



DELIBERAZIONE N° VIII/ 003938 Seduta del 27 DIC. 2006

Presidente

ROBERTO FORMIGONI

Assessori regionali

VIVIANA BECCALOSSÌ Vice Presidente
GIAN CARLO ABELLI
DAVIDE BONI
MASSIMO BUSCEMI
RAFFAELE CATTANEO
ALESSANDRO CÉ
ROMANO COLOZZI
MASSIMO CORSARO

FRANCO NICOLI CRISTIANI
LIONELLO MARCO PAGNONCELLI
MASSIMO PONZONI
PIER GIANNI PROSPERINI
GIOVANNI ROSSONI
MARIO SCOTTI
DOMENICO ZAMBETTI
MASSIMO ZANELLO

Con l'assistenza del Segretario

Luca Dainotti

Su proposta

dell'Assessore

MASSIMO COLOZZI

Oggetto

PROCEDURA DI CALCOLO PER CERTIFICARE IL FABBISOGNO ENERGETICO DEGLI EDIFICI, IN ATTUAZIONE DELL'ART.29 DELLA L.R. 26/2003 E DELL'ART. 25 DELLA L.R. 24/2006. I PROVVEDIMENTI

COPIA
D'UFFICIO

Il Dirigente

R. Tiscar

Il Direttore Generale

Raffaella Tiscar

R. Tiscar

L'atto si compone di 42 pagine
di cui 33 pagine di allegati,
parte integrante.



PREMESSO:

- che la direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio pone l'obiettivo di promuovere il miglioramento energetico degli edifici, prevedendo che gli Stati membri applichino a livello nazionale e regionale una metodologia di calcolo del rendimento energetico degli edifici;
- che il d.lgs. 192/2005, attuativo della suddetta direttiva, stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici, rinviando a successivi decreti attuativi le metodologie di calcolo ed i requisiti minimi finalizzati al contenimento dei consumi di energia, nonché i requisiti professionali e di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti a cui affidare la certificazione energetica degli edifici;
- che l'art. 17 dello stesso decreto legislativo prevede che le norme del decreto medesimo e dei decreti attuativi si applichino, nelle materie di legislazione concorrente, per le Regioni e le Province autonome che non abbiano ancora provveduto al recepimento della direttiva 2002/91/CE;
- che l'art. 29, comma 1, lettera h) della l.r. 26/2003 include tra le funzioni regionali la disciplina delle modalità e dei criteri per certificare l'efficienza energetica degli edifici;

CONSIDERATO:

- che la Giunta regionale, con deliberazione n. 1539 del 22.12.2005 (modificata con delibera n.2183 del 22.3.2006), ha approvato lo schema di convenzione con l'Associazione Reti di Punti Energia, finalizzata all'aggiornamento del Piano d'Azione del Programma energetico regionale e all'incentivazione dell'uso razionale dell'energia e delle fonti rinnovabili;
- che tra le attività oggetto della suddetta convenzione è inclusa l'elaborazione di una proposta per certificare l'efficienza energetica degli edifici adibiti ad uso residenziale e terziario;

CONSIDERATO altresì che la 24/2006 ("Norme per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell'ambiente") prevede che la Giunta regionale:

- detti norme per ridurre e certificare il consumo energetico degli edifici esistenti, da ristrutturare e di nuova costruzione, stabilendo, in particolare, requisiti di prestazione energetica degli involucri edilizi, degli impianti termici e dei generatori di calore (art. 9, lettera a);
- definisca le modalità applicative concernenti la certificazione energetica degli edifici, le caratteristiche termofisiche minime dell'involucro edilizio ed i valori di energia primaria per il soddisfacimento del fabbisogno energetico degli edifici, tenendo conto, tra l'altro, delle diverse destinazioni d'uso, della necessità di applicare un limite massimo di fabbisogno energetico agli edifici di nuova costruzione e a quelli ristrutturati (art.25, comma 1);

CONSIDERATO che la proposta di disciplina della certificazione energetica elaborata da Punti Energia è stata oggetto di un ampio confronto con enti locali, associazioni di categoria, università, istituti per la promozione dell'edilizia bioclimatica, ecc., recependo le osservazioni pervenute laddove erano compatibili con i principi contenuti nella direttiva europea, nel d.lgs 192/2005 e nelle





norme UNI di riferimento, nonché con gli orientamenti dei gruppi di lavoro attivati a livello interregionale;

RILEVATA la necessità preliminare di definire il sistema di calcolo del fabbisogno energetico degli edifici e visto il documento allegato, scaturito dal confronto di cui sopra;

DATO ATTO che lo stesso documento dovrà essere integrato con la procedura di calcolo relativa all'illuminazione e alla climatizzazione estiva, non appena sarà approvata definitivamente la norma europea di riferimento;

DATO ATTO, altresì, che con successivi provvedimenti verrà disciplinata la procedura amministrativa per il rilascio della certificazione energetica e per la qualificazione dei certificatori, adottando linee guida specifiche per applicare la certificazione negli edifici esistenti;

A VOTI UNANIMI, palesemente espressi,

DELIBERA

1. di approvare la procedura di calcolo per certificare il fabbisogno energetico degli edifici, come definita nel documento allegato, parte integrante e sostanziale della presente deliberazione;
2. di dare atto che con successivi provvedimenti verrà definita:
 - la procedura amministrativa per il rilascio della certificazione energetica;
 - la procedura per la qualificazione dei soggetti certificatori;
3. di dare atto che la suddetta procedura, una volta completato l'iter di cui al punto 2, si applicherà:
 - nei nuovi edifici;
 - negli edifici soggetti a ristrutturazione integrale;
 - nel caso di compravendita o locazione dell'intero immobile o della singola unità immobiliare;
 - nel caso di affidamento di contratti di gestione calore o comunque nel caso di contratti che prevedono l'erogazione di un servizio energetico
- di rinviare a specifiche linee guida le modalità per applicare la certificazione energetica in casi particolari e di maggiore complessità, con particolare riferimento agli edifici esistenti.



Il Segretario

Luca Dainotti



Allegato alla deliberazione
n.3838..... del 27 DIC. 2006

Regione Lombardia
Direzione Generale Reti, Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile

CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Procedura di calcolo

Indice

0	Introduzione.....	3
1	Scopo e campo di applicazione.....	3
2	Riferimenti normativi.....	4
3	Definizioni.....	5
4	Simboli.....	6
5	Fabbisogno energetico dell'involucro per la climatizzazione invernale (Q_H).....	8
6	Energia dispersa per trasmissione (Q_T).....	8
7	Energia dispersa per ventilazione (Q_V).....	12
8	Apporti di calore (Q_G).....	14
	8.1 Apporti di calore interni (Q_{Gi}).....	14
	8.2 Apporti di calore solari (Q_{Gs}).....	15
	8.3 Apporti solari dovuti a spazi soleggiati (Q_{Gs_s}).....	16
	8.4 Fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti (η_U).....	19
9	Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale (Q_{EPH}).....	22
	9.1 Rendimento globale medio mensile ($\eta_{g,m}$).....	23
	9.1.1 Rendimento di emissione (η_e).....	23
	9.1.2 Rendimento di regolazione (η_c).....	23
	9.1.3 Rendimento di distribuzione (η_d).....	24
	9.1.4 Rendimento di produzione medio mensile ($\eta_{p,m}$).....	25
10	Fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda ad usi sanitari (Q_{ACS}).....	30
11	Fabbisogno energetico di energia primaria per la produzione di acqua calda ad usi sanitari (Q_{EPACS}).....	32
	11.1 Rendimento di erogazione (η_{eACS}).....	33
	11.2 Rendimento di distribuzione (η_{dACS}).....	33
	11.3 Rendimento di produzione medio mensile nel mese ($\eta_{pACS,m}$).....	33
	11.4 Fabbisogno di energia primaria per impianti combinati.....	35
12	Contributi dovuti alle fonti energetiche rinnovabili.....	35
	12.1 Solare termico.....	35
	12.2 Solare fotovoltaico.....	37
13	Indicatori di prestazione energetica.....	39



0 Introduzione

Il presente documento è finalizzato a definire una procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici. Gli algoritmi utilizzati sono stati mutuati da norme UNI. Assunte la UNI 13790 e la UNI 832 quali riferimenti normativi principali, sono state a questa apportate alcune modifiche, in parte riprese da specifiche raccomandazioni del Comitato Termotecnico Italiano, così da rendere il calcolo il più oggettivo possibile evitando discrezionalità nella interpretazione delle regole.

In ragione dell'evoluzione del quadro normativo nazionale e comunitario, in funzione delle definizioni di nuove procedure aggiuntive per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e di eventuali suggerimenti che potranno venire dai diversi portatori d'interesse coinvolti, Regione Lombardia si riserva la possibilità di modificare e integrare il presente documento.

Regione Lombardia intende altresì, al fine di assicurare un'applicazione ottimale di questa procedura, emanare opportune disposizioni tecnico amministrative che permetteranno di standardizzare il più possibile l'intera operazione di certificazione energetica (dal rilievo dei dati al rilascio dell'attestato e della targa).

1 Scopo e campo di applicazione

In attuazione della direttiva 2002/91/CE e del dlgs 192/05 e fino alla definizione di una normativa tecnica nazionale o europea che fissi una metodologia di calcolo per la certificazione energetica degli edifici, Regione Lombardia, all'interno di un quadro più ampio di attività volte a ridurre le emissioni inquinanti e climalteranti, intende, attraverso lo strumento della certificazione energetica, ridurre sensibilmente il fabbisogno energetico degli edifici. La procedura di calcolo qui di seguito descritta si pone come strumento indispensabile attraverso il quale valutare le performance energetiche degli edifici, così da poter verificare da un lato l'effettiva conformità di questi ai requisiti minimi di legge fissati a livello nazionale e regionale e dall'altro di consentire ad ogni cittadino, attraverso il certificato e la targa energetica, di riconoscere la qualità del sistema edificio-impianto esaminato.

La procedura deve essere applicata nei seguenti casi:

- negli edifici di nuova costruzione;
- negli edifici oggetto di ristrutturazione integrale;
- nel caso di compravendita o locazione dell'intero immobile o della singola unità immobiliare;
- nel caso di affidamenti di contratti gestione calore o comunque di contratti che prevedono l'erogazione di un servizio energetico.

Essa si applica a tutte le categorie di edifici con le seguenti esclusioni:

- gli immobili ricadenti nell'ambito della disciplina della parte seconda e dell'articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n.42, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio;
- i fabbricati industriali, artigianali e agricoli non residenziali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo o utilizzando reflui energetici del processo produttivo non altrimenti utilizzabili;
- i fabbricati isolati con una superficie utile riscaldata totale inferiore a 50 metri quadrati.

Le disposizioni tecnico amministrative che Regione Lombardia intende emanare permetteranno di chiarire le modalità applicative per la risoluzione dei casi specifici e di maggiore complessità.



Gli usi di energia considerati nella procedura di calcolo sono i seguenti:

- riscaldamento;
- ventilazione;
- produzione di acqua calda per usi igienico – sanitari.

Nella definizione degli indicatori di prestazione energetica si considerano anche gli apporti energetici dovuti alle fonti rinnovabili di energia ed in particolare:

- impianti solari termici;
- impianti per la produzione di energia elettrica alimentati a fonti di energia rinnovabile;
- serre solari.

Nel caso di singole unità immobiliari poste all'interno di un edificio, si potrà comunque procedere alla loro certificazione energetica. Questa, qualora gli impianti preposti al riscaldamento e alla produzione di acqua calda per usi igienico – sanitari fossero centralizzati, dovrà riguardare la sola determinazione del fabbisogno energetico specifico dell'involucro. In linea generale si dovrà tener presente che per ciascun edificio è fatto obbligo di produrre tanti attestati di certificazione energetica quanti sono gli impianti termici preposti al riscaldamento dell'edificio.

2 Riferimenti normativi

Le norme qui elencate costituiscono i riferimenti sui quali si basa la procedura di calcolo qui di seguito descritta. Nel definire le modalità di calcolo sono state altresì considerate le diverse esperienze promosse in questi ultimi anni a livello comunitario e nazionale.

UNI 13790	Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento.
UNI 832	Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento - Edifici residenziali.
UNI 10348	Riscaldamento degli edifici - Rendimenti dei sistemi di riscaldamento - Metodo di calcolo.
UNI EN 13789	Prestazione termica degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione - Metodo di calcolo.
UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici.
UNI 10351	Materiali da costruzione - Conduttività termica e permeabilità al vapore.
UNI 10355	Murature e solai - Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.
UNI EN ISO 6946	Componenti e elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.
UNI 10379	Riscaldamento degli edifici - Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato. Metodo di calcolo e verifica.
UNI 10339	Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti - Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.
CTI Sottocomitato n.6 Giugno 2003	Raccomandazione per l'utilizzo della norma UNI 10348 ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria e del rendimento degli impianti di riscaldamento e/o di produzione di acqua calda per usi igienico - sanitari.
CTI Novembre 2006 Revisione 09.11.2006	Prestazioni energetiche degli edifici – Climatizzazione invernale e preparazione dell'acqua calda per usi igienico – sanitari. Calcolo del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti.
UNI 8477/1	Energia solare – Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia – Valutazione dell'energia raggiante ricevuta.



3 Definizioni

Poiché le norme precedentemente ricordate sono state redatte in tempi, sedi e in lingue diverse, si è ritenuto opportuno, al fine di evitare problemi di interpretazione, provvedere alla precisazione di alcune definizioni fondamentali.

