

QUADERNI PER LA PROGETTAZIONE

MANUALE PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Dal sopralluogo all'APE

Aggiornato alle Nuove Linee Guida nazionali
per la certificazione energetica
Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015

II edizione

di
NATALE VENTURA

Dedicato ai miei genitori

MANUALE PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

ISBN 978-88-6310-689-3

Copyright © 2015 EPC S.r.l. Socio Unico

Via dell'Acqua Traversa, 187/189 - 00135 Roma

Servizio clienti: Tel. 06 33245277

Redazione: Tel. 06 33245264/205 - Fax: 06 3313212 - www.epc.it

Proprietà letteraria e tutti i diritti riservati alla EPC srl Socio Unico. La struttura e il contenuto del presente volume non possono essere riprodotti, neppure parzialmente, salvo espressa autorizzazione della Casa Editrice. Non ne è altresì consentita la memorizzazione su qualsiasi supporto (magnetico, magneto-ottico, ottico, fotocopie ecc.).

La Casa Editrice pur garantendo la massima cura nella preparazione del volume declina ogni responsabilità per possibili errori od omissioni, nonché per eventuali danni risultanti dall'uso dell'informazione ivi contenuta.



Il codice QR che si trova sul retro della copertina, consente attraverso uno smartphone di accedere direttamente alle informazioni e agli eventuali aggiornamenti di questo volume.

Le stesse informazioni sono disponibili alla pagina:

<http://www.epc.it/Prodotto/Editoria/Libri/Manuale-per-la-certificazione-energetica-degli-edifici/2101>

INDICE GENERALE



QUADERNI
per la progettazione

PREMESSA7

INTRODUZIONE9

CAPITOLO 1

NORMATIVA DI RIFERIMENTO 11

1.1 Iter normativo..... 11

1.2 Consulenza normativa sulla certificazione energetica 22

CAPITOLO 2

NOZIONI DI BASE 31

2.1 Trasmissione del calore 31

2.2 Comportamento termofisico di un edificio
ed efficienza energetica 32

2.3 Trasmittanza termica..... 35

2.4 Convezione termica ed irraggiamento 37

2.5 Scambio termico attraverso una muratura..... 38

2.6 Ponti termici..... 39

2.7 Calcolo della Resistenza termica
per alcuni elementi dell'involucro 41

2.8 Rendimento di un impianto termico..... 44

CAPITOLO 3

PRESTAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO	47
3.1 Bilancio energetico di un edificio.....	47
3.2 Indice di prestazione energetica globale EP_{gl} e servizi energetici	50
3.3 L'edificio di riferimento	51
3.4 Classificazione degli immobili in funzione della prestazione energetica	53
3.4.1 <i>La classe energetica globale</i>	54
3.4.2 <i>La prestazione energetica invernale dell'involucro edilizio</i>	56
3.4.3 <i>La prestazione energetica estiva dell'involucro edilizio</i>	56
3.5 Altre grandezze	57
3.5.1 <i>Zona climatica</i>	57
3.5.2 <i>Periodo di riscaldamento</i>	59
3.5.3 <i>Fattore di forma</i>	59

CAPITOLO 4

TERMOFISICA DEGLI EDIFICI	61
4.1 Umidità	61
4.2 Capacità termica specifica C	65
4.3 Permeabilità termica	65
4.4 Capacità di accumulo del calore	66

CAPITOLO 5

PROCEDURA OPERATIVA	67
5.1 Raccolta informazioni preliminari	67

5.2	Sopralluogo.....	68
5.3	Produzione dell'attestato di prestazione energetica	73
5.4	APE e Annunci commerciali: format e descrizione	74
5.4.1	Attestato di prestazione energetica (APE)	74
5.4.2	Annunci commerciali	80

