1], nella presente procedura di calcolo sono omessi gli effetti di eventuali schermature/ostruzioni esterne e di schermature solari mobili. Rimane comunque fortemente consigliato, nella fase di realizzazione dell'applicativo di calcolo inserire eventualmente la possibilità di valutare il contributo di schermature solari mobili, così come definito nella normativa di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici vigente. Tale aggiunta permetterà una maggior precisione di calcolo degli apporti solari interni soprattutto durante la stagione estive.

RIFERIMENTI

UNI/TS 11300-1 e norme correlate

In alternativa

Decreto dirigente unità organizzativa 18 dicembre 2019 - n. 18546 – Regione Lombardia punto 3.3.8

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

I dati di ingresso richiesti dal metodo risultano coerenti con il "Livello 2" della scheda di raccolta dati proposta in [1]. Di seguito richiamati

- Per ogni orientamento/esposizione la superficie dei serramenti caratterizzati da una omogeneità di prestazione termiche e solari.
- Il valore di trasmittanza termica per ciascuna tipologia di serramento appartenente allo stesso gruppo omogeneo [Uw in W/m²K].
- Il valore di trasmittanza di energia solare del vetro [g].
- Il valore di trasmissione di luce visibile del vetro [t_v]

In caso di dati non noti o difficilmente reperibili nei riferimenti normativi citati, è opportuno che nella definizione dei dati di ingresso, siano messi a disposizione dell'utilizzatore dell'applicativo informatico i valori da assumere per tipologia di serramento e vetro.

CALCOLO

- ↓ Per ogni mese dell'anno applicare il metodo di calcolo riportato nella normativa vigente assunta come riferimento al fine di calcolare e ricavare l'apporto solare mensile in kWh [Q_{sol,m}].
- ↓ Calcolare l'apporto solare mensile specifico [Q_{sol,m,sp}] dividendo l'apporto solare mensile calcolato [Q_{sol,m}] per il numero di giorni [gg_m] del mese e per il numero di ore di luce medie mensili [n_{sol,ave,m}], ricavabili ad esempio dal sito web <http://www.comuni-italiani.it/soleluna>.
- ↓ Convertire l'apporto solare mensile specifico calcolato [Q_{sol,m,sp}] da kWh in Wh.

$$Q_{sol,m,sp} = \frac{Q_{sol,m}}{gg_m \times n_{sol,ave,m}}$$

OUTPUT

- ← apporto solare mensile specifico [Q_{sol,m,sp}], in watt, per ogni mese dell'anno, necessario al calcolo della temperatura di bilancio.

ESEMPIO

Viene di seguito proposto un esempio di calcolo degli apporti solari mensili specifici per il plesso scolastico descritto in ALLEGATO 1, nel suo stato di fatto, con serramenti caratterizzati da una trasmittanza termica U_w del serramento (vetro più telaio) di $3,5 \text{ W/m}^2$ ed un fattore di trasmittanza solare g dei vetri pari a $0,85$, sito nella città di Milano.

CALCOLO DEGLI APPORTI SOLARI ATTRAVERSO LE SUPERFICI TRASPARENTI - SCUOLA

Mese	Apporto solare mensile $Q_{sol,m}$	gg _m	Ore di luce al giorno approssimate		Apporto solare mensile specifico $Q_{sol,m,sp}$
Gennaio	3192 KWh	31	9,25	h	11132 W
Febbraio	3634 KWh	28	10,5	h	12361 W
Marzo	5310 KWh	31	12	h	14274 W
Aprile	5978 KWh	30	13,5	h	14760 W
Maggio	6840 KWh	31	15	h	14710 W
Giugno	7737 KWh	30	15,6	h	16532 W
Luglio	8138 KWh	31	15,5	h	16937 W
Agosto	7059 KWh	31	14	h	16265 W
Settembre	6131 KWh	30	12,5	h	16349 W
Ottobre	3961 KWh	31	11	h	11616 W
Novembre	2465 KWh	30	9,5	h	8649 W
Dicembre	2336 KWh	31	9	h	8373 W

CALCOLO DEGLI APPORTI SOLARI ATTRAVERSO LE SUPERFICI TRASPARENTI - PALESTRA

Mese	Apporto solare mensile $Q_{sol,m}$	gg _m	Ore di luce al giorno approssimate		Apporto solare mensile specifico $Q_{sol,m,sp}$
Gennaio	3073 KWh	31	9,25	h	10717 W
Febbraio	3063 KWh	28	10,5	h	10418 W
Marzo	3848 KWh	31	12	h	10344 W
Aprile	3821 KWh	30	13,5	h	9435 W
Maggio	4008 KWh	31	15	h	8619 W
Giugno	4481 KWh	30	15,6	h	9575 W
Luglio	4564 KWh	31	15,5	h	9498 W
Agosto	4142 KWh	31	14	h	9544 W
Settembre	4056 KWh	30	12,5	h	10816 W
Ottobre	3153 KWh	31	11	h	9246 W
Novembre	2264 KWh	30	9,5	h	7944 W
Dicembre	2255 KWh	31	9	h	8082 W

3.5.6 Calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio ristrutturato.

DESCRIZIONE

Calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio [W/K] come dato di input nell'equazione per il calcolo della temperatura di bilancio [$H_{v,Tx}$].

METODO

Applicazione del metodo così come definito all'interno degli standard di riferimento individuati nella sezione dedicata al calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione e aerazione. Dovranno essere generate delle finestre di dialogo che supportino l'utilizzatore della piattaforma (con tabelle e riferimenti necessari), nel ricavare i dati di ingresso necessari per la definizione del termine di bilancio. Tali finestre di dialogo dovranno essere coerenti con quanto riportato all'interno degli standard stessi.

RIFERIMENTI

UNI/TS 11300-1 e norme correlate.

In alternativa:

Decreto dirigente unità organizzativa 18 dicembre 2019 - n. 18546 – Regione Lombardia punto 3.3.6.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

→ Fare riferimento alle procedure di calcolo individuate.

CALCOLO

↓ Fare riferimento alle procedure di calcolo individuate.

OUTPUT

← Calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio [W/K] che entra nell'equazione per il calcolo della temperatura di bilancio.

3.5.7 Calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio nel suo stato di fatto.

DESCRIZIONE

Calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio [W/K] come dato di input nell'equazione per il calcolo della temperatura di bilancio [$H_{v,Tx}$].

METODO

Applicazione del metodo così come definito all'interno degli standard di riferimento individuati nella sezione dedicata al calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione e aerazione. Dovranno essere generate delle finestre di dialogo che supportino l'utilizzatore della piattaforma (con tabelle e riferimenti necessari), nel ricavare i dati di ingresso necessari per la definizione del termine di bilancio. Tali finestre di dialogo dovranno essere coerenti con quanto riportato all'interno degli standard stessi.

Solo per la caratterizzazione del coefficiente di scambio per ventilazione H_v di edifici in cui la ventilazione delle aule è demandata alla gestione da parte degli occupanti, in alternativa al metodo di calcolo definito dagli standard normativi, è possibile dare la possibilità di selezionare una metodologia di calcolo semplificata che tiene conto del periodo e della frequenza di aperture delle finestre da parte degli occupanti.

Si assume per il calcolo un'aula didattica di riferimento, rappresentativa del layout planimetrico della scuola. Il calcolo viene poi esteso al numero di finestre che si presume vengano aperte dagli studenti o dal corpo docente per rinnovare l'aria all'interno delle aule.

RIFERIMENTI

Letteratura scientifica.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

La metodologia semplificata è applicabile solo in edifici in assenza di un impianto di ventilazione meccanica dell'aria e quando sono chiare e ben definite le modalità di gestione delle aperture da parte degli occupanti.

Metodo non applicabile in edifici scolastici in cui l'occupante non possa gestire autonomamente l'apertura delle finestre delle aule.

DATI DI INGRESSO

- Coefficiente di scarico [c_d]: 0,65
- Accelerazione di gravità [g]: 9,81 m/s²
- Superficie apribile della finestra, rispetto ad un'aula tipo presa come riferimento [A_{geo}] in [m²]
- Altezza della superficie apribile [h] in [m]
- Temperatura giornaliera media mensile dell'aria esterna [$T_{e,ave}$] in [°C]
- Temperatura dell'aria interna di setpoint [$T_{int,stp}$] in [°C]
- Infiltrazione base in ricambi ora assunta pari a 0,15 [INF] [vol/h]
- Tempo di apertura medio delle finestre valutato per singolo evento [$t_{opening}$] in ore [h]
- Frequenza media di apertura delle finestre all'interno di ciascun arco di riferimento Tx [$n_{opening,Tx}$]
- Volume di aria netta dell'edificio [V] [m³]

CALCOLO

- ↓ Calcolare la portata d'aria di ventilazione per ciascun evento di apertura [$q_{opening,i}$] in [m³/s], applicando l'equazione:

$$q_{opening,i} = \frac{1}{3} \times A_{geo} \times c_d \sqrt{\frac{g \times (T_{int,stp} - T_{e,ave}) \times h}{T_{int,stp}}} \quad [m^3/s]$$

- ↓ Moltiplicare la portata d'aria di ventilazione calcolata per ciascun evento di apertura, per la frequenza media di apertura delle finestre all'interno di ciascun arco di riferimento Tx [$n_{opening,Tx}$]

$$q_{opening,Tx} = q_{opening,i} \times n_{opening,Tx} \quad [m^3/s]$$

- ↓ Aggiungere alla portata d'aria calcolata al punto precedente il valore di infiltrazione base in [m³/s] moltiplicando il volume di aria netta dell'edificio V per il tasso di infiltrazione base [INF], assunto di default pari a 0,50 [vol/h] nell'edificio dello stato di fatto e 0,15 [vol/h] nel caso di riqualificazione dell'involucro edilizio.

$$Q_{opening,Tx} = q_{opening,Tx} + INF \quad [m^3/s]$$

- ↓ Calcolare il coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione, per ciascun arco di riferimento $H_{v,Tx}$ come somma dei due precedenti contributi:

$$H_{v,Tx} = Q_{opening,Tx} \times \rho_a \times c_a \quad [W/K]$$

Con:

ρ_a : densità dell'aria [kg/m³]

c_a : capacità termica massica dell'aria [J/kg K]

OUTPUT

- ← Calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio, per ciascuna arco temporale di riferimento $H_{v,Tx}$ in [W/K] come dato di ingresso dell'equazione per il calcolo della temperatura di bilancio [$T_{bal}, T_{x,m}$].

ESEMPIO

Viene di seguito proposto un esempio di calcolo del coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione di un edificio scolastico sito a Milano nello stato di fatto e nello stato di progetto. Il caso studio è descritto in ALLEGATO 1.

Il metodo prevede che l'occupante possa gestire l'apertura delle finestre delle aule didattiche e siano note la frequenza e la durata media di apertura di ogni singolo evento.

Vista la richiesta di semplificazione del metodo di calcolo, così come la necessità di ridurre il numero di informazioni e dei dati di ingresso alla metodologia, in questa procedura sono trascurate le aperture dei serramenti di corridoi, connessioni orizzontali, connessioni verticali, ingressi e simili.

I campi editabili sono formattati in grigio

CALCOLO DEL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO PER VENTILAZIONE NATURALE, AERAZIONE E INFILTRAZIONE - SCUOLA – STATO DI FATTO.

1a) Infiltrazioni

(COSTANTI TUTTO IL GIORNO, TUTTI I GIORNI DELL'ANNO)

Tasso di ricambio per infiltrazione		0,5	vol/h
Volume totale NETTO		1865	m ³
Q_{INF}		932,7	m ³ /h
$H_{v,INF}$		319	W/K

1b) Ventilazione naturale

Single-sided ventilation - buoyancy driven

(SOLO NELLE ORE DI OCCUPAZIONE (II ARCO), SOLO NEI GIORNI FERIALI)

discharge coefficient for the opening	cd	0,65		cal. spec. aria	1005	J/kg K
gravitational acceleration	g	9,81	m/s ²	densità aria	1,225	kg/m ³
opening height	H	1,8	m			
geometrical opening area	A_{geo}	3,6	m ²			
N° finestre totali nelle aule della scuola	N_{sc}	14				
N° finestre delle considerate nel calcolo	N_{calc}	14				

Esempio di calcolo: Gennaio, II arco temporale

T avg esterna	$T_{e,ave}$	0,0	
Temperatura di setpoint dell'aria interna	$T_{int,stp}$	20	
Durata apertura finestre nell'arco temporale Tx	$t_{opening}$	5	min/h
Porta d'aria in ingresso dalla finestra	$Q_{opening,i}$	3,28	m ³ /h
q medio sul II arco, per finestra	$q_{opening,ave}$	984	m ³ /h
q medio sul II arco, per intero edificio	$Q_{opening,Tx}$	13774	m ³ /h
Coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale	$H_{v,opening}$	4710	W/K

Temperatura media esterna (°C)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	-0,3	0,5	6,4	9,3						10,7	6,2	1,1
II ARCO TEMPORALE	0,0	2,6	8,1	13,4						12,9	7,4	2,2
III ARCO TEMPORALE	2,6	6,8	11,5	16,8						16,5	9,4	4,7
IV ARCO TEMPORALE	0,5	2,7	8,7	12,7						12,6	7,2	2,2

Temperatura di setpoint interna (°C), se impianto acceso; se impianto spento: N/A

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	N/A	N/A	N/A	N/A						N/A	N/A	N/A
II ARCO TEMPORALE	20	20	20	20						20	20	20
III ARCO TEMPORALE	20	20	20	20						20	20	20
IV ARCO TEMPORALE	N/A	N/A	N/A	N/A						N/A	N/A	N/A

Durata apertura finestre nelle aule nei giorni di apertura della scuola (min/h)*

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0
II ARCO TEMPORALE	5	5	5	5						5	5	5
III ARCO TEMPORALE	1	1	1	1						1	1	1
IV ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0

*minuti medi di apertura finestre ogni ora

Portate d'aria per ventilazione naturale (m3/h)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0
II ARCO TEMPORALE	13774	12844	10603	7908						8219	10922	12974
III ARCO TEMPORALE	2569	2240	1792	1107						1159	2002	2411
IV ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0

Portate d'aria totali per infiltrazione + ventilazione naturale (m3/h)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	933	933	933	933						933	933	933
II ARCO TEMPORALE	14706	13777	11536	8841						9152	11854	13906
III ARCO TEMPORALE	3502	3172	2724	2040						2091	2935	3344
IV ARCO TEMPORALE	933	933	933	933						933	933	933

HV per ventilazione naturale (W/K)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0
II ARCO TEMPORALE	4710	4392	3626	2704						2811	3735	4437
III ARCO TEMPORALE	879	766	613	379						396	685	825
IV ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0

HV totale per infiltrazione + ventilazione naturale (W/K)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	319	319	319	319						319	319	319
II ARCO TEMPORALE	5029	4711	3945	3023						3130	4054	4756
III ARCO TEMPORALE	1198	1085	932	698						715	1004	1144
IV ARCO TEMPORALE	319	319	319	319						319	319	319

CALCOLO DEL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO PER VENTILAZIONE NATURALE, AERAZIONE E INFILTRAZIONE - SCUOLA – POST-RETROFIT.

I calcoli che seguono sono riferiti ad un intervento di retrofit energetico che interessa l'involucro edilizio: isolamento termico a cappotto delle pareti, sostituzione dei serramenti, isolamento termico della copertura. Viene lasciata la possibilità agli occupanti di gestire l'apertura delle finestre nelle singole aule didattiche.