- 3.1 Ambiente circostante:** è qualsiasi ambiente contiguo a quello riscaldato oggetto di certificazione, compreso l'ambiente esterno.
- 3.2 Ambiente non riscaldato:** è qualsiasi ambiente contiguo a quello riscaldato oggetto di certificazione.
- 3.1 Attestato di certificazione energetica dell'edificio:** è il documento redatto nel rispetto della procedura di calcolo qui descritta, attestante la prestazione energetica ed alcuni parametri energetici caratteristici dell'edificio o delle singole unità immobiliari.
- 3.3 Certificazione energetica dell'edificio:** il complesso delle operazioni volte alla definizione delle prestazioni energetiche dell'edificio oggetto di certificazione.
- 3.4 Climatizzazione invernale o estiva:** è l'insieme di funzioni atte ad assicurare il benessere degli occupanti mediante il controllo, all'interno degli ambienti, della temperatura e della portata di rinnovo dell'aria.
- 3.5 Edificio:** è un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi a un intero edificio oppure a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti.
- 3.6 Edificio di nuova costruzione:** è un edificio per il quale la richiesta di permesso di costruire o denuncia di inizio attività, sia stata presentata successivamente alla data di entrata in vigore dell'impianto normativo regionale in materia di certificazione energetica.
- 3.7 Edificio oggetto di ristrutturazione importante:** è un edificio per il quale una quota superiore al 25% della superficie esterna degli elementi che delimitano il volume riscaldato è oggetto di ristrutturazione.
- 3.8 Generatore di calore o caldaia:** è il complesso bruciatore-caldaia che permette di trasferire al fluido termovettore il calore prodotto dalla combustione.
- 3.9 Impianto termico:** è un impianto tecnologico destinato alla climatizzazione estiva ed invernale degli ambienti con o senza produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari o alla sola produzione centralizzata di acqua calda per gli stessi usi, comprendente eventuali sistemi di produzione, distribuzione e utilizzazione del calore nonché gli organi di regolazione e di controllo; sono compresi negli impianti termici gli impianti individuali di riscaldamento, mentre non sono considerati impianti termici apparecchi quali: stufe, caminetti, apparecchi per il riscaldamento localizzato ad energia radiante, scaldacqua unifamiliari.
- 3.10 Pompa di calore:** è un dispositivo o un impianto che sottrae calore dall'ambiente esterno o da una sorgente di calore a bassa temperatura e lo trasferisce all'ambiente a temperatura controllata.



- 3.11 Ponte termico:** è la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro).
- 3.12 Prestazione energetica di un edificio:** è la quantità annua di energia che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi la climatizzazione invernale, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione. Tale quantità viene espressa da uno o più indicatori.
- 3.13 Spazio soleggiato:** sono ambienti non riscaldati prossimi ad ambienti riscaldati, quali serre e verande, in cui c'è una parete divisoria tra il volume riscaldato e lo spazio soleggiato.
- 3.14 Superficie utile:** è la superficie netta calpestabile riscaldata dell'ambiente oggetto di certificazione energetica.
- 3.15 Targa energetica:** è l'attestazione del fabbisogno energetico dell'edificio espresso da uno o più indicatori.
- 3.16 Trasmittanza termica:** è flusso di calore che passa attraverso una parete per m^2 di superficie della parete e per grado K di differenza tra la temperatura interna ad un locale e la temperatura esterna o del locale contiguo.
- 3.17 Volume utile:** è il volume netto riscaldato dell'ambiente oggetto di certificazione energetica.

4 Simboli

La codifica dei simboli utilizzati è riportata nel prospetto che segue.

Grandezza	Simbolo	Unità di misura
Energia	Q	kWh
Potenza termica	ϕ	kW
Potenza elettrica	W	kW
Coefficiente di dispersione termica per trasmissione	H_T	W/K
Coefficiente di dispersione termica per ventilazione	H_v	W/K
Rendimento	η	%
Perdita termica percentuale	P	%
Periodo di tempo	t_m	h
Temperatura	θ	°C
Volume netto riscaldato	V	m^3
Superficie utile	A	m^2
Superficie lorda	A_L	m^2
Altitudine	z	m
Gradiente verticale di temperatura	δ	°C/m
Trasmittanza termica	U	W/ m^2 K
Capacità termica volumica dell'aria	$\rho_a C_a$	Wh/ m^3 K
Portata d'aria di rinnovo	V_a	m^3/h
Numero di ricambi d'aria	n	h^{-1}
Portata d'aria esterna	Q_{op}	m^3/h



Periodo di occupazione giornaliero	f_{oc}	h/g
Indice di affollamento	n_s	persone/m^2
Apporti interni globali	ω	W/m^2
Numero di giorni nel mese	N_m	g
Irradiazione solare globale giornaliera	H_s	$kWh/m^2 g$
Trasmittanza per energia solare della superficie trasparente	g	-
Coefficiente di riduzione dovuto al telaio	F_T	-
Capacità termica volumica	c	Wh/m^3K
Costante di tempo	τ	h
Fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti	η_u	-
Fattore di recupero per condensazione	R	%
Fattore di carico	FC	%
Fattore di carico utile	CP	%
Coefficiente di effetto utile di una pompa di calore	COP	%
Fattore di correzione che tiene conto del numero di bagni	f_{bagni}	-
Energia specifica mensile prodotta da impianti solari termici	I_{ST}	$kWh/m^2 \text{ mese}$
Energia specifica mensile prodotta da impianti solari fotovoltaici	I_{FV}	$kWh/m^2 \text{ mese}$

Prospetto I – Simboli fondamentali e unità di misura



5 Fabbisogno energetico dell'involucro per la climatizzazione invernale (Q_H)

Viene definito un fabbisogno energetico dell'involucro per la climatizzazione invernale, Q_H , calcolato su base mensile e considerando i limiti di esercizio degli impianti di riscaldamento così come stabiliti nel prospetto che segue.

Zona climatica	Periodo di funzionamento dell'impianto
Zona D	1 novembre – 15 aprile
Zone E - F	15 ottobre al 15 aprile

Prospetto II – Periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento definito in funzione della zona climatica.

Ai fini della seguente procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici si considera quanto segue:

- il fabbisogno energetico dell'involucro per la climatizzazione invernale, Q_H , è riferito al funzionamento continuo, cioè al mantenimento di una temperatura interna dell'edificio costante nel tempo e considerando la durata giornaliera di accensione dell'impianto pari a 24 ore;
- la temperatura interna di progetto degli spazi riscaldati si assume pari a 20 °C;
- la suddivisione degli spazi riscaldati dell'edificio in zone termiche non è richiesta in quanto si assume che la temperatura di progetto di questi sia uniforme.

Il fabbisogno energetico dell'involucro per la climatizzazione invernale, Q_H , sarà dato dalla differenza tra l'energia totale dispersa dallo stesso (per trasmissione e ventilazione) e gli apporti gratuiti (interni e esterni).

Per quanto riguarda gli apporti gratuiti si dovrà considerare anche un fattore correttivo legato al loro utilizzo così come previsto dalla norma UNI EN 832.

Esplicitando quando detto sopra si ottiene la seguente equazione di bilancio:

$$Q_H = (Q_T + Q_V) - \eta_U \cdot (Q_I + Q_S) \quad (1)$$

dove:

Q_T è l'energia dispersa per trasmissione tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente circostante;

Q_V è l'energia dispersa per ventilazione tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente circostante;

η_U è il fattore di utilizzazione degli apporti energetici gratuiti;

Q_I è l'energia dovuta agli apporti gratuiti interni;

Q_S è l'energia dovuta agli apporti gratuiti esterni.

6 Energia dispersa per trasmissione (Q_T)

L'energia totale scambiata per trasmissione dall'edificio, Q_T , è data dalla relazione:

$$Q_T = \sum_{m=1}^n (Q_{T,m}^e + Q_{T,m}^{nr}) - Q_{Ss} \quad (2)$$

dove:

n è il numero di mesi della stagione di riscaldamento;

$Q_{T,m}^e$ è l'energia dispersa per trasmissione tra lo spazio riscaldato e l'ambiente esterno nel mese m^{esimo} ;



$Q_{T,m}^{nr}$ è l'energia dispersa per trasmissione tra lo spazio riscaldato e l'ambiente non riscaldato nel mese m^{esimo} .

Q_{ss} è il contributo energetico che un eventuale spazio soleggiato apporta allo spazio riscaldato.

Nel caso siano presenti serre solari addossate all'edificio, nel calcolo dell'energia dispersa per trasmissione, Q_T , dovranno essere considerate sia l'energia dispersa (per trasmissione) attraverso la parete divisoria tra ambiente riscaldato e serra sia il contributo energetico generato dallo spazio soleggiato stesso (si veda § 8.3).

L'energia dispersa per trasmissione tra lo spazio riscaldato e l'ambiente esterno nel mese m^{esimo} , $Q_{T,m}^e$, è definita dalla seguente relazione:

$$Q_{T,m}^e = H_T^e \cdot (\theta_i - \theta_{e,m}) \cdot t_m \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

dove:

H_T^e è il coefficiente di dispersione termica per trasmissione verso l'esterno;

θ_i è la temperatura interna di progetto (pari a 20 °C);

$\theta_{e,m}$ è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna;

t_m indica le ore di funzionamento dell'impianto di riscaldamento nel mese considerato;

10^{-3} è il fattore di conversione da Wh a kWh.

Il calcolo dell'energia dispersa per trasmissione tra l'ambiente riscaldato e gli ambienti non riscaldati nel mese m^{esimo} , $Q_{T,m}^{nr}$, viene eseguito per mezzo della seguente relazione:

$$Q_{T,m}^{nr} = H_T^{nr} \cdot \left(\theta_i - \frac{\theta_i + \theta_{e,m}}{2} \right) \cdot t_m \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

dove:

H_T^{nr} è il coefficiente di dispersione termica per trasmissione verso ambienti non riscaldati.

I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia, $\theta_{e,m}$, sono riportati nel prospetto III. Per la definizione di $\theta_{e,m}$ per il singolo comune si applica una temperatura corretta che tiene conto della diversa localizzazione e altitudine del comune considerato rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica il capoluogo di provincia di appartenenza del comune considerato;
- si apporta una correzione al valore della temperatura del capoluogo di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questo e il comune considerato, secondo la relazione:

$$\theta_{e,m} = \theta_{e,m}^r - (z - z^r) \cdot \delta \quad (5)$$

dove:

$\theta_{e,m}^r$ è la temperatura nel capoluogo di riferimento nel mese m^{esimo} (prospetto III);

z è l'altitudine s.l.m. del comune considerato;

z^r è l'altitudine s.l.m. del capoluogo di riferimento (prospetto III);

δ è il gradiente verticale di temperatura, il cui valore è assunto pari a 1/178 [°C/m].

Come si evince dall'equazione 4 la temperatura di tutti gli ambienti contigui a quello oggetto di certificazione energetica viene determinata come media tra la temperatura interna, θ_i , e quella media mensile della temperatura media giornaliera esterna, $\theta_{e,m}$.

Il coefficiente di dispersione termica per trasmissione dell'edificio, H_T , tiene conto:

- delle dispersioni di calore attraverso le strutture che separano l'ambiente riscaldato dall'ambiente esterno;
- delle dispersioni di calore verso ambienti non riscaldati;
- delle dispersioni di calore verso il terreno.

Il coefficiente di dispersione termica per trasmissione per i componenti opachi e vetrati rivolti verso l'esterno, H_T^e , viene calcolato attraverso la relazione¹:

$$H_T^e = \sum_{j=1}^a (A_{L,j}^e \cdot U_j^e) \quad (6)$$

dove:

a è il numero di componenti termicamente uniformi disperdenti verso l'esterno;

$A_{L,j}^e$ è l'area lorda di ciascun componente, j , termicamente uniforme rivolto verso l'esterno;

U_j^e è la trasmittanza termica di ciascun componente, j , rivolto verso l'esterno.

Comune	ZC	Altitudine [m]	Ottobre [°C]	Novembre [°C]	Dicembre [°C]	Gennaio [°C]	Febbraio [°C]	Marzo [°C]	Aprile [°C]
Bergamo	E	249	14,2	8,6	4,5	3,1	4,9	8,9	13,3
Brescia	E	149	14,0	7,8	3,5	1,5	4,2	9,3	13,5
Cremona	E	45	13,4	7,2	2,5	0,7	3,3	8,4	13,3
Como	E	201	13,7	8,4	4,4	2,9	5,0	8,8	12,7
Lecco	E	214	14,3	9,2	5,3	3,9	5,7	9,6	13,3
Lodi	E	87	13,4	7,3	2,5	0,9	3,3	8,6	13,5
Mantova	E	19	14,0	8,0	2,9	1,0	3,3	8,4	13,3
Milano	E	122	14,0	7,9	3,1	1,7	4,2	9,2	14,0
Pavia	E	77	13,3	7,1	2,3	0,5	3,2	8,4	12,9
Sondrio	E	307	12,4	6,6	1,7	0,5	3,3	8,2	12,6
Varese	E	382	11,2	5,3	1,9	1,2	1,9	6,0	10,4

ZC indica la zona climatica della località.

Prospetto III – Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna, $\theta_{e,m}$.
(Fonte: UNI 10349).

