

Stefano Cascio

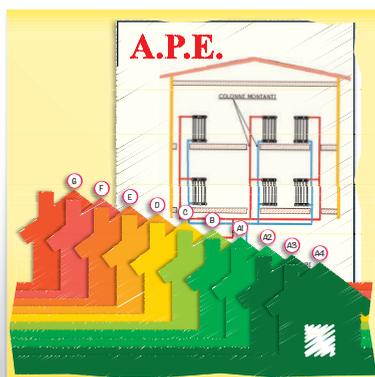
APE

E CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

**GUIDA ALL'APPLICAZIONE DELLE NORME UNI/TS 11300
RICHIAMATE DAI DECRETI MINISTERIALI DEL 26 GIUGNO 2015**

SECONDA EDIZIONE

AGGIORNATA ALLE NORME UNI/TS 11300-4-5-6 DEL MARZO 2016



SOFTWARE INCLUSO

PER IL CALCOLO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DI EDIFICI RESIDENZIALI E NON RESIDENZIALI
E PER LA REDAZIONE DELL'ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA (APE)



GRAFILL

INDICE

PREMESSA	p.	1
1. INTRODUZIONE	"	3
1.1. UNI/TS 11300-1	"	3
1.2. UNI/TS 11300-2	"	4
1.3. UNI/TS 11300-3	"	5
1.4. UNI/TS 11300-4	"	5
1.5. UNI/TS 11300-5	"	5
1.6. UNI/TS 11300-6	"	5
1.7. Uso standard edificio	"	6
1.8. Definizioni	"	9
2. PROCEDURA DI CALCOLO: BILANCIO ENERGETICO	"	14
2.1. Generalità.....	"	14
2.2. Calcolo degli scambi di energia termica.....	"	15
2.3. Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione.....	"	16
2.4. Calcolo dei coefficienti globali di scambio termico per ventilazione.....	"	17
2.5. Calcolo degli apporti termici	"	17
2.6. Fabbisogno di energia termica per umidificazione e deumidificazione dei locali	"	19
3. PONTI TERMICI	"	22
3.1. Tipologie di ponti termici	"	22
3.2. Definizioni	"	23
3.3. Normative sui ponti termici	"	23
3.4. Calcolo numerico.....	"	24
3.5. Atlante dei ponti termici	"	25
3.6. Calcoli manuali.....	"	25
3.7. Calcolo della conduttività equivalente.....	"	27
3.8. Esempi numerici	"	27
4. SCAMBI ENERGETICI	"	44
4.1. Dati di ingresso per i calcoli	"	45
4.2. Fabbisogno di energia termica.....	"	48
4.3. Calcolo degli scambi di energia termica.....	"	49
4.4. Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione.....	"	50

4.5.	Calcolo del coefficiente di scambio termico.....	p.	51
4.6.	Coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno.....	"	52
4.7.	Calcolo dell'energia scambiata attraverso il terreno.....	"	55
4.8.	Energia scambiata per ventilazione.....	"	56
4.9.	Energia scambiata verso ambienti non climatizzati.....	"	58
4.10.	Energia scambiata con zone a temperatura fissata e costante.....	"	67
4.11.	Calcolo dell'extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste.....	"	68
5.	CALCOLO APPORTI GRATUITI: INTERNI ED ESTERNI	"	71
5.1.	Apporti interni.....	"	71
5.2.	Apporti solari.....	"	72
5.2.1.	Apporti solari termici sulle chiusure opache.....	"	73
5.2.2.	Apporti solari termici sui componenti trasparenti.....	"	74
6.	CALCOLO PARAMETRI DINAMICI	"	78
6.1.	Costante di tempo di un edificio.....	"	78
6.2.	Determinazione del fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti.....	"	79
7.	IMPIANTI I CLIMATIZZAZIONE INVERNALE	"	81
7.1.	Individuazione sistema edificio-impianto.....	"	81
7.2.	L'impianto per la climatizzazione invernale.....	"	82
7.3.	Sottosistema di generazione.....	"	83
7.3.1.	Caldia standard a temperatura costante (* o **).....	"	83
7.3.2.	Caldia a temperatura scorrevole (***).....	"	83
7.3.3.	Caldia a condensazione (****).....	"	86
7.3.4.	Pompa di calore.....	"	86
7.4.	Suddivisione degli impianti.....	"	86
7.5.	Bilancio termico dei sottosistemi.....	"	87
7.6.	Fabbisogno termico.....	"	88
7.7.	Sistema di utilizzazione.....	"	89
7.7.1.	Termosifoni (radiatori o convertitori).....	"	89
7.7.2.	Ventilconvettori.....	"	90
7.7.3.	Radiatori a battiscopa.....	"	90
7.7.4.	Pannelli radianti.....	"	90
8.	RENDIMENTI SOTTOSISTEMI DI EMISSIONE, REGOLAZIONE, DISTRIBUZIONE E GENERAZIONE	"	91
8.1.	Rendimento di emissione.....	"	91
8.2.	Il sistema di regolazione.....	"	93
8.3.	Rendimento di regolazione.....	"	93
8.4.	Tipologia reti di distribuzione.....	"	96
8.4.1.	Sistema a due tubi.....	"	96

8.4.2.	Sistema monotubo.....	p.	97
8.4.3.	Impianto a zone (Collettori complanari).....	"	98
8.5.	Calcolo delle perdite di distribuzione.....	"	99
8.6.	Energia termica utile all'ingrosso delle reti di distribuzione.....	"	100
8.6.1.	Calcolo delle perdite delle reti di distribuzione.....	"	101
8.7.	Rendimento di generazione.....	"	110
8.8.	Potenza di progetto secondo UNI EN 12834.....	"	112
8.9.	Spazi riscaldati in modo intermittente.....	"	113
8.10.	Metodo semplificato per la determinazione della potenza di ripresa.....	"	113
8.11.	Calcolo analitico delle perdite di generazione.....	"	114
8.12.	Dati del generatore.....	"	115
9.	FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE PER LA PRODUZIONE		
	DI ACQUA CALDA SANITARIA.....	"	127
9.1.	Volume d'acqua giornaliero.....	"	127
9.2.	Temperature dell'acqua sanitaria.....	"	128
9.3.	Fabbisogno di energia utile per acs.....	"	128
9.4.	Sistemi di produzione dell'acqua calda sanitaria.....	"	129
9.5.	Sottosistema di erogazione.....	"	130
9.6.	Sottosistema di distribuzione.....	"	130
9.7.	Perdite nel serbatoio di accumulo.....	"	132
9.8.	Ausiliari dei sottosistemi di acqua calda sanitaria.....	"	133
9.9.	Fabbisogno di energia.....	"	134
10.	CLIMATIZZAZIONE ESTIVA:		
	EQUAZIONI FONDAMENTALI.....	"	136
10.1.	Durata climatizzazione estiva.....	"	137
10.2.	Determinazione del fabbisogno ideale di raffrescamento (passo 1).....	"	138
10.3.	Calcolo delle perdite di emissione (passo 2).....	"	139
10.4.	Calcolo delle perdite di regolazione (passo 3).....	"	140
10.5.	Calcolo delle perdite di distribuzione (passo 4).....	"	140
10.6.	Perdite di accumulo (passo 5).....	"	143
10.7.	Eventuale energia recuperata (passo 6).....	"	143
10.8.	Calcolo del fabbisogno per trattamento dell'aria (passo 7).....	"	144
10.9.	Calcolo del fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari (passo 8).....	"	144
10.10.	Calcolo del coefficiente di prestazione medio mensile (passo 9).....	"	146
11.	POMPE DI CALORE.....	"	150
11.1.	Utilizzazione della pompa di calore.....	"	152
11.2.	Specifica tecnica UNI/TS 11300-4 (marzo 2016).....	"	152
11.3.	Dati per il calcolo.....	"	153
11.4.	Determinazione delle prestazioni a pieno carico in condizioni diverse da quelle dichiarate (punto 9.4.3.1 della UNI/TS 11300-4).....	"	154