Rispetto al caso precedente (stato di fatto), interessando l'involucro edilizio, si presuppone che gli interventi simulati migliorino la tenuta all'aria dell'involucro edilizio e pertanto contribuiscano a ridurre le dispersioni per infiltrazione.

Per semplicità di comprensione, in questo esempio vengono lasciate inalterate le modalità di gestione delle aperture delle finestre, rispetto allo stato di fatto.

1a)

infiltrazioni

(COSTANTI TUTTO IL GIORNO, TUTTI I GIORNI DELL'ANNO)

Tasso di ricambio per infiltrazione	0,15	vol/h
Volume totale NETTO	1865	m ³
Q_{INF}	279,8	m ³ /h
$H_{v,INF}$	96	W/K

1b) Ventilazione naturale

Single-sided ventilation - buoyancy driven

(SOLO NELLE ORE DI OCCUPAZIONE (II ARCO), SOLO NEI GIORNI FERIALE)

discharge coefficient for the opening	cd	0,65		cal. spec. aria	1005	J/kg K
gravitational acceleration	g	9,81	m/s ²	densità aria	1,225	kg/m ³
opening height	H	1,8	m			
geometrical opening area	A_{geo}	3,6	m ²			
N° finestre totali nelle aule della scuola	N_{sc}	14				
N° finestre delle considerate nel calcolo	N_{calc}	14				

Esempio di calcolo: Gennaio, Il arco temporale

T avg esterna	$T_{e,ave}$	0,0	
Temperatura di setpoint dell'aria interna	$T_{int,stp}$	20	
Durata apertura finestre nell'arco temporale Tx	$t_{opening}$	5	min/h
Porta d'aria in ingresso dalla finestra	$Q_{opening,i}$	3,28	m ³ /h
q medio sul II arco, per finestra	$Q_{opening,ave}$	984	m ³ /h
q medio sul II arco, per intero edificio	$Q_{opening,Tx}$	13774	m ³ /h
Coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale	$H_{v,opening}$	4710	W/K

Temperatura media esterna (°C)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	-0,3	0,5	6,4	9,3						10,7	6,2	
II ARCO TEMPORALE	0,0	2,6	8,1	13,4						12,9	7,4	
III ARCO TEMPORALE	2,6	6,8	11,5	16,8						16,5	9,4	
IV ARCO TEMPORALE	0,5	2,7	8,7	12,7						12,6	7,2	

Temperatura media esterna (°C)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	-0,3	0,5	6,4	9,3						10,7	6,2	1,1
II ARCO TEMPORALE	0,0	2,6	8,1	13,4						12,9	7,4	2,2
III ARCO TEMPORALE	2,6	6,8	11,5	16,8						16,5	9,4	4,7
IV ARCO TEMPORALE	0,5	2,7	8,7	12,7						12,6	7,2	2,2

Temperatura di setpoint interna (°C), se impianto acceso; se impianto spento: N/A

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	N/A	N/A	N/A	N/A						N/A	N/A	N/A
II ARCO TEMPORALE	20	20	20	20						20	20	20
III ARCO TEMPORALE	20	20	20	20						20	20	20
IV ARCO TEMPORALE	N/A	N/A	N/A	N/A						N/A	N/A	N/A

Durata apertura finestre nelle aule nei giorni di apertura della scuola (min/h)*

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0
II ARCO TEMPORALE	5	5	5	5						5	5	5
III ARCO TEMPORALE	1	1	1	1						1	1	1
IV ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0

*minuti medi di apertura finestre ogni ora

Portate d'aria per ventilazione naturale (m3/h)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0
II ARCO TEMPORALE	13774	12844	10603	7908						8219	10922	12974
III ARCO TEMPORALE	2569	2240	1792	1107						1159	2002	2411
IV ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0

Portate d'aria totali per infiltrazione + ventilazione naturale (m3/h)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	280	280	280	280						280	280	280
II ARCO TEMPORALE	14053	13124	10883	8188						8499	11202	13253
III ARCO TEMPORALE	2849	2520	2072	1387						1438	2282	2691
IV ARCO TEMPORALE	280	280	280	280						280	280	280

HV per ventilazione naturale (W/K)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0
II ARCO TEMPORALE	4710	4392	3626	2704						2811	3735	4437
III ARCO TEMPORALE	879	766	613	379						396	685	825
IV ARCO TEMPORALE	0	0	0	0						0	0	0

HV totale per infiltrazione + ventilazione naturale (W/K)

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
I ARCO TEMPORALE	96	96	96	96						96	96	96
II ARCO TEMPORALE	4806	4488	3722	2800						2906	3831	4532
III ARCO TEMPORALE	974	862	708	474						492	780	920
IV ARCO TEMPORALE	96	96	96	96						96	96	96

3.5.8 Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione.

DESCRIZIONE

Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione dell'edificio [W/K] come dato di input nell'equazione per il calcolo della temperatura di bilancio [H_T].

METODO

Applicazione del metodo contenuto all'interno degli standard di riferimento individuati nella sezione dedicata al calcolo del coefficiente di scambio per trasmissione. Dovranno essere generate delle finestre di dialogo che supportino l'utilizzatore della piattaforma (con tabelle e riferimenti necessari), nel ricavare i dati di ingresso necessari per la definizione del termine di bilancio. Tali finestre di dialogo dovranno essere coerenti con quanto riportato all'interno degli standard stessi.

RIFERIMENTI

UNI/TS 11300-1 e norme correlate.

In alternativa:

Decreto dirigente unità organizzativa 18 dicembre 2019 - n. 18546 – Regione Lombardia punto 3.3.5.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

- Area lorda disperdente di ciascun elemento opaco o trasparente che delimita l'involucro climatizzato [A_k] in [m^2], sulla base della raccolta dati effettuata secondo lo schema riportato in [1] per il livello 2.
- Trasmittanza termica [U_k] in [W/m^2K] di ciascun elemento opaco o trasparente che delimita l'involucro climatizzato.
- Fattore di esposizione [$F_{T,k}$].

Tabella 3: Fattori di esposizione da applicare.

Ambiente circostante	F _{T,k}
Ambienti con temperatura pari alla temperatura esterna	1,00
Ambiente non climatizzato <ul style="list-style-type: none"> ○ con una parete esterna ○ senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne ○ con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse) ○ con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni) 	0,40 0,50 0,60 0,80
Piano interrato o seminterrato non climatizzato <ul style="list-style-type: none"> ○ senza finestra o serramenti esterni ○ con finestre o serramenti esterni 	0,50 0,80
Sottotetto non climatizzato <ul style="list-style-type: none"> ○ tasso di ventilazione del sottotetto elevato (per esempio tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura discontinua) senza rivestimento con feltro o assito ○ altro tetto non isolato ○ tetto isolato 	1,00 0,90 0,70
Aree interne di circolazione non climatizzate (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria minore di 0,5 h ⁻¹)	0,00
Aree interne di circolazione non climatizzate e liberamente ventilate (rapporto tra l'area delle aperture e volume dell'ambiente maggiore di 0,005 m ² /m ³)	1,00
Terreno *	0,45
Vespaio (aerato e non)	0,80

CALCOLO

↓ Fare riferimento alle procedure di calcolo selezionate

$$H_T = \sum_k A_k \times U_k \times F_{T,k} \text{ [W/K]}$$

OUTPUT

← Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione dell'edificio [H_T] in [W/K] come dato di ingresso nel calcolo della temperatura di bilancio [T_{bal,Tx,m}].

3.5.9 Calcolo della temperatura di bilancio per ciascun arco temporale di riferimento.

DESCRIZIONE

Calcolo della temperatura di bilancio relativa a ciascun arco temporale di riferimento T_x [$T_{bal,Tx}$] in [°C]

METODO

n.a.

RIFERIMENTI

Letteratura scientifica

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

- Coefficiente di scambio termico per trasmissione dell'edificio [HT], in [W/K], così come calcolato al punto 2.5.8.
- Coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio [$H_v/H_{v,Tx}$] in [W/K], così come calcolato al punto 2.5.6 per edifici ristrutturati, con superfici trasparenti non apribili. Calcolato come al punto 2.5.7 per edifici esistenti al di fuori dei limiti di applicabilità individuati.
- Apporti interni dovuti alla presenza di persone rispetto allo specifico arco temporale T_x [$IG_{pers,Tx}$] in [W].
- Apporti termici generati dalle apparecchiature elettriche rispetto allo specifico arco temporale di riferimento [$EE_{Tx,weekday}$; $EE_{Tx,weekend}$] in [W].
- Apporti termici generati dall'impianto di illuminazione rispetto allo specifico arco temporale di riferimento [$IL_{ave,Tx}$] in [W].
- Apporti solari attraverso le superfici trasparenti [$Q_{sol,m,sp}$] in [W].
- Temperatura dell'aria interna di setpoint [$T_{int,stp}$] in [°C].

CALCOLO

- ↓ Calcolare la temperatura di bilancio, per arco temporale di riferimento T_x , per ogni mese m [$T_{bal,Tx,m}$], come:

$$T_{bal,Tx,m} = T_{int,stp} - \frac{(IG_{pers,Tx} + IL_{ave,Tx} + EE_{Tx,weekday} / weekena + Q_{sol,m,sp})}{H_T + H_v / v_{v,Tx}} \text{ [°C]}$$

OUTPUT

- ← Temperatura di bilancio, per arco temporale di riferimento T_x , per ogni mese m [$T_{bal,Tx,m}$].

ESEMPIO

Viene di seguito proposto un esempio di calcolo del calcolo della temperatura di bilancio di un edificio scolastico sito a Milano nello stato di fatto. Il caso studio è descritto in ALLEGATO 1.

La temperatura dell'aria di setpoint degli ambienti interni è stata assunta pari a 20°C.

SETPOINT INVERNO 20 °C

		°C	W	W	W	W	W/K	W/K	°C	
	archi temporali	Impianto spento o acceso in questo arco temporale durante i giorni lavorativi (0/1)	set point temperatura	apporti interni persone	apporti interni illuminazione	apporti interni base load	apporti solari	Hr dispersioni per trasmissione	Hv totale per infiltrazione + ventilazione naturale	Tbal
GENNAIO	ARCO I	0	N/A	0	0	544	0	2007	319	N/A
	ARCOII	1	20	9206	3400	1904	11132	2007	5029	16,4
	ARCO III	1	20	0	2040	2176	11132	2007	1198	15,2
	ARCO IV	0	N/A	0	0	777	0	2007	319	N/A
FEBBRAIO	ARCO I	0	N/A	0	0	544	0	2007	319	N/A
	ARCOII	1	20	9206	3400	1904	12361	2007	4711	16,0
	ARCO III	1	20	0	2040	2176	12361	2007	1085	14,6
	ARCO IV	0	N/A	0	0	777	0	2007	319	N/A
MARZO	ARCO I	0	N/A	0	0	544	0	2007	319	N/A
	ARCOII	1	20	9206	3400	1904	14274	2007	3945	15,2
	ARCO III	1	20	0	2040	2176	14274	2007	932	13,7
	ARCO IV	0	N/A	0	0	777	0	2007	319	N/A
APRILE	ARCO I	0	N/A	0	0	544	0	2007	319	N/A
	ARCOII	1	20	9206	3400	1904	14760	2007	3023	14,2
	ARCO III	1	20	0	2040	2176	14760	2007	698	13,0
	ARCO IV	0	N/A	0	0	777	0	2007	319	N/A
OTTOBRE	ARCO I	0	N/A	0	0	544	0	2007	319	N/A
	ARCOII	1	20	9206	3400	1904	11616	2007	3130	14,9
	ARCO III	1	20	0	2040	2176	11616	2007	715	14,2
	ARCO IV	0	N/A	0	0	777	0	2007	319	N/A
NOVEMBRE	ARCO I	0	N/A	0	0	544	0	2007	319	N/A
	ARCOII	1	20	9206	3400	1904	8649	2007	4054	16,2
	ARCO III	1	20	0	2040	2176	8649	2007	1004	15,7
	ARCO IV	0	N/A	0	0	777	0	2007	319	N/A
DICEMBRE	ARCO I	0	N/A	0	0	544	0	2007	319	N/A
	ARCOII	1	20	9206	3400	1904	8373	2007	4756	16,6
	ARCO III	1	20	0	2040	2176	8373	2007	1144	16,0
	ARCO IV	0	N/A	0	0	777	0	2007	319	N/A

3.6 Calcolo dei risparmi in termini di fabbisogni di energia termica utile mediante l'utilizzo della temperatura di bilancio.

DESCRIZIONE

Stima del potenziale di risparmio di fabbisogno di energia termica utile in riscaldamento $[EP_{H,nd}]$ in termini percentuali [%], in forma semplificata, considerando il prodotto tra la somma del coefficiente di scambio termico per trasmissione dell'edificio $[H_T]$, in $[W/K]$ ed il coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio $[H_v/H_{v,Tx}]$ in $[W/K]$ per la differenza di temperatura tra la temperatura di bilancio $T_{bal,Tx,m}$, ottenuta come al paragrafo 2.5.9 e la temperatura dell'aria esterna $T_{o,i}$, considerando solo i momenti in cui tale differenza assume valori positivi, ovvero quando la temperatura dell'aria esterna risulta inferiore alla temperatura di bilancio.

METODO

Applicazione del metodo BIN.

RIFERIMENTI

Letteratura scientifica.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

n.a.

DATI DI INGRESSO

- Coefficiente di scambio termico per trasmissione dell'edificio $[H_T]$, in $[W/K]$, così come calcolato al punto 2.5.8.
- Coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio $[H_v/H_{v,Tx}]$ in $[W/K]$, così come calcolato al punto 2.5.6 per edifici ristrutturati, con superfici trasparenti non apribili. Calcolato come al punto 2.5.7 per edifici esistenti al di fuori dei limiti di applicabilità individuati.
- Temperatura dell'aria esterna del BIN considerato $[T_{o,i}]$ in $[°C]$.
- Temperatura di bilancio, rispetto all'arco temporale di riferimento per ogni mese dell'anno $[T_{bal,Tx,m}]$.
- Numero di BIN $[BIN_{i,Tx,j}]$ rispetto alla temperatura di riferimento $[i]$, per ogni arco temporale $[Tx]$ per ogni mese dell'anno $[j]$.
- Per ogni mese dell'anno scolastico, indicare il numero di giorni di lezione $[nGG_{occ,month}]$.
- Per ogni mese dell'anno scolastico, indicare il numero di giorni di che compongono il mese $[nGG_{month}]$.