Mentre il coefficiente di dispersione termica per trasmissione per i componenti opachi e vetrati rivolti verso ambienti non riscaldati, H_T^{nr} , viene calcolato attraverso la relazione:

$$H_T^{nr} = \sum_{j=1}^b (A_{L,j}^{nr} \cdot U_j^{nr}) \quad (7)$$

dove:

b è il numero di componenti termicamente uniformi disperdenti verso ambienti non riscaldati;

$A_{L,j}^{nr}$ è l'area lorda di ciascun componente, j , termicamente uniforme rivolto verso ambienti non riscaldati;

¹ Si ricorda che qualora vi sia la presenza di uno (o più) spazi soleggiati è necessario sommare, ai fini del calcolo dell'energia dispersa per trasmissione tra l'edificio e l'ambiente circostante, Q_T , al valore di H_T^e il valore H_S calcolato come specificato alla 25.



U_{nr} è la trasmittanza termica di ciascun componente, j , rivolto verso ambienti non riscaldati.

La trasmittanza termica dei componenti opachi dovrà essere determinata tenendo conto che:

- le proprietà termofisiche dei materiali devono essere desunte da dichiarazioni del produttore, oppure, qualora queste non siano disponibili, ricavate dalla norma UNI 10351;
- le resistenze termiche dei componenti opachi devono essere calcolate mediante la norma UNI 10355;
- i coefficienti superficiali di scambio termico e le resistenze termiche delle intercapedini d'aria devono essere conformi ai valori stabiliti dalla norma UNI EN ISO 6946.

Al fine di semplificare la procedura di calcolo i ponti termici non vengono considerati separatamente. Recependo le indicazioni del CTI², l'effetto dei ponti termici viene determinato in modo indiretto incrementando il valore di trasmittanza termica della parete in cui sono presenti. Le maggiorazioni si applicano alle dispersioni della parete opaca e tengono conto anche della presenza dei ponti termici relativi ad eventuali serramenti. Nel prospetto IV sono indicate le maggiorazioni percentuali da applicare in funzione delle caratteristiche della parete.

Descrizione della parete	Maggiorazione
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto senza aggetti-balconi)	0 %
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto con aggetti-balconi)	5 %
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra	5 %
Parete a cassa vuota con mattoni forati	10 %
Parete isolata	20 %
Pannello prefabbricato in cls	30 %

Prospetto IV – Maggiorazioni percentuali relative alla presenza di ponti termici.

(Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

Il prospetto V riporta i valori di trasmittanza termica dei cassonetti da utilizzare nel calcolo.

Tipologia cassonetto	Trasmittanza termica
Cassonetto non isolato*	6
Cassonetto isolato	1

* si considerano isolate quelle strutture che hanno un isolamento termico non inferiore ai 2 cm.

Prospetto V – Trasmittanza termica dei cassonetti [W/m²K].

(Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

² Comitato termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003.



7 Energia dispersa per ventilazione (Q_v)

L'energia totale dispersa per ventilazione dell'ambiente riscaldato, Q_v , è calcolata mediante la seguente relazione:

$$Q_v = \sum_{m=1}^n (Q_{v,m}^e + Q_{v,m}^{nr}) \quad (8)$$

dove:

n è il numero di mesi della stagione di riscaldamento;

$Q_{v,m}^e$ è l'energia dispersa per ventilazione tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente esterno nel mese m^{esimo} ;

$Q_{v,m}^{nr}$ è l'energia dispersa per ventilazione tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente non riscaldato nel mese m^{esimo} .

L'energia dispersa per ventilazione tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente esterno nel mese m^{esimo} , $Q_{v,m}^e$, è definita dalla seguente relazione:

$$Q_{v,m}^e = H_v \cdot (\theta_i - \theta_{e,m}) \cdot t_m \cdot (1 - \eta_{RCV}) \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

dove:

H_v è il coefficiente di dispersione termica per ventilazione dell'edificio;

θ_i è la temperatura interna di progetto (pari a 20 °C);

$\theta_{e,m}$ è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna;

t_m indica le ore di funzionamento dell'impianto di riscaldamento nel mese considerato;

η_{RCV} è l'efficienza del recuperatore di calore (pari a 0 se assente).

Mentre il calcolo dell'energia dispersa per ventilazione tra l'ambiente riscaldato oggetto di certificazione e l'ambiente non riscaldato nel mese m^{esimo} viene eseguito per mezzo della:

$$Q_{v,m}^{nr} = H_v \cdot \left(\theta_i - \frac{\theta_i + \theta_{e,m}}{2} \right) \cdot t_m \cdot (1 - \eta_{RCV}) \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

Qualora sia necessario certificare un edificio suddiviso in zone a diversa destinazione d'uso (p.e. residenziale e terziario), il calcolo delle perdite per ventilazione deve essere eseguito suddividendo l'ambiente riscaldato in un numero di zone corrispondenti alle diverse destinazioni d'uso.

Il coefficiente di dispersione termica per ventilazione dell'edificio, H_v , viene calcolato dalla relazione:

$$H_v = \sum_{j=1}^c (V_{a,j} \cdot \rho_a \cdot C_a) \quad (11)$$

dove:

c è il numero di zone dell'edificio con i medesimi ricambi d'aria;

V_a è la portata d'aria di rinnovo di ciascuna zona, j , con ricambi d'aria uniformi;

$\rho_a \cdot C_a$ è la capacità termica volumica dell'aria.

Se la portata d'aria, V_a , è espressa in m^3/s , allora $\rho_a \cdot C_a = 1200 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$. Se V_a è dato in m^3/h allora $\rho_a \cdot C_a = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$.



La portata d'aria di rinnovo di ciascuna zona viene calcolata come segue:

$$V_a = V \cdot n \quad (12)$$

dove:

V è il volume netto dell'ambiente riscaldato considerato;

n è il numero di ricambi d'aria previsti in funzione della destinazione d'uso.

All'interno di un edificio, allo scopo di assicurare sufficienti condizioni sia igieniche che di comfort, è necessario garantire una portata minima d'aria di ventilazione. Inevitabilmente questo rinnovo d'aria negli ambienti determina un incremento dell'energia dispersa.

Il numero dei volumi d'aria ricambiati in un'ora si determina come segue:

- per gli edifici residenziali, qualora non sussistano ricambi d'aria controllati, esso è fissato convenzionalmente in $0,5 [h^{-1}]$;
- per tutti gli altri edifici (e per gli edifici residenziali qualora sia presente un sistema di ventilazione meccanica) si assumono i valori di ricambio d'aria calcolati secondo la relazione:

$$n = 0,15 \cdot \frac{(24 - f_{oc})}{24} + \frac{(Q_{op} \cdot f_{oc} \cdot n_s \cdot A)}{2400 \cdot V} \quad (13)$$

dove:

f_{oc} è il periodo di occupazione giornaliero dei locali espresso in ore (prospetto VI);

Q_{op} è la portata d'aria esterna richiesta nel periodo di occupazione dei locali (prospetto VI);

n_s è l'indice di affollamento, ossia il numero di persone ai fini progettuali per ogni metro quadrato di superficie calpestabile (prospetto VII);

A è la superficie utile;

V è il volume netto dell'ambiente riscaldato considerato.

Classificazione degli edifici per categoria	f_{oc}	Q_{op}
Edifici residenziali, collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi	24	39,6
Alberghi, pensioni	8	39,6
Edifici per uffici e assimilabili	8	39,6
Ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	24	39,6
Edifici adibiti ad attività ricreative, associative e di culto	8	28,8
Attività commerciali e assimilabili	8	36
Edifici adibiti ad attività sportive	8	36
Edifici adibiti ad attività scolastiche	8	21,6

f_{oc} , periodo di occupazione giornaliero dei locali [h].

Q_{op} , è la portata d'aria esterna o di estrazione [m^3/h per persona].

Prospetto VI – Periodo di occupazione giornaliero dei locali, f_{oc} , e portata d'aria esterna, Q_{op} , in edifici adibiti ad uso civile.
(Fonte: UNI 10339).



Classificazione degli edifici per categoria	n_s
Edifici residenziali, collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi	0,10
Alberghi, pensioni	0,05
Edifici per uffici e assimilabili	0,12
Ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	0,08
Edifici adibiti ad attività ricreative, associative e di culto	1,00
Attività commerciali e assimilabili	0,25
Edifici adibiti ad attività sportive	0,70
Edifici adibiti ad attività scolastiche	0,50

n_s , indice di affollamento per ogni metro quadro di superficie.

Prospetto VII – Indici di affollamento per ogni metro quadro di superficie calpestabile, n_s .
(Fonte: UNI 10339).

8 Apporti di calore (Q_G)

L'apporto di calore totale, Q_G , viene determinato mediante la seguente relazione:

$$Q_G = Q_I + Q_S \quad (14)$$

dove:

Q_I è l'energia dovuta agli apporti gratuiti interni;

Q_S è l'energia dovuta agli apporti gratuiti solari.

8.1 Apporti di calore interni (Q_I)

Qualunque calore generato all'interno dello spazio riscaldato, con l'esclusione del sistema di riscaldamento, contribuisce ad accrescere i cosiddetti apporti di calore interni, Q_I .

Tra le principali sorgenti di calore interne vi sono:

- gli apporti dovuti al metabolismo degli occupanti;
- il calore sprigionato dalle apparecchiature elettriche e dagli apparecchi di illuminazione;

Gli apporti di calore dovuti alla presenza di queste sorgenti sono ricavati mediante la seguente relazione:

$$Q_I = \sum_{m=1}^n Q_{I,m} \quad (15)$$

dove:

$Q_{I,m}$ è l'energia dovuta agli apporti gratuiti interni nel mese m^{esimo} .

L'energia dovuta agli apporti gratuiti interni nel mese m^{esimo} , $Q_{I,m}$, viene definita dalla seguente relazione:

$$Q_I = N_m \cdot A_L \cdot \omega \cdot f_{oc} \cdot 10^{-3} \quad (16)$$

dove:

N_m è il numero dei giorni del mese considerato;

A_L è l'area lorda riscaldata in pianta;



ω è il valore globale degli apporti interni;
 f_{oc} è il periodo di occupazione giornaliero dei locali espresso in ore (prospetto VI);
 10^{-3} è il fattore di conversione da Wh a kWh .

Il valore degli apporti globali, ω , da utilizzare a seconda della destinazione d'uso dell'edificio è indicato al prospetto VIII.

Destinazione d'uso	Apporti globali ω	Unità di misura
Edifici residenziali, collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi, alberghi e pensioni con area lorda riscaldata in pianta $A_L \leq 200 \text{ m}^2$	6,25 – 0,02 · A	W/m^2
Edifici adibiti ad uffici e assimilabili, edifici adibiti ad attività ricreative, associative e di culto, edifici adibiti ad attività sportive e attività scolastiche	6	W/m^2
Edifici adibiti ad attività commerciali, ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	8	W/m^2

Per edifici residenziali, collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi, alberghi e pensioni con area lorda riscaldata in pianta superiore a 200 m^2 il valore degli apporti gratuiti, $Q_{i,m}$, è ricavato dal prodotto tra $10,8 \text{ kWh/giorno}$ (dato a sua volta dal prodotto tra $450 [W]$ e il fattore di occupazione, f_{oc}) e il numero dei giorni del mese considerato, N_m .

Prospetto VIII – Valori globali degli apporti interni.

(Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

8.2 Apporti solari (Q_s)

L'energia dovuta agli apporti solari sulle superfici trasparenti nella stagione di riscaldamento, Q_s , viene calcolata mediante la seguente relazione:

$$Q_s = \sum_{m=1}^n Q_{s,m} \quad (17)$$

dove gli apporti solari sulle superfici trasparenti nel mese m^{esimo} , $Q_{s,m}$, vengono definiti così come segue:

$$Q_{s,m} = N_m \cdot \sum_{j=1}^d \overline{H}_{s,m,j} \cdot \left(\sum_{i=1}^v A_{L,i} \cdot g_{L,i} \cdot F_T \right) \quad (18)$$

dove:

- N_m numero dei giorni del mese m^{esimo} ;
- d è il numero di esposizioni delle superfici trasparenti;
- $\overline{H}_s$ è l'irradiazione solare globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente con esposizione j ;
- v è il numero di superfici per esposizione;
- A_L è l'area lorda della superficie del serramento vetrato i^{esimo} (assunta pari a quella dell'apertura realizzata sulla parete);
- F_T è il coefficiente di riduzione dovuto al telaio, pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata (si assume un valore convenzionale pari a 0,87);
- g_L è la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento i^{esimo} (alcuni valori indicativi del coefficiente di trasmissione solare g_L di alcuni tipi di vetri sono riportati nel prospetto IX. Tali valori devono essere utilizzati solo quando non sono disponibili dati più precisi forniti dal costruttore).



Tipo di vetro	g_L
Vetro singolo	0,82
Vetro singolo selettivo	0,66
Doppio vetro normale	0,70
Doppio vetro con rivestimento selettivo pirolitico	0,64
Doppio vetro con rivestimento selettivo catodico	0,62
Triplo vetro normale	0,60
Triplo vetro con rivestimento selettivo pirolitico	0,55
Triplo vetro con rivestimento selettivo catodico	0,53

Prospetto IX – Valori della trasmittanza per energia solare totale, g_L , per i due tipi di vetrare più comuni.
(Fonte: Comitato termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

Dato che gli apporti solari su pareti esterne opache rappresentano una piccola parte degli apporti solari totali e considerato anche che sono parzialmente compensati dalla dispersione per radiazione dell'edificio verso l'esterno, possono essere trascurati (così come precisato dalla norma UNI EN 832, Appendice D.5).