11.5.	Rendimento di secondo principio (punto 9.4.3.2 della UNI/TS 11300-4).....	p.	154
11.6.	Correzione del COP e del GUE (punto 9.4.4 della UNI/TS 11300-4).....	"	156
11.7.	Calcolo del fattore correttivo con modelli di calcolo di default (punto 9.4.4.2 della UNI/TS 11300-4).....	"	157
11.8.	Intervalli di calcolo	"	158
11.9.	Metodo per la determinazione dei bin mensili.....	"	158
11.10.	Pompe di calore per la produzione di acqua calda sanitaria.....	"	159
11.11.	Pompe di calore per la produzione di calore per riscaldamento.....	"	160
11.12.	Calcolo dei fabbisogni di energia	"	162
12. CALCOLO DELL'ENERGIA PRIMARIA			
E DELLA QUOTA DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI			
SECONDO LE INDICAZIONI DELLA UNI/TS 11300-5			
		"	164
12.1.	Premessa	"	164
12.2.	Confine dell'edificio e confine di valutazione	"	166
12.3.	Fonti di energia e vettori energetici	"	166
12.4.	Prestazione energetica dell'edificio	"	167
12.5.	Calcolo del fabbisogno annuale di energia primaria globale.....	"	168
12.6.	Bilancio mensile tra energia consegnata ed esportata.....	"	169
12.7.	Ripartizione per servizio dell'energia consegnata o esportata	"	169
12.8.	Calcolo dei fabbisogni di energia dell'edificio	"	170
12.9.	Generatori per la produzione di energia	"	171
13. FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI			
		"	172
13.1.	Norma tecnica	"	173
13.2.	Energia Solare.....	"	173
13.3.	Solare termico	"	174
13.4.	Metodi di calcolo	"	175
13.5.	Metodo B	"	175
13.6.	Fabbisogno applicato all'impianto solare termico.....	"	176
13.7.	Calcolo del fattore adimensionale X.....	"	176
13.8.	Calcolo del coefficiente di perdita di energia del circuito del collettore U_{loop}	"	177
13.9.	Calcolo del fattore adimensionale Y	"	178
13.10.	Calcolo del coefficiente di correzione della capacità di accumulo f_{st}	"	178
13.11.	Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari	"	179
13.12.	Perdite dell'impianto solare termico.....	"	180
13.13.	Calcolo dell'irradianza incidente sul piano dei collettori.....	"	180
13.14.	Riduzione del fabbisogno di energia primaria.....	"	181
13.15.	Tipologia impianti solari.....	"	181
13.16.	Impianti fotovoltaici	"	186

14. DETERMINAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO	
PER ASCENSORI	p. 188
14.1. Premessa	" 188
14.2. Fabbisogno di energia degli ascensori	" 188
14.3. Fabbisogno energetico apparecchiature di comando	" 189
14.4. Esempio di calcolo del fabbisogno energetico di un ascensore.....	" 191
15. FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA	
PER L'ILLUMINAZIONE DEGLI AMBIENTI	" 193
15.1. Fabbisogno di energia per l'illuminazione degli ambienti.....	" 193
15.2. Fabbisogno di energia per i dispositivi di controllo e di emergenza.....	" 194
15.3. Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione esterna dell'edificio	" 194
16. CERTIFICAZIONE ENERGETICA	
PER EDIFICI PRIVI DI IMPIANTI TERMICI	" 196
16.1. Prestazione energetica e servizi energetici	" 196
17. INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO	" 197
17.1. Note sul software incluso.....	" 197
17.2. Requisiti hardware e software.....	" 197
17.3. Download del software e richiesta della password di attivazione.....	" 198
17.4. Installazione ed attivazione del software	" 198
18. MANUALE OPERATIVO DEL SOFTWARE	" 202
18.1. Interfaccia del software.....	" 202
18.2. Menu [File]	" 203
18.3. Menu [Pagina iniziale].....	" 205
18.3.1. Comando [Generale].....	" 205
18.3.2. Comando [Dati climatici].....	" 205
18.3.3. Comando [Componenti].....	" 206
18.3.4. Comando [Vettori energetici].....	" 211
18.3.5. Comando [Professionisti].....	" 211
18.3.6. Gruppo comandi [Archivio].....	" 211
18.4. Menu [Fabbricato]	" 212
18.4.1. Comando [Capacità Termica]	" 214
18.4.2. Comando [Ventilazione]	" 214
18.4.3. Comando [Apporti termici].....	" 214
18.4.4. Comando [Fabbisogno ACS]	" 214
18.5. Nuovo ambiente.....	" 214
18.5.1. Comando [Generale].....	" 215

18.5.2. Comando [Trasmissione]	p.	215
18.6. Zone non climatizzate	"	217
18.7. Menu [Impianto]	"	217
18.7.1. Gruppo comandi [Ventilazione (V)]	"	217
18.7.2. Gruppo comandi [Riscaldamento + ACS (H/W)]	"	218
18.7.3. Gruppo comandi [Raffrescamento (C)]	"	219
18.8. Menu [Calcolo/Risultati]	"	220
18.9. Menu [Elaborati]	"	221

PREMESSA

Il presente testo tratta delle norme UNI/TS 11300 pubblicate a partire dal 2008, richiamate anche al punto **4.1. Metodo di calcolo di progetto** dal recente Decreto 26 giugno 2015 sulla certificazione energetica.

Esso esplicitamente indica che per quanto riguarda il calcolo dei parametri, degli indici di prestazione energetica e dei rendimenti, di cui al Capitolo 3, e gli schemi di relazione tecnica approvati con il decreto di cui al comma 1, dell'articolo 8, del Decreto Legislativo, in attuazione della procedura di calcolo di progetto o di calcolo standardizzato di cui al paragrafo 3.1, si procede nel rispetto dell'articolo 11 del Decreto Legislativo, secondo i seguenti metodi di calcolo:

- a) Raccomandazione CTI 14/2013 *“Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione dell’energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell’edificio”*, o normativa UNI equivalente e successive norme tecniche che ne conseguono;
- b) UNI/TS 11300-1 *“Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva e invernale”*;
- c) UNI/TS 11300-2 *“Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l’illuminazione”*;
- d) UNI/TS 11300-3 *“Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”*;
- e) UNI/TS 11300-4 *“Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”*;
- f) UNI/TS 11300-5 *“Calcolo dell’energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili”*;
- g) UNI/TS 11300-6 *“Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili”*.

Il metodo di calcolo di progetto è applicabile a tutte le tipologie edilizie, sia per gli edifici nuovi che per quelli esistenti, indipendentemente dalla loro dimensione.

Nei sedici capitoli in cui è sviluppato il testo si esaminano le UNI/TS 11300 Parti 1, 2, 3, 4, 5 e 6; in particolare, per le Parti 1 e 2 si sono inseriti, oltre il contenuto della norma, grafici, disegni e quant'altro al fine di evitare al Lettore sia la ricerca di norme richiamate e sia la ricerca del particolare funzionamento di apparecchiature.

Per la UNI/TS Parte 3, calcolo dell'energia primaria per il raffrescamento, si indica il procedimento generale di calcolo e si danno le relative formule.

Della UNI/TS Parte 4 si riportano i punti riguardanti il solare termico, le pompe di calore e il fotovoltaico, quelli che interessano la maggior parte dei professionisti che si occupano del settore.