CALCOLO

- ↓ Per ogni mese della stagione di riscaldamento, per ogni arco temporale, calcolare il coefficiente correttivo per le festività $[F_{occ,month,Tx}]$, come il rapporto tra il numero di giorni del mese in cui l'edificio risulta occupato $[nGG_{occ,month}]$, ed il numero di giorni che compongono il mese $[nGG_{month}]$. Nel caso in cui l'edificio preveda delle regolazioni di setback al di fuori delle ore di occupazione (per esempio durante le ore notturne, o nei giorni del sabato e della domenica) considerare, per i rispettivi archi temporali un coefficiente correttivo per le festività pari a 1.

$$F_{occ,month,Tx} = \frac{nGG_{occ,month}}{nGG_{month}}$$

- ↓ Calcolare il fabbisogno di energia termica utile in riscaldamento $[EP_{H,nd,Tx,m}]$, considerando solo i fabbisogni energetici positivi "+" dell'equazione di bilancio di seguito riportata, per ogni arco temporale di riferimento $[Tx]$, per ogni mese dell'anno $[m]$.

$$EP_{H,nd,Tx,m} = (H_t + H_{v/v,Tx}) \times (T_{bal,Tx,m} - T_{o,j})_+ \times n_{BIN,i,Tx,j} \times F_{occ,month,Tx}$$

- ↓ Sommare i fabbisogni di energia termica utile per riscaldamento calcolati per ogni arco temporale di riferimento $[T_x]$ all'interno del mese $[m]$, ricompresi nel periodo di accensione e spegnimento degli impianti termici.
- ↓ Applicare il calcolo per lo stato di fatto dell'istituto scolastico, suddividendo, qualora si rendesse necessario, la porzione di fabbricato dedicata alle attività didattiche dalla parte di edificio destinata allo sviluppo di attività motorie (palestra).
- ↓ Applicare lo stesso calcolo considerando gli interventi di efficienza che si intendono valutare sull'involucro edilizio di cui si vuole stimare e conoscere il potenziale di risparmio del fabbisogno di energia termica (utile).
- ↓ Calcolare la percentuale di risparmio del fabbisogno di energia termica (utile) per riscaldamento, in termini percentuali [%], sulla base dei calcoli effettuati nei due punti precedenti (pre e post-ristrutturazione). Se necessario esplicitare il potenziale di risparmio energetico in termini percentuali suddiviso per scuola e palestra.

OUTPUT

- ← Stima del potenziale di risparmio di fabbisogno di energia termica utile in riscaldamento $[EP_{H,nd}]$, espresso in termini percentuali [%] avendo cura di differenziare tra corpo di fabbrica dedicato alle attività didattiche e porzione di edificio dedicato a palestra.

ESEMPIO

Viene di seguito proposto un esempio di calcolo del potenziale di risparmio energetico per riscaldamento di un edificio scolastico sito a Milano, a valle di un intervento di ristrutturazione importante di secondo livello consistente in: isolamento termico a cappotto, isolamento termico della copertura, sostituzione dei serramenti. Il caso studio è descritto in ALLEGATO 1.

Il metodo prevede che l'occupante possa gestire l'apertura delle finestre delle aule didattiche e siano note la frequenza e la durata media di apertura di ogni singolo evento.

Vista la richiesta di semplificazione del metodo di calcolo, così come la necessità di ridurre il numero di informazioni e dei dati di ingresso alla metodologia, in questa procedura sono trascurate le aperture dei serramenti di corridoi, connessioni orizzontali, connessioni verticali, ingressi e simili.

Nell'esempio che segue non sono previste regolazioni di setback degli impianti al di fuori del periodo di occupazione.

SCUOLA – MILANO – PRE-RETROFIT

HT W/K

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Ott.	Nov.	Dic.
T BALANCE (°C)							
ARCO I	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ARCO II	16,4	16,0	15,2	14,2	14,9	16,2	16,6
ARCO III	15,2	14,6	13,7	13,0	14,2	15,7	16,0
ARCO IV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HV totale per infiltrazione + ventilazione naturale (W/K)							
ARCO I	319	319	319	319	319	319	319
ARCO II	5029	4711	3945	3023	3130	4054	4756
ARCO III	1198	1085	932	698	715	1004	1144
ARCO IV	319	319	319	319	319	319	319
GIORNI DI LEZIONE							
	21	23	24	20	26	24	18
COEFFICIENTE CORRETTIVO PER FESTIVITA'							
	68%	82%	77%	67%	84%	80%	58%
FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA UTILE (kWh)							
ARCO I	0	0	0	0	0	0	0
ARCO II	14520270	12434727	6054788	1359087	2172935	7661754	10503083
ARCO III	4250468	2800361	1016509	204513	241317	2298079	3217690
ARCO IV	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	18770738	15235089	7071298	1563600	2414252	9959833	13720773

SCUOLA – MILANO – POST-RETROFIT – RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI PRIMO LIVELLO

HT W/K

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Ott.	Nov.	Dic.
T BALANCE (°C)							
ARCO I	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ARCO II	16,7	16,4	15,7	14,6	15,1	16,3	16,8
ARCO III	15,6	15,1	14,3	13,2	14,3	15,8	16,1
ARCO IV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
HV totale per infiltrazione + ventilazione naturale (W/K)							
ARCO I	96	96	96	96	96	96	96
ARCO II	4806	4488	3722	2800	2906	3831	4532
ARCO III	974	862	708	474	492	780	920
ARCO IV	96	96	96	96	96	96	96
GIORNI DI LEZIONE							
	21	23	24	20	26	24	18
COEFFICIENTE CORRETTIVO PER FESTIVITA'							
	68%	82%	77%	67%	84%	80%	58%
FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA UTILE (kWh)							
ARCO I	0	0	0	0	0	0	0
ARCO II	12652081	10851265	5361633	1189811	1836271	6443024	8996490
ARCO III	2976410	1977697	744682	135387	154759	1526199	2187740
ARCO IV	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	15628491	12828962	6106314	1325198	1991030	7969222	11184230

RISPARMIO PERCENTUALE STIMATO: 17%

3.6.1 Analisi di sensitività della stima dei risparmi energetici al variare del livello di intervento e del contesto climatico.

In questa sezione è proposta una analisi di sensitività dei risultati di calcolo del metodo proposto, al variare dei livelli di efficientamento energetico dell'involucro edilizio e del contesto climatico.

Il metodo è stato concepito per essere applicato sul territorio nazionale. La prestazione energetica in regime invernale di un edificio scolastico sito nel Nord Italia è diversa dallo stesso edificio sito al Centro-Sud Italia.

Per questo motivo, gli scriventi hanno ritenuto opportuno simulare l'applicazione della metodologia proposta in quattro città rappresentative di quattro contesti climatici differenti: Milano, Roma, Bari, Palermo.

Per ogni località scelta per il test, sono stati calcolati i risparmi relativi a tre livelli di retrofit energetico dell'involucro edilizio:

- isolamento a cappotto delle chiusure opache verticali, isolamento termico della copertura, sostituzione dei serramenti esistenti;
- solo sostituzione dei serramenti esistenti;
- isolamento a cappotto delle chiusure opache verticali, isolamento termico della copertura.

Nonostante la profusa ricerca che è stata condotta nelle precedenti annualità, non è stato possibile recuperare informazioni relative ad interventi di efficientamento energetico realizzati realmente da utilizzare per la fase di test della metodologia. Per questo motivo sono stati costruiti dei modelli di simulazione numerica in regime dinamico al fine di avere contezza dell'ordine di grandezza dei risparmi energetici in uscita dalla metodologia semplificata proposta, rispetto ai risultati ottenuti con le simulazioni energetiche in regime dinamico.

Le simulazioni energetiche sono state effettuate in ambiente EnergyPlus.

Per ogni contesto climatico selezionato per la verifica di plausibilità dei risultati nelle due metodologie di calcolo, i dati di temperatura dell'aria esterna utilizzati sono i medesimi e sono stati desunti dai file epw per le quattro località selezionate.

Le modalità di uso ed esercizio dei locali, così come il profilo di accensione degli impianti termici sono gli stessi per entrambi i modelli energetici (pre e post retrofit).

Le caratteristiche geometriche e costruttive dell'edificio scolastico oggetto della presente analisi di sensitività, nel suo stato di fatto e nelle simulazioni degli interventi di retrofit sono meglio descritte nell'ALLEGATO 1.

È stato fatto ricorso alle simulazioni numeriche in regime dinamico in quanto questa tipologia di calcolo permette di modellare i profili di uso e gestione dell'edificio. La procedura di calcolo proposta vuole superare l'impostazione normativa di effettuare valutazioni energetiche degli edifici sotto determinate ipotesi imposte. In assenza di casi studio reali con i quali confrontare gli output della procedura di calcolo, è stato ritenuto che la simulazione numerica in regime dinamico sia la metodologia più idonea per gli scopi e gli obiettivi di questa sezione.

I risultati mostrati in Tabella 4 e

Tabella 5 dimostrano che l'ordine di grandezza dello scostamento tra i risparmi energetici calcolati con la metodologia proposta e le simulazioni numeriche, dato il grado di semplificazione del calcolo, risultano accettabili. Resta sottointeso che la simulazione numerica non rappresenta il reale comportamento di un edificio, in quanto i risultati del calcolo sono anch'essi influenzati dalle ipotesi e dalle scelte del modellatore, oltre che dagli algoritmi propri del software utilizzato.

È auspicabile una fase di test in cui vengano confrontati i risultati di calcolo della metodologia proposta con i reali risparmi misurabili su edifici scolastici energeticamente riqualificati.

Tabella 4: plausibilità dei risparmi energetici calcolati attraverso la procedura semplificata, confrontati con i risparmi energetici ottenuti per riscaldamento con le simulazioni numeriche in regime dinamico. SCUOLA

SCENARI DI INTERVENTO	SCUOLA							
	RISPARMIO ENERGETICO % RISCALDAMENTO							
	PROCEDURA SEMPLIFICATA				SIMULAZIONE NUMERICA			
	MILANO	ROMA	BARI	PALERMO	MILANO	ROMA	BARI	PALERM
Isolamento termico involucro e contemporanea sostituzione dei serramenti	17%	16%	18%	19%	24%	12%	23%	18%
Semplice sostituzione dei serramenti	2%	-1%	4%	-17%	3%	-3%	-2%	-11%
Solo isolamento termico delle parti opache dell'involucro	15%	17%	15%	32%	20%	11%	19%	18%

Tabella 5: plausibilità dei risparmi energetici calcolati attraverso la procedura semplificata, confrontati con i risparmi energetici ottenuti per riscaldamento con le simulazioni numeriche in regime dinamico. PALESTRA

SCENARI DI INTERVENTO	PALESTRE							
	RISPARMIO ENERGETICO % RISCALDAMENTO							
	PROCEDURA SEMPLIFICATA				SIMULAZIONE NUMERICA			
	MILANO	ROMA	BARI	PALERMO	MILANO	ROMA	BARI	PALERMO
Isolamento termico involucro e contemporanea sostituzione dei serramenti	24%	19%	25%	12%	17%	14%	14%	14%

3.6.2 Analisi di sensitività della stima dei risparmi energetici al variare dei dati di ingresso nella valutazione del fabbisogno termico utile dell'edificio nel suo stato di fatto.

In questa sezione è stata effettuata una analisi di sensitività rispetto ad alcuni dati di ingresso particolarmente critici richiesti dal metodo.

Spesso, ad esempio, risulta difficile stimare il valore di trasmittanza termica dei componenti edilizi di un edificio esistente. Questo accade per carenza di informazioni tecniche disponibili sul fabbricato, scarsa conoscenza della tecnologia costruttiva dell'involucro edilizio, competenza del modellatore energetico. Per questo motivo è stata condotta una analisi di sensitività rispetto alla determinazione del valore di trasmittanza termica delle chiusure opache verticali, per determinare il peso che la definizione di tale parametro prestazionale ha sul risultato finale. Allo stesso modo sono state condotte delle analisi di sensitività rispetto al tasso di infiltrazione e di ventilazione (rispetto ai minuti stimati di apertura delle finestre, nella valutazione delle dispersioni di ventilazione dell'edificio nel suo stato di fatto, quando siano conosciute le modalità di gestione delle aperture delle finestre). Tali parametri, che risultano fondamentali nel calcolo del bilancio energetico di un edificio, sono spesso difficilmente determinabili e misurabili.

L'analisi di sensitività rispetto ai dati di ingresso nel metodo è stata condotta su un edificio sito a Roma.

Il range di variazione selezionato per ciascuno dei dati di ingresso valutati è stato determinato considerando, per ciascun parametro, i valori più probabili che un modellatore energetico potrebbe ragionevolmente ipotizzare.

In

Tabella 6, Tabella 7 e Tabella 8 sono riportati i risultati dell'analisi. Da queste analisi risulta che il metodo appare maggiormente sensibile rispetto alla stima del tempo di apertura delle finestre e alla definizione dei ricambi per infiltrazione, piuttosto che alla definizione della trasmittanza delle chiusure verticali opache. Per questo motivo, è importante che il modellatore energetico abbia buona conoscenza delle modalità di gestione e apertura dei serramenti all'interno delle aule scolastiche.

Tabella 6: analisi di sensitività rispetto alla trasmittanza termica delle pareti dello stato di fatto di un edificio scolastico sito a Roma. Il risparmio percentuale è calcolato rispetto a un edificio post-retrofit di riferimento in cui è stata prevista la sostituzione dei serramenti e dall'isolamento dell'involucro edilizio con una trasmittanza termica delle pareti pari a 0,15 W/m²K.

<i>Varianti pre-retrofit:</i>	VAR.1	VAR.2	VAR.3
TRASMITTANZA TERMICA DELLE PARETI (W/m ² K)	0,5	0,6	1
Risparmio % in termini di fabbisogno termico utile per riscaldamento	16%	17%	21%

Tabella 7: analisi di sensitività rispetto al tempo di apertura medio delle finestre nello stato di fatto di un edificio scolastico sito a Roma. Il risparmio percentuale è calcolato rispetto a un edificio post-retrofit di riferimento caratterizzato dalla sostituzione dei serramenti e dall'isolamento dell'involucro edilizio con una trasmittanza termica delle pareti pari 0,15 W/m²K ed è presente un ricambio d'aria per infiltrazione pari a 0,15 vol/h.

<i>Varianti pre-retrofit:</i>	VAR.1	VAR.2	VAR.3
MINUTI DI APERTURA DELLE FINESTRE OGNI ORA DA SETTEMBRE A APRILE NELL'ARCO TEMPORALE DI RIFERIMENTO "II"	2	5	10
Risparmio % in termini di fabbisogno termico utile per riscaldamento	27%	16%	9%

In entrambi i modelli (pre e post-retrofit), per ciascuna variante, i calcoli sono stati effettuati imponendo lo stesso profilo di apertura e gestione delle superfici finestrate da parte dell'occupante, quindi mantenendo invariato il tempo di apertura medio ipotizzato. I tassi di ricambi d'aria per infiltrazioni sono assunti sempre uguali nelle simulazioni dei tre casi studio pre-retrofit.

Tabella 8: analisi di sensitività rispetto al tasso di ricambio d'aria per infiltrazione nello stato di fatto di un edificio scolastico sito a Roma. Il risparmio percentuale è calcolato rispetto a un edificio post-retrofit di riferimento caratterizzato dalla sostituzione dei serramenti e dall'isolamento dell'involucro edilizio con una trasmittanza termica delle pareti pari 0,15 W/m²K ed è presente un ricambio d'aria per infiltrazione pari a 0,15 vol/h.

<i>Varianti pre-retrofit:</i>	VAR.1	VAR.2	VAR.3
TASSI DI RICAMBI D'ARIA PER INFILTRAZIONI (vol/h)	0,3	0,5	1
Risparmio % in termini di fabbisogno termico utile per riscaldamento	12%	16%	23%

3.7 Definizione risparmi energetici per il canale d'uso relativo all'illuminazione artificiale dell'edificio.

DESCRIZIONE

Stima del risparmio energetico ottenibile con la sostituzione dell'impianto di illuminazione artificiale con sistemi tecnologicamente più efficienti, nel caso non sia disponibile la documentazione di progetto.

METODO

Applicazione del metodo descritto all'interno dello STANDARD SIA 387/4:2017 "Elettricità negli edifici - Illuminazione: calcolo e requisiti", punto 3.1.4 "Fabbisogno elettrico specifico per l'illuminazione dei locali e per l'illuminazione puntuale".