8.3 Apporti solari dovuti a spazi soleggiati (Q_{ss})

La procedura di seguito descritta viene applicata in caso di spazi soleggiati non riscaldati prossimi a spazi riscaldati (esempio verande e serre adiacenti) in cui è presente una parete divisoria tra il volume riscaldato e quello soleggiato.

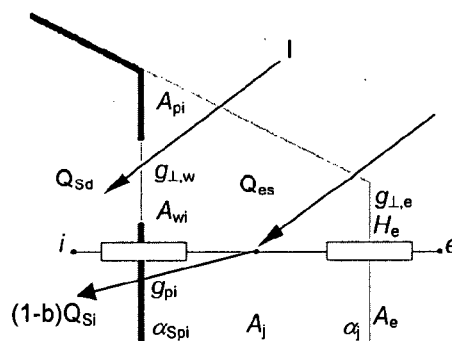


Fig. 1 – Spazio soleggiato contiguo a uno spazio riscaldato, con indicati i coefficienti di dispersione termica e degli apporti.

Se invece o lo spazio soleggiato è riscaldato, o è presente una apertura permanente fra lo spazio riscaldato e quello soleggiato, allora tutta questa volumetria deve essere considerata e conseguentemente trattata come spazio riscaldato.

L'area che si dovrà considerare per le perdite e per gli apporti solari sarà quella dell'involucro esterno dello spazio soleggiato.

L'apporto solare che lo spazio soleggiato garantisce allo spazio riscaldato, Q_{ss} , è dato dalla seguente relazione:

$$Q_{ss} = \sum_{m=1}^n (Q_{sd,m} + Q_{si,m}) \quad (19)$$

dove:

$Q_{Sd,m}$ sono gli apporti diretti attraverso la parete divisoria nel mese m^{esimo} ;

$Q_{Si,m}$ sono gli apporti indiretti derivanti dallo spazio soleggiato riscaldato dal sole nel mese m^{esimo} .

Gli apporti solari diretti nel mese m^{esimo} , $Q_{Sd,m}$, sono la somma degli apporti derivanti dalle parti trasparenti ed opache della parete divisoria, ovvero:

$$Q_{Sd,m} = N_m \cdot \bar{H}_{S,m} \cdot F_{Twe} \cdot g_{\perp we} \cdot \left(\sum_{v=1}^e F_{Twv} \cdot g_{\perp wi,v} \cdot A_{Lwi,v} + \sum_{j=1}^f \alpha_{Spi,j} \cdot A_{Lpi,j} \cdot \frac{U_{pi,j}}{U_{pe,j}} \right) \quad (20)$$

dove:

N_m numero dei giorni del mese considerato;

$\bar{H}_{S,m}$ è l'irradiazione solare globale giornaliera media mensile incidente sulla parete considerata (prospetto XI).

F_T fattore di ombreggiatura del telaio (pedice *we* per l'elemento vetrato dello spazio soleggiato, pedice, *wi*, per l'elemento posto tra l'ambiente riscaldato e la serra);

$g_{\perp}$ trasmittanza dell'energia solare totale delle vetrate (pedice, *we*, per l'elemento vetrato dello spazio soleggiato, pedice *wi* per l'elemento posto tra l'ambiente riscaldato e la serra);

e è il numero di elementi vetrati termicamente uniformi posti tra l'ambiente riscaldato e la serra;

A_{Lwi} area lorda dell'elemento trasparente posto sulla parete divisoria tra l'ambiente riscaldato e la serra;

f è il numero di superfici assorbenti termicamente uniformi della parete divisoria tra l'ambiente riscaldato e la serra;

α_{Spi} fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente nella serra (parte opaca della parete divisoria tra l'ambiente riscaldato e la serra);

A_{Lpi} area lorda della parte opaca della parete divisoria tra l'ambiente riscaldato e la serra;

U_{pi} trasmittanza termica della parte opaca della parete divisoria tra l'ambiente riscaldato e la serra;

U_{pe} trasmittanza termica tra la superficie assorbente della parete opaca divisoria e la serra (per il calcolo di tale trasmittanza si veda la 27);

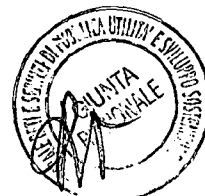
I valori del fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente nella serra, α_{sp} , devono assumere valori pari a 0,3 nel caso di pareti di colore chiaro, 0,6 nel caso di pareti con colorazione media e 0,9 nel caso di pareti scure.

Gli apporti solari indiretti (effetto cuscinetto) nel mese m^{esimo} , $Q_{Si,m}$, devono essere calcolati come segue:

$$Q_{Si,m} = (1-b) \cdot F_{Twe} \cdot g_{\perp we} \cdot \left(\sum_{j=1}^h N_m \cdot \bar{H}_{S,m} \cdot \alpha_{Spe,j} \cdot A_{Lpe,j} - N_m \cdot \bar{H}_{S,m} + \sum_{j=1}^f \alpha_{Spi,j} \cdot A_{Lpi,j} \cdot \frac{U_{pi,j}}{U_{pe,j}} \right) \quad (21)$$

dove:

A_{Lpe} area lorda di ciascuna superficie, j , che assorbe la radiazione solare nella serra (pedice, *pi*, per l'elemento assorbente posto tra l'ambiente riscaldato e serra, pedice, *pe*, per gli tutti gli altri elementi assorbenti posti all'interno della serra (p.e. il pavimento);



- h è il numero di elementi opachi termicamente uniformi dell'involucro esterno della serra;
- α_s fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete assorbente della serra (pedice, pi , per l'elemento assorbente posto tra l'ambiente riscaldato e la serra);
- b coefficiente di ponderazione;

Il fattore di ponderazione (1-b) è la frazione della radiazione solare assorbita nella serra che entra nell'ambiente riscaldato attraverso la parete divisoria.

Il coefficiente di ponderazione, b , viene calcolato come segue:

$$b = \frac{H_e}{H_i + H_e} \quad (22)$$

dove:

H_i è il coefficiente di perdita di calore dall'ambiente riscaldato all'ambiente non riscaldato;

H_e è il coefficiente di perdita di calore dall'ambiente non riscaldato all'ambiente esterno.

I coefficienti H_i e H_e includono le perdite di calore per trasmissione e ventilazione e vengono calcolati come segue:

$$H_i = \sum_{k=1}^n (A_{Lpi,k} \cdot U_{pi,k}) + \sum_{j=1}^o (A_{Lwi,j} \cdot U_{wi,j}) \quad (23)$$

$$H_e = \sum_{k=1}^n (A_{Lpe,k} \cdot U_{pe,k}) + \sum_{j=1}^o (A_{Lwe,j} \cdot U_{we,j}) \quad (24)$$

dove:

A_{Lpi} area lorda della parte opaca, k , della parete divisoria tra ambiente riscaldato e serra;

U_{pi} trasmittanza termica della parte opaca della parete divisoria tra ambiente riscaldato e serra;

n è il numero di elementi opachi termicamente uniformi;

o è il numero di elementi trasparenti termicamente uniformi;

A_{Lwi} area lorda dell'elemento trasparente posto sulla parete divisoria tra ambiente riscaldato e serra;

U_{wi} trasmittanza termica dell'elemento trasparente posto sulla parete divisoria;

A_{Lpe} area lorda della parete opaca divisoria tra serra e ambiente esterno;

U_{pi} trasmittanza termica della parete opaca divisoria tra serra e ambiente esterno;

A_{Lwi} area lorda dell'elemento trasparente posto sulla parete divisoria tra serra e ambiente esterno;

U_{wi} trasmittanza termica dell'elemento trasparente posto sulla parete divisoria tra serra e ambiente esterno.

Il calcolo del coefficiente di dispersione equivalente, H_s , (equazione 25), è necessario ai fini della determinazione dell'energia scambiata totale dall'edificio, Q_L . Tale valore verrà infatti sommato al coefficiente di dispersione termica per trasmissione dell'edificio, H^e_T , definito dalla 6 così da poter calcolare l'effettiva quantità di energia dispersa per trasmissione tra edificio e l'ambiente circostante, Q_T .

$$H_s = \frac{H_i \cdot H_e}{H_i + H_e} \quad (25)$$

dove:

H_s è il coefficiente di dispersione equivalente della serra.

Secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 6946, quando all'edificio è addossato un piccolo ambiente non riscaldato la trasmittanza termica tra ambiente interno e esterno può essere ottenuta considerando l'insieme costituito dall'ambiente non riscaldato ed i componenti esterni dell'edificio come uno strato addizionale omogeneo. Pertanto il calcolo della trasmittanza termica tra la superficie assorbente della parete opaca divisoria e la serra, U_{pe} , necessario nelle equazioni 20 e 21, viene eseguito mediante la seguenti relazioni:

$$R_U = 0,09 + 0,04 \cdot \frac{A_{Lei}}{A_{Lee}} \quad (26)$$

$$U_{pe} = \frac{1}{R_U} \quad (27)$$

dove:

R_U resistenza termica tra la superficie assorbente della parete opaca divisoria e la serra;

A_{Lei} è l'area lorda totale di tutti i componenti tra ambiente interno e l'ambiente non riscaldato;

A_{Lee} è l'area lorda totale di tutti i componenti tra l'ambiente non riscaldato e l'ambiente esterno.

8.4 Fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti (η_U)

Prima di esplicitare la relazione per il calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti energetici gratuiti, η_U , introdotto come fattore di riduzione nel bilancio energetico (cfr. equazione 1), è necessario definire alcuni parametri.

Il rapporto apporti/perdite, γ_m , definito dalla relazione:

$$\gamma_m = \frac{Q_{G,m}}{Q_{L,m}} \quad (28)$$

dove:

γ_m è il rapporto apporti/perdite nel mese m^{esimo} ;

$Q_{G,m}$ è l'energia dovuta agli apporti gratuiti nel mese m^{esimo} ;

$Q_{L,m}$ è l'energia dispersa per trasmissione e ventilazione nel mese m^{esimo} .

E la costante tempo, τ , che caratterizza l'inerzia termica interna dello spazio riscaldato:

$$\tau_m = \frac{c \cdot V_L}{H_{T,m}} \quad (29)$$

dove:

τ_m è la costante tempo nel mese m^{esimo} ;

$c \cdot V_L$ è l'effettiva capacità termica interna, ovvero il calore accumulato nella struttura dell'edificio quando la temperatura interna varia in modo sinusoidale con un periodo di



24 h ed un'ampiezza di 1 K, data dal prodotto tra la capacità termica volumica (prospetto X) e il volume lordo riscaldato dell'ambiente considerato;;
 $H_{T,m}$ è il coefficiente di trasmissione termica dell'edificio nel mese m^{esimo} .

Visto che la norma UNI EN 832 nella determinazione del parametro τ consente un calcolo approssimato della capacità termica di una struttura (ritenendo sufficiente una stima di questo dato con una precisione dieci volte minore rispetto a quella richiesta per il calcolo delle dispersioni) e che ipotizza il suggerimento a livello nazionale di valori della capacità termica per unità di volume in base alla tipologia della costruzione, si propongono come valori di riferimento quelli presentati nella raccomandazione CTI – R 03/3.

Tipologia costruttiva	Capacità termica volumica c [Wh/m ³ K]
Edifici con muri in pietra o assimilabili	80,6
Edifici con muri in mattoni pieni o assimilabili	66,7
Edifici con muri in mattoni forati o assimilabili	3,61
Edifici con pareti leggere o isolati dall'interno	19,4

Prospetto X – Capacità termica volumica della zona termica.

(Fonte: Comitato termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

Stabilito ciò il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti è identificato dalla seguente equazione:

$$\eta_{u,m} = \frac{1 - \gamma_m^a}{1 - \gamma_m^{(a+1)}} \quad (30)$$

dove:

$\eta_{u,m}$ fattore di utilizzazione degli apporti energetici gratuiti nel mese m^{esimo} ;
 γ_m rapporto apporti/perdite nel mese m^{esimo} ,
 a parametro numerico.