Nella Parte 5 delle UNI/TS 11300 sono delineati i confini di sistema relativi ai vettori energetici consegnati ed esportati.

In ultimo si tratteggia la UNI/TS 11300 Parte 6 relativa ai requisiti energetici per gli ascensori.

INTRODUZIONE

Il D.M. 26 giugno 2015 “*Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*” definisce le modalità di applicazione della **metodologia di calcolo** delle prestazioni energetiche degli edifici, ivi incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, nonché le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari. Tali norme si applicano agli edifici pubblici e privati, siano essi edifici di nuova costruzione o edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione.

Per il calcolo della prestazione energetica negli edifici, ivi incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, si devono seguire i dettami delle seguenti norme tecniche nazionali e le loro successive modificazioni e integrazioni:

- a) Raccomandazione CTI 14/2013 “*Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio*” e successive norme tecniche che ne conseguono;
- b) UNI/TS 11300-1 “*Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale*”;
- c) UNI/TS 11300-2 “*Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione*”;
- d) UNI/TS 11300-3 “*Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva*”;
- e) UNI/TS 11300-4 “*Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria*”;
- f) UNI EN 15193 “*Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione*”.

1.1. UNI/TS 11300-1

Questa norma tecnica definisce le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e per raffrescamento ($Q_{C,nd}$).

Questa norma contempla tutte le seguenti applicazioni:

- 1) calcolo di progetto (*design rating*);
- 2) valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (*asset rating*);
- 3) valutazione energetica in particolari condizioni climatiche e di esercizio (*tailored rating*).

Quando si applica la norma a interi edifici in modo omogeneo (edifici nuovi o ristrutturazioni globali) si ha:

Tipo di valutazione		Dati di ingresso		
		Uso	Clima	Edificio
A1	Sul progetto (<i>design rating</i>)	Standard	Standard	Progetto
A2	Standard (<i>asset rating</i>)	Standard	Standard	Reale
A3	Adatta all'utenza (<i>tailored rating</i>)	In funzione dello scopo		Reale

Nel caso di edifici parzialmente ristrutturati e/o in casi di ampliamento di edifici esistenti, per una valutazione delle prestazioni energetiche di tali edifici i dati di ingresso sono in parte riferiti all'edificio reale e in parte sul progetto. In questo caso la valutazione energetica diviene mista: in parte con i dati di progetto (*design rating*) e in parte con i dati dell'edificio reale (*asset rating*), vale, in questo caso la tabella seguente:

		Edificio		
		Progetto	Reale	Misto
Utenza	Standard	<ul style="list-style-type: none"> – Richiesta del permesso di costruzione – Certificazione energetica del progetto (nuova costruzione) 	<ul style="list-style-type: none"> – Certificazione energetica dell'edificio – Qualificazione energetica dell'edificio 	<ul style="list-style-type: none"> – Richiesta del titolo abilitativo (ristrutturazione) – Certificazione del progetto (ristrutturazione)
	Reale	Ottimizzazione del progetto (nuova costruzione)	<ul style="list-style-type: none"> – Diagnosi energetica (analisi dell'esistente) – Validazione modelli di calcolo (confronto con consumi reali) 	Ottimizzazione del progetto (ristrutturazione)

La valutazione energetica sul progetto, valutazione di tipo A1, o standard, valutazione di tipo A2, consente di determinare un fabbisogno energetico convenzionale (il consumo calcolato non corrisponde al consumo reale), utile per poter confrontare edifici indipendentemente dal loro reale utilizzo. La valutazione adatta all'utenza (A3) può consentire di stimare in maniera più realistica i consumi energetici.

1.2. UNI/TS 11300-2

La seconda parte della UNI/TS 11300 consente, attraverso la definizione del:

- a) rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento;
- b) rendimento medio stagionale dell'impianto di produzione di acqua calda sanitaria;
- c) rendimenti e perdite dei sottosistemi degli impianti di riscaldamento;
- d) rendimenti di emissione in locali di altezza minore di 4 m;
- e) rendimenti di emissione in locali di altezza maggiore di 4 m;
- f) rendimenti di regolazione;
- g) rendimento di distribuzione;

e delle perdite per i vari sistemi di generazione del calore, di determinare il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento dell'edificio. Sono allegate alla norma numerose tabelle che consentono un facile calcolo dei vari rendimenti.

1.3. UNI/TS 11300-3

La norma UNI/TS 11300, parte terza, riguarda il calcolo dell'energia primaria occorrente per la climatizzazione estiva di un edificio e il calcolo si articola secondo i seguenti passi:

- 1) determinazione del fabbisogno ideale di raffrescamento, $Q_{C,nd}$;
- 2) calcolo delle perdite di emissione, $Q_{l,e,k}$;
- 3) calcolo delle perdite di regolazione, $Q_{l,rg,k}$;
- 4) calcolo delle perdite di distribuzione, $Q_{l,d,k}$;
- 5) calcolo delle perdite di accumulo, $Q_{l,d,s,k}$;
- 6) eventuale energia recuperata, $Q_{rr,k}$;
- 7) calcolo del fabbisogno per trattamento dell'aria Q_V ;
- 8) calcolo del fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di climatizzazione Q_{aux} ;
- 9) calcolo del coefficiente di prestazione medio mensile η_{mm} delle macchine frigorifere attraverso la valutazione dei dati prestazionali di riferimento forniti dai costruttori.

1.4. UNI/TS 11300-4

La specifica calcola il fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso vi siano sottosistemi di generazione che forniscono energia termica utile da energie rinnovabili o con metodi di generazione diversi dalla combustione a fiamma di combustibili fossili.

Si considerano i seguenti sottosistemi per produzione di energia termica e/o elettrica:

- impianti solari termici;
- generatori a combustione alimentati a biomasse;
- pompe di calore;
- impianti fotovoltaici;
- cogeneratori.

1.5. UNI/TS 11300-5

Questa norma fornisce i metodi di calcolo per determinare, in modo univoco e riproducibile, applicando la normativa tecnica citata nei riferimenti, il fabbisogno di energia primaria degli edifici sulla base dell'energia consegnata ed esportata e la quota di energia da fonti rinnovabili.

La specifica tecnica fornisce, inoltre, precisazioni e metodi di calcolo che riguardano:

- 1) la modalità di valutazione dell'apporto di energia rinnovabile nel bilancio energetico;
- 2) la valutazione dell'energia elettrica esportata;
- 3) la definizione delle modalità di compensazione dei fabbisogni con energia elettrica attraverso energia elettrica prodotta da rinnovabili;
- 4) la valutazione dell'energia elettrica prodotta da unità cogenerative.

1.6. UNI/TS 11300-6

Questa specifica tecnica fornisce i metodi e i dati per la determinazione energia elettrica per il funzionamento di impianti destinati al sollevamento e al trasporto di persone o persone ac-

compagnate da cose in un edificio, sulla base delle caratteristiche dell'edificio e dell'impianto. I metodi di calcolo tengono in considerazione solo il fabbisogno di energia elettrica nei periodi di movimento e di sosta della fase operativa del ciclo di vita.

1.7. Uso standard edificio

Il documento definisce il metodo di calcolo della prestazione energetica degli edifici espressa in energia primaria non rinnovabile e si applica ai seguenti servizi energetici:

- a) climatizzazione invernale;
- b) climatizzazione estiva;
- c) acqua calda sanitaria;
- d) ventilazione meccanica.

Il calcolo dell'energia primaria per servizio energetico è effettuato su base annuale considerando la differenza dei vettori energetici consegnati ed esportati relativi a ciascun servizio.

