

Allegato parte integrante

**METODOLOGIA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE
DEGLI EDIFICI IN REGIME INVERNALE ED ESTIVO IN PROVINCIA DI TRENTO**

Introduzione

Il recepimento della direttiva 2002/91/CE e le conseguenti innovazioni introdotte sulla certificazione energetica costituiscono un'occasione per rendere la politica energetica provinciale, peraltro già notevolmente sviluppata, ancora più incisiva nel promuovere l'efficienza energetica in edilizia, sia per gli edifici di nuova costruzione che per quelli esistenti. Va peraltro osservato che il decreto legislativo n. 192 del 19 agosto 2005, "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia", riprende l'impostazione che era già presente nel regolamento per la concessione di finanziamenti relativi agli edifici a basso consumo e a basso impatto ambientale, di cui la Provincia autonoma di Trento si era dotata già nel 1999, prevedendo sia requisiti minimi per le caratteristiche di singoli elementi (trasmissione massima dell'involucro) che limitazioni al consumo di energia (riferiti alla superficie utile).

Le nuove, difficili, sfide che occorre affrontare sono sostanzialmente due:

- stimolare il miglioramento delle prestazioni energetiche del parco edilizio esistente, pur in una situazione di contrazione delle risorse pubbliche disponibili;
- limitare i consumi energetici relativi alla climatizzazione estiva, che è in crescente diffusione grazie al miglioramento delle condizioni di vita.

Per quanto riguarda il primo aspetto relativo agli edifici esistenti, la certificazione energetica deve diventare un'occasione per associare un valore, anche economico, alla prestazione energetica di un edificio. In altre parole occorre che quest'ultima, risultante dalla certificazione, venga percepita dal mercato immobiliare e, di conseguenza, spinga il proprietario di un immobile ad interventi di riqualificazione per incrementarne il valore, anche a prescindere dai contributi pubblici. A questo scopo è indispensabile che la documentazione associata alla certificazione sia facilmente comprensibile, anche ai non addetti ai lavori, consenta il confronto delle prestazioni con valori di riferimento e abbia costi ragionevoli, bilanciando, pertanto, il rigore metodologico con l'esigenza di semplicità applicativa.

Per quanto riguarda il secondo aspetto e quindi i consumi estivi, pur trattandosi, in linea di principio, di una "semplice" estensione al periodo estivo dell'approccio utilizzato per i consumi invernali è necessario agire anche su altri parametri, ancorchè sussistano difficoltà nella determinazione dei valori di riferimento. Nella determinazione dei requisiti minimi estivi per gli edifici di nuova costruzione va tenuto presente che, in provincia di Trento, il valore medio giornaliero della temperatura estiva rientra usualmente entro limiti accettabili e quindi, per controllare i fenomeni di surriscaldamento all'interno degli ambienti, è sufficiente garantire all'edificio un'adeguata costante di tempo (ovvero valori adeguati della resistenza termica e della capacità termica dell'involucro) ed evitare un eccessivo ingresso di radiazione solare tramite le superfici trasparenti. Assai più problematica risulta invece la messa a punto di una procedura per il calcolo del fabbisogno energetico estivo (o della temperatura interna) e, a maggior ragione, la determinazione di valori di riferimento basati sullo stock edilizio per la certificazione "estiva" del patrimonio esistente.

Per i suddetti motivi è opportuno che la certificazione energetica relativa alle **prestazioni estive dei soli edifici esistenti** venga introdotta con una certa gradualità dopo ulteriori approfondimenti.

1 La situazione normativa e i criteri generali da adottare

Secondo le indicazioni della Direttiva 2002/91/CE la metodologia di calcolo può essere differenziata su base regionale, ciò che risulta confermato nell'art 17 (clausola di cedevolezza) del d.lgs. 19 agosto 2005, n. 192 di recepimento della direttiva. Inoltre, per

rispettare le indicazioni della suddetta direttiva, la metodologia di calcolo adottata deve seguire una impostazione comune in modo da contribuire alla creazione di un contesto omogeneo per le iniziative di risparmio energetico degli Stati membri nel settore edile e introdurre un elemento di trasparenza sul mercato immobiliare comunitario. Di fatto, quindi, dovrebbe essere coerente con la normativa europea applicabile (ovvero, in Italia, le norme UNI-EN e UNI EN ISO). A tale proposito la direttiva fa esplicito riferimento alla norma (UNI) EN 832 e al progetto di norma prEN 13790 che dovrebbe sostituire quanto prima la EN 832. Per quanto riguarda il calcolo dei **fabbisogni energetici invernali** la situazione appare pertanto sostanzialmente consolidata: attualmente la procedura di calcolo da seguire è quella indicata dalla norma UNI EN 832 *Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento – Edifici residenziali* e dalle seguenti norme europee (o internazionali) ad essa complementari:

UNI EN ISO 6946 *Componenti e elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.*

UNI EN ISO 10077-1 *Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica – Metodo semplificato;*

UNI EN ISO 10211-1 *Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Metodi generali di calcolo;*

UNI EN ISO 13370 *Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo;*

UNI EN ISO 13786 *Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo;*

UNI EN ISO 13789 *Prestazione termica degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione - Metodo di calcolo;*

UNI EN ISO 14683 *Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento.*

Da questo punto di vista il d.lgs. 19 agosto 2005, n. 192 elimina alcune ambiguità relative alle normative UNI precedenti (7357, 10344) che risultano definitivamente superate. La prossima entrata in vigore della norma EN ISO 13790 *Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*, non apporterà cambiamenti sostanziali data la somiglianza con la EN 832. La disciplina per la concessione di finanziamenti relativi agli edifici a basso consumo e a basso impatto ambientale, di cui la Provincia autonoma di Trento si è dotata fin dal 1999, risulta uno strumento tuttora aggiornato essendo basato sulla UNI EN 832 e, salvo la necessità di qualche marginale aggiornamento nei riferimenti normativi, potrebbe costituire il fondamento per la metodologia di calcolo per i fabbisogni invernali. Inoltre, la precedente disciplina, risulta coerente con la tendenza attuale a utilizzare come indice il consumo annuale per unità di superficie, espresso in kWh / m² anno ed, infine, essendo applicato da molti anni ha già permesso la verifica di quali siano i requisiti minimi da richiedere ai nuovi edifici. Per quanto riguarda la vera e propria **certificazione energetica degli edifici**, sia nuovi che esistenti, si è in attesa della emanazione delle norme sottoindicate, che al momento sono ancora allo stato di progetto di norma.

prEN 15203 *Energy performance of buildings - Assessment of energy use and definition of ratings*;

prEN 15217 *Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings*.

Peraltro le indicazioni già disponibili consentono di costruire la scala per la classificazione del fabbisogno energetico (nelle sette classi che vanno da A a G) una volta che siano dati due valori di riferimento, ovvero l'indice R_R (Energy Performance Regulation reference), relativo al requisito minimo imposto agli edifici di nuova costruzione (limite tra classi B e C) e R_S (Building Stock reference), relativo al valore medio della prestazione energetica degli edifici esistenti (limite tra le classi D ed E), secondo lo schema seguente. Noto il valore EP, che corrisponde al valore di prestazione energetica dell'immobile preso in esame, per la determinazione delle classi devono essere noti i due valori indice, R_R ed R_S , per poter effettuare la classificazione; la classe di prestazione viene quindi determinata secondo il seguente schema:

Classe A	$EP < 0,5 R_R$
Classe B	$R_R < EP < R_R$
Classe C	$R_R < EP < 0,5 (R_R + R_S)$
Classe D	$0,5 (R_R + R_S) < EP < R_S$
Classe E	$R_S < EP < 1,25 R_S$
Classe F	$1,25 R_S < EP < 1,5 R_S$
Classe G	$1,5 R_S < EP$

Il valore EP può essere calcolato (asset rating) o ricavato sulla base di consumi rilevati (operational rating) e da luogo ad una tabella come nel seguente facsimile.

Figura 1: Facsimile della certificazione energetica (prEN 15217).

Energy certificate	Building Energy Performance		As built	In use								
	Space to make reference to the certification scheme used		Asset rating	Operational rating								
	Very energy efficient Not energy efficient		C	D								
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Name of the indicator used</th> <th>unit</th> <th>calculated</th> <th>measured</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">130</td> <td style="text-align: center;">170</td> </tr> </tbody> </table>		Name of the indicator used	unit	calculated	measured			130	170
			Name of the indicator used	unit	calculated	measured						
		130	170									
Space to include additional information on building energy use												
Administrative information: address of the building, conditioned area date of validity certifier name and signature...												

Si può pertanto ipotizzare la compilazione del certificato relativo ai consumi invernali ricavando EP, ed in particolare per gli edifici nuovi e per quelli di recente costruzione dal calcolo mentre per quelli di costruzione antecedente al 1976 si potrà ricorrere all'approccio basato sul rilievo dei consumi.

Per quanto riguarda il **fabbisogno estivo** le impostazioni possibili sono sostanzialmente due:

- la valutazione del fabbisogno energetico per il raffrescamento/condizionamento estivo basato sul calcolo secondo la prEN13790;
- il calcolo secondo la norma UNI 10375 *Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti*.

Il secondo metodo (temperatura interna estiva) presenterebbe il notevole vantaggio di fornire un indice di qualità del comportamento estivo dell'edificio indipendente dalla presenza di un impianto di condizionamento e potrebbe, quindi, applicarsi alla generalità degli edifici, ma presenta per contro una certa macchinosità di calcolo (legata in particolare alla valutazione della funzione di trasferimento delle pareti) e talvolta non fornisce risultati attendibili. Per contro il metodo di calcolo basato sulla prEN13790 risulta ancora da validare benché attività in questo senso siano in corso.

2 I requisiti minimi relativi al fabbisogno energetico invernale per gli edifici di nuova costruzione

2.1 Valori massimi del fabbisogno di energia per riscaldamento

Per quanto riguarda i requisiti minimi invernali per gli edifici di nuova costruzione, si potrebbe applicare, salvo qualche ritocco, quanto già attualmente previsto dalla disciplina per gli edifici a basso consumo e a basso impatto ambientale. (Si ricorda che tutti valori sono riferiti alla superficie utile calpestabile).

Tabella 1: Coefficienti previsti per la Provincia autonoma di Trento dalla disciplina per la concessione di finanziamenti relativi agli edifici a basso consumo e a basso impatto ambientale (1999 2005).

Gradi - Giorno	Volume lordo riscaldato minore di 1.500 m ³ (kWh/m ²)	Volume lordo riscaldato maggiore di 1.500 m ³ (kWh/m ²)
GG ≤ 3.000	60	55
3.000 < GG ≤ 3.500	70	60
3.500 < GG ≤ 4.000	80	65
GG > 4.000	90	70

Tabella 2: Coefficienti previsti per il territorio nazionale dal d.lgs. 19 agosto 2005, n. 192 (valori massimi del fabbisogno per riscaldamento in kWh/m²).

		ZONA CLIMATICA									
S/V	A	B		C		D		E		F	
	GG	GG		GG		GG		GG		GG	
	fino a 600	da 601	fino a 900	da 901	fino a 1400	da 1401	fino a 2100	da 2101	fino a 3000	oltre 3000	
≤ 0,2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55	
≥ 0,9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145	

L'applicazione di quanto previsto dal d.lgs. 192/2005 al Trentino prevede per gli edifici nuovi con S/V ≤ 0,2 fabbisogni massimi che vanno da **43,5 kWh/m²** per il Comune di Avio (2311 Gradi Giorno) a **55 kWh/m²** per le località con oltre 3000 Gradi Giorno (per il Comune di Trento, 2567 gradi giorno, tale limite è di **47,8 kWh/m²**).

Come illustrato in precedenza, si pone il problema di come costruire l'indice R_R (Energy Regulation reference) e di valutare se sia il caso di introdurre correzioni per tener conto delle caratteristiche degli edifici e del clima.

A differenza di quanto previsto dal d.lgs. 192/2005 (e dalla disciplina provinciale che distingue tra edifici di volume maggiore e minore a 1500 m³), si ritiene però opportuna l'introduzione di una classificazione unica valida per tutte le tipologie di edifici, accettando, quindi, il fatto che per le piccole case singole verranno richiesti livelli di isolamento sostanzialmente più elevati rispetto ai grandi edifici di forma compatta, ma ottenendo, per

contro, un parametro omogeneo che permette l'immediata comparazione tra edifici (e trasmettendo il messaggio che le scelte di forma, dimensione tipo architettonico dell'edificio debbono essere sostanzialmente neutre dal punto di vista energetico). Tale penalizzazione degli edifici con S/V elevato verrebbe almeno in parte compensata dai vincoli, uguali per tutti, sull'isolamento minimo dell'involucro, già previsto sia dalla disciplina provinciale per gli edifici a basso consumo e a basso impatto ambientale che dal d.lgs. 192/2005, di cui al successivo punto 2.2.

A questo scopo sono state effettuate alcune simulazioni relative ad edifici con rapporto S/V relativamente elevato, ovvero una casa unifamiliare e un gruppo di villette a schiera, i cui risultati sono riportati riportate in Appendice A .

Alla luce dei risultati ottenuti appare ragionevole **richiedere per tutti i fabbricati di nuova costruzione un fabbisogno di energia primaria per il solo riscaldamento di 45 kWh/m²**. Tale fabbisogno risulterebbe leggermente inferiore al minimo richiesto dal d.lgs. 192/2005 per il comune di Trento (47,8 kWh/m²) ma dovrebbe essere perseguibile anche per piccoli edifici, senza difficoltà eccessive, con livelli di isolamento paragonabili a quelli attualmente richiesti per gli edifici a basso consumo (vedi Appendice A). Va tenuto conto che il numero di ricambi d'aria, per gli edifici di nuova costruzione, da utilizzare per il calcolo è stato ridotto a 0,3 volumi ora (vedi raccomandazione CTI-R 03/3) rispetto agli 0,5 precedentemente previsti.

In alternativa, qualora si ritenga tale prescrizione troppo onerosa, si potrebbe limitare, per piccoli edifici, la richiesta di soddisfare i vincoli riportati in Tabella 6.

La definizione delle classi secondo prEN 15217 può essere normalizzata rispetto al clima o, in alternativa, è possibile normalizzare i fabbisogni. Dato che in Trentino vi sono condizioni climatiche che variano tra 2311 GG (Avio) e 4918 GG (Canazei), potrebbe risultare opportuno non trascurare il clima. **Tra le opzioni possibili si ritiene preferibile, come indicato in precedenza, avere classi uniche su tutto il territorio ed, eventualmente, consumi normalizzati sul capoluogo (comune di Trento).** Andrebbe comunque riportata nel certificato una indicazione sul consumo nel clima reale.

Inoltre vanno rispettate le indicazioni del d.lgs. n.192/2005 (in particolare per il rendimento globale medio stagionale per il quale si richiede che:

$$\eta_g > (75 + 3 \log P_n) \%$$

dove P_n è “*la potenza utile nominale del generatore o dei generatori al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW*”).

2.2 Valori massimi della trasmittanza dei componenti utilizzati

Tabella 4: Trasmittanze minime previste per la Provincia Autonoma di Trento dalla disciplina per la concessione di finanziamenti relativi agli edifici a basso consumo e a basso impatto ambientale (1999 2005).

Gradi - Giorno	Trasmittanza pareti W/m ² K	Trasmittanza pavimenti W/m ² K	Trasmittanza copertura W/m ² K	Trasmittanza media vetri W/m ² K
GG ≤ 3.000	0,40	0,40 - 0,35	0,25	1,30
GG > 3.000	0,40 - 0,30	0,40 - 0,30	0,20	1,30

Tabella 5: Trasmittanze minime previste per il territorio nazionale dal d.lgs. 19 agosto 2005, n. 192 (a partire dal 1 gennaio 2009).