RIFERIMENTI

STANDARD SIA 387/4:2017

LIMITI DI APPLICABILITÀ

Non si applica all'illuminazione artificiale di emergenza ed esterna.

Non applicabile in edifici con una un rapporto tra superficie trasparente / superficie di pavimento maggiore a 0,2 (rif. Analisi sensitività del paragrafo 2.7.1).

DATI DI INGRESSO

- Inserire il valore di potenza elettrica specifica per l'illuminazione dei locali riferita ad una aula campione dell'edificio, calcolata secondo lo STANDARD SIA 387/4:2017, punto 3.2 "Calcolo della potenza specifica".
- Inserire il numero delle ore a pieno carico per l'illuminazione dei locali per un utilizzo di 11 ore, calcolate secondo lo STANDARD SIA 387/4:2017, punto 3.3.2.

CALCOLO

- ↓ Applicare le metodologie di calcolo individuate, mettendo a disposizione dell'utilizzatore della piattaforma, delle finestre di dialogo che ripropongano le tabelle contenute nello standard necessarie alla definizione dei vari dati di ingresso utili per il calcolo.
- ↓ Applicare la metodologia di calcolo per stimare il fabbisogno specifico per l'illuminazione dello stato attuale e dell'intervento di efficientamento del sistema impiantistico.
- ↓ Definire il risparmio percentuale ottenibile per lo specifico canale d'uso.

OUTPUT

- ← Risparmio percentuale ottenibile per il canale d'uso "impianto di illuminazione" nel caso di completa sostituzione dei corpi illuminanti esistenti.

ESEMPIO

Viene di seguito proposto un esempio di calcolo rispetto all'aula Z2 meglio descritta nell'Allegato 1

Calcolo del fabbisogno elettrico per l'illuminazione dei locali dell'impianto esistente

CALCOLO DELLA POTENZA SPECIFICA Z2-AULA

Valore di riferimento per l'illuminamento E_0	500	lux	ambiente pulito con c di manutenzione triennale lampade fluorescenti : sospensione	
Fattore di manutenzione MF	0,67	-		
Efficienza luminosa delle lampade $n_{v,Lo}$	75	lm/W		
Rendimento del locale	0,64	-		
<i>indice del locale kr</i>	1,40	-		
lunghezza del locale l_R	7	m		
larghezza del locale d_R	6	m		
altezza del punto luce (distanza tra punto luce e piano di lavoro) h_L	2,3	m		
fattore di distribuzione della luce f_1	1,25	-		diretta larga - normale
grado di riflessione del locale f_2	1,1	-		diretta larga - normale
Fattore di correzione specifico k_0	1	-		
Valore di manutenzione per l'illuminamento E_{vm}	500	lux		
Potenza specifica dell'illuminazione	15,61	W/m²		

CALCOLO DELLE ORE A PIENO CARICO PER UN UTILIZZO GIORNALIERO DI 11 ORE - Z2 Aula 2

Fattore di superficie vetrata z_g (rapporti tra sup. vetrata e sup. pavimento)	0,17	-	controllo manuale combinazione standard normale
Superficie vetrata	7,2	m ²	
Superficie di pavimento	42	m ²	
Fattore di superficie vetrata soglia Z_{g0}	0,35	-	
Fattore di correzione per la regolazione secondo la luce diurna K_{ctr}	2	-	
Fattore di correzione per il grado di riflessione K_{Re}	1,1	-	
Fattore di trasmissione del vetro nel campo del visibile t_v	0,65	-	
Fattore di correzione per il grado di trasmissione del vetro K_t	1,08	-	
Altezza del locale h_R	3,32	m	
Altezza dell'architrave h_{ii}	0,32	m	
Fattore di correzione per l'architrave del vetro K_{ii}	0,97	m	non considerare tale fattore lamella medio chiara a comando manuale area circostante libera
Fattore di correzione per il balcone (sbalzo) K_B	1	-	
Fattore di correzione per la protezione solare K_{sp}	1,68	-	
Fattore di correzione per l'ombreggiamento di altri edifici K_{sur}	1	-	
Ore a pieno carico minime $t_{L,min}$	7,96	ore	
Ore a pieno carico al giorno $t_{L,11}$	9,53	ore	

FABBISOGNO ELETTRICO SPECIFICO PER L'ILLUMINAZIONE DEI LOCALI

Numero di giorni di utilizzo dell'edificio	180	giorni
Fabbisogno elettrico specifico per l'illuminazione E_L	26,78	kWh/m ² a

Calcolo del fabbisogno elettrico per l'illuminazione dei locali con il nuovo impianto

CALCOLO DELLA POTENZA SPECIFICA Z2-AULA

Valore di riferimento per l'illuminamento E_0	500	lux	ambiente pulito con ci manutenzione triennial lampade fluorescenti a sospensione	
Fattore di manutenzione MF	0,67	-		
Efficienza luminosa delle lampade $n_{v,Lo}$	120	lm/W		
Rendimento del locale	0,64	-		
<i>indice del locale kr</i>	1,40	-		
lunghezza del locale l_R	7	m		
larghezza del locale d_R	6	m		
altezza del punto luce (distanza tra punto luce e piano di lavoro) h_L	2,3	m		
fattore di distribuzione della luce f_1	1,25	-		diretta larga - normale
grado di riflessione del locale f_2	1,1	-		diretta larga - normale
Fattore di correzione specifico k_0	1	-		
Valore di manutenzione per l'illuminamento E_{vm}	500	lux		
Potenza specifica dell'illuminazione	9,76	W/m ²		

CALCOLO DELLE ORE A PIENO CARICO PER UN UTILIZZO GIORNALIERO DI 11 ORE - Z2 Aula 2

Fattore di superficie vetrata z_g (rapporti tra sup. vetrata e sup. pavimento)	0,17	-	controllo manuale combinazione standard normale	
Superficie vetrata	7,2	m ²		
Superficie di pavimento	42	m ²		
Fattore di superficie vetrata soglia Z_{g0}	0,35	-		
Fattore di correzione per la regolazione secondo la luce diurna K_{ctr}	2	-		
Fattore di correzione per il grado di riflessione la K_{Re}	1,1	-		
Fattore di trasmissione del vetro nel campo del visibile t_v	0,65	-		
Fattore di correzione per il grado di trasmissione del vetro la K_t	1,08	-		
Altezza del locale h_R	3,32	m		
Altezza dell'architrave h_{fi}	0,32	m		
Fattore di correzione per l'architrave del vetro la K_{fi}	0,97	m		
Fattore di correzione per il balcone (sbalzo) K_B	1	-		non considerare tale fa lame lla medio chiara a comando manuale
Fattore di correzione per la protezione solare K_{sp}	1,68	-		area circostante libera
Fattore di correzione per l'ombreggiamento di altri edifici K_{sur}	1	-		
Ore a pieno carico minime $t_{L,min}$	7,96	ore		
Ore a pieno carico al giorno $t_{L,11}$	9,53	ore		

FABBISOGNO ELETTRICO SPECIFICO PER L'ILLUMINAZIONE DEI LOCALI

Numero di giorni di utilizzo dell'edificio	180	gioni
Fabbisogno elettrico specifico per l'illuminazione E_L	16,74	kWh/m ² a

Calcolo della stima del risparmio energetico per l'edificio scolastico

STIMA DEL RISPERMIO ENERGETICO	37,50%
--------------------------------	--------

3.7.1 Analisi di sensitività rispetto ai dati di ingresso della procedura di calcolo individuata.

Viene di seguito proposta una analisi di sensitività relativa alla quantificazione del risparmio energetico sullo specifico canale d'uso: illuminazione artificiale.

Non è stato possibile disporre di dati di monitoraggio che permettessero di valutare la coerenza dei valori dei risparmi stimati dalla procedura semplificata.

Per questo motivo sono stati implementati e costruiti diversi modelli di simulazione numerica semplificati in regime dinamico. In Allegato 1 viene meglio descritto il caso studio modellato per il confronto con le stime del calcolo proposto. In questi modelli di simulazione sono state inserite delle potenze elettriche di riferimento per impianti con tubi fluorescenti (edificio in essere) e impianti a LED (intervento di efficienza modellato).

Rispetto ai dati di ingresso richiesti dalla SIA 387/4:2017 è stata condotta una analisi di sensitività rispetto a:

- tipologia di controllo degli impianti di illuminazione;
- coefficiente di trasmissione visibile $[\tau_v]$ degli elementi trasparenti.

In Tabella 9 sono riportati i risultati dell'analisi di sensitività.

Lo strumento che è stato utilizzato per effettuare le simulazioni energetiche è EnergyPlus. Il software permette di simulare l'assorbimento elettrico degli impianti di illuminazione artificiale, con la possibilità di inserire delle curve di regolazione al fine di modellare un dimmeraggio controllato per il mantenimento dei livelli di illuminamento minimi sui piani di lavoro, considerando l'apporto di luce naturale dai componenti trasparenti dell'involucro edilizio. Nella simulazione dell'edificio esistente è stato implementato un impianto di illuminazione artificiale con tubi fluorescenti, con una potenza specifica di 12 W/m^2 per le aule didattiche e i corridoi e di 15 W/m^2 per la palestra, coerentemente con i valori rilevati su edifici simili. La tipologia di accensione modellata nell'edificio esistente è stata un'accensione manuale ON/OFF comandata dall'utente quando i valori calcolati di illuminamento naturale sul piano di lavoro siano risultati inferiori a 200 lux.

Nella simulazione della sostituzione dei corpi illuminanti esistenti è stata simulata l'installazione di apparecchi a LED aventi una potenza specifica di 8 W/m^2 per le aule didattiche e i corridoi e di 10 W/m^2 per la palestra, con un target di comfort dei livelli di illuminamento assunto pari a 500 lux.

Sotto le ipotesi sopra descritte è stata costruita l'analisi di sensitività, al fine di valutare il risparmio energetico raggiungibile mantenendo all'interno degli spazi un controllo manuale del tipo ON/OFF, un controllo automatizzato di accensione e spegnimento con dimmeraggio controllato e variando la trasmissione visibile degli elementi trasparenti.

L'analisi è stata condotta sulle due tipologie di corpo di fabbrica che costituiscono il caso studio: scuola e palestra. I risultati riportati in Tabella 9 mostrano come l'applicazione della procedura semplificata proposta sia in grado di stimare, per le aule didattiche, un risparmio di energia coerente con i risultati della simulazione numerica, in tutti gli scenari proposti.

Per quanto riguarda lo spazio dedicato alle attività motorie, la simulazione numerica calcola dei risparmi di energia più alti rispetto a quelli calcolati dalla procedura semplificata della SIA 387/4:2017, nei casi in cui è previsto un controllo automatizzato che considera anche la disponibilità di luce naturale. Questo perché in ambienti con un alto rapporto tra superficie trasparente/pareti opache, la simulazione numerica, essendo in grado di ben approssimare la disponibilità di luce naturale, è in grado di caratterizzare in modo più accurato il profilo di accensione dei corpi illuminanti. Per tale tipologia di spazi, il risultato che è stato ottenuto applicando lo standard SIA 387/4:2017 risulta cautelativo rispetto agli effettivi risparmi ottenibili nella realtà di esercizio dell'edificio.

Tabella 9: risultati dell'analisi di sensitività rispetto al canale d'uso: illuminazione artificiale.

SCENARIO		SIA 387/4:2017	Simulazione numerica
Semplice sostituzione di impianto esistente con tubi fluorescenti con tecnologia a LED. Accensione/spegnimento manuale On/Off (target 200 lux). Fattore di trasmissione visibile del vetro 0,65.	Scuola	37%	33%
	Palestra	37%	33%
Sostituzione di impianto esistente con tubi fluorescenti con tecnologia a LED, integrata con sistema automatico di accensione e spegnimento dell'impianto e mantenimento dei livelli target di illuminamento (target 500 lux). Fattore di trasmissione visibile del vetro 0,65.	Scuola	47%	41%
	Palestra	52%	80%
Semplice sostituzione di impianto esistente con tubi fluorescenti con tecnologia a LED. Accensione/spegnimento manuale On/Off (target 200 lux). Fattore di trasmissione visibile del vetro 0,40.	Scuola	28%	33%
	Palestra	14%	33%
Sostituzione di impianto esistente con tubi fluorescenti con tecnologia a LED, integrata con sistema automatico di accensione e spegnimento dell'impianto e mantenimento dei livelli target di illuminamento (target 500 lux). Fattore di trasmissione visibile del vetro 0,40.	Scuola	38%	39%
	Palestra	38%	77%

3.8 Definizione risparmi energetici per il servizio di acqua calda sanitaria.

DESCRIZIONE

Quantificare il risparmio energetico e di acqua con l'installazione di Erogatori a Basso Flusso.

METODO

Applicazione di percentuali di risparmio di riferimento, benchmark.

RIFERIMENTI

Letteratura scientifica.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

Non può essere applicato a edifici scolastici che utilizzano frequentemente sistemi di lavaggio delle stoviglie e della biancheria.

DATI DI INGRESSO

- Consumo medio annuo di acqua (volume e consuntivo economico) per usi sanitari (ricavati da una media storica delle bollette delle ultime tre annualità).
- Consumi di energia importata (quantità e consuntivo economico) quando il sistema impiantistico è dedicato alla sola produzione di ACS ed è presente un contabilizzatore di calore o un contatore dedicato.
- Stima del consumo di energia importata dedicata al servizio (quantità e consuntivo economico) quando il sistema impiantistico dedicato alla produzione di ACS è integrato con il sistema di riscaldamento invernale, oppure il contatore risulta unico per entrambi i servi energetici (ricavati da una media storica delle bollette delle ultime tre annualità, nei periodi in cui l'impianto di riscaldamento risulta spento, ed esteso a tutto l'anno) [33].

CALCOLO

Applicazione della strategia?

- ❖ SI
 - ↓ Percentuale di risparmio da applicare ai dati di ingresso in termini di volume d'acqua: 25%
 - ↓ Percentuale di risparmio da applicare ai dati di ingresso in termini di energia importata: 20%
- ❖ NO
 - ↓ Percentuale di risparmio da applicare ai dati di ingresso in termini di volume d'acqua: 0%
 - ↓ Percentuale di risparmio da applicare ai dati di ingresso in termini di energia importata: 0%

OUTPUT

- ← Risparmio stimato in base alla tipologia dei DATI DI INGRESSO in termini di volume d'acqua.
- ← Risparmio stimato in base alla tipologia dei DATI DI INGRESSO in termini di energia importata.

3.8.1 Analisi di sensitività rispetto ai valori di benchmark definiti per quantificare i risparmi energetici per servizio di acqua calda sanitaria.

Viene di seguito riproposta l'analisi di sensitività relativa alla quantificazione del risparmio energetico sullo specifico canale d'uso: produzione di ACS.

Non è stato possibile disporre di dati di monitoraggio che permettessero di valutare la coerenza dei valori di benchmark definiti.

Per questo motivo sono stati implementati e costruiti diversi modelli di simulazione numerica semplificati in regime dinamico. In questi modelli di simulazione sono stati definiti dei profili di erogazione di acqua calda sanitaria per ciascun canale di consumo. Il primo canale stima i risparmi energetici in caso di sostituzione di erogatori tradizionali con erogatori a basso flusso per i servizi igienici (rubinetti). Questo canale si addice soprattutto ai gradi di istruzione delle scuole dell'infanzia e asili nido. Il secondo canale invece ha previsto la creazione di un modello di calcolo semplificato tipico di uno spogliatoio al fine di poter valutare il potenziale di risparmio attraverso l'installazione di erogatori di acqua sanitaria a basso flusso (EBF) alle docce. Quest'ultimo secondo canale di consumo meglio rappresenta il consumo di ACS degli istituti e plessi scolastici dotati di uno spazio dedicato all'attività motoria che viene reso disponibile anche per attività sportive al di fuori del contesto scolastico.