Sinteticamente abbiamo il seguente specchio:

Energia per	Fabbisogno di energia utile ideale	Perdite impianto (senza recuperi)	Fabbisogno di energia termica utile	Fabbisogno di energia elettrica
Climatizzazione invernale	UNI/TS 11300-1	UNI/TS 11300-2	UNI/TS 11300-2	UNI/TS 11300-2
Climatizzazione estiva	UNI/TS 11300-1	UNI/TS 11300-3	UNI/TS 11300-3	UNI/TS 11300-3
Acqua calda sanitaria	UNI/TS 11300-2	UNI/TS 11300-2	UNI/TS 11300-2	UNI/TS 11300-2

Con la definizione **uso standard** dell'edificio si intende un uso svincolato dalla reale conduzione dello stesso da parte degli utilizzatori. Si presume cioè che gli utilizzatori si comportino secondo schemi prestabiliti: mantengano costante la temperatura all'interno dell'abitazione (20°C), aprano e chiudano le finestre per il ricambio dell'aria un certo numero di volte al giorno, consumino un certo quantitativo di acqua per farsi la doccia e così via. In realtà ogni famiglia utilizza il proprio appartamento in maniera completamente autonoma e sicuramente in maniera differente da tutte le altre.

Con la definizione **clima standard** si intende l'insieme delle temperature, delle pressioni di vapore, dell'irradiazione solare, della velocità del vento e dei gradi giorni che costituiscono il clima esterno all'edificio oggetto di calcolo. Questi dati sono dati da varie norme UNI e sono stati rilevati negli anni passati, di fatto costituiscono un clima storico e non più reale.

Risulta che il metodo di calcolo standard applicato al caso della progettazione o al caso della redazione dell'APE, conduce a calcolare un consumo energetico meramente convenzionale e non reale. Il vantaggio consiste nel fatto che i diversi soggetti professionali, dovendo utilizzare tutti gli stessi dati, se si cimentassero nella redazione di un APE dello stesso edificio, dovrebbero ottenere tutti lo stesso risultato.

La diagnosi energetica è una valutazione del tipo *adatta all'utenza* e deve essenzialmente comprendere:

- a) analisi dei consumi;
- b) prestazione energetica attuale dell'abitazione;
- c) possibili interventi migliorativi;
- d) priorità degli interventi migliorativi.

I dati relativi ai **Consumi Energetici Reali** sono presi dalle bollette (Metano e Enel) o da altre equipollenti. I consumi relativi all'immobile oggetto di analisi sono confrontati con i consumi standard che l'abitazione dovrebbe avere in base alle sue prestazioni energetiche e al riferimento di comportamento standard.

Si esegue, quindi, la verifica dei consumi energetici sia per il riscaldamento e sia per l'acqua calda sanitaria, confrontando i valori reali con quelli standard. In funzione di tale verifica è possibile stabilire eventuali interventi per migliorare l'efficienza energetica dell'edificio, quali:

- a) cappotto esterno;
- b) isolamento interno;
- c) serramenti;
- d) vetri;
- e) coperture;
- f) isolamento soletta pavimenti;
- g) caldaia a condensazione.

Nella diagnosi energetica di un edificio un ruolo significativo lo svolge la termografia, tecnica di analisi che si basa sull'uso di una termocamera per l'acquisizione di immagini a infrarossi.

Come espressamente indicato nella introduzione della UNI/TS 11300-1, la serie UNI/TS 11300 può essere utilizzata per le seguenti applicazioni:

- 1) valutare il rispetto di regolamenti espressi in termini di obiettivi energetici;
- 2) confrontare la prestazione energetica di varie alternative progettuali per un edificio in progetto;
- 3) indicare un livello convenzionale di prestazione energetica degli edifici esistenti;
- 4) stimare l'effetto di possibili interventi di risparmio energetico su un edificio esistente, calcolando il fabbisogno d'energia prima e dopo ciascun intervento;
- 5) prevedere le esigenze future di risorse energetiche su scala nazionale o internazionale, calcolando i fabbisogni di energia di tipici edifici rappresentativi del parco edilizio.

La norma UNI/TS 11300-1 adotta come unità di misura per l'energia termica il mega-joule [MJ]. La potenza calorica come ogni altra potenza si misura in watt (W) che sono joule per ogni secondo ($W = \text{joule/s}$). Il joule è l'unità di misura dell'energia. L'uso ancora piuttosto diffuso è quello di misurare l'energia in calorie (cal) o chilocalorie (kcal), oppure in wattora o in chilowattora (kWh).

Essendo misure della medesima grandezza esse sono tutte ricavabili l'una dall'altra mediante equivalenze:

- 1 kcal = 4186 joule;
- 1 kWh = 3.600.000 joule = 860 kcal;
- $1 \text{ kWh} = \frac{1 \text{ kJ}}{\text{s}} \cdot 1 \cdot \text{h} = \frac{1 \text{ kJ}}{\text{s}} \cdot 3.600 \text{ s} = 3,6 \text{ MJ}$.

Più in generale si ha:

Unità di misura	J	$\text{kgf} \cdot \text{m}$	kWh	kcal
J	1	0,102	$2,78 \cdot 10^7$	$0,2388 \cdot 10^{-3}$
$\text{kgf} \cdot \text{m}$	9,80665	1	$2,72 \cdot 10^6$	$2,34 \cdot 10^{-3}$
kWh	$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^5$	1	632,4
kcal	4186,8	426,9	0,735	1
Unità di misura per l'energia				

Unità di misura	W	$\text{kgf} \cdot \text{m/s}$	CV	kcal/h
W	1	0,102	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,85984
$\text{kgf} \cdot \text{m/s}$	9,80665	1	$1,33 \cdot 10^{-2}$	8,432
CV	735,5	75	1	632,4
kcal/h	1,163	0,1186	$1,58 \cdot 10^{-3}$	1
Unità di misura per la potenza				

Nella UNI/TS 11300-1 è utilizzata la seguente simbologia:

Simbolo	Grandezza	Unità di misura
A	Area	m^2
b	Fattore di correzione dello scambio termico	–
c	Capacità termica specifica o calore specifico	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
d	Spessore	m
F	Fattore di riduzione del flusso solare, fattore di vista	–
g	Trasmittanza di energia solare totale	–
H	Coefficiente globale di scambio di energia termica	W/K
I	Irradianza solare	W/m^2
l	Lunghezza	m
N	Durata della stagione di riscaldamento	d
n	Tasso di ricambio d'aria	h^{-1}
Q	Energia termica	MJ
q	Portata volumica	m^3/s
R	Resistenza termica	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
t	Tempo	Ms
U	Trasmittanza termica	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
V	Volume interno	m^3
α	Fattore di assorbimento	–
γ	Rapporto apporti/dispersioni	–
ε	Emissività relativa alla radiazione termica ad elevata lunghezza d'onda	–
Φ	Flusso termico, potenza termica	W
η	Efficienza, fattore di utilizzazione, rendimento	–
θ	Temperatura	$^{\circ}\text{C}$

[segue]

Simbolo	Grandezza	Unità di misura
k	Capacità termica areica	$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
ρ	Massa volumica	kg/m^3
τ	Costante di tempo	s
ψ	Trasmittanza termica lineare	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Pedici

A	apparecchiature, edificio adiacente	int	interno
a	aria	ls	dispersione termica
adj	corretto per la differenza di temperatura	m	medio
c	elemento costruttivo	mn	media sul tempo
C	raffrescamento	n	incidenza normale, netto nominale
D	trasmissione termica diretta verso l'esterno	nd	fabbisogno
day	giornaliero	ob	ostacoli esterni
des	progetto	Oc	occupante
F	telaio	ov	aggetto orizzontale
f	Pavimento, ventilazione meccanica	P	primaria (energia)
fin	aggetto verticale	r	radiazione infrarossa
e	ambiente esterno	s	superficiale, saturazione
g	terreno	set	regolazione
gl	vetro	sh	ombreggiatura, schermatura
gn	apporti termici	shut	chiusura oscurante
H	riscaldamento	sol	solare
h	orizzontale	tr	trasmissione termica
hor	orizzonte	ve	ventilazione
ht	scambio di energia termica	W	acqua calda sanitaria
i	ambiente interno	w	finestra