Gradi - Giorno	Trasmittanza strutt. vertic. W/m ² K	Trasmittanza strutt. orizz. W/m ² K	Trasmittanza media finestre W/m ² K	Trasmittanza centale vetri W/m ² K
Zona climatica E	0,37	0,34	2,50	1,90
Zona climatica F	0,35	0,33	2,20	1,60

Anche i valori massimi di trasmittanza potrebbero essere derivati dalla disciplina per la concessione di finanziamenti relativi agli edifici a basso consumo e a basso impatto ambientale ed agli allegati del d.lgs. 192/2005. In particolare, anche alla luce dei calcoli riportati in appendice A, i valori suggeriti sono i seguenti:

Tabella 6: Trasmittanze minime da prevedere per gli edifici di nuova costruzione nella Provincia Autonoma di Trento.

Trasmittanza strutt. vertic. (pareti) W/m ² K	Trasmittanza pavimenti W/m ² K	Trasmittanza copertura W/m ² K	Trasmittanza media serramenti (U _w) W/m ² K	Trasmittanza media vetri (U _g) W/m ² K
0,30	0,30	0,20	1,60	1,30

3 La certificazione degli edifici esistenti per quanto riguarda il fabbisogno energetico invernale

Il problema principale è legato alla determinazione dei valori di riferimento per i quali occorre assolutamente evitare il rischio di introdurre valori non ancorati alla realtà che pregiudicherebbero, agli occhi degli utenti, la credibilità del processo di certificazione.

A questo proposito risulta assolutamente necessario introdurre nella legislazione provinciale la previsione di un obbligo di comunicazione da parte dei distributori di prodotti energetici (gas, gasolio e legna da ardere) delle quantità vendute disaggregate per tipologia di utenza (residenze private, uffici, commercio, etc.) in modo da creare una base di dati affidabile relativa ai consumi dello stock edilizio esistente.

E' necessario inoltre, per lo stesso fine, raccogliere informazioni affidabili relative alla volumetria riscaldata attraverso il catasto degli immobili e/o il catasto degli impianti termici (che dovrebbe esser comunque creato per gestire i controlli sugli stessi).

3.1 Stima dei consumi energetici per riscaldamento nella Provincia autonoma di Trento

Per quanto riguarda la determinazione dei consumi specifici (GJ/m^2 o kWh/m^2) relativi agli edifici nella Provincia Autonoma di Trento l'approccio adottato è stato affrontato con due metodologie diverse:

- nel primo caso si è partiti dalla stima dei consumi imputabili al patrimonio edilizio per l'anno 1997 nell'ambito del progetto per lo sviluppo sostenibile del Trentino;
- nel secondo caso la stima è stata effettuata ripartendo i consumi provinciali per usi civili sulla superficie utile dei fabbricati.

a) Stima basata sui dati relativi all'anno 1997 tratti da *"I consumi energetici – Progetto per lo sviluppo sostenibile del Trentino"* (pubblicato su *"Temi e indicatori di sostenibilità ambientale in una regione alpina"* a cura di Corrado Diamantini, Editrice temi, Trento 2005).

La stima è stata effettuata a partire dalla rielaborazione dei dati statistici disponibili sulla consistenza del patrimonio immobiliare e della sua distribuzione sul territorio provinciale nel 1997 mediante il calcolo del fabbisogno termico in funzione di alcuni parametri quali le condizioni climatiche, la vetustà del fabbricato, il grado di occupazione, etc.

I risultati vengono presentati nella tabella seguente.

Tabella 7: Stima dei consumi per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria in Provincia di Trento imputabili ai fabbricati civili (settori residenziale turismo e servizi) per l'anno 1997.

	Residenze	Turismo	Servizi	Totale
Superficie [m^2]	22.252.591	745.611	6.215.508	29.213.710
Consumi [ktep]	352	20	70	442
Consumi [MJ]	14.760.566.000	836.563.991	2.915.088.678	18.512.218.669
Consumi [kWh]	4.100.157.222	232.378.886	809.746.855	5.142.282.964
Cons. spec. [kWh/m^2]	184	312	130	176

Da cui si vede che il fabbisogno per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria (ovvero l'indice di stock) stimato risulta pari **176 kWh/m² anno**.

b) Stima realizzata utilizzando i dati ISTAT (censimento) per gli anni 1991 e 2001 per quanto riguarda il parco edilizio residenziale, i dati del 1997 dello studio precedentemente citato per il patrimonio edilizio non residenziale, attualizzato utilizzando i dati sulle concessioni edilizie provenienti dal Servizio Statistico Provinciale e, infine, i dati relativi ai consumi energetici per uso civile del Piano Energetico- Ambientale Provinciale del 2003 integrati con una rielaborazione basata sui dati dell'ENEA (Rapporto energia e ambiente 2004) per gli anni mancanti.

I risultati vengono presentati nella tabella seguente.

Tabella 8: Stima dei consumi per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria effettuata ripartendo i consumi provinciali per usi civili sulla superficie utile dei fabbricati.

Anno	Sup. Utile abitabile Residenziale [m ²]	Sup. Utile abitabile Non residenziale [m ²]	Sup. Utile abitabile Totale [m ²]	Consumi stimati usi civili risc + a.c.s. [ktep]	Consumi stimati usi civili risc + a.c.s. [kWh]	Consumo specifico [kWh/m ²]
1990	21.825.033	6.862.351	28.687.384	353	4.108.527.778	143
1991	22.069.893	6.872.918	28.942.811	360	4.192.526.196	145
1992	22.314.752	6.881.895	29.196.647	351	4.086.651.905	140
1993	22.559.611	6.891.227	29.450.839	348	4.046.973.707	137
1994	22.804.471	6.899.104	29.703.575	343	3.992.117.585	134
1995	23.049.330	6.907.362	29.956.693	385	4.480.972.222	150
1996	23.294.190	6.920.006	30.214.196	413	4.805.544.598	159
1997	23.539.049	6.930.184	30.469.233	440	5.125.721.253	168
1998	23.783.909	6.937.517	30.721.426	465	5.410.458.757	176
1999	24.028.768	6.945.389	30.974.157	508	5.917.635.341	191
2000	24.273.627	6.952.340	31.225.968	480	5.586.666.667	179
2001	24.518.487	6.961.119	31.479.606	492	5.724.574.310	182
2002	24.763.346	6.968.493	31.731.840	476	5.535.615.422	174
2003	25.008.206	6.983.191	31.991.397	487	5.668.045.654	177

Il valore medio del consumo specifico negli ultimi 5 anni (1999-2003) risulta pari a **180,6 kWh/m² anno**, dato sostanzialmente analogo a quello ricavato in precedenza. Pertanto si può assumere che il fabbisogno complessivo di energia termica risulti pari a **180 kWh /m² anno**.

Considerando che una frazione dei consumi pari a circa 25 kWh/m² anno è destinata alla produzione di acqua calda sanitaria (vedi successivo punto 5), se ne deduce che in prima approssimazione l'indice di stock, R_s, per il solo riscaldamento assume valori intorno a **150-160 kWh /m² anno**. **Sembra pertanto sensato, in attesa di raccogliere dati più accurati, assumere come indice di stock un valore pari a 155 kWh /m² anno.**

3.2 Ipotesi preliminare di classificazione della prestazione energetica invernale

La prima tabella sotto l'indicazione "In Provincia Autonoma di Bolzano" rappresenta semplicemente la classificazione adottata attualmente in Alto-Adige ed indicata anche nel rispettivo Decreto del Presidente della Provincia 29 settembre 2004, n. 34 – "Regolamento di esecuzione della legge urbanistica in materia di risparmio energetico".

In Provincia autonoma di Bolzano

Tabella 9: Classificazione adottata attualmente in Alto-Adige.

BZ	Fabbisogno
CLASSE A	$\leq 30 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$
CLASSE B	$\leq 50 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$
CLASSE C	$\leq 70 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$
CLASSE D	$\leq 90 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$
CLASSE E	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$
CLASSE F	$\leq 160 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$
CLASSE G	$\geq 160 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$

Nella tabella seguente viene riportata l'ipotesi per la *Provincia autonoma di Trento* costruita utilizzando come indice di stock, R_s , il valore di **155 kWh /m² anno** e, come indice di riferimento relativo ai requisiti minimi dei nuovi edifici, un unico valore valido per tutti gli edifici e pari a **45 kWh /m² anno**.

Facendo un confronto si può subito notare la non perfetta corrispondenza delle classi fra Trento (determinata attraverso la prEN 15217) e Bolzano.

Da sottolineare che la determinazione delle classi energetiche in Alto-Adige non è stata determinata seguendo una norma e/o basandosi sullo stock edilizio esistente.

In Provincia autonoma di Trento

Tabella 10: Classificazione proposta per la Provincia autonoma di Trento.

	Fabbisogno in kWh/m ² a	
	Valore min.	Valore max.
CLASSE A	<	22
CLASSE B	22	45
CLASSE C	45	100
CLASSE D	100	155
CLASSE E	155	195
CLASSE F	195	230
CLASSE G	230	<

Il calcolo potrebbe essere eseguito, a seconda delle situazioni, seguendo la UNI-EN 832, utilizzando la documentazione prevista dalla legge n.10 del 1991, (ricavando EP dal FEN) per gli edifici più recenti e la documentazione relativa alla precedente legge n. 373 del 1976 (ricavando EP dal Cg, il numero di gradi giorno ed un rendimento convenzionale di caldaia) per gli edifici fino al 1976 (asset rating). Per tutti gli edifici (anche quelli più vecchi) dovrebbe essere possibile stimare EP sulla base del consumo effettivamente rilevato, ad esempio tramite bollette (operational rating).

In ogni caso, per garantire omogeneità ai parametri, EP va valutato assumendo un funzionamento continuo dell'impianto (24 ore al giorno). Nel caso di operational rating se il funzionamento non è continuo, il consumo va opportunamente maggiorato.

4 Inclusione del fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria nella procedura di certificazione energetica

Considerando che la popolazione residente in Provincia di Trento risultava esser al 2001 pari a circa 480.000 abitanti ed assumendo un consumo pro capite di 40 litri di acqua calda per persona giorno, ne risulta un fabbisogno energetico pari a :

$$\begin{aligned} 480\,000 \times 40 \text{ kg} \times 365 \text{ giorni} \times 4,1868 \text{ kJ/kg K} \times 38 \text{ }^\circ\text{C} / 0,7 &= 1\,592\,802 \times 10^6 \text{ kJ/anno} \\ &= 1\,592\,802 \text{ GJ/anno} \\ &= 442\,445\,074 \text{ kWh /anno} \end{aligned}$$

da cui segue che il fabbisogno di energia per unità di superficie (riferita alla sola superficie delle abitazioni occupate da persone residenti) necessario per la produzione di acqua calda è circa pari a :

$$553\,056\,343 \text{ kWh} / 17\,800\,122 \text{ m}^2 = \mathbf{24,86 \text{ kWh/m}^2}.$$

Tale valore appare coerente con i dati nazionali riportati da ENEA nel Rapporto Energia e Ambiente. Ad esempio, con riferimento ai dati 2001 (rapporto 2005) i consumi residenziali per la produzione di acqua calda costituiscono il 10,8 % del totale contro il 68,6% dovuto al riscaldamento. Applicando tali valori al Trentino si ottiene:

$$10,8\% \times 180 / (68,6\% + 10,8\%) = \mathbf{24,48 \text{ kWh/m}^2}$$

Le percentuali sopra riportate rimangono sostanzialmente invariate nel periodo 1990-2003. Appaiono peraltro sovrastimati i consumi per unità di superficie calcolati secondo la raccomandazione CTI-R 03/3 che, per impianti tradizionali risultano pari a valori intorno a 40 kWh/m² una volta riportati alla superficie netta (vedi ad esempio, Appendice A).

Questo pone un serio problema nella definizione della scala di classificazione dei consumi di acqua calda perché ne seguirebbe che il requisito minimo per il nuovo, necessariamente calcolato (e quindi, secondo CTI 03/3, intorno ai 40 kWh/m² per sistemi di produzione tradizionale) risulta superiore all'indice di stock (pari a circa 24 kWh/m²) Risulterebbe peraltro importante includere esplicitamente il consumo dovuto alla produzione di acqua calda sanitaria perché questo consentirebbe di valorizzare l'installazione di sistemi solari termici per la preparazione dell'acqua calda ai fini della certificazione energetica.

A questo scopo bisognerebbe fissare a livello provinciale un fabbisogno di acqua calda convenzionale (intorno a 1 litro per m² giorno) o, in alternativa un fabbisogno netto di energia per la produzione di acqua calda (intorno a 16 kWh/m² anno) ed utilizzare la normativa soltanto per il calcolo del rendimento di produzione e della eventuale frazione coperta con l'impianto a pannelli solari. Assumendo un rendimento del 70 % per lo stock edilizio e richiedendo un rendimento maggiore dell' 85% per il nuovo, il che porta, con

qualche arrotondamento, ad un **indice di stock di 24 kWh/m² anno** e un **requisito minimo di 18 kWh/m²**, si ottiene la seguente scala:

Tabella 11: Classificazione dei consumi per la produzione di acqua calda sanitaria.

	Fabbisogno in kWh/m ² a	
	Valore min.	Valore max.
CLASSE A	<	9
CLASSE B	9	18
CLASSE C	18	21
CLASSE D	21	24
CLASSE E	24	30
CLASSE F	30	36
CLASSE G	36	<

5 Classificazione dei fabbisogni complessivi (riscaldamento + acqua calda sanitaria)

Sommando i consumi precedentemente indicati si ottengono, con qualche arrotondamento, le seguenti classificazioni. E' da valutare se concedere all'utente la possibilità di qualche compensazione, ovvero richiedere solamente, ai fini della certificazione, il soddisfacimento del requisito complessivo invece che dei requisiti separati (ovviamente resterebbero comunque i vincoli del d.lgs. 192/2005)

Tabella 12: Classificazione complessiva (riscaldamento + acqua calda sanitaria).

	Fabbisogno in kWh/m ² a		
	Riscaldamento	Acqua calda sanitaria	Totale
CLASSE A	≤22	≤9	≤30
CLASSE B	≤45	≤18	≤60
CLASSE C	≤100	≤21	≤120
CLASSE D	≤155	≤24	≤180
CLASSE E	≤195	≤30	≤225
CLASSE F	≤230	≤36	≤270
CLASSE G	>230	>36	>270

Per evitare penalizzazioni eccessive agli edifici di piccole dimensioni **potrebbe venire assegnata di ufficio la classificazione B(*) ai fabbricati di volume inferiore ai 500 m³ le cui strutture rispettino i valori minimi di trasmittanza indicati al precedente punto 2.2 e che vengano realizzati con tecniche costruttive che garantiscano l'assenza di ponti termici.**

Inoltre, almeno nella fase iniziale di avviamento della procedura di certificazione, potrebbe risultare di stimolo per il mercato edilizio una suddivisione più articolata delle classi al di

sopra del minimo richiesto (A e B) che consenta una maggiore differenziazione dell'offerta. Ciò potrebbe risultare utile anche per la classe immediatamente inferiore al minimo previsto (classe C), dove tipicamente si collocano i fabbricati di recente costruzione, al fine di premiare, nella fase iniziale, quella parte di edifici che più si avvicina ai nuovi standard.

Tabella 13: Classificazione complessiva modificata (riscaldamento + acqua calda sanitaria).