I profili di erogazione di acqua sono stati ipotizzati sulla base delle richieste caratteristiche dei due canali di consumo valutati. In merito alla simulazione del consumo di acqua calda sanitaria dei servizi igienici è stato caratterizzato un profilo che distribuisce ripetutamente nella mattinata una specifica richiesta di erogazione (erogazione prevista ogni 10 minuti con una durata dell'evento di erogazione assunta pari ad un minuto). Sono stati inclusi anche momenti di richiesta di acqua calda sanitaria prima dell'ingresso degli studenti nell'edificio per tener conto di eventuali attività preparatorie prima dell'inizio della didattica oppure associate ad attività di pulizia al termine della mattinata scolastica. Nelle ipotesi di calcolo non sono modellate richieste di erogazione di acqua calda sanitaria dopo le ore 14:00 e la domenica.

Relativamente al profilo di utilizzo delle docce degli spogliatoi a servizio delle palestre è stato simulato un profilo di consumo che prevede l'utilizzo contemporaneo di otto docce per 20 minuti, in due turni, ipotizzando che tali eventi si manifestino nel tardo pomeriggio, con una distanza temporale di due ore a partire dalle ore 17:00 (primo turno 17:00 – 17:20; secondo turno 19:00 – 19:20). Tale profilo di utilizzo viene ripetuto per tutti i giorni della settimana ad eccezione della domenica.

Nella creazione dei modelli di simulazione numerica sono state implementate diverse configurazioni impiantistiche con lo scopo di quantificare il potenziale di risparmio energetico al variare del generatore di calore e della tipologia di erogazione.

I generatori di calore valutati sono stati:

- resistenza elettrica;
- generatore a gas;
- pompa di calore aria-acqua.

Le tipologie di erogazione considerate sono state:

- erogazione con generatori istantanei;
- erogazione con sistemi di accumulo termico.

I due canali di consumo osservati (erogatori per servizi igienici ed erogatori per docce), hanno però requisiti ben distinti a cui devono rispondere e che devono soddisfare, sia in termini di portata, sia in termini di durata temporale di erogazione del servizio. Per questi motivi sono state modellate solo le configurazioni impiantistiche ritenute coerenti rispetto allo specifico uso, evitando di modellare architetture di impianto non tecnicamente fattibili o inopportune, che difficilmente trovano riscontro con la realtà impiantistica dello stato in essere e della buona pratica progettuale.

In Tabella 10 è riportata la descrizione delle configurazioni impiantistiche modellate.

Nelle simulazioni numeriche che sono state condotte in regime dinamico è stata valutata la sola sostituzione degli erogatori di flusso con tecnologia EBF. In particolare, sugli erogatori dei servizi igienici è stato simulato il risparmio energetico ottenibile per la produzione di acqua calda sanitaria passando da un erogatore standard con portata nominale di erogazione 7 litri/minuto ad un erogatore a portata ridotta di 5 litri/minuto. Parimenti valutazioni sono

state effettuate prevedendo negli spogliatoi delle palestre la sostituzione di erogatori standard per docce da 11 litri/minuto ad erogatori con portata nominale pari a 7 litri/minuto.

In queste analisi non sono stati considerati gli effetti di possibili altri interventi di efficientamento energetico da applicare all'architettura di impianto destinata alla produzione di acqua calda sanitaria (sostituzione del generatore con generatori più efficienti, sostituzione dei circolatori con circolatori a portata variabile o dotati di inverter, ristrutturazione del sistema di distribuzione, riduzione della taglia del generatore di calore, ecc...).

In tutte le simulazioni numeriche è stata ipotizzata una temperatura di ingresso da acquedotto al sistema impiantistico pari a 10°C ed una temperatura di erogazione pari a 40°C.

Il valore di risparmio energetico di benchmark individuato risulta coerente con i risultati delle simulazioni numeriche condotte, di seguito riportate in Tabella 11.

Tabella 10: identificazione delle tipologie impiantistiche modellate.

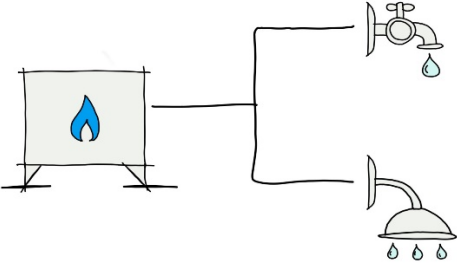
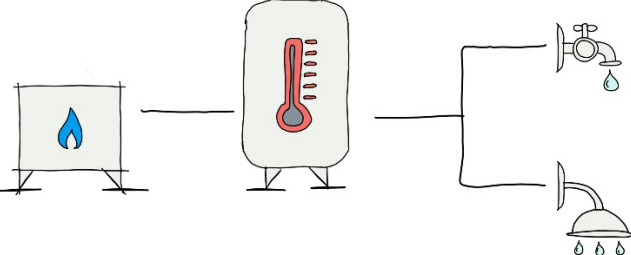
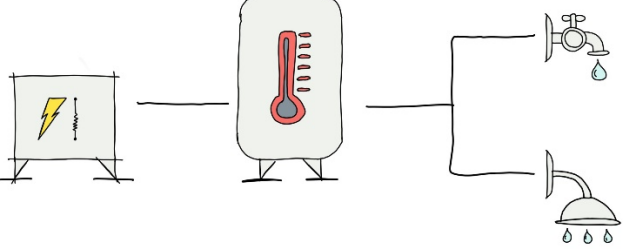
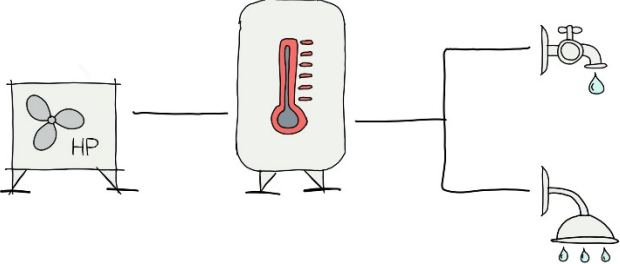
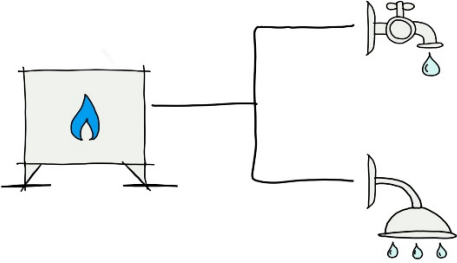
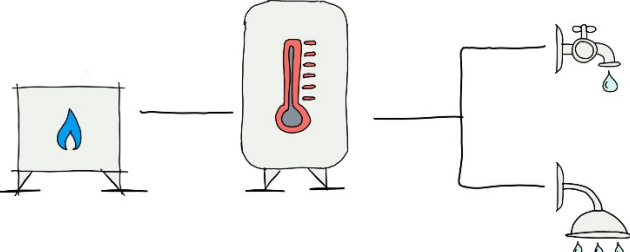
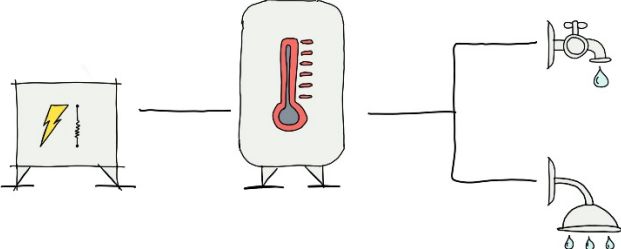
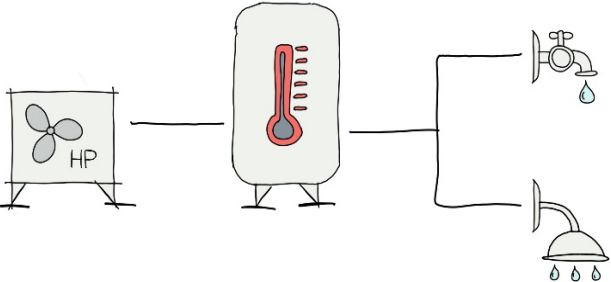
TIPOLOGIA DI GENERAZIONE E PRODUZIONE	SERVIZI IGIENICI (rubinetti)	SPOGLIATOI (Docce)
<p>Generazione istantanea a gas</p> 	<p>Nessuna richiesta specifica. Potenza del generatore 24 kWt.</p>	<p>Sistema impiantisco non coerente rispetto al servizio che deve garantire.</p>
<p>Generazione a gas con accumulo</p> 	<p>Accumulo termico centralizzato da 300 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2,5 W/K. Potenza del generatore 24 kWt.</p>	<p>Accumulo termico centralizzato da 1500 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2,5 W/K. Potenza del generatore 50 kWt.</p>
<p>Generazione con resistenza elettrica e accumulo</p> 	<p>Accumulo termico localizzato da 100 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2 W/K. Potenza di generazione 2500 W.</p>	<p>Sistema impiantisco non coerente rispetto al servizio che deve garantire.</p>
<p>Generazione in pompa di calore con accumulo</p> 	<p>Accumulo termico localizzato da 280 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2 W/K. Potenza di generazione 2400 W. COP 2,4. Integrazione con resistenza elettrica da 1500 W.</p>	<p>Accumulo termico centralizzato da 1500 litri, isolato termicamente con un coefficiente di dispersione termica dell'accumulo pari a 2,5 W/K. Potenza del generatore 50 kWt. COP 2,4. Integrazione con resistenza elettrica da 5000 W.</p>

Tabella 11: percentuale di risparmio energetico per la produzione di acqua calda sanitaria raggiungibile con l'installazione di erogatori a basso flusso al variare della tipologia di utenza e dell'architettura impiantistica di generazione.

TIPOLOGIA DI GENERAZIONE E PRODUZIONE	SERVIZI IGIENICI (rubinetti)	SPOGLIATOI (Docce)
<p>Generazione istantanea a gas</p> 	<p>28%</p>	<p>Sistema impiantistico non coerente rispetto al servizio che deve garantire.</p>
<p>Generazione a gas con accumulo</p> 	<p>26%</p>	<p>25%</p>
<p>Generazione con resistenza elettrica e accumulo</p> 	<p>18%</p>	<p>Sistema impiantistico non coerente rispetto al servizio che deve garantire.</p>
<p>Generazione in pompa di calore con accumulo</p> 	<p>13%</p>	<p>23%</p>

3.9 *Controllo dei carichi elettrici non legati a sistemi impiantisti per la climatizzazione degli ambienti o alla produzione di acqua calda sanitaria*

DESCRIZIONE

Definire una finestra di dialogo che permetta di verificare se l'energia elettrica importata per gli usi non dedicati alla climatizzazione dell'edificio o alla produzione di ACS sia coerente con gli indici di benchmark presenti in letteratura.

METODO

Verifica dell'energia elettrica importata dall'edificio rispetto a benchmark di riferimento. Nel caso tale verifica restituisca dei valori superiori ai valori di benchmark, deve essere restituito un messaggio di avviso in cui viene consigliato al gestore dell'edificio di procedere ad una diagnosi più approfondita per verificare se non ci siano dispersioni elettriche non controllate, dispositivi troppo energivori e/o obsoleti per i quali è opportuno procedere con una campagna di sostituzione, oppure prevedere interventi di manutenzione su sistemi particolarmente inefficienti (ad esempio i circolatori).

RIFERIMENTI

Letteratura scientifica.
Standard SIA 2024:2015 [40].

LIMITI DI APPLICABILITÀ

Non può essere applicato a edifici con installate delle pompe di calore o delle centrali di trattamento dell'aria, a meno che queste siano allacciate ad un contatore dedicato o un sistema di lettura/monitoraggio dei loro assorbimenti elettrici.

DATI DI INGRESSO

- Energia elettrica importa in kWh ricavata da una media storica delle bollette elettriche delle ultime tre annualità.
- Energia elettrica importa in kWh misurata in una campagna di monitoraggio (facoltativo).
- Superficie utile netta dell'edificio (m²).

CALCOLO

1) Calcolo dell'energia importata specifica su base annuale come:

$$\text{Energia elettrica importa specifica} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\text{Energia elettrica importata in un anno in [Kwh]}}{\text{Superficie utile netta dell'edificio in [m}^2\text{]}}$$

2) Inserire un campo in cui viene richiesto al compilatore se l'energia elettrica importata inserita considera anche gli assorbimenti elettrici dei sistemi di climatizzazione invernale e/o estiva?

- ❖ SI
↓ Il valore di benchmark di confronto è: 25 [kWh/m²]
- ❖ NO
↓ Il valore di benchmark di confronto è: 7 [kWh/m²]

A seconda della risposta indica al punto 2), deve essere selezionato il rispettivo valore di benchmark (25 [kWh/m²] oppure 7 [kWh/m²]) e confrontato con l'energia elettrica importata calcolata in 1).

OUTPUT

Il valore calcolato in 1) è superiore al valore di benchmark definito in 2)?

❖ SI

← Fare apparire una finestra di dialogo in cui viene riportato il seguente messaggio

“Attenzione, consumi elettrici particolarmente elevati. Si suggerisce di procedere con una diagnosi energetica dei dispositivi installati nell’edificio al fine di verificare l’eventuale presenza di dispersioni elettriche non controllate, dispositivi troppo energivori o obsoleti per i quali è opportuno procedere con una campagna di sostituzione, oppure prevedere interventi di manutenzione su sistemi particolarmente inefficienti (ad esempio i circolatori).”

Contestualmente al messaggio di allerta mettere a disposizione con una finestra di dialogo i seguenti link:

- Database dispositivi elettrici efficienti: <http://www.topten.ch>
- Database apparecchi di illuminazione a LED: <http://www.lumsearch.com>

❖ NO

← Fare apparire una finestra di dialogo in cui viene riportato il seguente messaggio:

“Consumi elettrici dell’edificio nella norma”

4 Conclusioni

Il presente rapporto è stato costruito come completamento della metodologia di calcolo delineata in [1] e in [268]. In generale, le metodologie proposte all'interno di standard nazionali ed internazionali non si basano su benchmark reali. Questo risulta essere un problema nel momento in cui si voglia analizzare un edificio rispetto alle effettive condizioni d'uso e di esercizio e non attraverso una procedura di calcolo standardizzata, con tutte le sue limitazioni e approssimazioni. Per questo motivo, i possibili risparmi energetici raggiungibili con i diversi interventi di efficienza sono stati quantificati in termini percentuali, rispetto ad uno stato di fatto di riferimento, e non in termini di consumi assoluti (in kWh), che sarebbero potuti risultare non coerenti o perfino superiori ai consumi monitorati dell'edificio scolastico oggetto di valutazione.

Consapevoli delle limitazioni della procedura semplificata proposta e alla luce della carenza di benchmark di riferimento nella valutazione delle prestazioni edificio-impianto di edifici scolastici, è stato predisposto un documento operativo che possa permettere la traduzione della metodologia in una applicazione digitale da parte di un operatore terzo. Una volta che l'applicazione digitale sarà messa a disposizione, sarà auspicabile prevedere una sua versione provvisoria (o *beta*), in modo da permettere l'avvio della fase di test, prima della sua ufficiale diffusione.