Nel caso limite in cui il rapporto apporti/perdite, γ , sia uguale a 1 l'equazione 30 diventa:

$$\eta_u = \frac{a}{a+1} \quad (31)$$

Il parametro numerico, a , presente nelle equazioni 30 e 31, è legato alla costante di tempo, τ , ed è definito dalla seguente relazione:

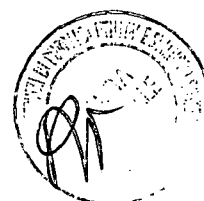
$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0} \quad (32)$$

I valori di, a_0 e τ_0 , sono tabellati nella norma UNI EN 832 e valgono rispettivamente 1 e 16 [h]. Con questi valori l'equazione 32 può essere riscritta come:

$$a_m = 1 + \frac{\tau_m}{16} \quad (33)$$



Comune	Esposizione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Bergamo	H _S	2,0	2,6	3,1	2,9	2,7	2,6	2,9	3,1	3,3	3,2	2,1	2,0
	H _{SE-SO}	1,6	2,2	2,9	3,2	3,3	3,3	3,6	3,6	3,3	2,8	1,7	1,6
	H _{O-E}	0,9	1,5	2,3	3,0	3,5	3,7	4,1	3,6	2,8	1,9	1,0	0,9
	H _{NE-NO}	0,5	0,8	1,4	2,2	2,8	3,2	3,4	2,7	1,8	1,1	0,6	0,4
	H _N	0,4	0,7	1,0	1,5	2,1	2,5	2,5	1,8	1,2	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,2	1,9	3,1	4,3	5,3	5,7	6,2	5,2	3,9	2,5	1,3	1,1
Brescia	H _S	2,3	3,1	3,4	2,9	2,8	2,8	3,1	3,3	3,5	3,3	2,5	2,3
	H _{SE-SO}	1,8	2,6	3,2	3,3	3,5	3,5	3,9	3,9	3,5	2,8	2,0	1,8
	H _{O-E}	1,0	1,7	2,6	3,1	3,8	4,1	4,5	3,9	3,0	2,0	1,2	1,0
	H _{NE-NO}	0,5	0,9	1,5	2,2	3,0	3,4	3,6	2,8	1,9	1,1	0,6	0,4
	H _N	0,5	0,7	1,0	1,5	2,2	2,6	2,6	1,8	1,2	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,3	2,2	3,4	4,5	5,7	6,3	6,8	5,6	4,1	2,6	1,5	1,2
Como	H _S	2,3	2,5	3,0	2,9	2,6	2,6	2,9	2,9	3,0	3,2	2,2	2,1
	H _{SE-SO}	1,8	2,1	2,8	3,2	3,1	3,2	3,6	3,4	3,1	2,7	1,8	1,6
	H _{O-E}	1,0	1,4	2,3	3,0	3,3	3,7	4,0	3,4	2,6	1,9	1,1	0,9
	H _{NE-NO}	0,5	0,8	1,4	2,2	2,7	3,1	3,3	2,6	1,7	1,1	0,6	0,4
	H _N	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	2,4	1,7	1,1	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,3	1,9	3,1	4,3	5,0	5,7	6,1	5,0	3,6	2,5	1,4	1,1
Cremona	H _S	1,8	2,4	3,1	3,1	2,8	2,8	3,1	3,3	3,3	2,8	1,9	1,5
	H _{SE-SO}	1,4	2,1	2,9	3,4	3,5	3,7	4,0	3,8	3,4	2,4	1,5	1,2
	H _{O-E}	0,9	1,4	2,3	3,2	3,8	4,3	4,6	3,8	2,9	1,8	0,9	0,7
	H _{NE-NO}	0,5	0,8	1,4	2,3	3,0	3,6	3,7	2,8	1,8	1,0	0,5	0,4
	H _N	0,4	0,7	1,0	1,5	2,2	2,7	2,6	1,8	1,2	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,1	1,9	3,2	4,7	5,7	6,6	6,9	5,6	4,0	2,3	1,3	0,9
Lecco	H _S	2,4	2,7	3,1	2,9	2,6	2,6	2,9	3,0	3,1	3,3	2,4	2,2
	H _{SE-SO}	1,9	2,2	2,9	3,2	3,1	3,3	3,6	3,5	3,1	2,8	1,9	1,7
	H _{O-E}	1,1	1,5	2,3	3,0	3,4	3,7	4,0	3,4	2,7	1,9	1,1	0,9
	H _{NE-NO}	0,5	0,8	1,4	2,2	2,8	3,2	3,3	2,6	1,8	1,1	0,6	0,4
	H _N	0,5	0,7	1,0	1,5	2,1	2,5	2,4	1,8	1,1	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,3	1,9	3,2	4,4	5,1	5,8	6,1	5,1	3,7	2,5	1,4	1,1
Lodi	H _S	1,6	2,3	3,0	3,0	2,8	2,8	3,0	3,2	3,2	2,7	1,8	1,4
	H _{SE-SO}	1,3	2,0	2,8	3,3	3,4	3,6	3,9	3,8	3,2	2,4	1,4	1,1
	H _{O-E}	0,8	1,4	2,3	3,1	3,7	4,1	4,5	3,7	2,8	1,7	0,9	0,7
	H _{NE-NO}	0,4	0,8	1,4	2,3	3,0	3,5	3,6	2,8	1,8	1,0	0,5	0,4
	H _N	0,4	0,7	1,0	1,5	2,2	2,7	2,6	1,8	1,2	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,0	1,8	3,1	4,6	5,6	6,4	6,8	5,4	3,8	2,3	1,2	0,9
Milano	H _S	1,6	2,3	3,0	3,0	2,8	2,8	3,0	3,2	3,2	2,7	1,8	1,4
	H _{SE-SO}	1,3	2,0	2,8	3,3	3,4	3,6	3,9	3,8	3,2	2,4	1,4	1,1
	H _{O-E}	0,8	1,4	2,3	3,1	3,7	4,1	4,5	3,7	2,8	1,7	0,9	0,7
	H _{NE-NO}	0,4	0,8	1,4	2,3	3,0	3,5	3,6	2,8	1,8	1,0	0,5	0,4
	H _N	0,4	0,7	1,0	1,5	2,2	2,7	2,6	1,8	1,2	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,0	1,8	3,1	4,6	5,6	6,4	6,8	5,4	3,8	2,3	1,2	0,9



Comune	Esposizione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Mantova	H _s	1,6	2,3	2,9	2,9	2,8	2,8	3,1	3,2	3,2	2,6	1,8	1,5
	H _{SE-SO}	1,3	1,9	2,8	3,3	3,4	3,7	4,0	3,8	3,2	2,3	1,4	1,2
	H _{O-E}	0,8	1,4	2,2	3,1	3,7	4,3	4,5	3,8	2,7	1,7	0,9	0,7
	H _{NE-NO}	0,4	0,8	1,4	2,3	3,0	3,6	3,7	2,8	1,8	1,0	0,5	0,4
	H _N	0,4	0,7	1,0	1,5	2,1	2,7	2,6	1,8	1,2	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,1	1,8	3,1	4,5	5,6	6,5	6,9	5,5	3,8	2,3	1,2	0,9
Pavia	H _s	1,6	2,3	2,9	3,0	2,8	2,8	3,1	3,2	3,2	2,6	1,7	1,4
	H _{SE-SO}	1,3	1,9	2,8	3,3	3,4	3,7	4,0	3,8	3,2	2,3	1,4	1,1
	H _{O-E}	0,8	1,4	2,2	3,1	3,7	4,3	4,5	3,8	2,7	1,7	0,9	0,7
	H _{NE-NO}	0,4	0,8	1,4	2,3	3,0	3,6	3,7	2,8	1,8	1,0	0,5	0,4
	H _N	0,4	0,7	1,0	1,5	2,1	2,7	2,6	1,8	1,2	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,0	1,8	3,1	4,5	5,6	6,6	6,9	5,5	3,8	2,2	1,2	0,9
Sondrio	H _s	3,2	3,9	4,2	3,3	3,0	2,8	2,9	3,3	3,9	3,8	3,8	2,9
	H _{SE-SO}	2,5	3,2	3,9	3,7	3,7	3,6	3,7	3,9	3,9	3,3	2,9	2,2
	H _{O-E}	1,3	2,0	3,0	3,5	4,0	4,1	4,1	3,9	3,3	2,2	1,6	1,1
	H _{NE-NO}	0,5	0,9	1,7	2,4	3,1	3,4	3,4	2,8	2,0	1,1	0,6	0,4
	H _N	0,5	0,7	1,0	1,5	2,2	2,6	2,5	1,8	1,2	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,5	2,5	3,9	4,9	5,9	6,3	6,2	5,6	4,4	2,8	1,9	1,3
Varese	H _s	2,6	2,8	3,1	2,8	2,7	2,6	2,8	3,0	3,2	3,2	2,8	2,7
	H _{SE-SO}	2,0	2,4	2,9	3,1	3,3	3,2	3,6	3,4	3,3	2,7	2,2	2,1
	H _{O-E}	1,1	1,6	2,3	2,9	3,5	3,7	4,0	3,4	2,8	1,9	1,3	1,1
	H _{NE-NO}	0,5	0,8	1,4	2,1	2,8	3,1	3,3	2,6	1,8	1,1	0,6	0,4
	H _N	0,5	0,7	1,0	1,5	2,1	2,5	2,4	1,8	1,1	0,8	0,5	0,4
	H _H	1,4	2,0	3,2	4,3	5,3	5,7	6,1	5,1	3,8	2,5	1,6	1,3

Prospetto XI – Irradiazione solare giornaliera media mensile globale, $\bar{H}_s$, in funzione dell'orientamento dell'elemento considerato [kWh/m² giorno]
(Fonte: UNI 10349).

9 Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale (Q_{EPH})

Il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale nel mese m^{esimo} $Q_{EPH,m}$ è definito come il rapporto tra fabbisogno energetico dell'involucro nel mese m^{esimo} , $Q_{H,m}$, e il rendimento globale medio mensile dell'impianto di riscaldamento, $\eta_{g,m}$.

$$Q_{EPH,m} = \frac{Q_{H,m}}{\eta_{g,m}} \quad (34)$$

dove:

$Q_{H,m}$ fabbisogno energetico dell'involucro nel mese m^{esimo} ;
 $\eta_{g,m}$ rendimento medio globale mensile dell'impianto di riscaldamento.

E di conseguenza il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, Q_{EPH} , è dato dalla:

$$Q_{EPH} = \sum_{m=1}^n Q_{EPH,m} \quad (35)$$



Qui di seguito viene esplicitato il procedimento da seguire per definire il rendimento medio globale mensile dell'impianto di riscaldamento.

9.1 Rendimento globale medio mensile ($\eta_{g,m}$)

Esso viene calcolato come prodotto dei rendimenti che identificano le funzioni svolte dalle varie componenti di un impianto termico (emissione legate ai terminali scaldanti, regolazione, distribuzione su cui influisce la veicolazione del fluido termovettore e produzione legata al rendimento del generatore di calore). Il rendimento medio globale mensile, $\eta_{g,m}$, viene determinato mediante la seguente relazione:

$$\eta_{g,m} = \eta_e \cdot \eta_c \cdot \eta_d \cdot \eta_{p,m} \quad (36)$$

dove:

- η_e è il rendimento di emissione;
- η_c è il rendimento di regolazione;
- η_d è il rendimento di distribuzione;
- $\eta_{p,m}$ è il rendimento di produzione medio mensile.

9.1.1 Rendimento di emissione (η_e)

Il rendimento di emissione, η_e , è il 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.

Nel prospetto XII sono riportati, a seconda del terminale di erogazione, i valori convenzionali del rendimento di emissione.

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

* Se associati a caldaie che funzionano a bassa temperatura al rendimento vanno sottratti ai valori di tabella 0,02 punti.

Prospetto XII – Valori convenzionali del rendimento di emissione, η_e .
(Fonte: UNI 10348).

9.1.2 Rendimento di regolazione (η_c)

Il rendimento di regolazione, η_c , è il 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. Nel prospetto XIII sono riportati, in funzione della configurazione del sistema impiantistico, i rendimenti di regolazione da considerare nel calcolo.



Sistema di regolazione	Tipologia	Radiatori e convettori	Pannelli radianti isolati	Pannelli radianti integrati
Regolazione manuale	Termostato caldaia	0,84	0,82	0,78
Climatica centralizzata	Regolatore climatico	0,88	0,86	0,82
Singolo ambiente	Reg. on-off	0,94	0,92	0,88
	Reg. modulante (banda 1°C)	0,98	0,96	0,92
	Reg. modulante (banda 2°C)	0,96	0,94	0,90
Climatico e singolo ambiente	Reg. on-off	0,97	0,95	0,93
	Reg. modulante (banda 1°C)	0,99	0,98	0,96
	Reg. modulante (banda 2°C)	0,98	0,97	0,95
Solo zona	Reg. on-off	0,93	0,91	0,87
	Reg. modulante (banda 1°C)	0,97	0,96	0,92
	Reg. modulante (banda 2°C)	0,95	0,93	0,89
Climatico e zona	Reg. on-off	0,96	0,94	0,92
	Reg. modulante (banda 1°C)	0,98	0,97	0,95
	Reg. modulante (banda 2°C)	0,97	0,96	0,94

Prospetto XIII – Rendimenti di regolazione, η_c , per alcune configurazioni impiantistiche.
(Fonte: UNI 10348).

9.1.3 Rendimento di distribuzione (η_d)

Il rendimento di distribuzione, η_d , è il rapporto tra il fabbisogno energetico utile reale dell'ambiente riscaldato e l'energia termica fornita dal sistema di produzione. Nel prospetto XIV sono riportati i rendimenti di distribuzione da considerare nel calcolo.

Tipo di edificio	Volume [m ³]	Altezza edificio [m]		
		5	15	25
A, C	1.000	0,96	0,95	0,94
	5.000	0,96	0,95	0,94
	10.000	0,97	0,96	0,95
	15.000	0,97	0,96	0,95
	20.000	0,98	0,97	0,96
B	1.000	0,95	0,94	0,94
	5.000	0,93	0,93	0,93
	10.000	0,91	0,92	0,93
	15.000	0,89	0,90	0,91
	20.000	0,86	0,87	0,88

Edifici tipo A Edifici nei quali le colonne montanti ed i collegamenti con i terminali di emissione sono situati totalmente all'interno degli ambienti riscaldati e le tubazioni orizzontali che collegano la centrale termica alle colonne montanti sono ubicate nel cantinato.

Edifici tipo B Edifici nei quali le colonne montanti ed i collegamenti con i terminali di emissione, 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.

Edifici tipo C Edifici nei quali le colonne montanti, in traccia o ubicate nelle intercapedini, sono isolate con gli spessori di isolante previsti dalla specifica normativa e sono ubicate all'interno dell'isolamento termico delle pareti.

Prospetto XIV – Rendimenti di distribuzione, η_d .
(Fonte: UNI 10348).