	Fabbisogno in kWh/m ² a		
	Riscaldamento	Acqua calda sanitaria	Totale
CLASSE A+	≤22	≤9	≤30
CLASSE A	≤22	<18	≤40
CLASSE B+	≤35	<18	≤50
CLASSE B	<45	<18	<60
CLASSE C+	≤60	≤21	≤80
CLASSE C	≤100	≤21	≤120
CLASSE D	<155	<24	<180
CLASSE E	≤195	≤30	≤225
CLASSE F	<230	<36	<270
CLASSE G	>230	>36	>270

6 I requisiti minimi relativi al fabbisogno energetico estivo per gli edifici di nuova costruzione

In attesa di validare l'impiego della prEN 13790 per il calcolo del fabbisogno energetico estivo e considerando che esistono delle perplessità sull'impiego della UNI 10375 per il calcolo della temperatura interna estiva, nella fase iniziale i requisiti minimi relativi al comportamento estivo potrebbero esser fissati soltanto in termini delle caratteristiche dell'involucro. In particolare i fenomeni principali che influenzano le condizioni interne nel periodo estivo sono due:

- 1) lo smorzamento dell'escursione termica esterna dovuto alla capacità termica delle pareti perimetrali e della copertura (unitamente al contributo delle strutture interne agli ambienti) che mantiene la temperatura interna a valori prossimi alla media giornaliera;
- 2) l'ingresso complessivo giornaliero di energia dovuta alla radiazione solare attraverso le superfici vetrate.

Per il primo fenomeno, un indicatore significativo è il valore medio della costante di tempo τ dell'edificio che può essere calcolata come segue:

$$\tau = R_t C_t = \frac{C_t}{H} \quad [s]$$

dove H è il coefficiente di dispersione termica dell'edificio secondo UNI EN 832 (ex UNI 10344) R_t è la resistenza termica complessiva dell'edificio della parete, pari al reciproco coefficiente di dispersione H , e C_t (vedi UNI EN 832/ UNI EN ISO 13786) è la capacità termica dell'edificio che può essere approssimata come:

$$C_t = \sum_j \sum_i \rho_i c_i s_i A_j \left[\frac{J}{m^2 K} \right]$$

dove A_j è l'area della superfici j-esima e ρ_i , c_i , ed s_i sono, rispettivamente, la densità (desumibile da UNI 10351), la capacità termica specifica del materiale del solo lato interno (secondo) e lo spessore dello strato *i-esimo* costituente la parete J-esima. La sommatoria è estesa a tutti gli strati dell'elemento, ma solo fino all'isolante (o fino allo spessore massimo effettivo, nel caso in cui questo risulti minore rispetto al precedente, come riportato nell'Appendice A della norma UNI EN ISO 13786).

Per la costante di tempo τ andrà richiesto un valore minimo maggiore di 120 ore (ovvero 432000 secondi). Questo approccio, a differenza dell'imposizione diretta di un valore minimo della capacità termica, ha il vantaggio di permettere una parziale compensazione tra massa termica ed isolamento.

Per quanto riguarda l'ingresso di **energia radiante di origine solare** le strategie possibili sono, in alternativa, le seguenti:

- a) limitare l'incidenza delle superfici trasparenti rispetto a quella totale dell'involucro con criteri differenziati a seconda dell'esposizione.
- b) limitare l'apporto complessivo giornaliero di energia dovuta alla radiazione solare attraverso le superfici vetrate Q_s . Tale apporto andrà calcolato a partire dai dati climatici riportati nella norma UNI 10349 utilizzando lo stesso metodo basato sulla norma UNI EN 832 impiegato per il calcolo degli apporti solari gratuiti nel periodo invernale.

Il limite potrebbe essere applicato richiedendo che il rapporto tra l'apporto giornaliero di energia dovuta alla radiazione solare che entra attraverso le superfici vetrate e la capacità termica complessiva C_t (calcolata come al punto precedente secondo UNI EN 13786, incluse le pareti interne) porti, nei mesi di luglio ed agosto, ad un surriscaldamento minore di 1,5°C.

7 La certificazione degli edifici esistenti per quanto riguarda il fabbisogno energetico estivo

La situazione richiede un attento studio e un'implementazione graduale perché mancano dati relativi alla situazione esistente. Vi è quindi un'oggettiva difficoltà nella determinazione dei valori di riferimento per gli edifici esistenti. Anche l'applicazione di metodologie basate sul rilievo dei consumi richiederanno un'attenta taratura.

APPENDICE A Stima del fabbisogno energetico per alcune tipologie di edifici (abitazione unifamiliare, villette a schiera e piccolo condomino)

Determinazione del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria in tre tipologie edilizie

1 Premessa

Il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento di un edificio dipende principalmente dal livello di isolamento dell'involucro edilizio (pareti, solai, serramenti), dall'entità delle superfici disperdenti rispetto al volume riscaldato (S/V) e dall'efficienza dell'impianto termico. In base al d.lgs. 192/2005 il rendimento minimo di impianto viene fissato, per i nuovi edifici, pari a :

$$\eta_g = (75 + 3 \log P_n) \%$$

dove P_n è “la potenza utile nominale del generatore o dei generatori al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW” .

Considerando che usualmente nelle abitazioni viene installata una potenza non inferiore a 20 kW, il progetto dell'impianto dovrà garantire un η_g maggiore di 0,79.

In questa appendice è stato pertanto assunto un rendimento di impianto pari a 0,8.

Una volta escluso l'impianto, l'insieme delle variabili che determinano la prestazione energetica è costituito dall'isolamento dell'involucro edilizio e dal rapporto S/V e cioè dalla tipologia edilizia dell'abitazione.

Sono state scelte tre tipologie edilizie:

- 1) un'abitazione unifamiliare: $S/V = 0,84$;
- 2) un'abitazione a schiera: $S/V = 0,62$;
- 3) un condominio: $S/V = 0,46$.

Per ogni tipologia si sono fatte delle ipotesi sul tipo di isolamento, andando via via ad aumentare lo spessore di isolante termico di pareti, copertura e solaio a terra e diminuendo la trasmittanza termica dei serramenti, nonché eliminando i ponti termici, al fine di trovare una indicazione del fabbisogno termico minimo a cui si possa ragionevolmente arrivare.

2 Il calcolo del fabbisogno di energia primaria: metodo e ipotesi di calcolo

Il calcolo del fabbisogno di energia primaria è stato fatto seguendo il metodo di calcolo prescritto dalla norma UNI EN 832 e il documento CTI-R 03/3.

Il procedimento di calcolo prevede la determinazione in sequenza dei seguenti parametri energetici:

- il valore mensile del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento degli ambienti, Q_h secondo la relazione:

$$Q_h = Q_l - \eta Q_g \quad (1)$$

- il fabbisogno annuale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti, che è stato determinato sommando il fabbisogno termico per tutti i mesi della stagione di riscaldamento pari a 212 giorni (dal 1° ottobre al 30 aprile);
- il fabbisogno di energia primaria Q , che è stato calcolato considerando un rendimento globale del sistema di riscaldamento pari a 0,80 secondo l'espressione:

$$Q = Q_h / \eta_g \quad (2)$$

Nella (1) Q_l rappresenta il calore disperso per ventilazione e per trasmissione dall'ambiente interno considerato a temperatura costante. In particolare:

$$Q_l = H (\theta_i - \theta_e) t \quad (3)$$

dove:

t è il periodo di calcolo valutato in secondi;

θ_i è la temperatura interna di progetto considerata costante;

θ_e è la temperatura esterna media mensile secondo UNI 10349;

H è il coefficiente di dispersione termica dell'edificio calcolato con la seguente espressione

$$H = H_V + H_T \quad (4)$$

dove H_V è il coefficiente di dispersione termica per ventilazione ed è stato calcolato come segue:

$$H_V = V n \rho_a c_a \quad (5)$$

in cui:

V è il volume dello spazio riscaldato;

n è la portata d'aria di ricambio;

ρ_a e c_a sono rispettivamente la densità ed il calore specifico dell'aria.

Per quanto riguarda la portata d'aria di rinnovo, per gli edifici residenziali si è utilizzato un valore di $0,3 \text{ h}^{-1}$ in accordo con la Raccomandazione CTI-R03/3 e consigliato anche dal prEN 13790 .

Il coefficiente di dispersione termica per trasmissione, H_T , è stato calcolato secondo UNI 13789, come segue:

$$H_T = L_D + L_S + H_U \quad (6)$$

dove L_D è il coefficiente di scambio con l'esterno, calcolato come segue:

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k \quad (7)$$

in cui:

A_i è la superficie del componente;

U_i è la trasmittanza termica del componente;

ψ_k è il coefficiente lineico del ponte termico;

l_k è la lunghezza caratteristica del ponte termico.

Il coefficiente di scambio termico con il terreno, L_S , è determinato secondo UNI 13370 come segue, considerando il caso di pavimento controterra isolato uniformemente e perimetralmente con isolamento verticale fino alla profondità di 1 m:

$$L_S = A U_0 + P \Delta\psi \quad (8)$$

dove:

$\Delta\psi$ è un fattore correttivo del coefficiente lineico per isolamento perimetrale;

U_0 è stato calcolato in accordo con la relazione riferita al caso di pavimento isolato:

$$U_0 = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t} \quad (9)$$

con

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (10)$$

$$B' = A_{pav} / (0.5 P) \quad (11)$$

in cui:

λ è la conducibilità termica del terreno, attribuita pari a 2 W/(m K);

d_t è un parametro che tiene conto dello spessore w dei muri perimetrali e di uno spessore 'equivalente' di solaio e terreno;

B' è una dimensione caratteristica del pavimento, data dal rapporto tra l'area del pavimento e il semiperimetro.

L'abitazione considerata non presenta superfici disperdenti rivolte verso locali non riscaldati, pertanto il termine H_U della (6) è nullo.

Per quanto riguarda gli apporti gratuiti, sono stati calcolati come somma degli apporti interni (dovuti a sorgenti interne di energia termica, quali gli occupanti, le apparecchiature di illuminazione, ecc.), degli apporti solari entranti attraverso i componenti finestrati e degli apporti solari entranti attraverso i componenti opachi.

- Per gli apporti interni si è fatto riferimento al prospetto B.2 di CTI-R 03/3 che per appartamenti di superficie inferiore a 200m² suggerisce la seguente relazione:

$$Q_i = 6,25 - 0,02 S \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (12)$$

- Per la determinazione degli apporti solari si è fatto riferimento al metodo della superficie soleggiata equivalente riportato in UNI EN 832.

L'energia termica richiesta per riscaldare l'acqua sanitaria dipende, ovviamente, dalla richiesta di acqua calda. Per la determinazione del fabbisogno di acqua calda per usi igienico-sanitari si è fatto riferimento a valori convenzionali, riferiti, nel caso di edifici destinati ad abitazione, alla superficie in pianta dell'abitazione (muri compresi) secondo quanto indicato

nella CTI-R 03/3. In particolare sono stati attribuiti 2 litri d'acqua per unità di superficie. Il fabbisogno termico specifico corrispondente è pari a 0,21 MJ/(m² giorno) che vengono poi corretti con un coefficiente pari a 1,33 che tiene conto del numero di servizi installati nell'abitazione (nel caso analizzato i servizi sono 2).

L'energia primaria richiesta per soddisfare il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento dell'acqua per usi igienico-sanitari è stata determinata a partire da tale fabbisogno considerando un rendimento globale di impianto pari a 0,85:

$$Q_w = Q_{h,w} / \eta_{g,w} \quad (13).$$

3 Tipologie di abitazione considerate

Sono state considerate tre tipologie di abitazione:

- una abitazione unifamiliare (villetta singola);
- quattro abitazioni a schiera con impianto termico e di produzione di acqua sanitaria centralizzato;
- un condominio di otto appartamenti con impianto termico e di produzione di acqua sanitaria centralizzato.

L'abitazione unifamiliare ha una superficie lorda (comprese le murature esterne) di 123,54 m² e una superficie calpestabile di 90 m², suddivisa su due piani. Ciascun piano dell'abitazione ha altezza netta pari a 2,7m. Il volume lordo dell'abitazione è pari a 396,56 m³, il volume netto è 243 m³ e la superficie totale disperdente è pari a 327,38 m² di cui 13,64 m² di finestre. L'abitazione presenta due affacci, a nord e a sud, mentre le pareti est ed ovest sono cieche. Questa configurazione la rende adatta ad essere trattata come villetta unifamiliare, se considerata singola, o come schiera se considerata addossata ad altre abitazioni identiche.

L'abitazione a schiera analizzata è infatti costituita da quattro abitazioni identiche all'abitazione unifamiliare. L'intero edificio occupa una superficie lorda totale di 472 m², mentre la superficie calpestabile dell'insieme delle abitazioni è di 360 m². L'altezza netta di ognuno dei due piani è 2,7 m².

Il condominio considerato è un edificio di quattro piani con otto appartamenti (due per piano) e una zona garage al piano terra. L'edificio copre una superficie totale lorda di 322,50 m². Ciascun appartamento presenta una superficie netta calpestabile di 120 m² ed una altezza netta di 2,7 m.

4 I casi confrontati

Si è voluto confrontare il fabbisogno di energia primaria di tre abitazioni unifamiliari e di altrettante abitazioni a schiera e condomini geometricamente identici, con lo stesso tipo di apporti interni e di portata di infiltrazione, ma con differenti caratteristiche termiche dell'involucro. Qui di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle principali caratteristiche geometriche delle tre tipologie edilizie specificando alcuni dati progettuali comuni alle tre tipologie (ricambi d'aria, apporti gratuiti interni, ecc.). Si tenga presente che i valori di superficie lorda sono stati computati sul caso A (cioè con uno spessore delle pareti di circa 40 cm), mentre le superfici lorde aumentano nei casi B e C per l'aggiunta di 7 cm di materiale isolante nelle pareti disperdenti.

Tabella 1: Caratteristiche geometriche, costruttive e ipotesi di calcolo nei casi considerati.

	Unifamiliare	Edificio a schiera	Condominio
Superficie lorda in pianta dello spazio riscaldato	123,54 m ²	472,50 m ²	1176,79 m ²
Numero piani riscaldati	2	2	4
Altezza netta di interpiano	2,7 m	2,7 m	2,7 m
Volume lordo	396,56 m ³	1516,72 m ³	3977,54 m ³
Superficie disperdente	327,38 m ²	932,83 m ²	1832,47 m ²
Superficie disperdente/Volume riscaldato	0,83	0,62	0,46
Superficie finestrata	13,64 m ²	54,56 m ²	148,16 m ²
Apporti interni (per unità di superficie netta)	5 W/m ²		4 W/m ²
Numero di ricambi d'aria per infiltrazione	0,3 [h ⁻¹]		
Coefficiente di assorbimento delle pareti verticali e della copertura	0,3		

Le tabelle 2 e 3 riassumono le caratteristiche termiche dei componenti dell'involucro edilizio nei diversi casi confrontati. Le caratteristiche termiche di pareti e solai cambiano in seguito all'ipotesi di aumento dello spessore di isolante termico (5 cm nel caso A, 10 cm nel caso B, 12 cm nel caso C dell'unifamiliare e della schiera; 5 cm nei casi 1 e 1a, 12 cm nei casi 2 e 3 del condominio). Le caratteristiche termiche dei serramenti cambiano per effetto dell'utilizzo di vetri bassoemissivi con gas inerte al posto di un vetrocamera tradizionale.

Tabella 2: Caratteristiche termiche dei componenti dell'involucro edilizio nei tre casi confrontati per l'abitazione unifamiliare e per l'abitazione a schiera.