1.8. Definizioni

Dalle norme citate nei paragrafi precedenti riportiamo alcune definizioni utili nel proseguimento dell'argomento:

- **Attestato di qualificazione energetica:** documento predisposto ed asseverato da un professionista abilitato, non necessariamente estraneo alla proprietà, alla progettazione o alla realizzazione dell'edificio, nel quale sono riportati i fabbisogni di energia primaria di calcolo, la classe di appartenenza dell'edificio, o dell'unità immobiliare, in relazione al sistema di certificazione energetica in vigore, ed i corrispondenti valori massimi ammissibili fissati dalla normativa in vigore per il caso specifico o, ove non siano fissati tali limiti, per un identico edificio di nuova costruzione. Al di fuori di quanto previsto all'articolo 8 comma 2, l'attestato di qualificazione energetica è facoltativo ed è predisposto a cura dell'interessato al fine di semplificare il successivo rilascio della certificazione energetica. A tal fine, l'attestato comprende anche l'indicazione di possibili interventi migliorativi delle prestazioni energetiche e la classe di appartenenza dell'edificio, o dell'unità immobiliare, in relazione al sistema di certificazione energetica in vigore, nonché i

possibili passaggi di classe a seguito della eventuale realizzazione degli interventi stessi. L'estensore provvede ad evidenziare opportunamente sul frontespizio del documento che il medesimo non costituisce attestato di certificazione energetica dell'edificio, ai sensi del presente decreto, nonché, nel sottoscriverlo, quale è od è stato il suo ruolo con riferimento all'edificio medesimo.

- **Ambiente climatizzato:** vano o spazio chiuso che, ai fini del calcolo, è considerato riscaldato o raffrescato con prefissate temperature (ed eventualmente umidità) di regolazione.
- **Area climatizzata:** area del pavimento degli ambienti climatizzati, comprendente l'area di tutti i piani se più di uno, esclusi piani interrati non abitabili o altri ambienti non abitabili. Ai fini del calcolo degli apporti termici interni, è intesa al netto delle pareti perimetrali e di tutti i divisori verticali.
- **Certificazione energetica dell'edificio:** complesso delle operazioni svolte dai soggetti di cui all'articolo 4, comma 1, lettera e) per il rilascio dell'attestato di certificazione energetica e delle raccomandazioni per il miglioramento della prestazione energetica dell'edificio.
- **Climatizzazione invernale o estiva:** insieme di funzioni atte ad assicurare il benessere degli occupanti mediante il controllo, all'interno degli ambienti, della temperatura e, ove presenti dispositivi idonei, della umidità, della portata di rinnovo e della purezza dell'aria.
- **Conduzione:** complesso delle operazioni effettuate dal responsabile dell'esercizio e manutenzione dell'impianto, attraverso comando manuale, automatico o telematico per la messa in funzione, il governo della combustione, il controllo e la sorveglianza delle apparecchiature componenti l'impianto, al fine di utilizzare il calore prodotto convogliandolo ove previsto nelle quantità e qualità necessarie al garantire le condizioni di comfort.
- **Controlli sugli edifici o sugli impianti:** sono le operazioni svolte da tecnici qualificati operanti sul mercato, al fine di appurare lo stato degli elementi edilizi o degli impianti e l'eventuale necessità di operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria.
- **Diagnosi energetica:** procedura sistematica volta a fornire una adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati.
- **Edificio:** 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 ad un intero fabbricato e relativi impianti ovvero a parti di fabbricato e relativi impianti progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti.
- **Edificio esistente:** edificio costruito.
- **Esercizio e manutenzione di un impianto termico:** complesso di operazioni, che comporta l'assunzione di responsabilità finalizzata alla gestione degli impianti, includente: conduzione, controllo, manutenzione ordinaria e straordinaria nel rispetto delle norme in materia di sicurezza, di contenimento dei consumi energetici e di salvaguardia ambientale.

- **Fabbisogno di energia termica per umidificazione e deumidificazione:** quantità di calore latente, sotto forma di vapore acqueo, che deve essere fornita o sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere una specificata umidità minima o massima durante un dato periodo di tempo.
- **Fabbisogno di energia termica (utile) per riscaldamento o raffrescamento:** quantità di calore che deve essere fornita o sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo.
- **Fabbisogno ideale di energia termica (utile) per riscaldamento o raffrescamento:** fabbisogno di energia termica riferito a condizioni di temperatura dell'aria uniforme in tutto l'ambiente climatizzato.
- **Fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale:** quantità di energia primaria globalmente richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto, in regime di attivazione continuo.
- **Fabbricato:** sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito e dalle strutture interne che ripartiscono detto volume. Sono esclusi gli impianti e i dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno.
- **Fonti energetiche rinnovabili:** sono quelle definite all'articolo 2, comma 1, lettera *a*), del decreto legislativo del 29 dicembre 2003, n. 387.
- **Gradi giorno di una località:** parametro convenzionale rappresentativo delle condizioni climatiche locali, utilizzato per stimare al meglio il fabbisogno energetico necessario per mantenere gli ambienti ad una temperatura prefissata; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno, GG.
- **Impianto termico:** 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; tali apparecchi, se fissi, sono tuttavia assimilati agli impianti termici quando la somma delle potenze nominali del focolare degli apparecchi al servizio della singola unità immobiliare è maggiore o uguale a 15 kW.
- **Indice di prestazione energetica EP parziale:** esprime il consumo di energia primaria parziale riferito ad un singolo uso energetico dell'edificio (a titolo d'esempio: alla sola climatizzazione invernale e/o alla climatizzazione estiva e/o produzione di acqua calda per usi sanitari e/o illuminazione artificiale) riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo, espresso rispettivamente in kWh/m²anno o kWh/m³anno.
- **Indice di prestazione energetica EP:** esprime il consumo di energia primaria totale riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo, espresso rispettivamente in kWh/m²anno o kWh/m³anno.
- **Involucro edilizio:** insieme delle strutture edilizie esterne che delimitano un edificio.
- **Massa superficiale:** massa per unità di superficie della parete opaca compresa la malta dei giunti esclusi gli intonaci, l'unità di misura utilizzata è il kg/m².

- **Occupante:** è chiunque, pur non essendone proprietario, ha la disponibilità, a qualsiasi titolo, di un edificio e dei relativi impianti tecnici.
- **Ponte termico:** discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro).
- **Ponte termico corretto:** quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15 la trasmittanza termica della parete corrente.
- **Potenza termica convenzionale di un generatore di calore:** potenza termica del focolare diminuita della potenza termica persa al camino in regime di funzionamento continuo; l'unità di misura utilizzata è il kW.
- **Potenza termica del focolare di un generatore di calore:** prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato e della portata di combustibile bruciato; l'unità di misura utilizzata è il kW.
- **Rendimento di combustione o rendimento termico convenzionale di un generatore di calore:** rapporto tra la potenza termica convenzionale e la potenza termica del focolare.
- **Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico:** rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari, calcolato con riferimento al periodo annuale di esercizio di cui all'articolo 9 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412.

Ai fini della conversione dell'energia elettrica in energia primaria si considera l'equivalenza: $9 \text{ MJ} = 1 \text{ kWhe}$.