CAPITOLO 6

CALCOLO DELL'INDICE

	DI PRESTAZIONE ENERGETICA (EP)	81
6.1	Procedure e metodi di calcolo.....	81
6.2	Calcolo di EP mediante le norme UNI TS 11300 (parti 1 e 2).....	84
6.3	Calcolo dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EP_i	84
6.3.1	Calcolo di Q_H	85
6.3.2	Calcolo di Q_p	94
6.3.3	Calcolo di EP_i	99
6.4	Calcolo di EP_{acs} mediante le norme UNI TS 11300 (parte 2).....	99
6.4.1	Energia utile per la produzione di acqua calda sanitaria $Q_{h,W}$	99
6.4.2	Energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria $Q_{p,W}$	100
6.5	Valutazione del fabbisogno per la climatizzazione estiva.....	101

CAPITOLO 7

	CENNI SUGLI INTERVENTI CORRETTIVI	103
7.1	Generalità.....	103
7.2	Aree di intervento.....	104
7.3	Materiali	106



7.4	Tecniche di intervento.....	108
7.4.1	<i>Isolamento esterno (a cappotto)</i>	108
7.4.2	<i>Isolamento interno</i>	109
7.4.3	<i>Isolamento intercapedine</i>	110
7.4.4	<i>Isolamento mediante parete ventilata</i>	111
7.4.5	<i>Sottotetto</i>	111
7.4.6	<i>Tetto a falda</i>	112
7.4.7	<i>Solaio di copertura piano: isolamento sull'estradosso</i>	113
7.4.8	<i>Isolamento solai di pavimento</i>	113
7.4.9	<i>Serramenti</i>	114

CAPITOLO 8

ESEMPI DI CERTIFICAZIONI	117	
8.1	Unità immobiliare terra cielo in centro storico.....	117
8.2	Villetta unifamiliare	128
8.3	Unità immobiliare in condominio	136
APPENDICE	145	
A.1	Normativa	145
A.2	Parametri dell'edificio di riferimento (DM requisiti minimi).....	163
A.3	Cenni sulla strumentazione	167
A.3.1	<i>Termografia</i>	167
A.3.2	<i>Termoflussimetria</i>	170
A.4	Scheda Sopralluogo: Certificazione energetica appartamento/edificio	171
BIBLIOGRAFIA	183	

PREMESSA

Il 16 luglio 2015 sono stati pubblicati in Gazzetta Ufficiale tre nuovi decreti che aggiornano la normativa sul contenimento energetico in edilizia e, in particolare, quella sulla certificazione energetica degli edifici. Si è trattato di una modifica importante che ha cambiato molti elementi del “vecchio” attestato. Sia l’aspetto grafico, completamente rinnovato, che le modalità stesse di determinazione dei parametri energetici sono stati oggetto di cambiamento. Un esempio su tutti è l’introduzione del concetto di “edificio di riferimento” utilizzato a scopo comparativo per classificare l’immobile oggetto di attestazione energetica.

Questa nuova edizione del testo, conseguenza di questo importante cambiamento normativo, illustra il “nuovo modo” di eseguire la certificazione energetica degli edifici, fornendo al certificatore utili linee guida per realizzare attestati di qualità; sarà quindi dato ampio spazio agli aspetti operativi e procedurali in modo da fornire un *metodo di lavoro* che possa supportare il professionista in tutte le fasi che compongono la realizzazione del certificato energetico di un immobile. Inoltre, insieme alle nozioni specificatamente attinenti il tema della certificazione energetica, si è fatta la scelta di inserire anche una sezione sulla termofisica degli edifici, perché si ritiene che in un edificio, oltre al contenimento energetico, bisogna curare anche il comfort degli spazi abitati; da qui l’importanza degli aspetti igrometrici accanto a quelli di isolamento termico.

Nell’esposizione dei fondamenti fisici, piuttosto che presentare le grandezze fisiche in gioco con un approccio spiccatamente teorico, si è preferito evidenziare da subito come queste influenzano le caratteristiche degli edifici, facilitando quindi l’interpretazione dei fenomeni rilevati in fase di sopralluogo.