Caratteristiche costruttive	U pareti kWh/(m ² K)	U solaio a terra kWh/(m ² K)	U solaio sottotetto kWh/(m ² K)	U copertura kWh/(m ² K)	U serramenti kWh/(m ² K)	ponti termici
UNIFAMILIARE /SCHIERA A	0,48	0,46	0,5	0,62	2,5	presenti
UNIFAMILIARE /SCHIERA B	0,30	0,26	0,30	0,34	2,5	presenti
UNIFAMILIARE /SCHIERA C	0,26	0,23	0,29	0,29	1,5	assenti

Tabella 3: Caratteristiche termiche dei componenti dell'involucro edilizio nei quattro casi confrontati per il condominio.

Caratteristiche costruttive	U pareti kWh/(m ² K)	U copertura kWh/(m ² K)	U pareti verso locali non riscaldati kWh/(m ² K)	U solaio verso garage e solaio a terra kWh/(m ² K)	U serramenti kWh/(m ² K)	ponti termici
CONDOMINIO 1	0,48	0,54	0,48	0,49	2,5	presenti
CONDOMINIO 1a	0,48	0,54	0,48	0,49	2,5	assenti
CONDOMINIO 2	0,26	0,27	0,26	0,49	2,5	presenti
CONDOMINIO 3	0,26	0,27	0,26	0,49	1,5	assenti

5 Dati climatici e periodo di calcolo

Sono stati utilizzati i dati climatici medi mensili di Trento come da UNI 10349 corretti. Il numero di gradi giorno, calcolati sulla differenza tra la temperatura interna di 20°C e la temperatura esterna media del periodo di riscaldamento di 6,5°C sono 2453. L'irradiazione stagionale per unità di superficie a sud è pari a 2018 MJ/m² e a nord è pari a 462 MJ/m². Sulla base dei gradi giorno la località rientra in zona climatica E, pertanto la stagione di riscaldamento è fissata dal DPR412/93 dal 15 ottobre al 15 aprile.

Il fabbisogno energetico di riscaldamento è comunque calcolato dal 1° ottobre al 30 aprile, per un totale di 212 giorni di stagione di riscaldamento.

6 Risultati

Come descritto nei paragrafi precedenti è stato calcolato il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria di tre tipologie edilizie con diversi livelli di isolamento. Riguardo all'abitazione unifamiliare e alla schiera, il primo caso (caso A) consiste nell'abitazione con pareti e solai disperdenti isolati con 5 cm di isolante termico, in cui non è stata posta attenzione sull'eliminazione dei ponti termici, che infatti costituiscono una aggiunta pari al 30% delle dispersioni per trasmissione dell'involucro.

Nel secondo caso (caso B) l'isolante termico di pareti e solai ha uno spessore di 10 cm, ma permangono i ponti termici (che in questo caso costituiscono il 50% delle dispersioni per trasmissione) e le finestre hanno un vetrocamera chiaro (4/12/4). Nel terzo caso (caso C) l'isolante termico di pareti e solai ha uno spessore di 12 cm, non ci sono ponti termici e vengono utilizzati vetri bassoemissivi al posto del vetrocamera chiaro (4/12/4).

Per il condominio si sono considerati quattro livelli di isolamento. Per migliorare le caratteristiche di isolamento dell'involucro edilizio è stato aumentato lo spessore dell'isolante termico delle pareti della zona termica e della copertura passando da 5 cm (casi 1 e 1a) a 12 cm (casi 2 e 3), eliminando i ponti termici e modificando le caratteristiche dei serramenti da 2,5 W/(m²K) (casi 1, 1a e 2) a 1,5 W/(m²K) (caso 3). Le pareti che dividono la zona riscaldata dal vano scale hanno le stesse caratteristiche termiche delle pareti esterne della zona riscaldata. Le pareti della zona non riscaldata presentano le stesse caratteristiche delle pareti esterne della zona riscaldata. Non sono stati considerati gli apporti solari su zone non riscaldate. Nelle seguenti tabelle si riassumono i principali risultati dei calcoli. Si tenga presente che per l'edificio a schiera e per il condominio è stato considerato un impianto centralizzato sia per il riscaldamento che per la produzione di acqua calda per usi igienico

sanitari. Si consideri infine che i fabbisogni energetici specifici si intendono per unità di superficie utile (ovvero, superficie calpestabile netta); per il caso in esame la superficie netta calpestabile è circa il 75% della superficie lorda, ma questa percentuale cambia a seconda dello spessore delle pareti edilizie.

Tabella 4: Fabbisogno termico per il riscaldamento dell'abitazione unifamiliare.

	Dispersioni termiche a temperatura interna costante	Apporti gratuiti interni e solari	Fabbisogno di energia termica utile
	Q _l (MJ)	Q _g (MJ)	Q _h (MJ)
caso A	61.176,86	19.764,14	41.419,06
caso B	49.527,47	19.744,01	29.831,37
caso C	29.963,08	19.739,63	11.984

Si può vedere che il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'acqua sanitaria nel caso di un'abitazione di circa 90 m² con due bagni è di circa 40 kWh/m² considerando un impianto con rendimento globale di 0,85.

Tabella 5: Fabbisogno energetico dell'abitazione unifamiliare.

	Unifamiliare A	Unifamiliare B	Unifamiliare C	
Fabbisogno di energia termica utile in regime continuo	41.419,06	29.831,37	11.984,10	MJ
Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento di acqua calda	11.334,80	11.334,80	11.334,80	MJ
Fabbisogno di energia termica per riscaldamento e a.c.s.	52.753,86	41.166,17	23.318,90	MJ
Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento	51.708,93	37.382,59	14.980,13	MJ
Fabbisogno di energia primaria per unità di superficie per il riscaldamento	159,60	115,37	46,23	kWh/(m²anno)
Fabbisogno di energia primaria per a.c.s.	13.335,06	13.335,06	13.335,06	KWh
Fabbisogno di energia primaria per unità di superficie per sola acqua calda sanitaria	41,15	41,15	41,15	kWh/(m²anno)
Fabbisogno totale di energia primaria	65.043,99	50.717,65	28.315,19	MJ
Fabbisogno totale di energia primaria per unità di superficie	200,75	156,52	87,39	kWh/(m²anno)

Per quanto riguarda l'incidenza dell'isolamento dell'involucro rispetto al fabbisogno di energia primaria, a parità di impianto, si nota che l'aumento dello spessore di isolante termico (caso B) è senz'altro il primo passo per ridurre i consumi, ma l'effetto è determinante se si pone attenzione al modo di costruire, eliminando cioè i ponti termici, che nel caso di pareti ad alta resistenza possono arrivare a rappresentare il 50% delle dispersioni. Se infatti al caso B si eliminassero i ponti termici il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento sarebbe di circa 56 kWh/m² per l'abitazione con S/V pari a 0,84 e 32 kWh/m² per quella con S/V pari a 0,62; il fabbisogno, cioè, risulta dimezzato.

Tabella 6: Fabbisogno termico per il riscaldamento dell'edificio a schiera.

	Dispersioni termiche a temperatura interna costante	Apporti gratuiti interni e solari	Fabbisogno di energia termica utile
	Q _l (MJ)	Q _g (MJ)	Q _h (MJ)
caso A	185.319,96	78.955,80	106.510,33
caso B	154.698,73	78.913,11	77.826,48
caso C	95.463,41	78.903,85	28.210,96

Dal confronto tra l'unifamiliare e la schiera (Tabella 8) si può vedere che il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento diminuisce del 35% circa nei casi A e B, mentre nel caso di edificio super-isolato (caso C) la diminuzione del rapporto S/V implica una diminuzione del fabbisogno del 43% circa.

Tabella 7: Fabbisogno energetico dell'edificio a schiera.

	Schiera A	Schiera B	Schiera C	
Fabbisogno di energia termica utile in regime continuo	106.510,33	77.826,48	28.210,96	MJ
Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento di acqua calda	44.946,89	44.946,89	44.946,89	MJ
Fabbisogno di energia termica per riscaldamento e acs	151.457,22	122.773,37	73.157,85	MJ
Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento	133.137,91	97.283,09	35.263,70	MJ
Fabbisogno di energia primaria per unità di superficie per il riscaldamento	102,73	75,06	27,21	kWh/(m²anno)
Fabbisogno di energia primaria per acs	52.878,70	52.878,70	52878,70	KWh
Fabbisogno di energia primaria per unità di superficie per sola acqua calda sanitaria	40,8	40,8	40,80	kWh/(m²anno)
Fabbisogno totale di energia primaria	186.016,61	150.161,79	88142,39	MJ
Fabbisogno totale di energia primaria per unità di superficie	143,53	115,86	68,01	kWh/(m²anno)

Tabella 8: Confronto del fabbisogno energetico delle due tipologie edilizie: unifamiliare e schiera.

	Sistema costruttivo tradizionale con ponti termici	Sistema costruttivo isolato con 10 cm con ponti termici	Sistema costruttivo isoalto con 10 cm senza ponti termici	
Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'unifamiliare	159,60	115,37	56,03	kWh/(m²anno)
Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento della schiera	102,73	75,06	32,03	kWh/(m²anno)
Differenza percentuale del fabbisogno delle due tipologie edilizie	- 35,6%	- 35%	- 42,8%	

Tabella 9: Fabbisogno termico per il riscaldamento del condominio.

	Dispersioni termiche a temperatura interna costante	Apporti gratuiti interni e solari	Fabbisogno di energia termica utile
	Q _l (MJ)	Q _g (MJ)	Q _h (MJ)
Condominio 1	438.836,64	194.635,77	278.870,65
Condominio 1a	316.450,61	194.635,77	165.773,73
Condominio 2	369.338,79	195.815,43	209.906,44
Condominio 3	213.249,46	195.815,43	73.695,04

Tabella 10: Fabbisogno energetico del condominio.

	Condominio 1	Condominio 1a	Condominio 2	Condominio 3	
Fabbisogno di energia termica utile in regime continuo	278.870,65	165.773,73	209.906,44	73.695,04	MJ
Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento di acqua calda	119.886,73	119.886,73	119.886,73	119.886,73	MJ
Fabbisogno di energia termica per riscaldamento e acs	398.757,39	285.660,46	329.793,17	193.581,77	MJ
Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento	348.588,32	207.217,16	262.383,05	92.118,80	MJ
Fabbisogno di energia primaria per unità di superficie per il riscaldamento	100,86	59,96	75,92	26,65	Kwh/ (m²anno)
Fabbisogno di energia primaria per acs	141.043,21	141.043,21	141.043,21	141.043,21	MJ
Fabbisogno di energia primaria per unità di superficie per sola acqua calda sanitaria	40,81	40,81	40,81	40,81	Kwh/ (m²anno)
Fabbisogno totale di energia primaria	489.631,53	348.260,37	403.426,26	233.162,01	MJ
Fabbisogno totale di energia primaria per unità di superficie	141,68	100,77	116,73	67,47	Kwh/ (m²anno)

7 Considerazioni sul comportamento estivo di un edificio

E' stata effettuata una stima dell'incidenza di alcuni parametri sul comportamento dell'edificio in regime estivo. In particolare sono stati considerati: capacità termica, costante di tempo, percentuale finestrata.

La valutazione del "buon" comportamento estivo viene in prima analisi fatta sulla base dell'innalzamento di temperatura che si verifica in seguito all'irraggiamento solare attraverso i componenti vetrati. Sono state considerate le tre tipologie edilizie: condominio, casa a schiera e villetta unifamiliare.

La villetta e la schiera presentano una costante di tempo pressochè simile e pari a circa 132 h. Il condominio ha una costante di tempo pari a 220 h. Si noti che a parità di costante di tempo, la villetta presenta un innalzamento di temperatura medio stagionale pari a 1,1°C contro un innalzamento medio stagionale di 1,35 nella schiera. Questo risultato si giustifica considerando che l'irraggiamento solare entrante nella schiera è quattro volte maggiore rispetto alla villetta, mentre la capacità termica della schiera è 3,25 volte la capacità termica della villetta.

Nel caso del condominio i valori di innalzamento della temperatura sono simili al caso della villetta: in questo caso la costante di tempo è aumentata e pari a circa 221 h, anche la percentuale di superfici vetrate sul totale delle superfici disperdenti è maggiore e pari all'8%. Data l'analogia delle strutture murarie e dei solai nei tre casi e la minima differenza nella percentuale di superficie vetrata sul totale della superficie disperdente, si può notare che il comportamento dei tre casi è simile. Questo viene dimostrato dal valore dell'innalzamento medio della temperatura, che nei tre casi è simile e dal rapporto tra energia solare entrante e superficie utile, che nel mese di luglio è pari a 0,9 MJ/m² nel condominio e 0,8 MJ/m² negli altri due casi.

Tabella 11: Condominio: percentuale finestrata sul totale involucro disperdente 8%.

H [W/K]	933.5			
C [kJ/K]	741206.0			
τ [h]	220.6			
	MAG	GIU	LUG	AGO
Q _{sf} [MJ]	24955.2	25608.4	28118.1	25643.9
Innalzamento mensile della temperatura [°C]	33.7	34.5	37.9	34.6
Innalzamento giornaliero della temperatura [°C]	1.1	1.2	1.2	1.1

Tabella 12: Schiera: percentuale finestrata sul totale involucro disperdente 6%.

H [W/K]	427.7			
C [kJ/K]	202983.9			
τ [h]	131.8			
	MAG	GIU	LUG	AGO
Q _{sf} [MJ]	8050.6	8289.1	8945.2	8222.0
Innalzamento mensile della temperatura [°C]	39.7	40.8	44.1	40.5
Innalzamento giornaliero della temperatura [°C]	1.3	1.4	1.4	1.3

Tabella 13: Unifamiliare: percentuale finestrata sul totale involucro disperdente 4%.

H [W/K]	131.2			
C [kJ/K]	62444.0			
τ [h]	132.2			
	MAG	GIU	LUG	AGO
Q _{sf} [MJ]	2012.7	2072.3	2236.3	2055.5
Innalzamento mensile della temperatura [°C]	32.2	33.2	35.8	32.9
Innalzamento giornaliero della temperatura [°C]	1.0	1.1	1.2	1.1

8 Conclusioni

Alla luce dell'analisi svolta risulta che a parità di materiali e caratteristiche costruttive, le caratteristiche geometriche influiscono notevolmente sulla richiesta di energia primaria per il riscaldamento: la richiesta energetica per unità di superficie di un condominio ($S/V=0,46$) risulta quasi dimezzata rispetto all'abitazione unifamiliare ($S/V=0,84$). Si è notata una forte incidenza dei ponti termici sul fabbisogno di riscaldamento: risulta quindi raccomandabile che il miglioramento dell'isolamento delle strutture edilizie sia fatto tramite un aumento dello spessore dell'isolante ma anche attraverso una costruzione "a regola d'arte" che cioè minimizzi o addirittura annulli tutti i possibili "punti deboli" dell'involucro.

L'analisi svolta risulta indicativa per fissare i requisiti per il fabbisogno di energia primaria degli edifici per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria al fine della certificazione energetica degli edifici. Riguardo al riscaldamento dell'acqua calda, sulla base del metodo di calcolo utilizzato, descritto nel paragrafo 1, si è riscontrato che il fabbisogno medio di energia primaria in un edificio residenziale risulta essere pari a circa 40 kWh/m^2 in un anno, considerando un rendimento di impianto pari a 0,85. Riguardo al fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento risulta evidente che le abitazioni unifamiliari, quindi tutti gli edifici con rapporto S/V maggiore di 0,8 dovranno fare uno sforzo maggiore per abbassare la richiesta energetica. Infine si è visto che il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento più basso ottenibile con provvedimenti pesanti ma non irrealizzabili risulta essere pari a $46,23 \text{ kWh/m}^2$ nel caso di un'abitazione con S/V pari a 0,84.