Le parole «*l'equivalenza $9 \text{ MJ} = 1 \text{ kWhe}$* » sono sostituite con le parole «*il valore di riferimento per la conversione tra kWh elettrici e MJ definito con provvedimento dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, al fine di tener conto dell'efficienza media di produzione del parco termoelettrico, e suoi successivi aggiornamenti*» decreto legislativo 26 giugno 2009.

- **Rendimento di produzione medio stagionale:** rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nella rete di distribuzione e l'energia primaria delle fonti energetiche, compresa l'energia elettrica, calcolato con riferimento al periodo annuale di esercizio di cui all'articolo 9 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412.

Ai fini della conversione dell'energia elettrica in energia primaria si considera l'equivalenza: $9 \text{ MJ} = 1 \text{ kWhe}$.

Le parole «*l'equivalenza $9 \text{ MJ} = 1 \text{ kWhe}$* » sono sostituite con le parole «*il valore di riferimento per la conversione tra kWh elettrici e MJ definito con provvedimento dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, al fine di tener conto dell'efficienza media di produzione del parco termoelettrico, e suoi successivi aggiornamenti*» decreto legislativo 26 giugno 2009.

- **Rendimento termico utile di un generatore di calore:** rapporto tra la potenza termica utile e la potenza termica del focolare.
- **Ristrutturazione di un impianto termico:** insieme di opere che comportano la modifica sostanziale sia dei sistemi di produzione che di distribuzione ed emissione del calore; rientrano in questa categoria anche la trasformazione di un impianto termico centralizzato in impianti termici individuali nonché la risistemazione impiantistica nelle singole unità

immobiliari o parti di edificio in caso di installazione di un impianto termico individuale previo distacco dall'impianto termico centralizzato.

- **Schermature solari esterne:** sistemi che, applicati all'esterno di una superficie vetrata trasparente permettono una modulazione variabile e controllata dei parametri energetici e ottico luminosi in risposta alle sollecitazioni solari.
- **Stagione di raffrescamento:** periodo dell'anno durante il quale vi è richiesta di energia per il raffrescamento ambiente.
- **Stagione di riscaldamento:** periodo dell'anno durante il quale vi è richiesta di energia per il riscaldamento ambiente.
- **Superficie utile:** superficie netta calpestabile di un edificio.
- **Temperatura esterna:** temperatura dell'aria esterna.
- **Temperatura interna:** media aritmetica della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante al centro della zona considerata.
- **Temperatura interna di regolazione (set-point):** temperatura interna minima fissata dal sistema di regolazione dell'impianto di riscaldamento e temperatura interna massima fissata dal sistema di regolazione dell'impianto di raffrescamento ai fini dei calcoli di fabbisogno energetico.
- **Trasmittanza termica:** flusso di calore che passa attraverso una parete per m² 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.
- **Unità immobiliare:** edificio o parte di edificio con autonoma identificazione catastale.
- **Ventilazione:** immissione e/o estrazione progettata di aria in e/o da uno spazio chiuso allo scopo di mantenervi condizioni di salubrità. Si suddivide in ventilazione naturale, ventilazione meccanica, ventilazione ibrida.
- **Ventilazione ibrida:** ventilazione dove la ventilazione naturale può almeno per un certo periodo essere supportata Q sostituita dalla ventilazione meccanica.
- **Ventilazione meccanica:** ventilazione tramite l'ausilio di sistemi di movimentazione dell'aria che richiedano potenza. Si suddivide in ventilazione per immissione, ventilazione per estrazione, ventilazione bilanciata.
- **Ventilazione meccanica indipendente:** ventilazione meccanica in zone climatizzate con impianto in tutto indipendente dall'impianto di climatizzazione, compresa la generazione per preriscaldamento dell'aria.
- **Ventilazione naturale:** ventilazione dell'edificio che dipende dalle differenze di pressione e/o temperatura, senza l'ausilio di sistemi di movimentazione dell'aria che richiedano potenza. Si suddivide in aerazione, ventilazione termica, ventilazione trasversale.
- **Zona termica:** parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperatura (ed eventualmente umidità) uniforme attraverso lo stesso impianto di climatizzazione.

PROCEDURA DI CALCOLO: BILANCIO ENERGETICO

2.1. Generalità

La procedura di calcolo delle quantità di energia termica ideale per riscaldamento invernale e raffrescamento estivo si sintetizza nei seguenti passi:

- 1) definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio;
- 2) definizione dei confini delle diverse zone di calcolo, se richiesta;
- 3) definizione delle condizioni interne di calcolo e dei dati di ingresso relativi al clima esterno;
- 4) calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e il raffrescamento ($Q_{C,nd}$);
- 5) calcolo della stagione di riscaldamento e di raffrescamento;
- 6) per i mesi estremi della stagione di riscaldamento e di raffrescamento, eventuale ricalcolo dei fabbisogni di energia sulle frazioni di mese comprese rispettivamente nelle stagioni di riscaldamento e raffrescamento;
- 7) eventuale calcolo, per ogni mese o frazione di mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni di energia termica per umidificazione ($Q_{H,hum,nd}$) e per deumidificazione ($Q_{C,dhum,nd}$);
- 8) aggregazione dei risultati relativi ai diversi mesi ed alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

Al punto 4 e 6 della procedura i fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento si calcolano, per ogni zona dell'edificio e per ogni mese o frazione di mese, come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol,W}) \quad [\text{Eq. 2.1}]$$

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad [\text{Eq. 2.2}]$$

dove:

$Q_{H,nd}$ Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per riscaldamento;

$Q_{C,nd}$ Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per raffrescamento;

$Q_{H,ht}$ Scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento, espresso in MJ;

$Q_{C,ht}$ Scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento, espresso in MJ;

$Q_{H,tr}$ Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento, espresso in MJ;

$Q_{C,tr}$ Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento, espresso in MJ;

$Q_{H,ve}$ Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento, espresso in MJ;

$Q_{C,ve}$ Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento, espresso in MJ;

Q_{gn} Apporti totali di energia termica, espressi in MJ;

- Q_{int} Apporti di energia termica dovute a sorgenti interne, espressi in MJ;
 $Q_{sol,W}$ Apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti vetriati, espressi in MJ;
 $\eta_{H,gn}$ Fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica;
 $\eta_{C,ls}$ Fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica.

2.2. Calcolo degli scambi di energia termica

Per ogni zona termica dell'edificio e per mese o frazione di mese ricadente della stagione di riscaldamento, gli scambi termici si calcolano, in generale, con la seguente espressione per la stagione di riscaldamento:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t + \left\{ \sum_k F_{r,k} \times \varnothing_{r,mn,k} \right\} \times t + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \times F_{r,l} \times \varnothing_{r,mn,u,l} \right\} \times t - Q_{sol,op} \quad [Eq. 2.2]$$

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t \quad [Eq. 2.3]$$

Nel caso di raffrescamento abbiamo:

$$Q_{C,y,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \times t + \left\{ \sum_k F_{r,k} \times \varnothing_{r,mn,k} \right\} \times t + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \times F_{r,l} \times \varnothing_{r,mn,u,l} \right\} \times t - Q_{sol,op} \quad [Eq. 2.4]$$

$$Q_{C,ve} = H_{ve,adj} \times (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \times t \quad [Eq. 2.5]$$

Con il significato dei simboli riportato in tabella:

$H_{tr,adj}$	Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno, determinato con l'equazione (2.1), espresso in W/K;
$H_{ve,adj}$	Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno, determinato con l'equazione (2.2), espresso in W/K;
$\theta_{int,set,H}$	Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata, espressa in °C;
$\theta_{int,set,C}$	Temperatura interna di regolazione per il raffrescamento della zona considerata, espressa in °C;