Allo stesso modo, gli aspetti normativi sono trattati al solo fine di permettere al certificatore di sapere come comportarsi nei diversi casi che gli si possono presentare e fornire le corrette risposte alla committenza in merito al tema della certificazione energetica degli edifici.

Il testo è infine corredato da una ricca appendice in cui sono approfonditi gli aspetti normativi, gli strumenti di supporto all’attività di certificazione energetica e una scheda che fornisce le linee guida per effettuare efficacemente i sopralluoghi.



INTRODUZIONE

Il tema della certificazione energetica degli edifici è stato posto per la prima volta in Italia nel 1990 con la Legge 10. Da allora la normativa ha alternato momenti di "vigore" a periodi di "sonnolenza", con la conseguenza che oggi, a più di vent'anni di distanza, l'importanza della certificazione energetica non è ancora ben compresa dal cittadino che vede nella produzione dell'APE (Attestato di Prestazione Energetica) più un adempimento burocratico che un utile strumento di valutazione dell'immobile.

Inoltre, la presenza di regolamenti regionali tra loro differenti e non sempre coerenti con le linee guida nazionali, insieme alla ritardata pubblicazione dell'atto normativo che fissava i requisiti dei soggetti certificatori, ha permesso un facile accesso a questa professione senza un'adeguata formazione in merito. La conseguenza è stata, e purtroppo continua a essere, la produzione di attestati di prestazione energetica di dubbia validità e correttezza.

In questo contesto il presente manuale si pone l'obiettivo di fornire, da una parte gli strumenti e le nozioni pratiche per un corretto approccio a questa importante attività, e dall'altra di dare al lettore le nozioni teoriche con un linguaggio semplice per fargli acquisire la giusta consapevolezza e sensibilità sui temi inerenti la certificazione energetica, ed evitare così che l'attività si riduca ad una mera raccolta di dati da inserire in un programma di calcolo.

In poche parole, il fine è quello di produrre degli attestati che rappresentino, con un ragionevole grado di accuratezza, l'effettivo stato energetico degli immobili.



CAPITOLO 6

CALCOLO DELL'INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA (EP)



6.1 Procedure e metodi di calcolo

Ai fini della determinazione della prestazione energetica degli edifici, occorre distinguere tra procedura e metodo di calcolo.

Procedura → è la modalità di reperimento/scelta dei dati di ingresso e di individuazione del metodo di calcolo più adeguato all'obiettivo per il quale si produce l'APE

Metodo → è l'algoritmo utilizzato per calcolare le grandezze che concorrono alla determinazione della prestazione energetica dell'immobile a partire dai dati di ingresso

Le diverse procedure e metodologie di calcolo hanno differenti gradi di complessità e la loro scelta è fatta in funzione del contesto, del livello di precisione desiderato e dell'obiettivo per il quale si produce l'APE.

PROCEDURE (P)

P1. Procedura di calcolo di progetto (o di calcolo standardizzato)

- Rilevare i dati climatici della località;
- Rilevare i dati relativi ad un uso standard dell'edificio;
- Rilevare i dati relativi alle caratteristiche dell'involucro e degli impianti dal progetto energetico, previa verifica di rispondenza del costruito al progetto.

Questa procedura è quella di riferimento per gli edifici di nuova costruzione e per quelli sottoposti a ristrutturazioni importanti.

P2. Procedura di calcolo da rilievo sull'edificio

In questo caso si possono adottare due modalità:

P2.1. Rilievo in situ → Rilevare i dati relativi alle caratteristiche dell'involucro e

degli impianti direttamente dall'edificio, anche mediante indagini strumentali;

P2.2. Analogia costruttiva → Ricavare i dati relativi alle caratteristiche dell'involucro e degli impianti direttamente da banche dati o abachi, in virtù dell'analogia costruttiva con edifici della stessa epoca.

Questa procedura è quella di riferimento per gli edifici esistenti non sottoposti a ristrutturazioni importanti. Resta ferma, tuttavia, la possibilità di utilizzare la procedura P1 anche per questo tipo di edifici.