Figura 1: Modello di casa unifamiliare, componibile a schiera, con superficie calpestabile di 90

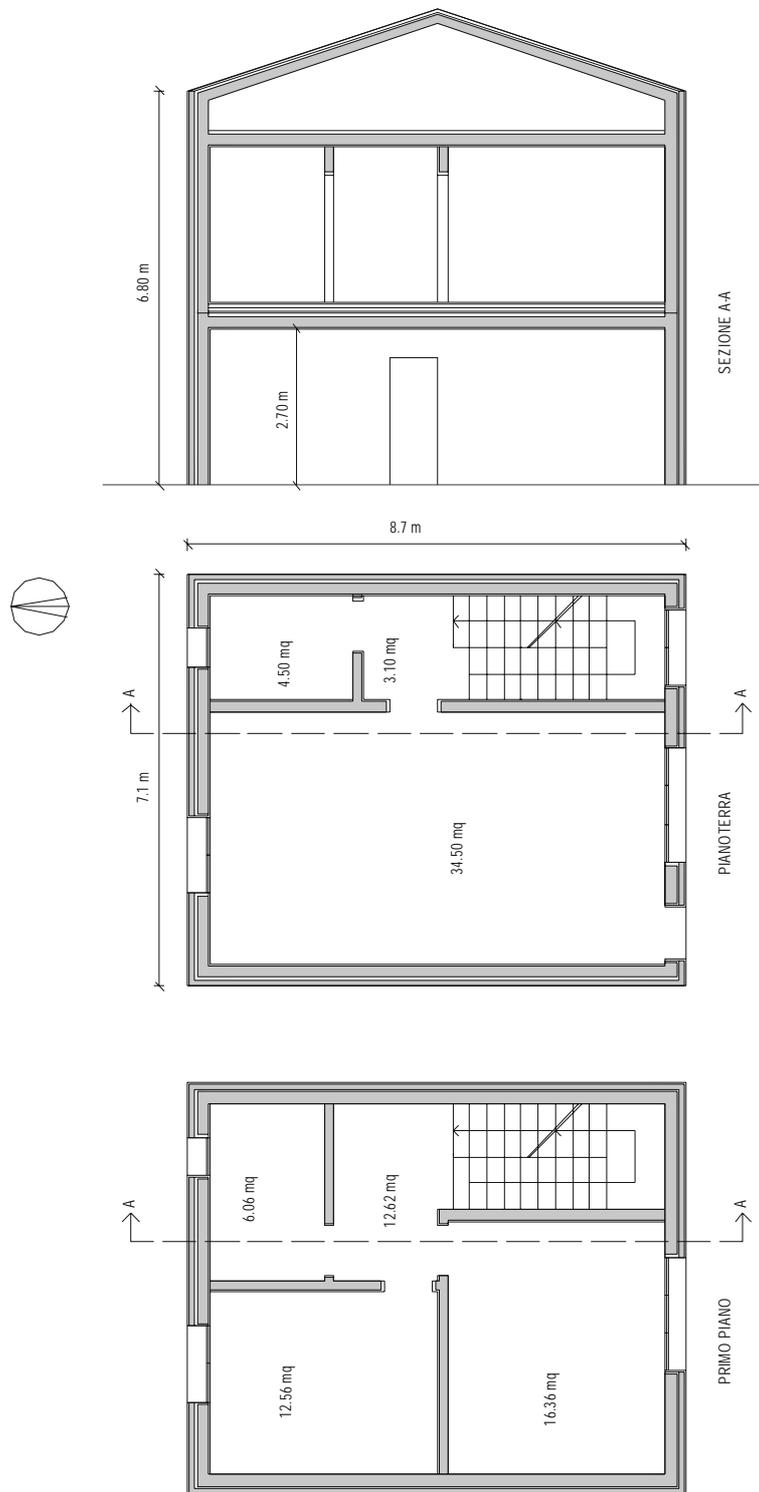
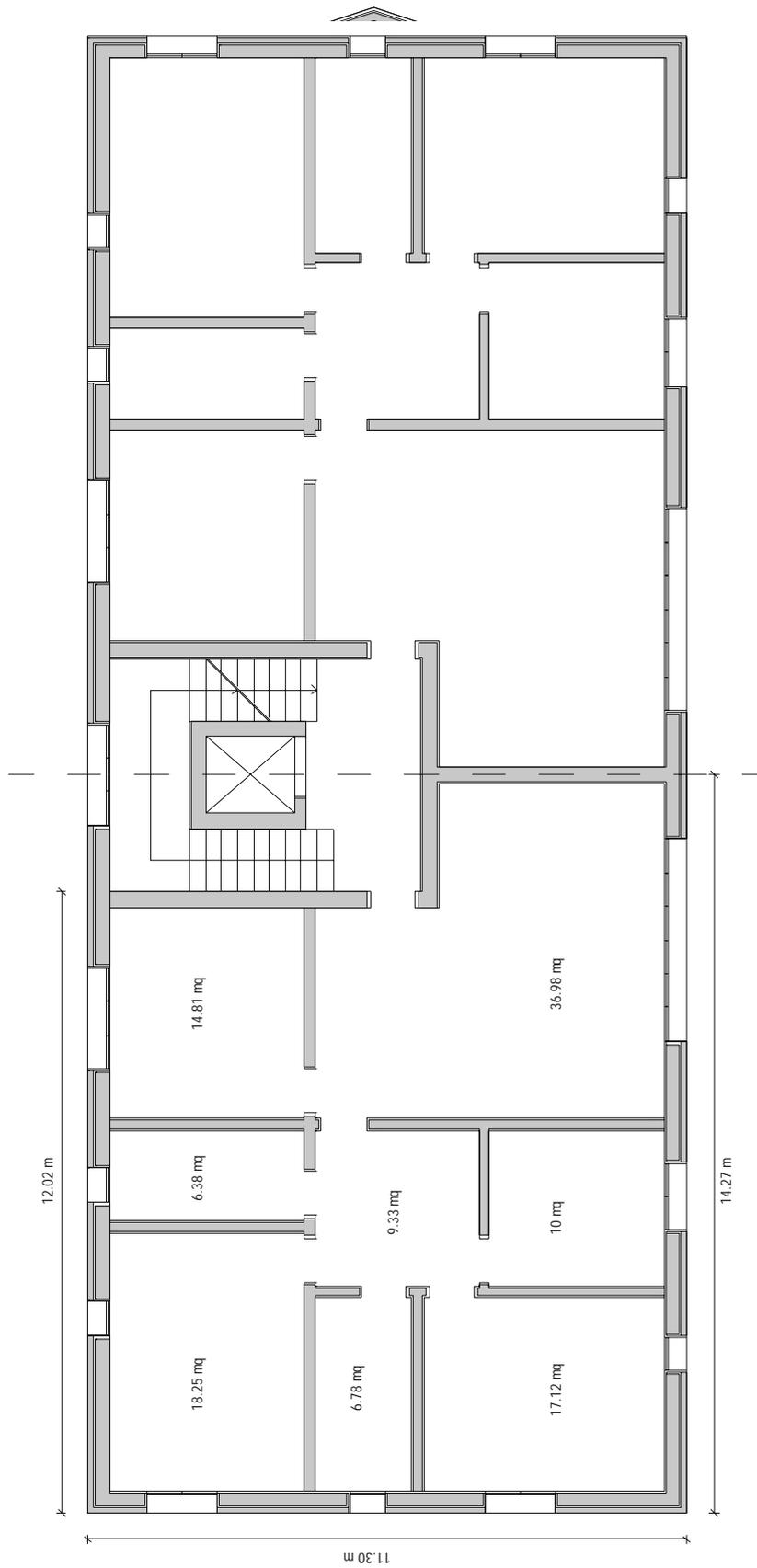


Figura 2: Piano tipo del condominio



APPENDICE B Metodo di calcolo dell'indice di valutazione delle prestazioni dell'edificio dal punto di vista energetico e del suo impatto ambientale

A. Metodo di calcolo semplificato del fabbisogno energetico utile stagionale Q_h

A.1 Fabbisogno energetico stagionale

Il fabbisogno energetico stagionale Q_h è dato da:

$$Q_h = Q_T + Q_V - \eta_u Q_G \quad [\text{kJ o kWh}]$$

dove:

Q_T è l'energia dispersa per trasmissione attraverso l'involucro;

Q_V l'energia necessaria per la ventilazione;

Q_G è il contributo dovuto agli apporti energetici gratuiti;

η_u il fattore di utilizzo, che tiene conto del comportamento dinamico dell'edificio (inerzia termica delle strutture).

A.2 Energia dispersa per trasmissione attraverso l'involucro

L'energia dispersa per trasmissione attraverso l'involucro Q_T è data da:

$$Q_T = \frac{H \times \sum_i Ng_i \cdot (\theta_i - \theta_e)_i \times 86400}{1000} \quad [\text{kJ}]$$

$$Q_T = \frac{H \times \sum_i Ng_i \cdot (\theta_i - \theta_e)_i \times 24}{1000} \quad [\text{kWh}]$$

dove:

H è il coefficiente di dispersione termica dell'edificio calcolato secondo la norma UNI EN 832 e relative norme UNI EN ISO 6946, 10211, 10077, 13370, 13789;

θ_i è la temperatura interna di progetto considerata costante;

θ_e è la temperatura esterna media mensile secondo UNI 10349;

Ng_i è il numero dei giorni per il mese i -esimo.

A.3 Energia necessaria per ventilazione

L'energia necessaria per la ventilazione Q_V (con riferimento imposto al valore di 0,3 vol/h) è data da:

$$Q_v = \frac{\left(\frac{0,3}{3600}\right) \times 1200 \times V_{riscaldato} \times \sum_i Ng_i \cdot (\theta_i - \theta_e)_i \times 86400}{1000} \quad [\text{kJ}]$$

$$Q_v = \frac{0,3 \times 0,34 \times V \times \sum_i Ng_i \cdot (\theta_i - \theta_e)_i \times 24}{1000} \quad [\text{kWh}]$$

dove:

V è il volume lordo degli ambienti riscaldati e gli altri simboli hanno lo stesso significato visto in precedenza; inoltre, viene assunto il calore specifico a pressione costante dell'aria $c_p = 1000 \text{ J}/(\text{kg K})$ e la densità dell'aria $\rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Nel caso sia presente un sistema di ventilazione forzata il calcolo andrà effettuato secondo quanto previsto dalla norma UNI 10344 o EN 832.

A.4 Apporti energetici gratuiti

L'energia dovuta agli apporti energetici gratuiti Q_G è data da:

$$Q_G = Q_S + Q_I$$

dove:

Q_S è il contributo dovuto alla radiazione solare;

Q_I l'apporto di energia dovuto alle sorgenti interne:

$$Q_I = 72 \times S_{risc} \text{ [MJ];}$$

$$Q_I = 20 \times S_{risc} \text{ [kWh];}$$

Per il calcolo del contributo dovuto alla radiazione solare Q_S vengono qui considerati solo i contributi dovuti alla radiazione solare che penetra nella zona riscaldata attraverso i componenti trasparenti (finestre), essendo usualmente trascurabili gli apporti dovuti alle superfici esterne opache (cfr. EN 832 - Annex D).

Nel caso si ritenga che questi apporti siano importanti o vengano utilizzati componenti edilizi speciali (serre solari, etc.) vanno effettuati calcoli più dettagliati come suggerito dalla UNI 10344 Appendice F o EN 832 Annex D.

Il contributo dovuto alla radiazione solare Q_S è dato in generale da:

$$Q_S = 1000 \times \sum_{j=1}^e I_{s,j} \sum_i^v A_{e,ji} \quad [\text{kJ}] \quad Q_S = 1000 \times \frac{\sum_{j=1}^e I_{s,j} \sum_i^v A_{e,ji}}{3600} \quad [\text{kWh}]$$

dove:

$I_{s,j}$ è l'irradiazione solare globale stagionale incidente sulla parete con esposizione j espressa in MJ;

e è il numero di esposizioni;

$A_{s,ji}$ è l'area equivalente della i -esima superficie trasparente (porta, finestra, etc.) con esposizione j ;

v è il numero di pareti con esposizione j ;

A.4.1 Irradiazione solare

L'irradiazione solare globale stagionale I_s , nelle varie direzioni per la provincia di Trento (Lat. 46° 03' Long. 11° 07' Est) può essere desunta dalle tabelle seguenti (valori in MJ/m²) che riportano i valori mensili per ricavati dalla norma UNI 10349.

Tabella A.1: Irradiazione solare media mensile per la provincia di Trento (valori in MJ / m²).

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
Orizz. diffusa	71,30	95,20	145,70	195,00	238,70	243,0
Orizz. diretta	80,60	140,00	279,00	336,00	409,20	453,0
S	297,60	352,80	443,30	357,00	325,50	306,0
SO-SE	229,40	291,20	415,40	396,00	399,90	393,0
O-E	127,10	187,60	322,40	372,00	430,90	453,0
NO-NE	55,80	92,40	182,90	261,00	344,10	381,0
N	49,60	70,00	114,70	165,00	244,90	291,0

	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Orizz. diffusa	226,3	207,7	156,00	117,80	78,00	62,00
Orizz. diretta	536,3	418,5	309,00	173,60	87,00	65,10
S	347,2	368,9	408,00	384,40	294,00	254,20
SO-SE	446,4	434,0	411,00	328,60	231,00	198,40
O-E	505,3	430,9	342,00	226,30	135,00	105,40
NO-NE	409,2	316,2	210,00	120,90	63,00	46,50
N	291,4	201,5	126,00	86,80	57,00	43,40

Tabella A.2: Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna (°C).

gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
1,5	4,5	9,0	13,7	17,2	21,2	23,5	22,7	19,5	13,6	7,4	2,9

A.4.2 Area equivalente delle superfici trasparenti

L'area equivalente di una superficie trasparente A_s , quale una finestra, viene determinata come segue:

$$A_s = A F_S F_C F_F g \quad [\text{m}^2]$$

dove:

A è l'area dell'apertura realizzata nella parete (area lorda del serramento) espressa in m²;

F_S è il fattore di schermatura, compreso tra 0 e 1, che tiene conto di eventuali ostruzioni esterne dovute all'orografia o ad altri elementi;

F_C è il coefficiente di riduzione dovuto a schermi interni e/o esterni (tendaggi o similari);

F_F è il coefficiente di riduzione dovuto al telaio (rapporto tra superficie vetrata netta e superficie totale) che in assenza di dati specifici può essere assunto pari a 0,87;

g è la trasmittanza solare totale media dell'elemento vetrato;

A.4.2.1 Fattore di schermatura

Il fattore di schermatura F_S , secondo EN832, è dato da:

$$F_S = F_O F_{AO} F_{AV}$$

dove:

F_O è il coefficiente di ombreggiatura dovuto ad ostruzioni esterne (es. orografia o fabbricati limitrofi);

F_{AO} è il coefficiente di ombreggiatura dovuto ad aggetti orizzontali sovrastanti l'apertura;

F_{AV} è il coefficiente di ombreggiatura dovuto ad aggetti verticali disposti lateralmente rispetto all'apertura;

Il coefficienti di ombreggiatura stagionali per periodi di riscaldamento compresi tra ottobre ed aprile sono indicati nelle tabelle seguenti. Valori per angoli e orientazione intermedi si possono ottenere per interpolazione.

Tabella A3: coefficiente di ombreggiatura F_O per ostruzioni esterne (da EN 832).