[segue]

θ_e	Temperatura esterna media del mese considerato o della frazione di mese*, espressa in °C;
$F_{t,k}$	Fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste;
$F_{t,l}$	Fattore di forma tra il componente edilizio l-esimo dell'ambiente non climatizzato e la volta celeste;
$\theta_{r,mn,u,k}$	Extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo, mediato sul tempo, espresso in W;
$\theta_{r,mn,u,l}$	Extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio l-esimo dell'ambiente non climatizzato, mediato sul tempo, espresso in W;
$b_{tr,j}$	Fattore di riduzione delle dispersioni per l'ambiente non climatizzato avente il componente l-esimo soggetto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste;
t	Durata del mese considerato o della frazione di mese, espressa in Ms (vedi paragrafo: <i>Climatizzazione invernale</i>);
$Q_{sol,op}$	Sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti opachi, espressi in MJ (vedi paragrafo: <i>Calcolo degli apporti termici</i>).
* Ai fini del calcolo del fabbisogno di energia, nel caso in cui non si disponga di dati giornalieri normati, per le frazioni di mese i valori di temperatura e di irradianza solare si ricavano con riferimento al giorno centrale di ciascuna frazione, per interpolazione lineare tra i valori medi mensili adiacenti, attribuendo i valori medi mensili di temperatura e irraggiamento solare riportati nella UNI 10349 al giorno centrale di ciascun mese.	

2.3. Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno, è determinato con l'equazione

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad [W/K] \quad [Eq. 2.6]$$

dove:

- H_D Coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno, espresso in W/K;
- H_g Coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno, espresso in W/K;
- H_U Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati, espresso in W/K;
- H_A Coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa, espresso in W/K; in genere si considera solo lo scambio di energia termica verso zone climatizzate di altri edifici e non verso le zone termiche dell'edificio stesso (calcolo con zone termiche non accoppiate).

Il calcolo dei coefficienti di scambio termico per trasmissione H_D , H_g , H_U , H_A è effettuato secondo le UNI EN ISO 13789:2008 (*Prestazione termica degli edifici – Coefficiente di perdita di calore per trasmissione – Metodo di calcolo*) e UNI EN ISO 13370 (*Scambi termici verso il terreno*).

Il calcolo $F_{t,k}$ e $\theta_{r,mn,k}$ è effettuato, secondo quanto riportato nella UNI EN ISO 13790:2008 (*Prestazione energetica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento*).

2.4. Calcolo dei coefficienti globali di scambio termico per ventilazione

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno, determinato con l'equazione:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \times c_a \times \left(\sum_k b_{ve,k} \times q_{ve,k,mn} \right) \quad [W/K] \quad [Eq. 2.7]$$

dove:

$\rho_a \times c_a$ Capacità termica volumica dell'aria, pari a 1200 J/(m³ x K);

$q_{ve,k,mn}$ Portata mediata sul tempo del flusso d'aria k-esimo, espressa in m³/s;

$b_{ve,k}$ Fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo in ventilazione naturale ($b_{ve,k} \neq 1$ se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di pre-riscaldamento o pre-raffrescamento dell'aria di ventilazione che attraversa ambienti non climatizzati.

Nel caso di ventilazione meccanica, nell'equazione 2.7 si pone $b_{ve,k} = 1$ perché la correzione della temperatura per il flusso d'aria è già considerata all'interno del termine $q_{ve,k,mn}$.

La determinazione di $b_{ve,k}$ e $q_{ve,k,mn}$ è effettuata secondo la UNI EN ISO 13790:2008 e secondo le indicazioni riportate al Capitolo 11, paragrafo 11.4.

2.5. Calcolo degli apporti termici

Per ogni zona termica dell'edificio come prima definita e per ogni mese o sua frazione, gli apporti termici interni (Q_{int}) e esterni (Q_{sol}) si calcolano con le equazioni:

$$Q_{int} = \left\{ \sum_k \varnothing_{int,mn,k} \right\} \times t + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \times \varnothing_{int,mn,u,l} \right\} \times t \quad [Eq. 2.8]$$

$$Q_{sol,w} = \left\{ \sum_k \varnothing_{sol,w,mn,k} \right\} \times t + \sum_l Q_{sol,w} \quad [Eq. 2.9]$$

$$Q_{sol} = \left\{ \sum_k \varnothing_{sol,op,mn,k} \right\} \times t + \left\{ \sum_l (1 - b_{tr,l}) \times \varnothing_{sol,mn,u,l} \right\} \times t + \sum_j (Q_{sol,op} + Q_{si}) \quad [Eq. 2.10]$$

Le equazioni 2.9 e 2.10 si applicano, oltre alla zona termica oggetto di calcolo, anche ai vani non climatizzati che con essa confinano.

Il significato dei simboli è riportato di seguito:

$\varnothing_{in,mn,u,l}$ Flusso termico prodotto dalla l-esima sorgente di calore interna nell'ambiente non climatizzato adiacente u , mediato sul tempo, espresso in W;

$\varnothing_{sol,mn,k}$ Flusso termico k-esimo di origine solare, mediato sul tempo, espresso in W;

$\varnothing_{sol,mn,u,l}$ Flusso termico l-esimo di origine solare nell'ambiente non climatizzato adiacente u , mediato sul tempo, espresso in W;

- $Q_{sd,w,j}$ Apporti di energia termica diretti attraverso le partizioni trasparenti, dovuti alla radiazione solare entranti nella zona climatizzata dalla serra j-esima, espressi in MJ;
- $Q_{sd,op,j}$ Apporti di energia termica diretti attraverso le partizioni opache, dovuti alla radiazione solare entranti nella zona climatizzata dalla serra j-esima, espressi in MJ;
- $Q_{si,j}$ Apporti di energia termica indiretti dovuti alla radiazione solare entranti nella zona climatizzata dalla serra j-esima, espressi in MJ.

Il flusso solare termico, $\varnothing_{sol,k}$ si calcola con l'equazione:

$$\varnothing_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \times A_{sol,k} \times I_{sol,k} \quad [\text{Eq. 2.11}]$$

valida sia per componenti trasparenti ($\varnothing_{sol,w,k}$ e $A_{sol,w,k}$) e sia per componenti opachi ($\varnothing_{sol,op,k}$ e $A_{sol,op,k}$), in cui:

- $F_{sh,ob,k}$ Fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima;
- $A_{sol,w,k}$ Area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato, espressa in m^2 , determinata con l'equazione (2.12);
- $A_{sol,op,k}$ Area di captazione solare effettiva della superficie opaca k-esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella zona o ambiente considerato, espressa in m^2 , determinata con l'equazione (2.13);
- $I_{sol,k}$ Irradianza solare media del mese considerato o della frazione di mese, sulla superficie k-esima, con dato orientamento e angolo di inclinazione sul piano orizzontale, espressa in W/m^2 .

L'area di captazione solare effettiva, $A_{sol,w}$, di un componente vetrato dell'involucro (per esempio una finestra), espressa in m^2 , è calcolata con la seguente equazione:

$$A_{sol,w} = F_{sh,gl} \times g_{gl} \times (1 - F_F) \times A_{w,p} \quad [\text{Eq. 2.12}]$$

dove:

- $F_{sh,gl}$ Fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili;
- g_{gl} Trasmissanza di energia solare della parte trasparente del componente;
- F_F Frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e Area proiettata totale del componente finestrato;
- $A_{w,p}$ Area proiettata totale del componente vetrato (l'area del vano finestra).