L'applicazione dovrà essere validata rispetto ai risparmi energetici quantificabili (meglio misurabili) di edifici scolastici di cui si conoscano i consumi, per i diversi usi finali, prima e dopo gli interventi di efficientamento energetico.

La metodologia di stima proposta è da intendersi come prima approssimazione dei risparmi energetici ottenibili a fronte di (i) miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro, (ii) installazione di erogatori a basso flusso sulle utenze sanitarie, (iii) sostituzione dell'impianto di illuminazione.

Il metodo non sostituisce procedure di calcolo basate su leggi fisiche o standard nazionali ed internazionali riconosciute dalla letteratura scientifica.

5 Riferimenti bibliografici

1. R. Armani, L. Pagliano, M. Pietrobon, S. Erba, *“Criteri di normalizzazione dei KPI di riferimento e di stime di risparmi energetici conseguibili in reali condizioni d'uso per edifici scolastici esistenti”*, Report ENEA 2018.
2. R. Armani, S. Erba, A. Sangalli, L. Pagliano, *“Criteri di stima di risparmi energetici conseguibili in reali condizioni d'uso per la produzione di acqua calda sanitaria in edifici scolastici e metodologia per l'individuazione di inefficienze sugli usi elettrici dell'edificio”*. Report ENEA 2020
3. UNI/TS 11300-1, *“Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”*.
4. UNI/TS 11300-2, *“Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”*.
5. UNI EN ISO 13790, *“Prestazione energetica degli edifici: Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”*.
6. UNI EN 15193, *“Prestazione energetica degli edifici Requisiti energetici per illuminazione”*.
7. EN 16798-2:2019, *“Energy performance of buildings Ventilation for buildings – Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 – Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics”*.
8. Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia e successive modifiche ed integrazioni.
9. Decreto interministeriale 26 giugno 2015, *“Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”* e relative allegati.
10. M.A. Piette, L.W. Wall, B.L. Gardien, *“Measured Performance”*, ASHRAE J. (January 1986), 72-78.
11. D. Marchio, A. Rabl, *“Energy-Efficient Gas-Heated Housing in France: Predicted and Observed Performance”*, Energy and Building, 17 (1991), 131-139.
12. S.P. Corgnati, F. Ariaudo, L. Rollino, *“definizione di un indice semplificato per la previsione dei consumi per il riscaldamento di un patrimonio edilizio esistente a destinazione d'uso prevalentemente scolastica”*, III Congresso Nazionale AIGE Parma (2009).
13. F. Ariaudo, S.P. Corgnati, M. Filippi, *“Heating consumption assessment and forecast of existing buildings: investigation on Italian school building”*, Proceedings of the 5th IBPC, Kyoto (2012), 929-936.
14. A. Capazzoli, D. Grassi, F. Causone, *“Estimation models of heating energy consumption in schools for local authorities planning”*, Energy and Buildings 105 (2015), 302-313.
15. Z. Yu, F. Haghighat, B.C.M. Fung, H. Yoshino, *“A decision tree method for building energy demand modeling”*, Energy and Buildings 42 (2010), 1637-1646.
16. L. Magnier F. Haghighat, *“Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network”*, 45 (2010), 739-746.
17. J.F. Kreider, P.S. Curtiss, A. Rabl, *“Heating and Cooling of Building”*, Mc Graw Hill Editore, 2002.

18. E-TOOL Handbook, user's manual for energy rating of existing building, IEE Project. www.e-tool.org.
19. UNI EN ISO 15927-6, "Hygrothermal performance of building – Calculation and presentation of climatic data – part 6: Accumulated temperature difference (degree-days)".
20. Decreto Ministeriale 10 marzo 1977, "Determinazione delle zone climatiche e dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volumici globali di dispersione termica".
21. Decreto del Presidente della Repubblica 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 legge 9 gennaio 1991, n. 10."
22. J.D.N. Nisson, G. Dutt, "the Superinsulated Home Book", Wiley, New York (1985).
23. D.G. Erbs, S.A. Klein, W.A. Beckman, "Estimation of Degree-Days and Ambient Temperature Bin Data from Monthly-Average Temperature", *Ashrae J.*, June (1983), 60-65.
24. V. Martinaitis, "Analytic calculation of degree-days for the regulated heating season", *Energy and building*, 28 (1998), 185-189.
25. R. Armani, L. Pagliano, M. Pietrobon, S. Erba, "Definizione di indicatori prestazionali energetico-ambientali per la caratterizzazione degli edifici scolastici", Enea, Par2016.
26. M. Zinzi, A. Mangione, G. Fasano, "Studio preliminare per la definizione di una metodologia di calcolo per la determinazione del fabbisogno per illuminazione artificiale degli edifici.", Enea, Par2013.
27. P. Waide, S. Tanishima, "Light's labour's lost: policies for energy efficient lighting", OECD/IEA (2006), Paris.
28. W. Pohl, M. Werner, "Lighting, comfort and energy and evaluation of the recommendations of EN 15251", *Intell Energy Eur* (2010).
29. F. Linhart, J.L. Scartezini, "Evening office lighting – visual comfort vs. energy efficiency vs. performance?", *Build Environ*, 46(5) (2011), 981-989.
30. DHW. Li, KL Cheung, SL Wong, TNT Lam, "An analysis of energy-efficient light fitting and lighting controls", *Appl Energy*, 87(2) (2010), 558-567.
31. SIA 387/4:2017, "Elettricità negli edifici – Illuminazione: calcolo e requisiti".
32. Ashrae's guideline 14-2002 for measurement of energy and demand savings: how to determine what was really saved by the retrofit.
33. L. Blaso, A. Brutti, P. Clemente, S. Fumagalli, N. Gessa, S. Giovinazzi, G. Giuliani, N. Gozo, F. Moretti, M. Pollino, S. Pizzuti, V. Rosato, M. Zinzi, "Piattaforma PELL: avvio all'uso sperimentale del PELL IP e progettazione del PELL Edifici Scuole", Report Rds/PTR2019.
34. UNI 10349-1:2016, "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata".
35. M. Cordella, E. Garbarino, M. Calero, F. Mathieux, O. Wolf, "MEErP Preparatory Study on Taps and Showers – Final Report, Joint Research Centre JRC, 2014.

36. R. Kaps, O. Wolf, "Development of European Ecolabel and Green Public Procurement. Criteria for Sanitary tapware – Taps and Showerheads", Joint Research Centre JRC, 2014.
37. L. Wong, K.Mui, Y. Zhou, "Impact Evaluation of Low Flow Showerheads for Hong Kong Residents", Water, 2016.
38. S.P. Corgnati, E. Fabrizio, F. Ariaudo, L. Rollino, "Edifici tipo, indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, ad uso scolastico (medie superiori e istituti tecnici) applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani", Report RSE/2010/190.
39. F.Bianchi, M.Altomonte, M.E. Cannata, G. Fasano, "Definizione degli indici e livelli di fabbisogno dei vari centri di consumo energetico degli edifici adibiti a scuole – consumi energetici delle scuole primarie e secondari", Report RSE/2009/119.
40. SIA 2024:2015, "Dati d'utilizzo di locali per l'energia e l'impiantistica degli edifici", Società Svizzera degli Ingegneri e degli Architetti.
41. I. Rothwell, E. Bush, "Preliminary study on tertiary hot beverage equipment. Standards, energy consumption and effective measures for exploiting saving potential", Report 31 July 2017, Federal Department of the Environment, Traffic, Energy and Communications DETEC.
42. E. Geilinger, E. Bush, "Preliminary study on refrigerated vending machines and water dispensers. Standard, saving potential, recommendations", Report August 2016, Federal Department of the Environment, Traffic, Energy and Communications DETEC.
43. ProCold Project, "Periodical Technical Report - Part B", 2018, Project Number 649293.
44. Premium Light Pro Project, *H2020-EE-2014-2015/H2020-EE-2015-3-MarketUptake Grant Agreement number 695931 PremiumLight-Pro.*

6 Abbreviazioni e acronimi

$T_{int,stp}$:	temperatura di setpoint dell'impianto di riscaldamento in [°C].
$T_{o,i}$:	temperatura a bulbo secco dell'aria esterna [°C].
nPT_x :	numero di alunni iscritti presenti nello specifico arco temporale di riferimento.
AGE_{Ave} :	età media degli alunni.
$IG_{pers,Tx}$:	apporto termico dovuto alla presenza di persone.
T_x :	arco temporale di riferimento.
MET_{Tx} :	rappresenta l'attività metabolica di un soggetto svolta nello specifico arco temporale di riferimento.
A_{DU} :	superficie corporea media di un soggetto riferita all'età media [m ²].
kWh_{EE} :	energia importata per apparecchiature elettriche diverse da climatizzazione invernale, estiva, acqua calda sanitaria e illuminazione [kWh].
$n_{gg,EE}$:	numero di giorni a cui si riferisce la lettura dei kWh _{EE} [giorni].
$kWh_{EE,ave,day}$:	assorbimento medio giornaliero dell'energia importata per le apparecchiature elettriche diverse da climatizzazione invernale, estiva, acqua calda sanitaria e illuminazione [kWh].
$F_{h,EE,weekday}$:	frazione di assorbimento medio del carico elettrico nei giorni feriali della settimana [-].
$F_{h,EE,weekend}$:	frazione di assorbimento medio del carico elettrico nei giorni di sabato e domenica [-].
$n_{m,Tx}$:	durata in ore di uno specifico arco temporale [h].
$EE_{Tx,weekday}$:	assorbimento elettrico medio nello specifico arco temporale T_x nei giorni feriali della settimana [W].
$EE_{Tx,weekend}$:	assorbimento elettrico medio nello specifico arco temporale T_x nei giorni di sabato e domenica 12 dicembre 2021 [W].
EE_{m2} :	potenza specifica degli apparecchi per unità di superficie utile di pavimento [W/m ²]
IL :	potenza elettrica totale installata degli impianti di illuminazione esistenti [W]
n_{IL} :	numero delle ore/giorno di utilizzo medio dell'impianto di illuminazione [h]
$IL_{ave,Tx}$:	potenza elettrica media assorbita dall'impianto di illuminazione artificiale, nello specifico arco temporale T_x [W].
U_w :	trasmittanza termica di un serramento [W/m ² K].
g :	trasmittanza di energia solare del vetro [-].
τ_v :	trasmissione di luce visibile del vetro [-].
$Q_{sol,m}$:	l'apporto solare mensile [kWh].
$Q_{sol,m,sp}$:	apporto solare mensile specifico per giorno del mese [W oppure Wh].
gg_m :	numero di giorni del mese [giorni].
$n_{sol,ave,m}$:	numero di ore di luce medie mensili [h].
$H_{v,Tx}$:	coefficiente di scambio termico per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione dell'edificio, per lo specifico arco di riferimento T_x [W/K]
C_d :	coefficiente di scarico.
a :	accelerazione di gravità [m/s ²].
A_{geo} :	superficie apribile della finestra, rispetto ad un'aula tipo presa come riferimento [m ²].
h :	altezza della superficie apribile [m].
$T_{e,ave}$:	temperatura giornaliera media mensile dell'aria esterna [°C].
$T_{int,stp}$:	temperatura dell'aria interna di setpoint [°C].
INF :	infiltrazione base in ricambi ora [vol/h].
$t_{opening}$:	tempo di apertura medio delle finestre valutato per singolo evento [h].
$n_{opening,Tx}$:	frequenza media di apertura delle finestre all'interno di ciascun arco di riferimento T_x [-].
V :	volume di aria netta dell'edificio [m ³].
H_T :	coefficiente di scambio termico per trasmissione dell'edificio [W/K]
A_k :	area lorda disperdente [m ²].
U_k :	trasmittanza termica dell'i-esimo elemento tecnico appartenente all'involucro edilizio da considerare nel calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione dell'edificio [W/m ² K].
$F_{T,k}$:	fattore di esposizione
$T_{bal,Tx}$:	temperatura di bilancio riferita ad uno specifico arco temporale di riferimento T_x
$n_{GG_{occ,month}}$:	numero di giorni del mese in cui l'edificio risulta occupato.
$n_{GG_{month}}$:	numero di giorni del mese.

- $F_{occ,month,Tx}$: fattore correttivo per festività.
- $E_{PH,nd,Tx,m}$: fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento, per lo specifico arco temporale di riferimento, per ogni mese di climatizzazione invernale.
- EBF: erogatori di acqua sanitaria a basso flusso.

7 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

eERG è il Gruppo di ricerca sull'efficienza negli usi finali dell'energia, attivo dal 1996 presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano. L'approccio interdisciplinare di eERG connette ricerca in nuove tecnologie e in fisica degli edifici, analisi economica e delle politiche energetiche, audit e progettazione d'interventi, e comprende: ricerca scientifica e tecnologica svolta in partnership con gruppi accademici e agenzie europee e statunitensi; trasferimento dei risultati verso l'applicazione, attraverso cooperazione con l'industria, istituzioni italiane ed europee, enti locali; didattica universitaria e post-universitaria e attività di formazione e divulgazione.

eERG è stata ed è attualmente impegnata in attività di ricerca su edifici Passive House e nearly Zero Energy, partecipando a diversi progetti di ricerca europei e internazionali, occupandosi di monitoraggio di edifici a energia zero, supporto all'ottimizzazione dei controlli per impianti ed edifici, simulazione energetica dinamica, supporto alla progettazione, applicazione di tecniche di ottimizzazione per la progettazione.

Il gruppo, grazie alla sua dotazione strumentale, è in grado di effettuare lo studio e l'analisi delle condizioni di benessere degli ambienti confinati (benessere igro-termico, benessere visivo, qualità dell'aria ed efficienza dei sistemi di ventilazione meccanica incluso la rilevazione di inquinanti come TVOC, formaldeide, CO₂, SO₂, NO₂, O₃, particolati).

Per maggiori informazioni si invita a consultare il sito internet del gruppo all'indirizzo: www.eerg.it.

Il direttore di eERG, **Lorenzo Pagliano**, laureato in Fisica *cum laude*, Dottore di Ricerca in Energetica, è stato Visiting Researcher presso il Lawrence Berkeley Laboratory (California, USA). Sue aree di ricerca sono gli edifici a bassa energia, il comfort termico e l'analisi delle politiche energetiche. Tiene il corso di Fisica dell'Edificio presso la facoltà di Ingegneria Edile e Architettura è Direttore del Master RIDEF, è membro del Comitato editoriale della rivista Energy Efficiency (Springer) e Advances in Building Energy Research, è membro del Consiglio Direttivo dello European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE).

Roberto Armani, laureato in Ingegneria Edile presso il Politecnico di Milano nel 2007. Da sempre svolge l'attività della libera professione specializzandosi in efficienza energetica degli edifici, in acustica ambientale ed architettonica. Dal 2009 collabora con il gruppo di ricerca eERG diretto dal Professor Lorenzo Pagliano lavorando su progetti europei, occupandosi di misure di comfort degli ambienti interni, di simulazione energetica in regime dinamico degli edifici e di cost optimal design negli interventi edilizi (nuovi o ristrutturati).

Silvia Erba, PhD in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, svolge attività di ricerca presso il Politecnico di Milano dal 2012, prima collaborando con il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente costruito e dal 2015 con il gruppo di ricerca eERG presso il Dipartimento di Energia. Le aree di ricerca sono edifici a energia quasi zero, studio del comportamento termofisico di edifici storici e di nuova costruzione, comfort termico e simulazioni energetiche in regime dinamico. Esperienze nel campo della diagnostica e delle indagini non distruttive, in particolare termografia all'infrarosso.