Angolo con l'orizzonte	Sud	Est/Ovest	Nord
0°	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,95	1,00
20°	0,83	0,81	0,98
30°	0,61	0,69	0,94
40°	0,45	0,60	0,90

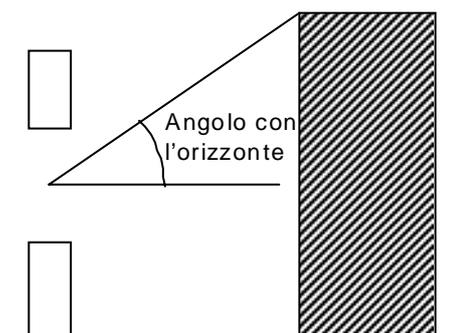


Tabella A4: coefficiente di ombreggiatura F_{AO} per aggetti orizzontali (da EN 832).

Angolo con l'aggetto orizzontale	Sud	Est/Ovest	Nord
0°	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91
45°	0,74	0,76	0,80
60°	0,51	0,58	0,66

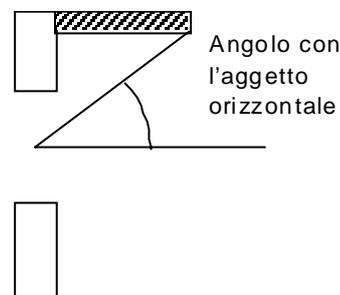
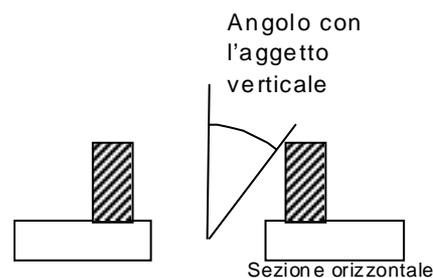


Tabella A5: coefficiente di ombreggiatura F_{AV} per aggetti verticali (da EN 832)

Angolo con l'aggetto verticale	Sud	Est/Ovest	Nord
0°	1,00	1,00	1,00
30°	0,94	0,92	1,00
45°	0,84	0,84	1,00
60°	0,72	0,75	1,00



A.4.2.2 Coefficiente di riduzione dovuto a schermi interni o esterni

Per edifici destinati a uso civile abitazione aventi volume inferiore a 1500 m³ si può assumere per il coefficiente di riduzione F_C un valore pari a 0,8 (tende bianche interne).

Negli altri casi il coefficiente di riduzione F_C dovuto a schermi interni e/o esterni (quali tendaggi o similari) può, in assenza di dati forniti dal costruttore, essere desunto dalla tabella seguente:

Tabella A.6: Coefficiente di riduzione F_C dovuto a schermi interno o esterni (da UNI 10344).

Tipo schermatura	Coeff. di assorbimento ottico	Coeff. di trasmissione ottico	Coefficiente di riduzione F_C per schermo interno	Coefficiente di riduzione F_C per schermo esterno
Tende alla veneziana	0,1	0,05	0,25	0,10
		0,10	0,30	0,25
		0,30	0,45	0,35
Tende bianche	0,1	0,50	0,65	0,55
		0,70	0,80	0,75
		0,90	0,95	0,95
Tessuti colorati	0,2	0,10	0,42	0,17
		0,30	0,57	0,37
		0,50	0,77	0,57

I valori indicati in tabella si riferiscono a schermi completamente abbassati. In caso di schermatura parziale va effettuata una media pesata in base alla porzione di superficie effettivamente coperta

A.4.2.3 Trasmittanza solare media

La trasmittanza solare totale media g è il valore medio su tutti gli angoli di incidenza che, mancando dati specifici, può essere assunto pari all'85% del coefficiente di trasmissione solare determinato per il raggio solare perpendicolare alla superficie del vetro.

In assenza di dati forniti dal costruttore la trasmittanza solare totale media del vetro g può essere desunta dalla tabella seguente per alcuni tipi di vetro di uso più comune.

Tabella A.7: Trasmittanza solare totale media per alcuni tipi di vetro (da UNI 10344).

Tipo di vetro	<i>g</i>
Vetro singolo	0,82
Doppio vetro normale	0,70
Triplo vetro normale	0,60
Vetro singolo selettivo	0,66
Doppio vetro con riv. selettivo pirolitico	0,64
Doppio vetro con riv. selettivo catodico	0,62
Triplo vetro con riv. selettivo pirolitico	0,55
Triplo vetro con riv. selettivo catodico	0,53

A.5 Fattore di utilizzo

Il fattore di utilizzo stagionale degli apporti gratuiti η_u , che tiene conto del comportamento dinamico dell'edificio può essere valutato con la seguente formula semplificata:

$$\eta_u = 1 - 0,3\gamma$$

dove:

γ è il rapporto tra l'energia dovuta gli apporti gratuiti presenti nella zona riscaldata e l'energia dispersa per trasmissione e ventilazione (rapporto guadagni/perdite) ovvero:

$$\gamma = \frac{Q_G}{Q_T + Q_V};$$

Nel caso si ritenga opportuno effettuare un calcolo più accurato (ad es. per edifici con elevata inerzia termica) il fattore di utilizzo va calcolato su base mensile secondo quanto previsto al punto 12 della norma UNI 10344 o, in alternativa secondo il metodo previsto per il calcolo stagionale dalla norma EN 832 riportato in appendice B.

B. Calcolo del fattore di utilizzo stagionale secondo EN 832

Il fattore di utilizzo stagionale degli apporti gratuiti η_u , che tiene conto del comportamento dinamico dell'edificio (inerzia termica delle strutture), calcolato secondo EN 832 è dato da:

$$\eta_u = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad \text{se } \gamma \neq 1 \quad \eta_u = \frac{a}{a+1} \quad \text{se } \gamma = 1$$

dove:

γ è il rapporto tra l'energia dovuta gli apporti gratuiti presenti nella zona riscaldata e l'energia dispersa per trasmissione e ventilazione (rapporto guadagni/perdite) ovvero:

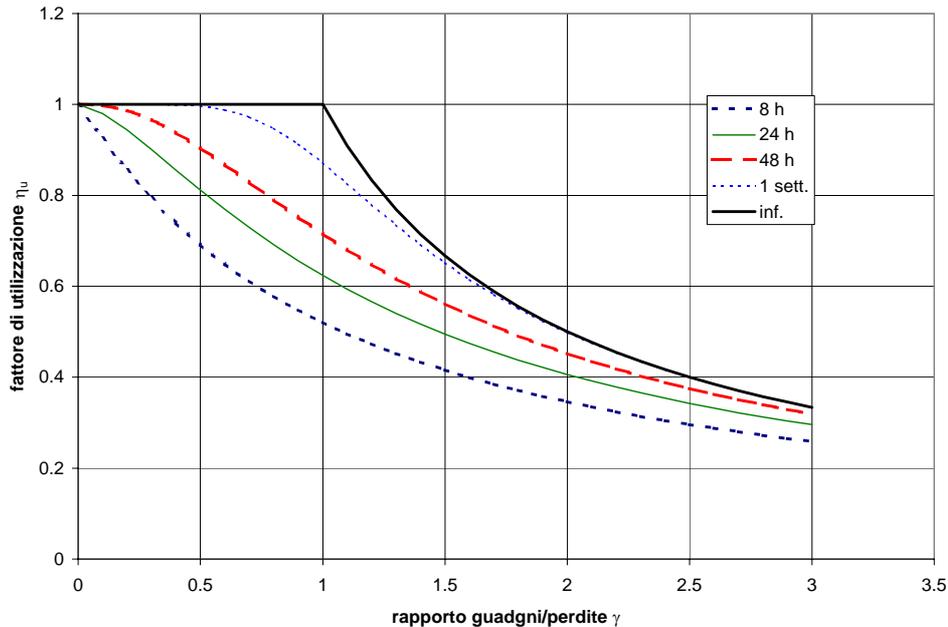
$$\gamma = \frac{Q_G}{Q_T + Q_V};$$

a è un parametro numerico legato alla costante di tempo dell'edificio definito come:

$$a = a_0 + \frac{t_c}{t_0};$$

$a_0 = 0,8$ per calcolo stagionale o 1 per il calcolo mensile;
 $t_0 = 28$ per calcolo stagionale o 16 per il calcolo mensile;
 t_c è la costante di tempo dell'edificio espressa in ore;

Figura B.1: Andamento del fattore di utilizzazione stagionale al variare del rapporto guadagni/perdite γ per alcuni valori della costante di tempo t_c .



La costante di tempo t_c , che caratterizza l'inerzia termica degli spazi interni riscaldati è definita come:

$$t_c = \frac{C}{(H + 0,3 \times 0,34) \times V_{riscaldato}};$$

dove:

C è la capacità termica efficace dei componenti edilizi in contatto con la zona riscaldata calcolata come indicato nella norma UNI 10344 o EN832;

H è il coefficiente di dispersione termica dell'edificio calcolato secondo la norma UNI EN 832 e relative norme UNI EN ISO 6946, 10211, 10077, 13370, 13789;

$V_{riscaldato}$ è il volume interno netto degli ambienti riscaldati.

Il valore della capacità termica di un edificio è data da:

$$C = A_T c_p M_a$$

dove:

A_T è l'area totale dell'involucro che delimita la zona riscaldata comprese le partizioni interne;

c_p è il calore specifico di riferimento per le strutture edilizie assunto pari a 1000 J/(kg K);

M_a è la massa efficace per unità di area (kg/m²) delle strutture edilizie desunta dalla tabella seguente.

Tabella B.1: Massa efficace per unità di area di strutture edilizie con **intonaco a base di malta** (da UNI 10344).

isolamento	pareti esterne	pavimenti	1 piano	2 piani	≥ 3piani
			Massa efficace per unità di area (kg / m ²)		
interno	qualsiasi	tessile	105	105	105
interno	qualsiasi	legno	115	125	135
interno	qualsiasi	piastrelle	125	125	135
assente/esterno	leggere	tessile	125	125	115
assente/esterno	medie/	tessile	135	135	125
assente/esterno	pesanti	tessile	145	135	125
assente/esterno	leggere	legno	145	145	145
assente/esterno	medie	legno	155	155	155
assente/esterno	pesanti	legno	165	165	165
assente/esterno	leggere	piastrelle	145	155	155
assente/esterno	medie	piastrelle	155	165	165
assente/esterno	pesanti	piastrelle	165	165	165

Tabella B.2: Massa efficace per unità di area di strutture edilizie con **intonaco a base di gesso** (da UNI 10344).

isolamento	pareti esterne	pavimenti	1 piano	2 piani	≥ 3piani
			Massa efficace per unità di area (kg / m ²)		
interno	qualsiasi	tessile	75	75	85
interno	qualsiasi	legno	85	95	105
interno	qualsiasi	piastrelle	95	105	115
assente/esterno	leggere	tessile	95	95	95
assente/esterno	medie/	tessile	105	95	95
assente/esterno	pesanti	tessile	105	95	95
assente/esterno	leggere	legno	115	115	115
assente/esterno	medie	legno	115	125	125
assente/esterno	pesanti	legno	115	125	125
assente/esterno	leggere	piastrelle	115	125	135
assente/esterno	medie	piastrelle	135	135	135
assente/esterno	pesanti	piastrelle	135	135	135

APPENDICE C Calcolo del rendimento termico dei componenti dei sistemi impiantistici impiegati nel riscaldamento

In attesa dell'entrata in vigore della nuova normativa europea, la norma tecnica UNI 10348 descrive la procedura per il calcolo dei rendimenti medi riferiti ad un periodo prefissato dei componenti dei sistemi impiantistici impiegati nel riscaldamento ambientale. Tra i parametri in essa determinati vi sono:

- rendimento del sistema di emissione (η_e): rapporto tra il fabbisogno energetico utile di riscaldamento degli ambienti con un sistema di emissione di riferimento in grado di fornire una temperatura perfettamente uniforme ed uguale nei vari ambienti ed il sistema di emissione reale nelle stesse condizioni di temperatura interna di riferimento e di temperatura esterna;
- rendimento del sistema di controllo o regolazione (η_c): rapporto tra il fabbisogno energetico utile di riscaldamento degli ambienti con una regolazione teorica perfetta e quello richiesto per il riscaldamento degli stessi ambienti con l'impianto di regolazione reale;
- rendimento medio mensile del sistema di distribuzione (η_d): rapporto tra il fabbisogno energetico utile reale della zona e l'energia termica fornita dal sistema di produzione.
- rendimento medio stagionale del sistema di produzione (η_p): rapporto tra l'energia termica fornita dal sistema di produzione nella stagione di riscaldamento ed il fabbisogno di energia primaria nella stagione.

1 Rendimento di emissione

Il rendimento di emissione caratterizza l'influenza che ha il tipo di scambio termico tra il terminale di erogazione e l'ambiente interno sulla quantità di energia che il terminale di erogazione deve fornire. Tale fattore considera inoltre le disuniformità di temperatura che vengono indotte all'interno delle zone e dell'incremento delle dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione dovute al tipo di terminale di erogazione.

In generale il rendimento di emissione è dato da:

$$\eta_e = Q_h / Q_{hac}$$

dove:

Q_h rappresenta la quantità di energia richiesta dalla zona termica in condizioni ideali;

Q_{hac} rappresenta l'energia termica fornita dal terminale di erogazione in condizioni reali.

La normativa riporta i valori convenzionali del rendimento di emissione per diversi tipi di terminali di erogazione (vedi Tabella successiva).

Tabella C.1: Valori convenzionali del rendimento di emissione (UNI 10348).

Terminale di erogazione	η_e
termoconvettori	0,99
ventilconvettori	0,98
bocchette aria calda	0,97
radiatori*	0,96
pannelli radianti isolati dalle strutture**	0,97
pannelli radianti annegati nella struttura* *	0,95
<p>* Riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua di 85 °C, ad una installazione su parete divisoria interna oppure a ridosso di parete esterna isolata come sopra e con presenza di superficie riflettente sul lato interno. In assenza di superficie riflettente il valore riportato deve essere diminuito di 0,02. In presenza di parete esterna non isolata ($U > 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) il valore deve essere ulteriormente ridotto di 0,04. Per temperatura di mandata dell'acqua di 65 °C il valore del prospetto deve essere incrementato di 0,03; le altre correzioni assumono gli stessi valori.</p> <p>**Riferiti ad una installazione tra ambienti riscaldati oppure in una struttura muraria isolata esternamente e avente un coefficiente globale di trasmissione termica minore di $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.</p>	

2 Rendimento di regolazione

Un sistema di regolazione che non risponde accuratamente e velocemente alla richiesta di energia genera oscillazioni di temperatura all'interno dell'ambiente che causano incrementi di scambi termici per trasmissione e ventilazione con l'esterno.

In generale il rendimento di regolazione, che dipende dalla qualità dei dispositivi di regolazione (precisione, sensibilità, velocità di risposta e corretta taratura) e dall'adeguatezza del sistema alle caratteristiche dell'impianto e dell'edificio, è dato dalla seguente espressione:

$$\eta_c = Q_h / Q_{hac}$$

dove:

Q_h rappresenta la quantità di energia richiesta dalla zona termica in condizioni ideali;

Q_{hac} rappresenta la quantità di energia richiesta in condizioni reali di regolazione.

La normativa inoltre riporta dei valori convenzionali di η_c da assumere ogni qualvolta non siano noti dati precisi sulle effettive caratteristiche del sistema di regolazione.

Tabella C.2: Valori del rendimento di regolazione.