L'area di captazione solare effettiva, $A_{sol,p}$, di un componente opaco dell'involucro edilizio è calcolata con l'equazione:

$$A_{sol,p} = \alpha_{sol,c} \times R_{se} \times U_{c,eq} \times A_c \quad [\text{Eq. 2.13}]$$

dove:

- $F_{sh,gl}$ Fattore di assorbimento solare del componente opaco;
- R_{se} Resistenza termica superficiale esterna del componente opaco, espressa in $m^2 \times K/W$;

A_c Area proiettata del componente opaco, espressa in m^2 ;

$U_{c,eq}$ Trasmittanza termica equivalente del componente opaco, espressa in $W/(m^2 \times K)$.

La trasmittanza termica equivalente ($U_{c,eq}$) coincide con la trasmittanza termica ($U_{c,0}$) del componente, calcolata con l'eventuale intercapedine considerata chiusa.

Il valore di trasmittanza termica equivalente del componente opaco quando lo stesso è senza intercapedine d'aria o con intercapedine d'aria chiusa.

Il valore di trasmittanza termica equivalente del componente opaco, quando lo stesso è con intercapedine d'aria o con intercapedine d'aria aperta, si determina con l'espressione:

$$U_{c,eq} = f_v \times U_{c,0} + (1 - f_v) \times U_{c,v} \quad [\text{Eq. 2.14}]$$

dove:

f_v Coefficiente di ventilazione;

$U_{c,0}$ Trasmittanza termica equivalente del componente opaco per intercapedine non ventilata, espressa in $W/(m^2 \times K)$;

$U_{c,v}$ Trasmittanza termica equivalente del componente opaco per intercapedine fortemente ventilata, espressa in $W/(m^2 \times K)$;

con:

$$U_{c,v} = \frac{U_{c,e} \times U_{c,i}}{U_{c,e} + U_{c,i} + h'} \quad [\text{Eq. 2.15}]$$

dove:

$U_{c,e}$ Trasmittanza termica tra l'ambiente esterno e l'intercapedine d'aria espressa in $W/(m^2 \times K)$;

$U_{c,i}$ Trasmittanza termica tra l'ambiente interno e l'intercapedine d'aria espressa in $W/(m^2 \times K)$;

h' Coefficiente posto pari a $15 W/(m^2 \times K)$.

Prima di passare alla stesura del calcolo vero e proprio occorre preparare tutta una serie di dati riguardanti sia la zona climatica relativa al comune su cui stiamo operando sia l'edificio stesso, quest'ultimo inteso come complesso edificio impianto. Per l'edificio diamo per acquisite le planimetrie dei vari piani ed i relativi prospetti, per averli rilevati direttamente o per averli avuti da chi ha curato la parte progettuale.

Questi elementi possiamo raggrupparli in macrogruppi che definiamo: dati climatici, dati costruttivi dell'edificio, dati caratteristiche termiche dell'edificio, tipo d'impianto termico e dati sull'utilizzo dell'edificio.

Vediamo ora cosa sono i vari dati, come e dove possiamo recuperarli, e a quali norme (leggi, decreti, norme UNI) ci riferiamo per la stesura dei vari conteggi.

Vediamo in dettaglio in ognuno di questi gruppi cosa comprendiamo.

2.6. Fabbisogno di energia termica per umidificazione e deumidificazione dei locali

I fabbisogni di umidificazione invernale e di deumidificazione estiva si possono stimare, su base mensile, attraverso la seguente differenza (positiva se la richiesta è di deumidificazione, negativa se il fabbisogno è di umidificazione):

$Q_{wv,int}$	—	$Q_{cv,ve}$	$Q_{C,dhum,nd}$
$Q_{wv,int}$	—	$Q_{HV,ve}$	$Q_{H,dhum,nd}$
Entalpia della quantità di vapore prodotta da occupanti e processi e altre sorgenti varie (cottura, lavaggi, ecc.) [MJ]	—	Entalpia della quantità di vapore sottratta/aggiunta alla zona mediante gli scambi per infiltrazioni, areazioni e/o ventilazione con l'ambiente circostante [MJ]	> 0 deumidificazione
			< 0 umidificazione

- $Q_{C,dhum,nd}$ è il fabbisogno di energia termica latente per deumidificazione);
- $Q_{H,dhum,nd}$ è il fabbisogno di energia termica latente per umidificazione).

La quantità $Q_{cv,ve}$ e $Q_{HV,ve}$ possono essere valutate tramite l'espressione:

$$Q_{H/C, we,ve} = \rho_a \times h_{wv} \times \left(\sum_k q_{ve,k,mn} \times (x_{int} - x_k) \right) \times t \quad [\text{Eq. 2.16}]$$

dove:

- ρ_a Massa volumica dell'aria pari a 1,2 kg/m³;
- $q_{ve,k,mn}$ Portata media della ventilazione, naturale o forzata, in m³/sec (si ricava in funzione della temperatura interna e della umidità relativa interna);
- x_k Umidità massica media del mese considerato in g/kg;
- x_{int} Umidità massica media del mese considerato dell'aria umida uscente con i ricambi d'aria in g/kg;
- h_{wv} Entalpia specifica del vapore d'acqua = 2544 J/g;
- t Durata del mese, espressa in Ms.

Le portate medie mensili di ventilazione presenti nella sommatoria, $q_{ve,k,mn}$ (dalle quali sono escluse le portate d'aria di processo per il controllo dell'umidità), sono calcolate seguendo il procedimento indicato nel paragrafo 11.4 del presente testo, avendo cura di adottare sempre $b_{ve,k} = 1$, ove $b_{ve,k}$ è il fattore di correzione della temperatura per un generico flusso d'aria in ventilazione naturale o meccanica.

L'entalpia del vapore d'acqua prodotto dagli occupanti nella zona termica si calcola, sia nel periodo di riscaldamento che di raffrescamento:

$$Q_{wv,int} = h_{wv} \times (G_{wv,Oc} + G_{wv,A}) \times t / 3.600 \quad [\text{Eq. 2.17}]$$

con:

- $G_{wv,Oc}$ Portata massica di vapore d'acqua dovuta alla presenza di persone in g/h;
- $G_{wv,A}$ Portata massica di vapore d'acqua dovuta alla presenza di apparecchiature in g/h.

Per calcoli da effettuare i fini della redazione dell'APE e per edifici di civile abitazione o assimilabili si pone:

$$G_{wv,Oc} + G_{wv,A} = 250 \text{ g/h} \quad [\text{Eq. 2.18}]$$

Per calcoli adatta all'utenza la norma UNI/TS 11300-1 riporta due prospetti (n. 18 e 19) che danno i valori di portata massica di vapore d'acqua riferito a persone e apparecchiature.

Nelle tabelle seguenti uno stralcio dei citati prospetti.

Valori di portata di vapore per persona $G_{wv,per}$			
Categoria edificio	Tipo di ambiente	Attività	$G_{wv,per}$ [g/h]
E.1	Ufficio, appartamento	Seduto in attività leggera	65
E.2	Ufficio, appartamento	Seduto in attività media	80
Varie	Corridoi	In cammino a 1,3 m/se	265
$G_{wv,Oc} = G_{wv,per} \times n_s \times A_f \times f_{day,per}$			

Valori medi della portata di vapore per apparecchiatura $G_{wv,p}$ in funzione della potenza massima assorbita				
Destinazione d'uso	Tipo di apparecchiatura	Tipo di apparecchio	P_{max} [W]	$G_{wv,p}$ [g/h]
Uffici		Macchine del caffè	1.500	650
Ristoranti	Apparecchiature elettriche senza cappa	Caffettiera (per litro)	750-1.800	300
		Griglia (per metro quadrato)	29.000	1.600
$G_{wv,Oc} = \sum_i G_{wv,p,i} \times N_i \times f_{day,i}$				