Andrea Sangalli, laureato in Ingegneria Edile presso il Politecnico di Milano, dal 2012 svolge attività di ricerca collaborando con il gruppo eERG del Politecnico di Milano, principalmente nell'ambito di progetti europei. Le tematiche di interesse comprendono il monitoraggio energetico e ambientale degli edifici prima e dopo interventi di riqualificazione profonda, le valutazioni di comfort di lungo periodo e le prestazioni termiche dinamiche di componenti opachi dell'involucro edilizio.

ALLEGATO 1: Descrizione del caso studio utilizzato per le analisi di sensitività della procedura di calcolo e sue parti discusse nel presente rapporto.

PREMESSA

Per alcuni canali di consumo è stata eseguita una analisi di sensitività al fine di valutare la plausibilità dei risultati di calcolo proposti all'interno della procedura di stima dei risparmi energetici discussi, al variare di alcuni dati di ingresso ritenuti più significativi.

In questa fase non è stato possibile disporre di uno o più edifici/plessi scolastici, di cui si conoscessero i dati di monitoraggio energetico prima e dopo gli interventi di ristrutturazione energetica realizzati. Dopo un'indagine conoscitiva durata diversi mesi non è stato nemmeno possibile reperire su casi studio effettivamente realizzati, le letture al contatore che avrebbero consentito di confrontare i risparmi percentuali stimati dalla presente procedura semplificata con i costi energetici di esercizio effettivamente sostenuti.

Per i suddetti motivi è stato necessario implementare dei modelli di simulazione numerica in regime dinamico, che consentissero di verificare la coerenza e la congruità dei risparmi energetici su determinati canali di consumo calcolati con la procedura semplificata rispetto a calcoli effettuati con strumenti avanzati di modellazione energetica degli edifici.

Fatta eccezione per l'analisi di sensitività applicata alla produzione di acqua calda sanitaria, la quale risulta indipendente dalla geometria e tipologia di edificio, il controllo di plausibilità dei calcoli effettuati è stato applicato sul modello energetico di edificio di seguito descritto.

DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO

Le analisi di sensitività e verifica di plausibilità dei risultati ottenuti su alcuni canali di consumo sono state condotte su una scuola primaria secondaria, di medio piccole dimensioni, con una capienza di 120 alunni suddivisi in sei aule (venti alunni per aula).

All'interno dell'edificio modellato è presente anche un blocco servizi, un blocco dedicato alla segreteria e direzione amministrativa della scuola, uno spazio ingresso e accoglienza e due corridoi laterali di accesso alle aule didattiche. Il plesso scolastico modellato dispone inoltre di uno spazio palestra, privo di spalti per il pubblico, che si configura come un corpo di fabbrica indipendente dal corpo principale della scuola. In Figura 1 è riportata la planimetria del caso studio e in Figura 2 una vista a volo di uccello del modello tridimensionale dell'edificio costruito in ambiente di simulazione numerica.

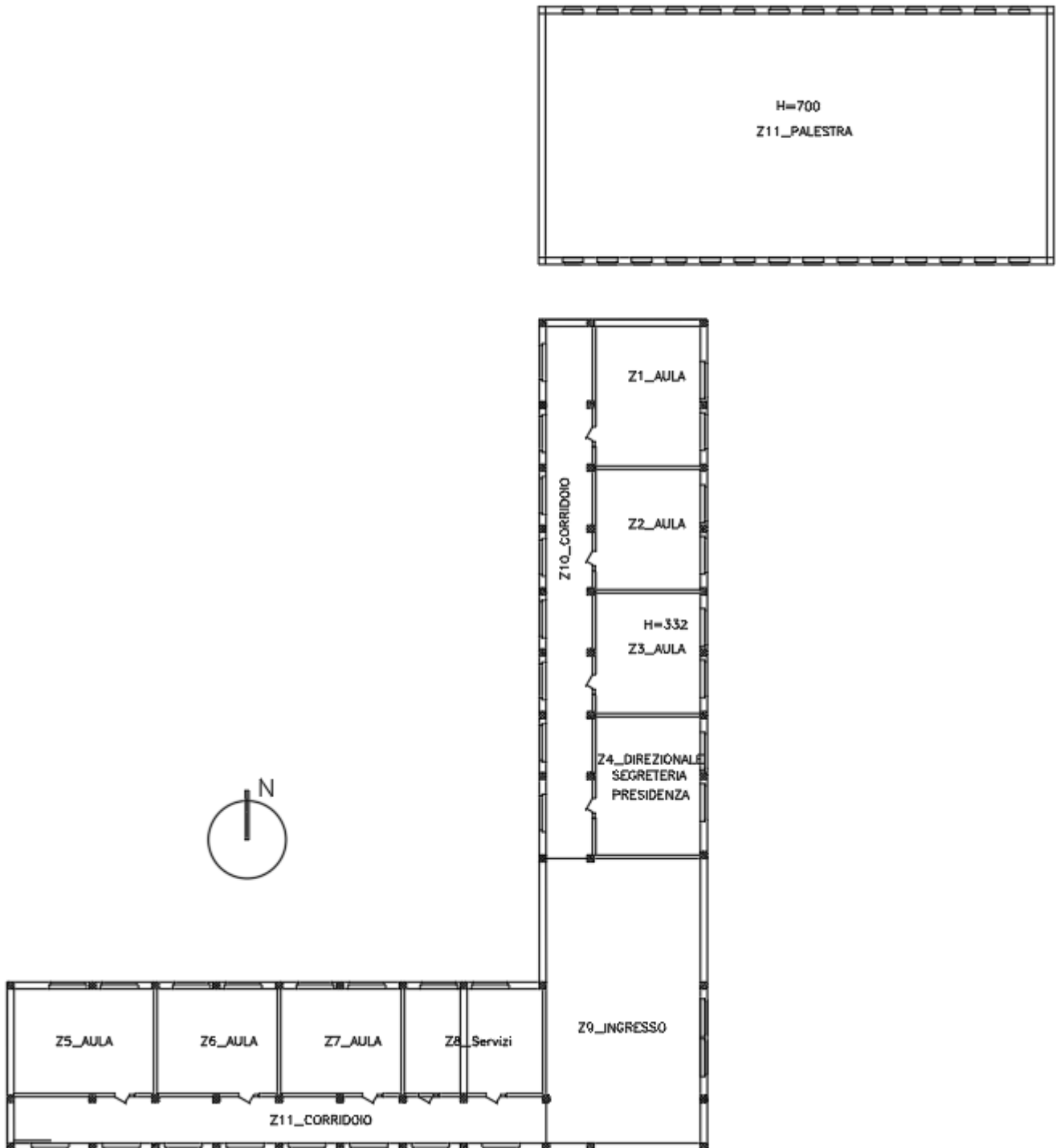


Figura 1: Planimetria dell'edificio scolastico utilizzato come caso studio.

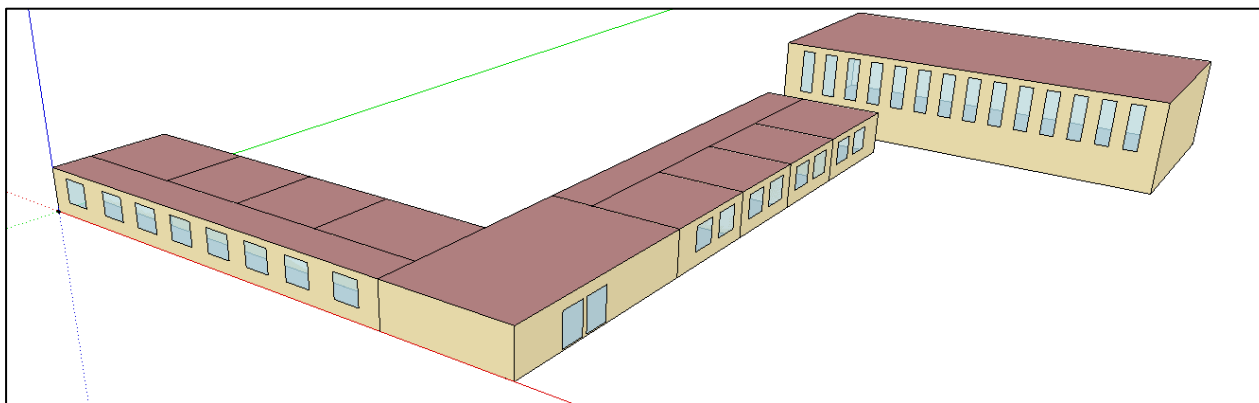


Figura 2: Modello energetico del caso studio.

L’edificio scolastico modellato ha una pianta regolare ad “L” con le aule esposte prevalentemente ad EST ed a Nord. L’altezza netta interna del corpo di fabbrica dedicata alle attività scolastica è di 3,32 m. La palestra è stata modellata con una altezza interna pari a 7 metri.

Il rapporto superfici trasparenti / superfici opache della scuola è pari a 0,20, mentre quello della palestra risulta essere di 0,15. Le aperture del corpo scuola sono finestre a dimensione modulare 200x180 cm. Ogni aula può beneficiare di un apporto di luce naturale proveniente da n. 2 finestre. Le dimensioni delle finestre della palestra sono invece pari a 100x350 cm ed hanno una quota di imposta pari a 3 metri. I serramenti sono apribili manualmente da parte dell’occupante in funzione dell’esigenza.

La superficie utile netta di pavimento totale dell’edificio è di 1095 m² di cui 415 m² destinati a palestra e 562 m² a scuola.

La tecnologia costruttiva dell’involucro edilizio della scuola è di tipo tradizionale con struttura in cemento armato e tamponamenti a cassa vuota in laterizio con un materiale isolante di 4 cm posto all’interno dell’intercapedine. La palestra invece è stata realizzata con pannelli prefabbricati in calcestruzzo. L’epoca costruttiva che è stata considerata per la costruzione del modello energetico in ambiente di simulazione numerica è quella degli anni 1970-1980.

L’impianto di illuminazione esistente modellato prevede dei corpi illuminati a tubi fluorescenti.

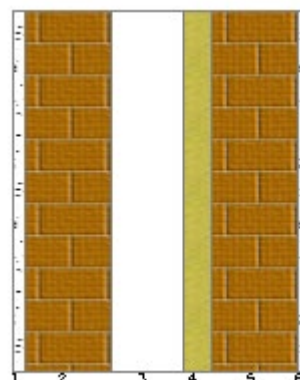
Di seguito è stato riportato l’abaco delle strutture edilizie che caratterizzano l’involucro trasparente ed opaco dei modelli energetici utilizzati per le analisi di sensitività e per la verifica di plausibilità dei risultati della procedura di calcolo semplificata.

Negli interventi di efficienza simulati non sono stati modellati interventi di isolamento termico del pavimento controterra della scuola e della palestra.

Descrizione della struttura:

PRE – Ristrutturazione: Parete Esterna Scuola

Trasmittanza termica	0,494	W/m ² K
Spessore	410	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	23,725	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	423	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	363	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,109	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,221	-
Sfasamento onda termica	-11,1	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Malta di cemento	15,00	1,4000	0,011	2000	1,00	22
2	Mattone semipieno	120,00	0,6320	0,190	1508	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata $Av < 500 \text{ mm}^2/\text{m}$	100,00	0,5556	0,180	-	-	-
4	Poliuretano espanso in continuo in lastre	40,00	0,0320	1,250	30	1,30	140
5	Mattone semipieno	120,00	0,6320	0,190	1508	0,84	9
6	Malta di cemento	15,00	1,4000	0,011	2000	1,00	22
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-

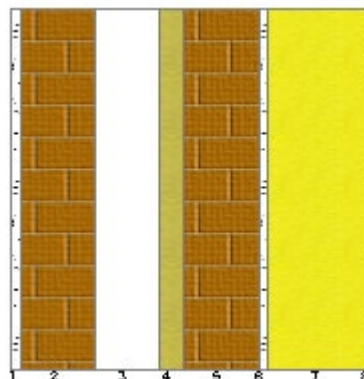
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	$\text{m}^2\text{K/W}$
M.V.	Massa volumica	kg/m^3
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

POST- Ristrutturazione: Parete Esterna Scuola

Trasmittanza termica	0,151	W/m ² K
Spessore	575	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	22,883	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	446	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	379	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,003	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,019	-
Sfasamento onda termica	-17,0	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Malta di cemento	15,00	1,4000	0,011	2000	1,00	22
2	Mattone semipieno	120,00	0,6320	0,190	1508	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	100,00	0,5556	0,180	-	-	-
4	Poliuretano espanso in continuo in lastre	40,00	0,0320	1,250	30	1,30	140
5	Mattone semipieno	120,00	0,6320	0,190	1508	0,84	9
6	Malta di cemento	15,00	1,4000	0,011	2000	1,00	22
7	Pannello in lana di roccia	160,00	0,0350	4,571	100	1,03	1
8	Intonaco plastico per cappotto	5,00	0,3000	0,017	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conducibilità termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

PRE – Ristrutturazione: Parete Palestra

Trasmittanza termica	0,668	W/m ² K
Spessore	150	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	15,873	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	242	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	242	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,382	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,573	-
Sfasamento onda termica	-5,7	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	50,00	1,9100	0,026	2400	1,00	96
2	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	50,00	0,0400	1,250	30	1,45	60
3	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	50,00	1,9100	0,026	2400	1,00	96
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-

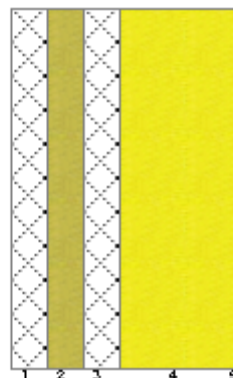
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

POST – Ristrutturazione: Parete Palestra

Trasmittanza termica	0,164	W/m ² K
Spessore	315	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	15,492	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	264	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	258	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,009	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,058	-
Sfasamento onda termica	-12,7	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	50,00	1,9100	0,026	2400	1,00	96
2	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	50,00	0,0400	1,250	30	1,45	60
3	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	50,00	1,9100	0,026	2400	1,00	96
4	Pannello in lana di roccia	160,00	0,0350	4,571	100	1,03	1
5	Intonaco plastico per cappotto	5,00	0,3000	0,017	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-

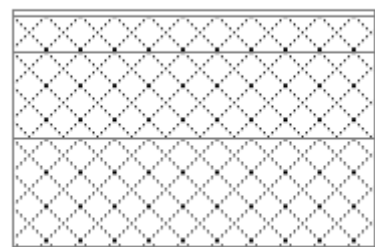
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

PRE – Ristrutturazione: Pavimento Scuola

Trasmittanza termica	1,353	W/m ² K
Trasmittanza controterra	0,392	W/m ² K
Spessore	330	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	593	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	593	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,341	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,870	-
Sfasamento onda termica	-10,9	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,3000	0,008	2300	0,84	9999999
2	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,9000	0,056	1800	0,88	30
3	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	120,00	0,3100	0,387	1000	1,00	7
4	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,9100	0,079	2400	1,00	96
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

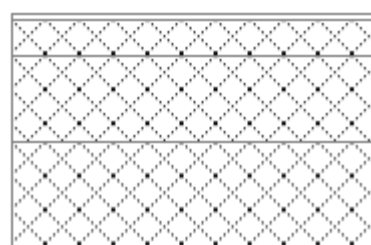
s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