9.1.4 Rendimento di produzione medio mensile ($\eta_{p,m}$)

Il rendimento di produzione medio mensile, $\eta_{p,m}$, è il rapporto tra l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese m^{esimo} di riscaldamento ed il relativo fabbisogno di energia primaria:

$$\eta_{p,m} = \frac{Q_{p,m}}{Q_m} \quad (37)$$

dove:

$Q_{p,m}$ è l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese m^{esimo} ;

Q_m è il fabbisogno di energia primaria del sistema di produzione nel mese m^{esimo} .

L'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese m^{esimo} di riscaldamento è data da:

$$Q_{p,m} = \frac{Q_{H,m}}{\eta_d \cdot \eta_c \cdot \eta_e} \quad (38)$$

dove:

$Q_{H,m}$ fabbisogno energetico dell'involucro nel mese m^{esimo} ;

η_d è il rendimento di distribuzione;

η_c è il rendimento del sistema di regolazione;

η_e è il rendimento del sistema di emissione.

Il fabbisogno di energia primaria del sistema di produzione nel mese m^{esimo} , Q_m , è dato da:

$$Q_m = Q_{c,m} + Q_{e,m} \quad (39)$$

dove:

$Q_{c,m}$ è l'energia primaria per la conversione nel generatore nel mese m^{esimo} ;

$Q_{e,m}$ è l'energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari nel mese m^{esimo} .

Generatori a combustione

Nel caso di generatori a combustione l'energia primaria per la conversione nel generatore, $Q_{c,m}$, viene calcolata come segue:

$$Q_{c,m} = \frac{Q_{p,m} - Q_{aux,m}}{\eta_{tu}} \quad (40)$$

dove:

$Q_{aux,m}$ è l'energia termica fornita dagli ausiliari al fluido termovettore nel mese m^{esimo} ;

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

L'energia termica fornita dagli ausiliari al fluido termovettore nel mese m^{esimo} , $Q_{aux,m}$, è data dalla:

$$Q_{aux,m} = Q_{po,m} \cdot \eta_{po} \quad (41)$$



dove:

$Q_{po,m}$ è l'energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione nel mese m^{esimo} ;

η_{po} è la frazione utile di energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione o similari effettivamente trasferita al fluido (da assumere pari a 0,85).

L'energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione nel mese m^{esimo} è data dalla:

$$Q_{po,m} = W_{po} \cdot t_{po,m} \quad (42)$$

dove:

W_{po} è la potenza delle pompe di circolazione;

$t_{po,m}$ ore di funzionamento delle pompe di circolazione nel mese m^{esimo} .

Pertanto l'equazione 40 può essere riscritta come segue:

$$Q_{c,m} = \frac{Q_{p,m} - (W_{po} \cdot t_{po,m} \cdot \eta_{po})}{\eta_{tu}} \quad (43)$$

L'energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari nel mese m^{esimo} , $Q_{e,m}$, è data da:

$$Q_{e,m} = \frac{(Q_{br,m} + Q_{po,m})}{\eta_{sen}} \quad (44)$$

dove:

$Q_{br,m}$ è l'energia elettrica assorbita dal bruciatore durante il periodo di funzionamento nel mese m^{esimo} ;

η_{sen} è il rendimento del sistema elettrico nazionale (assunto pari a 0,37).

L'energia elettrica assorbita dal bruciatore durante il periodo di funzionamento, $Q_{br,m}$, è data dalla:

$$Q_{br,m} = W_{br,m} \cdot t_{br,m} \quad (45)$$

dove:

W_{br} è la potenza del bruciatore;

$t_{br,m}$ ore di funzionamento del bruciatore nel mese m^{esimo} .

Pertanto l'equazione 44 può essere riscritta come segue:

$$Q_{e,m} = \frac{(W_{br} \cdot t_{br,m} + W_{po} \cdot t_{po,m})}{\eta_{sen}} \quad (46)$$



Il rendimento termico utile di un generatore a combustione, η_{tu} , riportato nell'equazione 43, in funzione delle perdite di combustione, all'involucro e del tipo di conduzione dell'impianto, è dato da:

$$\eta_{tu,m} = 1 + F_{br,m} - \left(\frac{P'_{f,m} + \frac{P'_{d,m}}{FC_m} + P'_{fbs,m} \cdot \frac{(1-FC_m)}{FC_m}}{100} \right) \quad (47)$$

dove:

$\eta_{tu,m}$ è il rendimento termico utile del generatore nel mese m^{esimo} ;

$F_{br,m}$ è la frazione utile dell'energia elettrica utilizzata dal bruciatore riferita all'energia primaria necessaria per la combustione nel mese m^{esimo} ;

$P'_{f,m}$ sono le perdite termiche percentuali al camino con bruciatore funzionante nel mese m^{esimo} ;

$P'_{d,m}$ sono le perdite percentuali verso l'ambiente attraverso l'involucro nel mese m^{esimo} ;

FC_m è il fattore di carico al focolare nel mese m^{esimo} ;

$P'_{fbs,m}$ sono le perdite percentuali al camino con bruciatore spento nel mese m^{esimo} .

Dato che la frazione utile dell'energia elettrica utilizzata dal bruciatore riferita all'energia primaria necessaria per la combustione, $F_{br,m}$, è solitamente minore dell' 1% dell'energia primaria richiesta per la combustione, ai fini della seguente procedura viene trascurata.

In funzione della differenza tra la temperatura media dell'acqua in caldaia e la temperatura dell'ambiente dove è posto il generatore, $\Delta\theta_m$, la UNI 10348 prevede che le perdite termiche riportate nell'equazione 47 vengano calcolate così come segue:

$$P'_{f,m} = P_f \cdot \left(\frac{\Delta\theta_m}{50} \right)^{0,2} \quad (48)$$

$$P'_{d,m} = P_d \cdot \left(\frac{\Delta\theta_m}{50} \right) \quad (49)$$

$$P'_{fbs,m} = P_{fbs} \cdot \left(\frac{\Delta\theta_m}{50} \right) \quad (50)$$

La differenza tra la temperatura media dell'acqua in caldaia e la temperatura dell'ambiente dove è posto il generatore, $\Delta\theta_m$, viene definita dalla seguente relazione:

$$\Delta\theta_m = \frac{\theta_{man} + \theta_{rit}}{2} - \theta_{amb} \quad (51)$$

dove:

θ_{man} temperatura di mandata dell'acqua (assunta pari a 80°C nel caso di caldaie standard e pari a 50 °C nel caso di caldaie a condensazione);

θ_{rit} temperatura di ritorno dell'acqua (assunta pari a 60°C nel caso di caldaie standard e pari a 30 °C nel caso di caldaie a condensazione);



θ_{amb} temperatura dell'ambiente dove è posto il generatore (assunta pari a 20°C nel caso di generatore collocato in un ambiente chiuso, oppure pari alla media mensile della temperatura media giornaliera dell'aria esterna, θ_{em}).

Nel caso di caldaie a condensazione (messe in condizione di sfruttare il calore latente dei fumi) la definizione delle perdite a bruciatore acceso, P_f'' , si determinano come segue:

$$P_{f,m}'' = P_{f,m}' - R_m \quad (52)$$

dove:

R_m è il fattore di recupero per condensazione nel mese m^{esimo} .

Il fattore di recupero per condensazione viene definito dalla seguente equazione:

$$R_m = 1 + P_{f,m}' - P_{d,m}' - \eta_{tu}^* \quad (53)$$

dove:

η_{tu}^* è il rendimento termico utile dichiarato (dato fornito dal costruttore) supponendo di configurare l'impianto in modo da ottenere lo sfruttamento ottimale del calore latente dei fumi.

I valori di P_f , P_d , P_{fbs} a seconda che si tratti di un impianto nuovo oppure esistente, devono essere definiti sulla base delle indicazioni riportate nei prospetti XV, XVI, XVII.

Tipo di perdita		Impianto nuovo	Impianto esistente
P_f	Perdite termiche percentuali al camino con bruciatore funzionante.	Valore registrato in fase di collaudo dell'impianto mediante "prova fumi".	Valore registrato mediante "prova fumi". Se tale valore, riportato sul libretto di centrale, risale a più di dodici mesi prima dalla richiesta di certificazione energetica dell'edificio, è previsto l'obbligo di una nuova "prova fumi".
P_d	Perdite percentuali verso l'ambiente attraverso l'involucro.	Valori riportati nel prospetto XVI.	Valori riportati nel prospetto XVI.
P_{fbs}	Perdite percentuali al camino con bruciatore spento.	Valori riportati nel prospetto XVII.	Valori riportati nel prospetto XVII aumentati dello 0,2%.

Prospetto XV – Metodologia da seguire per la quantificazione delle perdite termiche.

La prova fumi, prevista per la quantificazione della perdita termica percentuale al camino con bruciatore funzionante, P_f , si determina attraverso un minimo di tre misure dei parametri di combustione, adottando il valore medio.

Le perdite verso l'ambiente attraverso l'involucro del generatore, P_d , vengono quantificate attraverso i dati riportati nel prospetto XVI dove Φ_{cn} è la potenza nominale del focolare espressa in Watt e log è il logaritmo in base 10.

Età del generatore	P_d [%]
Fino a 5 anni	$1,72 - 0,44 \cdot \log (\Phi_{cn} / 1000)$
Da 6 a 11 anni	$6,90 - 1,76 \cdot \log (\Phi_{cn} / 1000)$
Superiore ai 12 anni	$10,35 - 2,64 \cdot \log (\Phi_{cn} / 1000)$

Prospetto XVI – Valori delle perdite per trasmissione attraverso l'involucro, P_d .
(Fonte: elaborazione dati UNI 10348).



Tipo di generatore	$P_{fbs} [\%]$
A combustibile liquido o a gas con bruciatore ad aria soffiata con serranda sull'aspirazione dell'aria comburente.	0,10
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	0,60
▪ con camino di altezza maggiore di 10 m	0,80
A gas con bruciatore atmosferico e rompitiraggio	0,60

Prospetto XVII – Valori delle perdite al camino a bruciatore spento, P_{fbs} .
(Fonte: UNI 10348).

Il fattore di carico, FC_m , 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:

$$FC_m = \frac{P'_{d,m} + P'_{fbs,m} + (100 - P'_f - P'_d) \cdot CP_m}{100 - P'_{f,m} + P'_{fbs,m}} \quad (54)$$

dove:

CP_m è il fattore di carico utile.

Nel caso di caldaie a condensazione la definizione del fattore di carico è la seguente:

$$FC_m = \frac{P'_{d,m} + P'_{fbs,m} + (100 - P'_f - P'_d) \cdot CP_m}{100 - P'_{f,m} + P'_{fbs,m}} \quad (55)$$

Il fattore di carico utile, CP_m , viene definito dalla seguente relazione:

$$CP_m = \frac{Q_{p,m} - Q_{po,m} \cdot \eta_{po}}{\Phi_{un} \cdot t_m} \quad (56)$$

dove:

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

t_m indica le ore di funzionamento dell'impianto nel mese considerato.

Pompe di calore

Il COP_m della pompa di calore valutato in termini di energia primaria è dato da:

$$\overline{COP}_m = \overline{COP}_T \quad (57)$$

se utilizzanti energia chimica di combustibile:

$$\overline{COP}_m = \overline{COP}_E \cdot \eta_{sen} \quad (58)$$

dove:

η_{sen} è il rendimento elettrico nazionale (da assumere pari a 0,37).

Il valore del coefficiente di effetto utile, COP_E o COP_T , nel caso di pompe di calore del tipo terra-acqua e acqua-acqua viene assunto pari a quello dichiarato dal costruttore.

Nel caso di sistemi del tipo aria-acqua il coefficiente di effetto utile viene calcolato mediante l'equazione 58.

$$\overline{COP}_m = \overline{COP}(\theta_r) \cdot \frac{\theta_{e,m} + 20}{\theta_r + 20} \cdot \frac{\theta_r + 80}{\theta_{e,m} + 80} \quad (59)$$

dove:

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

θ_r è la temperatura esterna nominale;

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

Pertanto nel caso di sistemi a pompa di calore il rendimento globale mensile, $\eta_{g,m}$, è dato dalla seguente relazione:

$$\eta_{g,m} = \eta_e \cdot \eta_c \cdot \eta_d \cdot \overline{COP}_m \quad (60)$$

Altri sistemi

Nel caso di sistemi di teleriscaldamento e impianti a biomassa i valori del rendimento di produzione medio mensile, $\eta_{p,m}$, sono riportati nel prospetto che segue:

Sistema di riscaldamento	$\eta_{p,m}$
Riscaldamento a legna	0,75
Riscaldamento a pellets	0,85
Teleriscaldamento	1

Prospetto XVIII – Rendimento di produzione medio mensile, $\eta_{p,m}$, per altre tipologie di impianti di riscaldamento.

(Fonte: elaborazione dati Minergie).

10 Fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda ad usi sanitari (Q_{ACS})

La quantificazione del fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda ad usi igienico-sanitari, Q_{ACS} , si determina considerando un periodo di utilizzo giornaliero di 24 ore esteso a tutto l'anno.

Il fabbisogno energetico annuale per la produzione di acqua calda sanitaria può essere espresso come:

$$Q_{ACS} = \sum_{m=1}^{12} Q_{ACS,m} \quad (61)$$

dove:

$Q_{ACS,m}$ fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria nel mese m^{esimo} .

I prospetti XIX e XXI riportano i fabbisogni energetici specifici giornalieri per edifici ad usi residenziali e non residenziali.