Sistema di regolazione	Tipologia di prodotto	Impianto di riscaldamento		
		radiatori e convettori	pannelli radianti isolati dalla struttura	pannelli radianti annegati nella struttura
Regolazione manuale	Termostato di caldaia	0,96-(0,6·η _u ·γ)	0,94-(0,6·η _u ·γ)	0,90-(0,6·η _u ·γ)
Climatico centralizzato	Regolatore climatico e/o ottimizzatore	1-(0,6·η _u ·γ)	0,98-(0,6·η _u ·γ)	0,94-(0,6·η _u ·γ)
Solo per singolo ambiente	Regolatore sì/no a differenziale	0,94	0,92	0,88
	Regolatore modulante (banda proporzionale 1 °C)	0,98	0,96	0,92
	Regolatore modulante (banda proporzionale 2 °C)	0,96	0,94	0,90
Climatico + singolo ambiente	Regolatore sì/no a differenziale	0,97	0,95	0,93
	Regolatore modulante (banda proporzionale 1 °C)	0,99	0,98	0,96
	Regolatore modulante (banda proporzionale 2 °C)	0,98	0,97	0,95
Solo di zona	Regolatore sì/no a differenziale	0,93	0,91	0,87
	Regolatore modulante (banda proporzionale 1 °C)	0,97	0,96	0,92
	Regolatore modulante (banda proporzionale 2 °C)	0,95	0,93	0,89
Climatico + zona	Regolatore sì/no a differenziale	0,96	0,94	0,92
	Regolatore modulante (banda proporzionale 1 °C)	0,98	0,97	0,95
	Regolatore modulante (banda proporzionale 2 °C)	0,97	0,96	0,94

I dati del prospetto si riferiscono al funzionamento continuo dell'impianto in regime di temperatura interna costante od attenuata. In regime intermittente ed in assenza di ottimizzatore (spegnimento notturno dell'impianto) i valori devono essere ridotti di 0,02. Tale riduzione non si applica in presenza di un ottimizzatore.

3 Rendimento di distribuzione

Il rendimento di distribuzione caratterizza l'influenza della rete di distribuzione sulla perdita di energia termica non direttamente ceduta agli ambienti da riscaldare.

In generale tale fattore è dato da:

$$\eta_d = \frac{1}{1 + \frac{Q_{nrd}}{\sum_{j=1}^Z Q_{hr,j}}}$$

dove:

Z è il numero di zone termiche nelle quali è suddiviso l'edificio;

Q_{hr} rappresenta l'energia termica richiesta dalla ogni singola zona:

$$Q_{hr} = \frac{Q_{hvs}}{\eta_e \cdot \eta_c}$$

in cui Q_{hvs} è il fabbisogno energetico utile per ogni zona in regime di funzionamento non continuo (desumibile dalla UNI 10344);

Q_{nrd} rappresenta l'energia termica scambiata dalla rete di distribuzione con l'ambiente circostante e non recuperata (dalla UNI 10347). Nel caso di generatore posto all'interno dell'edificio e in assenza di dati sulle caratteristiche costruttive della rete di distribuzione del fluido vettore, si possono assumere i valori del rendimento di distribuzione indicati dalla UNI 10348 e riportati nella seguente tabella.

Tipo di edificio	Volume edificio (m ³)	Altezza edificio (m)		
		5	15	25
a,c	1000	0,96	0,95	0,94
	5000	0,96	0,95	0,94
	10000	0,97	0,96	0,95
	15000	0,97	0,96	0,95
	20000	0,98	0,97	0,96
b	1000	0,95	0,94	0,94
	5000	0,93	0,93	0,93
	10000	0,91	0,92	0,93
	15000	0,89	0,90	0,91
	20000	0,86	0,87	0,88

Tabella C.3: Valori del rendimento di distribuzione per tre casi:

- a) colonne montanti e raccordi con i terminali di erogazione sono all'interno degli ambienti riscaldati e le tubazioni orizzontali che collegano la centrale termica alle colonne montanti sono disposte nel cantinato;
- b) colonne montanti e raccordi con i terminali di erogazione, non isolati termicamente, sono inseriti in traccia nel paramento interno dei tamponamenti esterni e le tubazioni orizzontali che collegano la centrale termica alle colonne montanti scorrono nel cantinato;
- c) le colonne montanti, in traccia o nelle intercapedini, sono isolate con gli spessori di isolante previsti dalla specifica normativa ed ubicate all'interno dell'isolamento termico delle pareti.

4 Rendimento di produzione medio mensile

Il rendimento di produzione del sistema di generazione dell'energia termica è dato da:

$$\eta_p = Q_p / Q$$

dove:

Q_p rappresenta l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel periodo considerato ed è legata al fabbisogno di ciascuna zona tramite la definizione del rendimento di distribuzione:

$$Q_p = \frac{\sum_{j=1}^Z Q_{hr,j}}{\eta_d}$$

Q rappresenta il fabbisogno di energia primaria nel periodo considerato ed è dato da:

$$Q = Q_c + Q_e$$

dove:

Q_c è l'energia primaria richiesta per la conversione nel generatore;

Q_e è l'energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari.

Il calcolo è riferito ad un periodo di tempo prefissato (mese), ad un modello di conduzione definito ed al sistema di regolazione dell'impianto; inoltre include i contributi di ogni componente dell'impianto di produzione.

A titolo di riferimento vengono riportati i valori minimi previsti dal D.P.R. n.660 del 15 novembre 1996 per il rendimento minimo in condizioni nominali, in funzione della tipologia di caldaia e dell'attribuzione delle marcature di rendimento energetico. Il rendimento effettivo sarà ovviamente minore di quello nominale a causa del funzionamento a carico parziale, specialmente in caso di regolazione ON-OFF della caldaia.

Peraltro, le caldaie di nuova installazione devono in ogni caso consentire il conseguimento del rendimento minimo di impianto fissato dal D.L. 192/2005 (vedi Appendice A).

Tabella C.4: Rendimenti utili.

Tipo di caldaia	Intervallo di potenza	rendimento	A potenza nominale	rendimento	A carico parziale
	kW	Temperatura media dell'acqua nella caldaia (°C)	Espressione del requisito di rendimento (%)	Temperatura media dell'acqua nella caldaia (°C)	Espressione del requisito di rendimento (%)
standard	4-400	70	$\geq 84 + 2 \log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3 \log P_n$
a bassa temperatura ^(a)	4-400	70	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$	40	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$
a condensazione	4-400	70	$\geq 91 + 1 \log P_n$	30 ^(b)	$\geq 97 + 1 \log P_n$

^(a) Comprese le caldaie a condensazione che utilizzano i combustibili liquidi.

^(b) Temperatura dell'acqua di alimentazione della caldaia.

Tabella C.5: Attribuzione delle marcature di rendimento energetico.

Marcatura	Requisito di rendimento alla potenza nominale P_n e ad una temperatura media dell'acqua della caldaia di 70°C (%)	Requisito di rendimento a carico parziale di 0,3 P_n e ad una temperatura media dell'acqua della caldaia ≥ 50 °C (%)
*	$\geq 84 + 2 \log P_n$	$\geq 80 + 3 \log P_n$
**	$\geq 87 + 2 \log P_n$	$\geq 83 + 3 \log P_n$
***	$\geq 90 + 2 \log P_n$	$\geq 86 + 3 \log P_n$
****	$\geq 93 + 2 \log P_n$	$\geq 89 + 3 \log P_n$

5 Generatore a combustione

Nel generatore a combustione l'energia primaria, Q_c , richiesta per la conversione in energia termica utile, Q_u , è l'energia primaria richiesta per la combustione. Gli ausiliari di una certa rilevanza energetica sono le pompe di circolazione del fluido termovettore ed il bruciatore. Tra questi solo le pompe di circolazione forniscono un contributo di energia termica direttamente al fluido termovettore, mentre il contributo del bruciatore è implicitamente incluso nella definizione di rendimento termico utile η_{tu} così come riportato nella UNI 7936. L'energia primaria richiesta per la combustione è data da:

$$Q_c = (Q_p - Q_{aux}) / \eta_{tu} = (Q_p - Q_{po} / \eta_{po}) / \eta_{tu}$$

dove:

Q_p è l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese;

Q_{po} è l'energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione nel periodo di funzionamento;

η_{po} è la frazione utile dell'energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione o similari effettivamente trasferita al fluido (convenzionalmente assunta pari a 0,85);

η_{tu} è il rendimento termico utile medio mensile del generatore.

L'energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari è data da:

$$Q_e = (Q_{br} + Q_{po}) / \eta_{sen}$$

dove:

Q_{br} è l'energia elettrica assorbita dal bruciatore nel periodo di funzionamento;

η_{sen} è il rendimento del sistema elettrico nazionale (in assenza di obblighi specifici si può assumere pari a 0,36).

Il rendimento termico utile di un generatore a combustione riferito ad un periodo temporale prefissato è dato da:

$$\eta_{tu} = Q_u / Q_c$$

dove:

Q_u è l'energia termica utile prodotta dal generatore nel periodo considerato;

Q_c è l'energia primaria richiesta per la combustione nel periodo considerato.

Il rendimento termico utile medio mensile η_{tu} in funzione delle perdite di combustione, all'involucro e del tipo di conduzione dell'impianto, è dato da:

$$\eta_{tu} = 1 + F_{br} - \left(P'_f + \frac{P'_d}{FC} + P'_{fbs} \frac{(1-FC)}{FC} \right) / 100$$

dove:

F_{br} è la frazione utile dell'energia elettrica utilizzata dal bruciatore riferita all'energia primaria necessaria per la combustione, essa è data da:

$$F_{br} = \frac{\eta_{br} \cdot Q_{br}}{Q_c}$$

tale frazione è solitamente minore dell'1 % dell'energia primaria richiesta per la combustione ed è quindi trascurabile;

P'_f sono le perdite termiche percentuali al camino con bruciatore funzionante;

P'_d sono le perdite termiche percentuali verso l'ambiente attraverso l'involucro;

FC è il fattore di carico al focolare (sotto definito);

P'_{fbs} sono le perdite termiche percentuali al camino con bruciatore spento.

Le perdite termiche si determinano utilizzando le equazioni sotto riportate in funzione della differenza tra la temperatura media dell'acqua in caldaia e la temperatura della zona ($\Delta\theta$).

$$P'_f = P_f \left(\frac{\Delta\theta}{50} \right)^{0.2} \quad P'_d = P_d \left(\frac{\Delta\theta}{50} \right) \quad P'_{fbs} = P_{fbs} \left(\frac{\Delta\theta}{50} \right)$$

dove P_f , P_d , P_{fbs} sono o dati noti forniti dal costruttore o desunti dai prospetti di seguito riportati.

Il fattore di carico al focolare, FC , è dato da:

$$FC = \frac{Q_c}{Q_{cn}}$$

dove:

Q_c è l'energia primaria richiesta dal generatore nel periodo considerato;

Q_{cn} è l'energia primaria richiesta dal generatore funzionante sempre al massimo carico ed in regime continuo per lo stesso periodo.

Il fattore FC è funzione del carico parziale e delle perdite termiche al camino, a bruciatore acceso e spento, e verso l'ambiente attraverso l'involucro del generatore secondo la relazione:

$$FC = \frac{P'_d + P'_{fbs} + [(1 + F_{br}) \cdot 100 - P'_f - P'_d] \cdot CP}{(1 + F_{br}) \cdot 100 - P'_f - P'_{fbs}}$$

Il fattore di carico utile CP è definito come rapporto tra l'energia utile prodotta da un generatore funzionante in regime discontinuo e l'energia prodotta dal generatore nello stesso periodo di funzionamento in regime continuo alla potenza nominale:

$$CP = \frac{Q_u}{Q_{un}} = \frac{Q_p - Q_{po} \cdot \eta_{po}}{\Phi_{un} \cdot t_a}$$

dove:

Φ_{un} è la potenza nominale utile del sistema di produzione;

t_a è la durata del periodo in cui il sistema di generazione è attivo.

Il periodo di attivazione del generatore è dato dal tempo in cui il generatore è predisposto al funzionamento. Con riferimento ai tempi di attivazione del generatore ed al tipo di regolazione, devono essere determinate ed espresse come percentuale della potenza al focolare le seguenti quantità:

- le perdite termiche al camino con bruciatore funzionante, P_f ;
- le perdite termiche al camino a bruciatore spento, P_{fbs} ;
- le perdite termiche verso l'ambiente attraverso l'involucro del generatore, P_d .

Nel caso di centrali termiche di nuova progettazione le perdite al camino, P_f , e quelle verso l'ambiente attraverso l'involucro del generatore, P_d , in condizioni nominali, sono dichiarate dal costruttore.

In particolare:

- le perdite percentuali al camino con bruciatore funzionante, P_f , sono costituite dal complemento al 100 del rendimento termico convenzionale (rendimento di combustione);
- le perdite percentuali verso l'ambiente attraverso le pareti del generatore, P_d , sono costituite dalla differenza fra il rendimento termico convenzionale ed il rendimento termico utile (secondo UNI 7936);
- per le perdite percentuali al camino a bruciatore spento, P_{fbs} , in assenza di dati più precisi forniti dal costruttore, possono essere utilizzati i valori convenzionali riportati in seguito, riferiti ad una differenza di temperatura media dell'acqua in caldaia e quella ambiente di 50 °C.

Tabella C.6: Valori delle perdite al camino a bruciatore spento.

Tipo di generatore	P _{fb} s (%)
a combustibile liquido o a gas con bruciatore ad aria soffiata con serranda sull'aspirazione dell'aria comburente	0,1
a combustibile liquido o a gas con bruciatore ad aria soffiata senza serranda sull'aspirazione dell'aria comburente:	
- con camino di altezza fino a 10 m	0,6
- con camino di altezza maggiore di 10 m	0,8
a gas con bruciatore atmosferico e rompitroggio	0,6

Nel caso di centrali termiche esistenti possono essere utilizzati i seguenti valori:

- perdite al camino a bruciatore acceso alla potenza nominale:
il dato si rileva dal libretto di centrale o si determina attraverso un minimo di tre misure dei parametri di combustione, adottando il valore medio;
- perdite al camino a bruciatore spento:
si utilizzano i valori validi per le centrali di nuova progettazione aumentati dello 0,2%;
- perdite verso l'ambiente attraverso l'involucro del generatore:
si utilizzano i dati convenzionali riportati in seguito dove Φ_{cn} è la potenza nominale del focolare espressa in Watt e log è il logaritmo in base 10:

Tabella C.7: Valori delle perdite per trasmissione attraverso l'involucro.