POST – Ristrutturazione: Pavimento Scuola

Trasmittanza termica **1,353** W/m²K
 Trasmittanza controterra **0,379** W/m²K

Spessore **330** mm
 Temperatura esterna (calcolo potenza invernale) **-5,0** °C
 Permeanza **0,002** 10⁻¹²kg/sm²Pa
 Massa superficiale (con intonaci) **593** kg/m²
 Massa superficiale (senza intonaci) **593** kg/m²



Trasmittanza periodica **0,341** W/m²K
 Fattore attenuazione **0,902** -
 Sfasamento onda termica **-10,9** h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,3000	0,008	2300	0,84	9999999
2	Sottopavimento di cemento magro	50,00	0,9000	0,056	1800	0,88	30
3	C.I.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	120,00	0,3100	0,387	1000	1,00	7
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,9100	0,079	2400	1,00	96
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

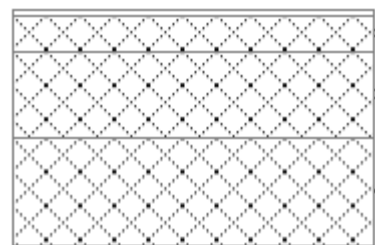
Legenda simboli

s Spessore mm
 Cond. Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi W/mK
 R Resistenza termica m²K/W
 M.V. Massa volumica kg/m³
 C.T. Capacità termica specifica kJ/kgK
 R.V. Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto -

Descrizione della struttura:

PRE – Ristrutturazione: Pavimento Palestra

Trasmittanza termica	1,266	W/m ² K
Trasmittanza controterra	0,384	W/m ² K
Spessore	330	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	1,713	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	582	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	582	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,293	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,764	-
Sfasamento onda termica	-11,2	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Pavimento in gomma	10,00	0,1700	0,059	1200	1,40	10000
2	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,9000	0,056	1800	0,88	30
3	C.I.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	120,00	0,3100	0,387	1000	1,00	7
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,9100	0,079	2400	1,00	96
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

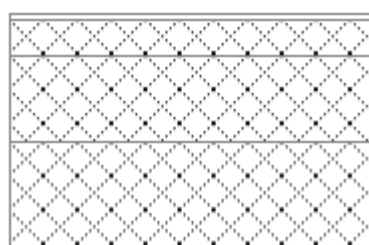
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

POST – Ristrutturazione: Pavimento Palestra

Trasmittanza termica	1,266	W/m ² K
Trasmittanza controterra	0,371	W/m ² K
Spessore	330	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	1,713	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	582	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	582	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,293	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,791	-
Sfasamento onda termica	-11,2	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Pavimento in gomma	10,00	0,1700	0,059	1200	1,40	10000
2	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,9000	0,056	1800	0,88	30
3	C.I.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	120,00	0,3100	0,387	1000	1,00	7
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,9100	0,079	2400	1,00	96
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

PRE – Ristrutturazione: Soffitto Scuola

Trasmittanza termica	0,640	W/m ² K
Spessore	398	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	0,132	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	608	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	608	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,067	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,105	-
Sfasamento onda termica	-13,0	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-
1	Impermeabilizzazione con bitume	8,00	0,1700	0,047	1200	1,00	188000
2	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	60,00	1,4900	0,040	2200	0,88	70
3	Polistirene espanso, estruso senza pelle	40,00	0,0410	0,976	30	1,45	17
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	50,00	1,4900	0,034	2200	0,88	70
5	Pavimento tipo predalles	240,00	0,8000	0,300	1479	0,84	9
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

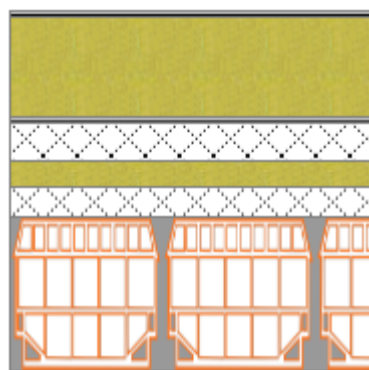
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

POST – Ristrutturazione: Soffitto Scuola

Trasmittanza termica	0,158	W/m ² K
Spessore	567	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	0,066	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa (con intonaci) superficiale	625	kg/m ²
Massa (senza intonaci) superficiale	625	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,002	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,012	-
Sfasamento onda termica	-18,5	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-
1	Impermeabilizzazione con bitume	8,00	0,1700	0,047	1200	1,00	188000
2	Polistirene espanso, estruso senza pelle	160,00	0,0340	4,706	50	1,45	17
3	Impermeabilizzazione con bitume	8,00	0,1700	0,047	1200	1,00	188000
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	60,00	1,4900	0,040	2200	0,88	70
5	Polistirene espanso, estruso senza pelle	40,00	0,0410	0,976	30	1,45	17
6	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	50,00	1,4900	0,034	2200	0,88	70
7	Pavimento tipo predalles	240,00	0,8000	0,300	1479	0,84	9
8	Polistirene espanso sint. in lastre da blocchi	1,00	0,0560	0,018	10	1,45	30
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

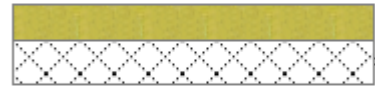
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

PRE – Ristrutturazione: Soffitto Palestra

Trasmittanza termica	0,691	W/m ² K
Spessore	110	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	22,831	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	146	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	146	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,472	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,683	-
Sfasamento onda termica	-3,5	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-
1	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	50,00	0,0400	1,250	30	1,45	60
2	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	60,00	1,9100	0,031	2400	1,00	96
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura:

POST – Ristrutturazione: Soffitto Palestra

Trasmittanza termica	0,223	W/m ² K
Spessore	210	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	33,841	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	150	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	150	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,143	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,643	-
Sfasamento onda termica	-4,7	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065	-	-	-
1	Pannello in lana di roccia	150,00	0,0350	4,286	40	1,03	1
2	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	60,00	1,9100	0,031	2400	1,00	96
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della finestra:

PRE – Ristrutturazione: Finestra Tipo Scuola

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo		
Classe di permeabilità	Senza classificazione		
Trasmittanza termica	U_w	3,522	W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g	2,544	W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari

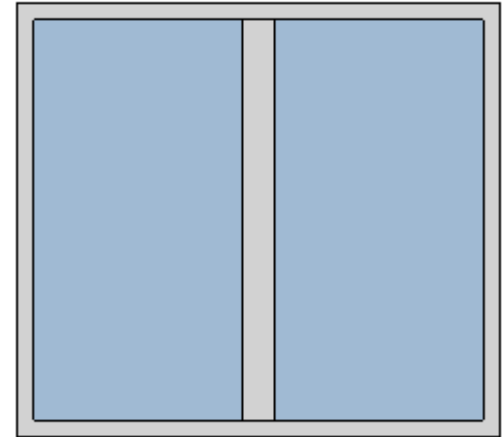
Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\,inv}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\,est}$	1,00	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,850	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,835	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,00	m ² K/W
f shut		0,6	-

Dimensioni del serramento

Larghezza		200,0	cm
Altezza		180,0	cm

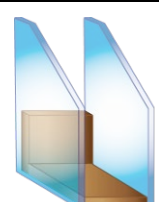


Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	7,00	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,02	W/mK
Area totale	A_w	3,600	m ²
Area vetro	A_g	2,855	m ²
Area telaio	A_f	0,745	m ²
Fattore di forma	F_f	0,79	-
Perimetro vetro	L_g	10,080	m
Perimetro telaio	L_f	7,600	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	6,0	1,00	0,006
Intercapedine	-	-	0,186
Secondo vetro	6,0	1,00	0,006
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U **3,522** W/m²K

Descrizione della finestra:

POST – Ristrutturazione - Finestra Tipo Scuola

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento -
 Classe di permeabilità **Senza classificazione**
 Trasmittanza termica U_w **1,300** W/m²K
 Trasmittanza solo vetro U_g **1,000** W/m²K

Dati per il calcolo degli apporti solari

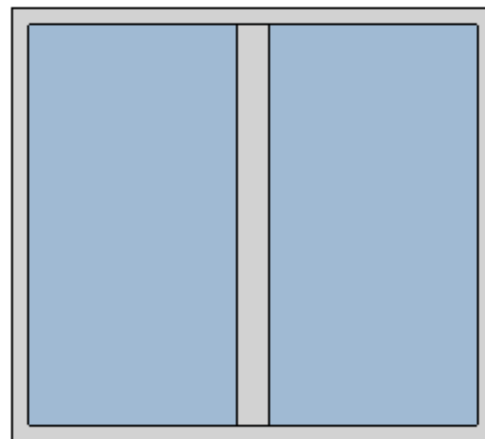
Emissività ε **0,837** -
 Fattore tendaggi (invernale) f_{c inv} **1,00** -
 Fattore tendaggi (estivo) f_{c est} **1,00** -
 Fattore di trasmittanza solare g_{gl,n} **0,400** -
 Fattore trasmissione solare totale g_{gl+sh} **0,393** -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure **0,00** m²K/W
 f shut **0,6** -

Dimensioni del serramento

Larghezza **200,0** cm
 Altezza **180,0** cm



Caratteristiche del telaio

K distanziale K_d **0,11** W/mK
 Area totale A_w **3,600** m²
 Area vetro A_g **2,855** m²
 Area telaio A_f **0,745** m²
 Fattore di forma F_f **0,79** -
 Perimetro vetro L_g **10,080** m
 Perimetro telaio L_f **7,600** m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U **1,300** W/m²K

Descrizione della finestra:

PRE – Ristrutturazione: Porta_Finestra Tipo Scuola

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo		
Classe di permeabilità	Senza classificazione		
Trasmittanza termica	U_w	3,443	W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g	2,544	W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari

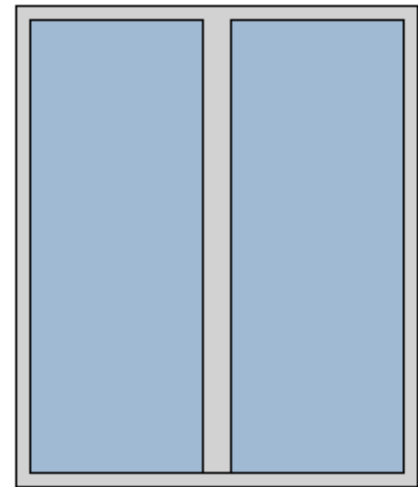
Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\text{ inv}}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\text{ est}}$	1,00	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,850	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,835	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,00	m ² K/W
f shut		0,6	-

Dimensioni del serramento

Larghezza		200,0	cm
Altezza		240,0	cm

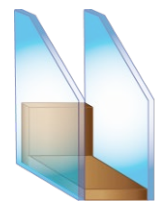


Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	7,00	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,02	W/mK
Area totale	A_w	4,800	m ²
Area vetro	A_g	3,887	m ²
Area telaio	A_f	0,913	m ²
Fattore di forma	F_f	0,81	-
Perimetro vetro	L_g	12,480	m
Perimetro telaio	L_f	8,800	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	6,0	1,00	0,006
Intercapedine	-	-	0,186
Secondo vetro	6,0	1,00	0,006
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U **3,443** W/m²K

Descrizione della finestra:

POST – Ristrutturazione: Porta_Finestra Tipo Scuola

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento -
 Classe di permeabilità **Senza classificazione**
 Trasmittanza termica U_w **1,300** W/m²K
 Trasmittanza solo vetro U_g **1,000** W/m²K

Dati per il calcolo degli apporti solari

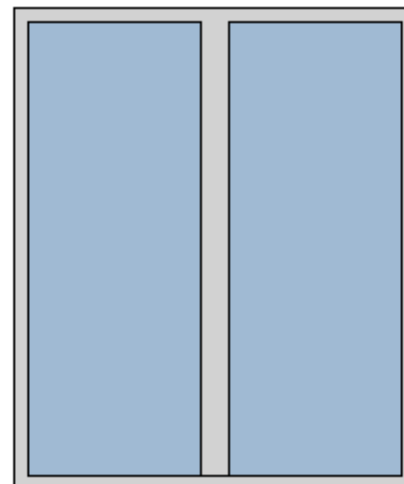
Emissività ε **0,837** -
 Fattore tendaggi (invernale) f_{c inv} **1,00** -
 Fattore tendaggi (estivo) f_{c est} **1,00** -
 Fattore di trasmittanza solare g_{gl,n} **0,400** -
 Fattore trasmissione solare totale g_{gl+sh} **0,393** -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure **0,00** m²K/W
 f shut **0,6** -

Dimensioni del serramento

Larghezza **200,0** cm
 Altezza **240,0** cm



Caratteristiche del telaio

K distanziale K_d **0,11** W/mK
 Area totale A_w **4,800** m²
 Area vetro A_g **3,887** m²
 Area telaio A_f **0,913** m²
 Fattore di forma F_f **0,81** -
 Perimetro vetro L_g **12,480** m
 Perimetro telaio L_f **8,800** m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U **1,300** W/m²K

Descrizione della finestra:

PRE – Ristrutturazione: Finestra Tipo Palestra

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo		
Classe di permeabilità	Senza classificazione		
Trasmittanza termica	U_w	3,541	W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g	2,544	W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari

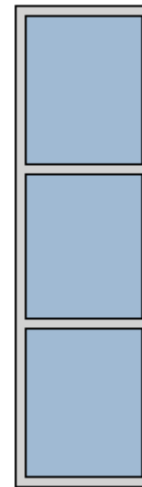
Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	1,00	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,850	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,835	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,00	m ² K/W
f shut		0,6	-

Dimensioni del serramento

Larghezza		100,0	cm
Altezza		350,0	cm

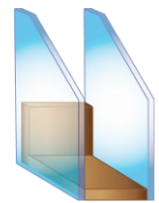


Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	7,00	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,02	W/mK
Area totale	A_w	3,500	m ²
Area vetro	A_g	2,769	m ²
Area telaio	A_f	0,731	m ²
Fattore di forma	F_f	0,79	-
Perimetro vetro	L_g	11,600	m
Perimetro telaio	L_f	9,000	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	6,0	1,00	0,006
Intercapedine	-	-	0,186
Secondo vetro	6,0	1,00	0,006
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,065



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U **3,541** W/m²K

Descrizione della finestra:

POST – Ristrutturazione: Finestra Tipo Palestra

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento -
 Classe di permeabilità **Senza classificazione**
 Trasmittanza termica U_w **1,300** W/m²K
 Trasmittanza solo vetro U_g **1,000** W/m²K

Dati per il calcolo degli apporti solari

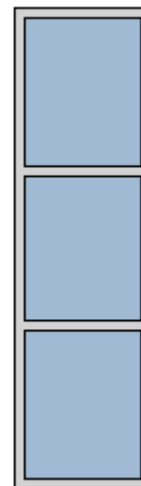
Emissività ε **0,837** -
 Fattore tendaggi (invernale) f_{c inv} **1,00** -
 Fattore tendaggi (estivo) f_{c est} **1,00** -
 Fattore di trasmittanza solare g_{gl,n} **0,400** -
 Fattore trasmissione solare totale g_{gl+sh} **0,393** -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure **0,00** m²K/W
 f shut **0,6** -

Dimensioni del serramento

Larghezza **100,0** cm
 Altezza **350,0** cm



Caratteristiche del telaio

K distanziale K_d **0,11** W/mK
 Area totale A_w **3,500** m²
 Area vetro A_g **2,769** m²
 Area telaio A_f **0,731** m²
 Fattore di forma F_f **0,79** -
 Perimetro vetro L_g **11,600** m
 Perimetro telaio L_f **9,000** m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U **1,300** W/m²K