Nel caso di edifici residenziali il fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria nel mese m^{esimo} è dato dalla:

$$Q_{ACS,m} = Q_{ACS} \cdot N_m \cdot A \cdot f_{bagni} \cdot 10^{-3} \quad (62)$$



dove:

Q'_{ACS} fabbisogno energetico specifico giornaliero per la produzione di acqua calda sanitaria (prospetto XIX);

N_m giorni di utilizzo del sistema di produzione nel mese m^{esimo} .

A superficie utile;

f_{bagni} è il fattore di correzione che tiene conto del numero di servizi di cui l'abitazione è dotata (prospetto XX);

Superficie utile	Fabbisogno specifico (Q'_{ACS}) [Wh/ m ² giorno]
$A < 50 \text{ m}^2$	87
$50 \leq A < 120 \text{ m}^2$	72
$120 \leq A < 200 \text{ m}^2$	58
$A \geq 200 \text{ m}^2$	43

Prospetto XIX– Valori convenzionali relativi ai fabbisogni energetici per l'acqua calda ad usi sanitari per usi residenziali

(Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

Numero di bagni	Fattore di correzione f_{bagni}
1	1
2	1,33
3 o più	1,66

Prospetto XX – Fattore di correzione f_{bagni}

(Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

Nel caso di edifici ad uso non residenziale il fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria nel mese m^{esimo} è dato dalla:

$$Q_{ACS,m} = Q'_{ACS} \cdot N_m \cdot n_s \cdot A \cdot \left(\frac{f_{oc}}{24} \right) \cdot 10^{-3} \quad (63)$$

dove:

n_s è l'indice di affollamento, ossia il numero di persone ai fini progettuali per ogni metro quadrato di superficie calpestabile (prospetto VII);

A è la superficie utile;

f_{oc} è il fattore medio di occupazione giornaliero (prospetto VI).



Destinazione d'uso del fabbricato	Fabbisogno specifico (Q'_{ACS}) [Wh/ persona giorno]
Alberghi e pensioni con servizi per ogni camera con bagno	3500
Alberghi e pensioni con ogni camera con doccia	1745
Alberghi e pensioni con servizi comuni	1455
Collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi	1455
Ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili con servizi comuni	1455
Ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili con servizi in ogni stanza	3500
Edifici per uffici e assimilabili	580
Edifici adibiti ad attività sportive con docce	1165

Prospetto XXI – Valori convenzionali relativi ai fabbisogni energetici per l'acqua calda ad usi sanitari per usi non residenziali

(Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

11 Fabbisogno energetico di energia primaria per la produzione di acqua calda ad usi sanitari (Q_{EPACS})

Similmente a quanto visto per la climatizzazione invernale, si definisce fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda ad uso sanitario nel mese m^{esimo} $Q_{EPACS,m}$ l'energia primaria richiesta dal sistema di produzione e distribuzione per soddisfare i fabbisogni energetici legati alla produzione di acqua calda ad uso sanitario:

$$Q_{EPACS,m} = \frac{Q_{ACS,m}}{\eta_{gACS,m}} + \frac{Q_{S,m}}{\eta_{pACS,m}} \quad (64)$$

dove:

$Q_{ACS,m}$ è il fabbisogno energetico per l'acqua calda ad usi sanitari nel mese m^{esimo} ;

$Q_{S,m}$ è la perdita di calore dovuta al sistema di accumulo ove presente nel mese m^{esimo} ;

$\eta_{gACS,m}$ è il rendimento medio mensile dell'impianto;

$\eta_{pACS,m}$ è rendimento di produzione medio mensile dell'impianto.

Di conseguenza il fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria annuale, Q_{EPACS} , è dato dalla:

$$Q_{EPACS} = \sum_{m=1}^{12} Q_{EPACS,m} \quad (65)$$

Il rendimento medio mensile per la produzione di acqua calda, $\eta_{gACS,m}$, similmente a quanto visto per la climatizzazione invernale, è il prodotto di tre rendimenti identificativi delle varie parti dell'impianto (erogazione, distribuzione e produzione):

$$\eta_{gACS,m} = \eta_{eACS} \cdot \eta_{dACS} \cdot \eta_{pACS,m} \quad (66)$$

dove:

η_{eACS} è il rendimento di erogazione;

η_{dACS} è il rendimento di distribuzione;

$\eta_{pACS,m}$ è il rendimento di produzione medio mensile nel mese m^{esimo} .



11.1 Rendimento di erogazione (η_{eACS})

Si assume come valore 0,95. Le perdite così calcolate si considerano tutte non recuperabili.

11.2 Rendimento di distribuzione (η_{dACS})

Supponendo di semplificare e di considerare tutte le perdite non recuperabili sulla base dei valori dei coefficienti di perdita per distribuzione forniti dalla raccomandazione CTI-R 03/3, si possono ipotizzare in funzione delle possibili configurazioni impiantistiche i rendimenti di distribuzione indicati nel prospetto XXII.

Tipologia del sistema	Tipo di distribuzione	η_{dACS}
Sistemi installati prima della 373/76	senza ricircolo	0,88
	con ricircolo	0,73
Sistemi installati dopo la 373/76	senza ricircolo	0,92
	con ricircolo	0,85
Sistemi autonomi con generatore combinato o dedicato con portata termica < 35 kW	senza ricircolo	0,85

Prospetto XXII – Elaborazione dei dati relativi al coefficiente di perdita, η_{dACS} , forniti nella raccomandazione CTI-R. (Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, "Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari", 2003).

11.3 Rendimento di produzione medio mensile nel mese ($\eta_{pACS,m}$)

Qualora vi sia produzione combinata di energia termica per riscaldamento e acqua calda sanitaria, il rendimento di produzione si deve desumere secondo la procedura di calcolo riportata nel paragrafo 9.1.4. In tal caso l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese m^{esimo} , da usare nell'equazione 37, è data da:

$$Q_{p,m} = \frac{Q_{H,m}}{\eta_d \cdot \eta_c \cdot \eta_e} + \frac{Q_{ACS,m}}{\eta_{eACS} \cdot \eta_{dACS}} + Q_{S,m} \quad (67)$$

dove:

Q_S sono le perdite di accumulo, qualora sia presente un sistema di accumulo.

Occorre tenere presente che, nel caso di impianti combinati, il rendimento di produzione medio mensile e il fabbisogno annuo di energia primaria devono essere calcolati suddividendo l'anno in due periodi:

- periodo con funzionamento combinato riscaldamento/acqua calda sanitaria (invernale);
- periodo con funzionamento per sola produzione di acqua calda sanitaria (estivo).

Ai fini della presente procedura, secondo quanto riportato nella raccomandazione CTI-R 03/3, nel caso siano installate pompe di ricircolo non devono essere considerati il relativo fabbisogno elettrico e il recupero termico.

Qualora l'impianto fosse preposto alla sola produzione di acqua calda sanitaria sono possibili due casi:

- impianto autonomo di produzione per singola unità immobiliare;
- impianto centralizzato a servizio di più unità.



Nel primo caso si utilizzano i valori convenzionali del seguente prospetto XXIII. I rendimenti forniti dal prospetto tengono già conto, per gli apparecchi ad accumulo, della perdita di accumulo, valutata pari a circa il 10%. Per gli scaldacqua elettrici si è considerato inoltre un rendimento di produzione e distribuzione del 37%³.

Tipo di apparecchio	Versione	η_{PACS}
Generatore a gas di tipo istantaneo per sola produzione di acqua calda sanitaria	Tipo B con pilota permanente	0,45
	Tipo B senza pilota	0,85
	Tipo C senza pilota	0,88
Generatore a gas ad accumulo per sola produzione di acqua calda sanitaria	Tipo B con pilota permanente	0,65
	Tipo B senza pilota	0,75
	Tipo C senza pilota	0,85
Accumulatore per produzione di acqua calda sanitaria a riscaldamento indiretto	A serpentino	0,90
	A camicia	0,85
Riscaldamento elettrico a resistenza ad accumulo		0,333

Prospetto XXIII – Rendimenti di produzione nel caso di produzione per singola unità immobiliare.
(Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, “Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari”, 2003).

Le perdite di accumulo, come indicato dalla raccomandazione CTI-R 03/3, si possono calcolare tramite la:

$$Q_{S,m} = f'_s \cdot N_m \cdot 24 \cdot 10^{-3} \quad (68)$$

dove:

f'_s è il coefficiente di perdita in funzione della classe di volume dell'accumulo.

I valori di f'_s sono riportati nel prospetto XXIV.

La durata giornaliera di funzionamento dell'impianto ACS è assunta pari a 24 ore.

Volume di accumulo	f'_s [W]
da 10 fino a 50 litri	30
da 50 a 200 litri	60
200 a 1500 litri	120
da 1.500 a 10.000 litri	500
oltre i 10.000	900

Prospetto XXIV – Fattore da applicare per il calcolo delle perdite di accumulo.
(Fonte: Comitato Termotecnico Italiano, “Prestazioni energetiche degli edifici. Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari”, 2003).

In caso di impianto centralizzato preposto alla sola produzione di acqua calda sanitaria il rendimento di produzione medio mensile si calcola secondo la seguente equazione 36 dove:

$$Q_{p,m} = \frac{Q_{ACS,m}}{\eta_{eACS} \cdot \eta_{dACS}} + Q_{S,m} \quad (69)$$

³ Fonte: Autorità per l'energia elettrica e il gas, dati statistici 1999. Rendimento calcolato considerando un consumo specifico medio per impianti termoelettrici pari a 2.174 kcal/kWh e perdite di rete pari al 6,5%.

11.4 Fabbisogno di energia primaria per impianti combinati (acqua calda ad uso sanitario e climatizzazione invernale)

Il fabbisogno di energia primaria per impianti combinati (acqua calda sanitaria e climatizzazione invernale) viene calcolato come somma del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e del fabbisogno di energia primaria per acqua calda sanitaria.

Nel calcolo delle due frazioni deve essere usato il rendimento medio mensile dell'impianto calcolato come prodotto del rendimento di emissione, regolazione, distribuzione e di produzione medio mensile per il riscaldamento e come prodotto del rendimento di erogazione, distribuzione e produzione medio mensile per l'acqua calda sanitaria.

12 Contributi dovuti alle fonti energetiche rinnovabili

12.1 Solare termico

Il contributo energetico annuale dovuto agli impianti solari termici $Q_{ST,m}$ è dato dalla:

$$Q_{ST} = \sum_{m=1}^{12} Q_{ST,m} \quad (70)$$

dove:

$Q_{ST,m}$ contributo energetico mensile dovuto agli impianti solari termici.

Il contributo energetico mensile $Q_{ST,m}$ viene calcolato moltiplicando l'area di captazione per il valore pre-calcolato di resa unitaria riportato nel prospetto XXV in funzione della tipologia di collettore solare impiegato e della località.

$$Q_{ST,m} = A_{ST} \cdot I_{ST,m} \quad (71)$$

dove:

A_{ST} area di captazione dell'impianto solare termico;

$I_{ST,m}$ energia prodotta, per unità di superficie da impianti solari termici.

I valori di energia termica prodotta in ogni mese, per unità di superficie, da un impianto solare, $I_{ST,m}$, sono stati definiti considerando, per ciascun capoluogo di provincia, quanto segue:

- orientamento dei pannelli a sud;
- inclinazione ottimale dei pannelli rispetto all'orizzonte, β , in modo da ottimizzare la captazione dell'energia solare.

Tali valori sono stati definiti per quattro tipologie differenti di collettori solari:

1. piano non vetrato;
2. piano vetrato;
3. piano vetrato selettivo;
4. sottovuoto.