Tipo di generatore	P _d (%)
in ottimo stato, ad alto rendimento	1,72 - 0,44 · log (Φ _{cn} /1000)
in ottimo stato	3,45 - 0,88 · log (Φ _{cn} /1000)
obsoleto e mediamente isolato	6,90 - 1,76 · log (Φ _{cn} /1000)
obsoleto e male isolato	8,63 - 2,20 · log (Φ _{cn} /1000)
obsoleto e privo di isolamento	10,35 - 2,64 · log (Φ _{cn} /1000)

5.1 Sottosistema di produzione con generatore a condensazione (secondo CTI-R 03/3)

Nel caso di generatori a condensazione le perdite a camino a bruciatore funzionante si determinano come segue:

$$P_f'' = P_f' - R$$

Dove R è il fattore di recupero per condensazione dato da:

$$R = 100 \cdot \frac{PCS - PCI}{PCI} \cdot \frac{c}{c_{\max}}$$

dove:

PCS è il potere calorifico superiore del combustibile in MJ/Nm³;

PCI è il potere calorifico inferiore del combustibile in MJ/Nm³;

c è la produzione effettiva di condensa in kg/Nm³;

c_{max} è la massima produzione di condensa per il combustibile considerato in kg/Nm³.

c si calcola come segue:

$$C = \frac{(C_{50} - C_{30}) \cdot \theta_r}{20} + 2,5 C_{30} - 1,5 C_{50}$$

dove:

c₅₀ è la produzione di condensa alla potenza nominale con temperatura $\theta_r = 50$ °C;

c₃₀ è la produzione di condensa alla potenza nominale con temperatura $\theta_r = 30$ °C;

θ_r è la temperatura di ritorno effettiva alla caldaia

c₃₀ e c₅₀ sono valori dichiarati dal fabbricante. In mancanza di tali dati, si utilizzano i seguenti valori di default:

$$c_{30} = 0,8 \text{ kg/Nm}^3$$

$$c_{50} = 0,1 \text{ kg/Nm}^3$$

NOTA: per il corretto utilizzo delle formule, occorre che la potenza utile del generatore sia ricalcolata in funzione del recupero. Relazione da utilizzare:

$$\Phi_u = (\Phi_{cn} + \Phi_{br} \cdot \eta_{br}) \cdot \frac{100 - P_f' + R - P_d}{100}$$

6 Calcolo della temperatura di ritorno e mandata al generatore

Per determinare i fattori di perdita corretti del generatore e della produzione di condensa sono richiesti i seguenti dati:

- θ_{av} [°C] temperatura media dell'acqua nel generatore;
- θ_r [°C] temperatura media dell'acqua di ritorno al generatore;

Il calcolo parte dal sottosistema di emissione e segue la struttura fisica dell'impianto di riscaldamento.

Il calcolo procede nel seguente ordine:

- calcolo delle temperature di mandata e ritorno delle unità terminali;
- calcolo delle temperature di mandata e ritorno dei circuiti di distribuzione;
- calcolo delle temperature di mandata e ritorno dei generatori.

1) Temperature medie di una unità terminale o di gruppi di unità terminali

Se vi è una regolazione continua della portata e/o della temperatura delle unità terminali, il risultato sarà una temperatura media degli stessi in funzione del fabbisogno di potenza medio.

La potenza media delle unità terminali Φ_{em} durante l'intervallo di calcolo è data da:

$$\Phi_{em} = \frac{Q_{hr}}{t_e} \quad [\text{W}]$$

dove:

Q_{hr} è l'energia totale fornita dal circuito di distribuzione [J];

t_e è il tempo di attivazione delle unità terminali durante l'intervallo di calcolo [s];
La temperatura media delle unità terminali $\theta_{e,av}$ è data da:

$$\theta_{e,av} = \theta_{int} + \left(\frac{\Phi_{em}}{\Phi_n} \right)^{1/n} \cdot \Delta\theta_n \quad [^{\circ}\text{C}]$$

dove:

θ_{int} è la temperatura del locale di installazione dell'unità terminali [$^{\circ}\text{C}$];

Φ_n è la potenza nominale dell'unità terminali [W];

$\Delta\theta_n$ è il salto termico nominale dell'unità terminale (differenza fra la temperatura media dell'unità terminale e la temperatura dell'ambiente in condizioni di prova) [$^{\circ}\text{C}$];

n è l'esponente caratteristico dell'unità terminale (valori di default riportati nel CTI-R 03/3); nel foglio di calcolo si assume n pari ad 1 ipotizzando quindi una variazione lineare.

2) Temperature medie di mandata e ritorno delle unità terminali

Se le unità terminali funzionano a portata costante, la differenza di temperatura $\Delta\theta_e$ fra mandata e ritorno è data da:

$$\Delta\theta_e = \frac{\Phi_{em} \cdot 0,86}{\dot{V}_d} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

dove:

\dot{V}_d è la portata d'acqua attraverso l'unità terminale [kg/h].

La temperatura di mandata $\theta_{e,f}$ è data da:

$$\theta_{e,f} = \theta_{e,av} + \frac{\Delta\theta_e}{2} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

La temperatura di ritorno $\theta_{e,r}$ è data da:

$$\theta_{e,r} = \theta_{e,av} - \frac{\Delta\theta_e}{2} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

3) Calcolo delle temperatura di mandata e ritorno dei circuiti di distribuzione¹

Se vi è connessione diretta, temperature e portate delle unità terminali e del circuito di distribuzione coincidono.

$$\theta_{d,f} = \theta_{e,f} \quad \theta_{d,r} = \theta_{e,r} \quad \dot{V}_d = \dot{V}_e$$

4) Temperature di mandata e ritorno al generatore¹

Se vi è connessione diretta, temperature e portate del generatore e del circuito di generazione coincidono.

$$\theta_{b,f} = \theta_{g,f} \quad \theta_{b,r} = \theta_{g,r} \quad \dot{V}_d = \dot{V}_e$$

La temperatura media nel generatore è data da:

$$\theta_{b,av} = \frac{\theta_{b,f} + \theta_{b,r}}{2}$$

7 Pompa di calore

I sistemi di produzione a pompa di calore, secondo la norma UNI 10348, si differenziano a seconda del tipo di energia utilizzata per il loro funzionamento:

¹ Le temperature ai capi delle unità terminali e quelle ai capi dei corrispondenti circuiti di distribuzione o del generatore possono essere diverse, in quanto ogni circuito di distribuzione e generazione può includere connessioni di miscelazione, ricircolo o by-pass. Questa possibilità verrà implementata nel foglio di calcolo in una prossima versione.

a) energia elettrica (pompe di calore a compressione di vapore azionate da motore elettrico);
 b) energia chimica di un combustibile (pompe di calore a compressione di vapore azionate da motore a combustione e pompe di calore ad assorbimento);
 e per il tipo di sorgente esterna dalla quale si preleva l'energia all'evaporatore.
 Si considerano quindi le due seguenti situazioni tipologiche all'evaporatore:

- c) temperatura esterna costante;
- d) temperatura esterna variabile.

L'energia primaria direttamente richiesta dall'apparato generatore, tenuto conto del contributo di energia termica fornito direttamente dalle pompe di circolazione al fluido termovettore, è data da:

$$Q_c = \frac{Q_p - Q_{aux}}{\overline{COP}} = \frac{Q_p - Q_{po} \cdot \eta_{po}}{\overline{COP}}$$

dove:

Q_p è l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese;

Q_{po} è l'energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione nel periodo di funzionamento;

η_{po} è la frazione utile dell'energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione o similari effettivamente trasferita al fluido (convenzionalmente assunta pari a 0,85);

\overline{COP} è il coefficiente di effetto utile medio mensile della pompa di calore valutato in termini di energia primaria.

L'energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari è data da:

$$Q_e = \frac{Q_{av} + Q_{po}}{\eta_{sen}}$$

dove:

Q_{av} è l'energia elettrica assorbita da ausiliari vari nel periodo di funzionamento;

η_{sen} è il rendimento del sistema elettrico nazionale (in assenza di obblighi specifici si può assumere pari a 0,36).

Il coefficiente di effetto utile medio mensile della pompa di calore valutato in termini di energia primaria è dato da:

$$\overline{COP} = \overline{COP}_T = \frac{Q_u}{Q_c}$$

se utilizzanti energia chimica di combustibile,

$$\overline{COP} = \overline{COP}_E \cdot \eta_{sen} = \frac{Q_u}{Q_{me}} \cdot \eta_{sen}$$

dove Q_{me} è l'energia elettrica assorbita dal motore, se utilizzanti energia elettrica.

Il valore del coefficiente di effetto utile, \overline{COP}_T o \overline{COP}_E , si determina dai dati di funzionamento della pompa di calore una volta definite le temperature di funzionamento della stessa.

Ai fini della valutazione del coefficiente di effetto utile medio mensile della pompa di calore sono necessari i seguenti dati:

- temperatura di funzionamento dell'evaporatore;
- temperatura di funzionamento del condensatore.

7.1 Temperatura esterna costante

Questa situazione si realizza quando la sorgente esterna è costituita da acqua di fiume, lago, aria di estrazione. Il valore del coefficiente di effetto utile medio mensile si può ritenere costante nel tempo. Esso è desumibile dalle caratteristiche di funzionamento della pompa di

calore una volta definiti i valori delle temperature di funzionamento. In assenza di dati specifici si può ammettere che le prestazioni del sistema varino linearmente con le temperature di funzionamento.

7.2 Temperatura esterna variabile

Questa situazione si realizza quando la sorgente esterna è costituita da aria esterna o da altri sistemi in cui la temperatura varia durante il periodo di funzionamento. In questo caso il coefficiente di effetto utile della pompa di calore varia istante per istante. In assenza di dati specifici sull'analisi di frequenza della variazione delle temperature esterne durante il periodo considerato, si può determinare il valore medio mensile del coefficiente di effetto utile facendo riferimento ai valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna.

In assenza di dati specifici si può ammettere che le prestazioni variano linearmente con la temperatura esterna.

Se θ_r rappresenta la temperatura di riferimento della sorgente fredda (temperatura nominale rispetto alla quale sono calcolate le prestazioni della macchina) il coefficiente di effetto utile si calcola come:

$$\overline{COP}(\theta) = \overline{COP}(\theta_r) \cdot \frac{\theta + 20}{\theta_r + 20} \cdot \frac{\theta_r + 80}{\theta + 80}$$

dove:

$\overline{COP}(\theta_r)$ è il coefficiente di effetto utile alla temperatura esterna nominale θ_r ;

θ è la temperatura media mensile dell'aria esterna.

APPENDICE D Calcolo del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria

Il documento CTI-R 03/3 propone, per il calcolo del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria, un metodo che è orientato al dimensionamento degli impianti ma che può portare ad una sovrastima dei consumi medi (vedi i risultati in Appendice A). Sulla base quindi delle valutazioni riportate al paragrafo 4 si ritiene, ai soli fini della certificazione energetica, di fissare un fabbisogno di acqua calda convenzionale pari a 1 litro/m²giorno. Di conseguenza l'energia necessaria si può ricavare da:

$$Q_{\text{load,s}} = 1 \cdot S \cdot 4,1868 \cdot (\theta_{\text{hw}} - \theta_{\text{cw}}) t_{\text{month s}} \quad [\text{kWh}]$$

dove:

θ_{hw} è la temperatura dell'acqua calda utilizzata ed è assunta pari a 48°C;

θ_{cw} è la temperatura dell'acqua fredda che entra nel sistema di produzione ed è in funzione della zona in esame; nel calcolo è stata assunta pari a 13°C.

t_{month} è l'intervallo di tempo, espresso in ore, corrispondente alla durata del mese considerato

1 Contributo dei collettori solari

La norma europea prEN 15316 "Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-3: space heating generation systems, thermal solar systems" riporta le espressioni da utilizzare per il calcolo dei contributi da collettori solari.

L'output del sistema termico solare è calcolato, per ogni mese, attraverso la relazione:

$$Q_{out,s} = (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{load,s} \quad [\text{kWh}]$$

dove:

$Q_{load,s}$ è il carico applicato al sistema solare termico (fabbisogno termico utile) [kWh];

a, b, c, d, e, f sono coefficienti di correlazione, definiti nell'Allegato B della norma:

Coefficiente

a	1.029
b	-0.065
c	-0.245
d	0.0018
e	0.0215
f	0

X e Y sono valori adimensionali; X è in funzione del coefficiente di perdita termico del ciclo del collettore, dalla differenza di temperatura

$$X = A U_C \eta_{loop} \Delta T c_{cap} t_{month} / (Q_{load,s} * 1000)$$

dove:

ΔT è la differenza di temperatura, rispetto la temperatura di riferimento che è assunta pari a:

$$\theta_{ref} = 11.6 + 1.18 \theta_{hw} + 3.86 \theta_{cw} - 2.32 \theta_a \quad [^{\circ}\text{C}]$$

dove:

θ_{hw} è la temperatura dell'acqua calda utilizzata ed è assunta pari a 48°C;

θ_{cw} è la temperatura dell'acqua fredda che entra nel sistema di produzione ed è in funzione della zona in esame; nel calcolo è stata assunta pari a 13°C;

θ_a è la temperatura media diurna per il periodo considerato;

c_{cap} è un coefficiente correttivo, calcolato come segue:

$$c_{cap} = (V_{ref} / V_S)^{0.25}$$

dove:

V_{ref} è il volume di riferimento ed è assunto pari a 75 litri per m²;

V_S è il volume di accumulo;

t_{month} è la durata del mese espressa in ore;

U_C è il coefficiente di perdita termica del ciclo del collettore ed è calcolato attraverso la seguente equazione:

$$U_C = a_1 + U_L/A \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

dove:

a_1 è il coefficiente di perdita di calore di prim'ordine del collettore solare (dall'en 12975-2) e relativo alla zona dell'apertura; l'allegato B della norma riporta i valori di riferimento:

- $a_1 = 3.5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ per collettore piano vetrato a flusso diretto e collettore piano vetrato con scambiatore;

- $a_1 = 1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ per collettore a tubi evacuati a flusso diretto e collettore a tubi evacuati con scambiatore;

U_L rappresenta le perdite termiche del circuito dei tubi del collettore;

$$U_L = 5 + 0.5 A \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

dove:

A è l'area di apertura del collettore [m^2].

Y è invece calcolato dalla seguente espressione, in funzione dell'irradiazione solare sulla superficie del collettore:

$$Y = A \text{ IAM } \eta_0 \eta_{\text{loop}} G_{\text{month}} t_{\text{month}} / (Q_{\text{load,s}} * 1000)$$

dove:

IAM rappresenta l'angolo di incidenza ed è funzione del tipo di collettore:

- per collettore piano vetrato: IAM = 0.94;

- per collettore a tubi evacuati: IAM = 0.97;

l'efficienza del collettore a perdita zero η_0 è indicato pari 0,8 (in accordo con EN 12975-2);

η_{loop} è l'efficienza del ciclo del collettore, che considera l'influenza dello scambiatore di calore e delle perdite termiche dal ciclo ed è indicato pari 0,8;

G_{month} è l'irradiazione solare media sul piano del collettore durante il periodo considerato [W/m^2];

Bibliografia-Normativa

CTI-R 03/3, Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari, Milano, novembre 2003;

Decreto Legislativo del 19 agosto 2005, n. 192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell'edilizia. Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23/09/2005 – Supplemento Ordinario n. 158;

D.P.R. del 15 novembre 1996, n. 660, Regolamento per l'attuazione della direttiva 92/42/CEE concernente i requisiti di rendimento delle nuove caldaie ad acqua calda, alimentate con combustibili liquidi o gassosi. Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 302 del 27/12/1996;

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia. Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee n. L1 del 4 gennaio 2003;

PrEN 13790, Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating, 2005;

prEN 15203, Energy performance of buildings - Assessment of energy use and definition of ratings, 2005;

prEN 15217, Energy performance of buildings — Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings, 2005;

prEN 15316 "Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-1: space heating generation systems, combustion systems", 2005;

prEN 15316 "Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4-3: space heating generation systems, thermal solar systems", 2005;

UNI EN 832, Prestazione termica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento. Edifici residenziali, 30/06/2001;

UNI EN ISO 6946, Componenti e elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo, 30/09/1999.

UNI 10348, Riscaldamento degli edifici. Rendimenti dei sistemi di riscaldamento. Metodi di calcolo, 30/11/1993;

UNI 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici, 30/04/1994;

UNI 10351, Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore, 31/03/1994;

UNI 10375, Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti, 30/06/1995;

UNI 13370, Prestazione termica degli edifici. Trasferimento del calore attraverso il terreno. Metodo di calcolo, 30/04/2001;

UNI EN ISO 13786, Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo, 30/04/2001;

UNI 13789, Prestazione termica degli edifici. Coefficiente di perdita di calore per trasmissione. Metodo di calcolo, 31/03/2001.