Città	β	collettore	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Bergamo	43°	1	3,8	29,5	38,0	28,7	53,7	72,2	98,7	87,2	56,2	51,6	24,8	8,6
		2	26,3	43,5	78,3	83,2	99,5	103,9	123,9	114,1	92,1	77,6	33,2	27,7
		3	29,2	46,5	81,9	87,5	103,9	107,9	128,1	118,1	96,0	80,7	35,8	30,6
		4	37,3	51,5	83,2	91,0	104,6	105,7	123,2	114,3	95,4	79,4	40,6	37,9
Brescia	45°	1	5,6	39,3	51,2	32,6	63,5	84,4	112,6	98,8	62,6	52,7	34,0	14,8
		2	31,2	53,8	90,1	86,6	107,4	113,9	135,2	124,0	98,5	79,1	42,8	35,3
		3	34,4	57,1	94,0	91,0	111,9	118,1	139,6	128,2	102,5	82,3	45,7	38,4
		4	42,8	61,6	94,1	94,2	111,6	114,8	133,5	123,3	101,5	81,0	50,0	45,5
Como	45°	1	10,9	29,2	35,9	26,2	45,8	69,8	95,4	80,4	46,9	49,3	28,8	11,6
		2	33,0	43,1	76,6	82,3	92,3	102,2	120,9	107,8	83,9	76,7	37,1	30,5
		3	36,1	46,0	80,2	86,6	96,5	106,1	125,1	111,7	87,5	79,8	39,8	33,5
		4	43,7	51,0	81,6	90,5	97,9	104,2	120,5	108,4	87,8	78,8	44,3	40,6
Cremona	37°	1	0,0	19,6	35,6	36,9	65,7	95,4	120,2	99,2	56,5	35,5	13,8	0,0
		2	16,2	37,8	77,3	91,9	110,6	125,3	143,1	125,3	93,1	64,5	26,3	13,0
		3	19,1	40,8	81,0	96,4	115,2	129,7	147,7	129,5	96,9	67,4	28,9	15,7
		4	29,0	46,9	82,6	99,3	114,9	125,6	141,0	124,7	96,4	67,6	34,8	25,1
Lecco	46°	1	17,0	34,7	42,4	29,8	44,3	66,3	90,5	77,3	48,1	53,4	35,8	17,5
		2	36,3	46,6	80,8	84,3	92,9	101,6	119,2	107,7	86,1	79,0	41,6	33,9
		3	39,5	49,6	84,4	88,6	97,2	105,7	123,4	111,8	89,9	82,1	44,3	36,9
		4	46,3	54,0	85,1	92,1	98,9	104,3	119,5	109,0	90,2	80,7	48,2	43,3
Lodi	37°	1	0,0	17,2	34,6	35,2	64,5	93,6	118,2	95,0	51,7	33,1	12,5	0,0
		2	13,2	35,6	75,8	89,4	108,0	121,6	140,5	121,1	88,6	62,3	25,0	11,4
		3	16,0	38,6	79,4	93,8	112,6	125,9	145,0	125,3	92,4	65,2	27,6	14,0
		4	26,1	44,8	81,0	96,8	112,2	121,7	138,4	120,8	92,2	65,6	33,6	23,5
Milano	38°	1	0,0	21,8	40,4	37,9	64,7	88,7	117,5	96,4	56,9	39,1	16,1	0,0
		2	16,1	38,1	79,8	90,8	107,9	116,7	137,8	120,4	91,5	66,5	27,0	14,2
		3	18,9	41,0	83,5	95,2	112,4	120,9	142,2	124,5	95,3	69,3	29,5	16,8
		4	28,4	46,7	84,4	97,8	112,0	117,1	135,4	119,7	94,5	69,1	35,1	25,8
Mantova	37°	1	0,0	17,0	31,6	32,9	62,7	94,2	118,4	97,1	53,1	33,8	14,7	0,0
		2	14,9	35,5	73,4	87,6	107,4	123,7	141,3	122,6	88,9	61,6	25,6	13,4
		3	17,7	38,4	77,0	92,0	112,0	128,1	145,9	126,8	92,6	64,3	28,0	16,1
		4	27,6	44,7	78,9	95,2	111,9	124,1	139,3	122,1	92,3	64,5	33,7	25,2
Pavia	37°	1	0,0	15,5	31,7	32,0	62,0	92,2	115,3	93,9	49,6	30,0	10,0	0,0
		2	12,8	34,3	73,5	87,9	107,7	124,0	140,9	122,2	87,3	59,7	23,2	11,1
		3	15,6	37,2	77,1	92,3	112,3	128,5	145,5	126,5	91,1	62,5	25,7	13,7
		4	25,8	43,6	78,9	95,7	112,4	124,8	139,5	122,4	91,2	63,2	32,0	23,3
Sondrio	50°	1	25,6	57,1	68,6	40,3	60,1	73,9	88,7	86,8	67,5	63,3	62,0	23,2
		2	51,6	71,8	111,0	97,8	109,3	109,5	118,3	119,3	108,8	93,3	70,0	46,8
		3	55,4	75,6	115,5	102,5	114,1	113,7	122,6	123,6	113,3	96,9	73,7	50,3
		4	62,8	79,3	114,7	105,5	114,7	111,8	118,9	120,4	112,5	95,2	76,4	57,5
Varese	47°	1	14,1	26,6	28,5	15,6	39,7	54,9	80,1	66,4	40,1	40,5	32,5	19,8
		2	39,5	47,0	76,8	77,9	94,3	97,2	115,4	104,4	85,9	74,7	46,6	43,2
		3	42,9	50,3	80,7	82,3	98,8	101,4	119,8	108,6	90,0	78,0	49,7	46,7
		4	50,9	56,3	83,6	87,7	101,6	101,6	117,4	107,5	91,7	78,4	54,9	54,0

Prospetto XXV – Energia prodotta, per unità di superficie, da un impianto solare termico, $I_{ST,m}$, in funzione delle caratteristiche dei collettori solari installati nei diversi capoluoghi di provincia [kWh/m² mese].
(Fonte: elaborazione Punto Energia).



Nel caso l'impianto solare termico sia asservito alla sola produzione di acqua calda sanitaria l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese m^{esimo} , da usare nell'equazione 37, è data da:

$$Q_{p,m} = \frac{Q_{ACS,m}}{\eta_{eACS,m} \cdot \eta_{dACS,m}} + Q_{S,m} - Q_{ST,m} \quad (72)$$

In questo caso l'energia primaria è data dalla:

$$Q_{EPACS,m} = \frac{Q_{ACS,m}}{\eta_{gACS,m}} + \frac{Q_{S,m}}{\eta_{pACS,m}} - Q_{ST,m} \quad (73)$$

Nel caso l'impianto solare termico sia asservito alla sola climatizzazione invernale l'energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese m^{esimo} , da usare nell'equazione 37, è data da:

$$Q_{p,m} = \frac{Q_{H,m}}{\eta_{c,m} \cdot \eta_{d,m} \cdot \eta_{e,m}} - Q_{ST,m} \quad (74)$$

In questo caso l'energia primaria è data dalla:

$$Q_{EPH,m} = \frac{Q_{H,m}}{\eta_{g,m}} - Q_{ST,m} \quad (75)$$

Se l'impianto solare termico è asservito sia alla climatizzazione invernale che alla produzione di acqua calda sanitaria si assume che tutto il contributo energetico mensile, $Q_{ST,m}$, derivante dallo stesso sia attribuito al solo riscaldamento.

12.2 Solare fotovoltaico

Il contributo energetico annuale dovuto agli impianti solari fotovoltaici, Q_{FV} , è dato dalla:

$$Q_{FV} = \sum_{m=1}^n Q_{FV,m} \quad (76)$$

dove:

$Q_{FV,m}$ contributo energetico mensile dovuto agli impianti solari fotovoltaici.

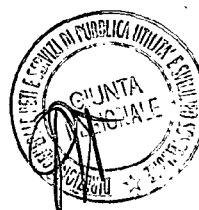
Il contributo energetico dovuto agli impianti solari fotovoltaici, Q_{SFV} , viene calcolato moltiplicando l'area di captazione per il valore precalcolato di resa unitaria riportato nel prospetto XXVI in funzione della tipologia della cella fotovoltaico e della località.

I valori di energia elettrica prodotta annualmente, per unità di superficie, da un impianto solare fotovoltaico, $I_{FV,m}$, sono stati definiti considerando, per ciascun capoluogo di provincia, quanto segue:

- orientamento dei pannelli a sud;
- inclinazione ottimale dei pannelli rispetto all'orizzonte, β , in modo da ottimizzare la captazione dell'energia solare.

Tali valori sono stati definiti per tre tipologie differenti di pannelli solari.

$$Q_{FV,m} = A_{FV} \cdot I_{FV,m} \quad (77)$$



dove:

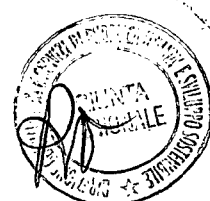
 A_{FV} area di captazione dell'impianto solare fotovoltaico; $I_{FV,m}$ energia prodotta, per unità di superficie da impianti solari fotovoltaici.

Località	β	Tipologia silicio *	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Bergamo	43	1	8,4	10,7	16,3	18,2	20,4	20,2	23,2	21,7	18,4	15,2	8,5	8,4
		2	6,7	8,6	13,0	14,5	16,3	16,2	18,6	17,3	14,8	12,2	6,8	6,7
		3	3,9	5,0	7,6	8,5	9,5	9,4	10,8	10,1	8,6	7,1	4,0	3,9
Brescia	45	1	9,5	12,6	18,3	18,7	21,6	21,8	25,1	23,3	19,6	15,5	10,3	9,8
		2	7,6	10,1	14,6	15,0	17,3	17,4	20,0	18,6	15,6	12,4	8,2	7,9
		3	4,4	5,9	8,5	8,7	10,1	10,2	11,7	10,9	9,1	7,2	4,8	4,6
Como	45	1	9,6	10,6	16,0	18,1	19,2	20,0	22,7	20,6	17,1	15,1	9,2	8,9
		2	7,6	8,5	12,8	14,5	15,4	16,0	18,2	16,5	13,6	12,1	7,4	7,1
		3	4,5	4,9	7,5	8,5	9,0	9,3	10,6	9,6	8,0	7,1	4,3	4,1
Cremona	37	1	7,0	10,0	16,2	19,7	22,3	23,8	26,4	23,5	18,6	13,1	7,6	6,2
		2	5,6	8,0	13,0	15,8	17,8	19,1	21,2	18,8	14,9	10,5	6,1	4,9
		3	3,3	4,6	7,6	9,2	10,4	11,1	12,3	11,0	8,7	6,1	3,5	2,9
Lecco	46	1	10,0	11,1	16,6	18,4	19,4	20,1	22,7	20,8	17,5	15,4	9,9	9,3
		2	8,0	8,9	13,3	14,7	15,6	16,0	18,1	16,6	14,0	12,3	7,9	7,4
		3	4,6	5,2	7,7	8,6	9,1	9,4	10,6	9,7	8,2	7,2	4,6	4,3
Lodi	37	1	6,5	9,6	15,9	19,2	21,7	23,0	25,9	22,8	17,9	12,8	7,3	5,9
		2	5,2	7,7	12,7	15,4	17,4	18,4	20,8	18,3	14,3	10,2	5,9	4,7
		3	3,0	4,5	7,4	9,0	10,1	10,8	12,1	10,7	8,3	6,0	3,4	2,7
Milano	38	1	6,8	9,9	16,5	19,4	21,7	22,2	25,3	22,6	18,2	13,4	7,6	6,3
		2	5,5	7,9	13,2	15,5	17,4	17,8	20,3	18,0	14,6	10,7	6,1	5,0
		3	3,2	4,6	7,7	9,0	10,1	10,4	11,8	10,5	8,5	6,2	3,5	2,9
Mantova	37	1	6,7	9,6	15,6	19,0	21,7	23,5	26,1	23,0	17,9	12,5	7,3	6,2
		2	5,4	7,6	12,5	15,2	17,4	18,8	20,9	18,4	14,3	10,0	5,9	4,9
		3	3,1	4,5	7,3	8,9	10,1	11,0	12,2	10,8	8,3	5,8	3,4	2,9
Pavia	37	1	6,5	9,4	15,6	19,1	21,8	23,7	26,2	23,2	17,7	12,3	7,1	5,9
		2	5,2	7,5	12,5	15,3	17,5	19,0	21,0	18,5	14,2	9,9	5,6	4,7
		3	3,0	4,4	7,3	8,9	10,2	11,1	12,2	10,8	8,3	5,8	3,3	2,7
Sondrio	50	1	13,3	15,9	22,2	20,9	22,4	21,4	22,6	22,9	21,7	18,2	15,2	12,2
		2	10,6	12,7	17,7	16,8	17,9	17,2	18,1	18,3	17,4	14,6	12,2	9,7
		3	6,2	7,4	10,3	9,8	10,4	10,0	10,5	10,7	10,1	8,5	7,1	5,7
Varese	47	1	11,0	11,8	16,6	17,8	20,1	19,8	22,4	20,7	18,0	15,3	11,4	11,5
		2	8,8	9,4	13,3	14,3	16,1	15,8	18,0	16,6	14,4	12,2	9,1	9,2
		3	5,1	5,5	7,8	8,3	9,4	9,2	10,5	9,7	8,4	7,1	5,3	5,4

* 1. monocristallino, 2. policristallino, 3. amorfo

Prospetto XXVI – Energia prodotta, per unità di superficie, da un impianto solare fotovoltaico nel mese, $I_{FV,m}$, in funzione delle caratteristiche dei pannelli solari installati nei diversi capoluoghi di provincia [kWh/m² mese].

(Fonte: elaborazione Punto Energia).



Se l'impianto solare fotovoltaico serve una pompa di calore alimentata ad energia elettrica, il calcolo del fabbisogno di energia primaria è dato da:

$$Q_{EPH,m} = \frac{Q_{H,m}}{\eta_{g,m}} - Q_{FV,m} \quad (78)$$

Se è presente un altro sistema per la produzione di energia elettrica alimentato a fonti rinnovabili (p.e. eolico o idroelettrico) che alimenta una pompa di calore elettrica, il calcolo del fabbisogno di energia primaria è dato da:

$$Q_{EPH,m} = \frac{Q_{H,m}}{\eta_{g,m}} - Q_{Fee,m} \quad (79)$$

dove:

Q_{Fee} contributo energetico da sistema per la produzione di energia elettrica alimentato a fonti rinnovabili.

Al fine di promuovere la diffusione delle fonti di energia rinnovabile per la produzione di energia elettrica verranno conteggiate le relative emissioni di gas serra evitate che saranno sottratte da quelle prodotte dall'edificio.

13 Indicatori di prestazione energetica dell'edificio

I principali indicatori di prestazione energetica dell'edificio che verranno riportati nell'attestato di certificazione sono qui di seguito elencati:

- Fabbisogno energetico specifico dell'involucro per la climatizzazione invernale (FE_R):

$$FE_R = \frac{Q_H}{A} \quad (80)$$

- Fabbisogno di energia primaria specifico per la climatizzazione invernale (FEP_R):

$$FEP_R = \frac{Q_{EPH}}{A} \quad (81)$$

- Fabbisogno energetico specifico per l'acqua calda sanitaria (FE_{ACS}):

$$FE_{ACS} = \frac{Q_{ACS}}{A} \quad (82)$$

- Fabbisogno di energia primaria specifico per la produzione di ACS (FEP_{ACS}):

$$FEP_{ACS} = \frac{Q_{EPACS}}{A} \quad (83)$$