METODI (M)

M1. Metodo di calcolo di progetto (è il metodo di riferimento per la procedura P1.)

Per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell'involucro e dei rendimenti degli impianti questo metodo prevede l'utilizzo degli algoritmi di calcolo contenuti nelle norme tecniche riportate in tabella 6.1.

Tab. 6.1

Norma	Finalità di calcolo
UNI TS 11300 – 1 (ottobre 2014) Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale	Fabbisogno di energia termica dell'involucro per il riscaldamento e raffrescamento
UNI TS 11300 – 2 (ottobre 2014) 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	Rendimento e fabbisogno di energia primaria degli impianti di climatizzazione invernale, acqua calda sanitaria, ventilazione ed illuminazione
UNI TS 11300 – 3 (aprile 2010) Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva	Rendimento e fabbisogno di energia primaria degli impianti di climatizzazione estiva
UNI TS 11300 – 4 (maggio 2012) Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione di acqua calda sanitaria	Risparmio di energia primaria ottenibile dall'impiego di energie rinnovabili e altri metodi di generazione per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria
Raccomandazione CTI ^{a)} 14/2013 Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio	Calcolo dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio
UNI EN 15193 Requisiti energetici per l'illuminazione	

^{a)} CTI: Comitato Termotecnico Italiano

Come detto, questo è il metodo di riferimento quando si adotta la procedura P1., tuttavia esso è applicabile a tutte le tipologie edilizie, sia per gli edifici nuovi che per quelli esistenti, indipendentemente dalla loro dimensione.

M2. Metodo di calcolo da rilievo sull'edificio (è il metodo di riferimento per la procedura P2.)

In questo caso si possono adottare due modalità:

M2.1. Rilievo in sito → il metodo di calcolo è quello previsto dalle norme tecniche di cui alla tabella 6.1 con riferimento alle relative semplificazioni ivi previste per gli edifici esistenti;

Questo metodo è applicabile a tutti gli edifici esistenti, indipendentemente dalla tipologia edilizia e dalla dimensione.

M2.2. Metodo semplificato → si tratta di una semplificazione del metodo M2.1. attuabile mediante l'utilizzo di un software applicativo predisposto da ENEA in collaborazione con il CNR e reso disponibile sui rispettivi siti internet

Nota importante: il metodo M2.2. è applicabile esclusivamente agli edifici o alle unità immobiliari residenziali con superficie utile inferiore o uguale a 200 m². Nella tabella 6.2 il quadro sinottico delle procedure e dei metodi di calcolo

Tab. 6.2

	M1: Metodo di calcolo di progetto	M2.1: Metodo da rilievo in sito (norme semplificate per edifici esistenti)	M2.2: Metodo semplificato (utilizzo di software gratuiti)
	Qualunque edificio nuovo o esistente	Qualunque edificio esistente	Edifici residenziali con $S_{\text{utile}} \leq 200 \text{ m}^2$
P1: Procedura di calcolo di progetto (nuove costruzioni o ristrutturazioni importanti)	√		
P2.1: Procedura di calcolo da rilievo in sito (edifici esistenti non sottoposti a ristrutturazioni importanti)	√	√	√
P2.2: Procedura di calcolo per analogia costruttiva (edifici esistenti non sottoposti a ristrutturazioni importanti)	√	√	√



6.2 Calcolo di EP mediante le norme UNI TS 11300 (parti 1 e 2)

L'obiettivo della trattazione che segue è far comprendere al lettore la metodologia proposta dalle norme UNI TS e che porta alla valutazione della prestazione energetica dell'edificio; per tal motivo sono state fatte delle semplificazioni trascurando quei contributi ritenuti da chi scrive irrilevanti ai fini della comprensione del tema del calcolo di EP nel suo complesso.

Tra l'altro, teniamo anche presente che il calcolo di EP è normalmente eseguito mediante dei software che implementano tali metodologie di calcolo e pertanto, per i nostri scopi, è sufficiente conoscere i principali fenomeni e meccanismi che portano al calcolo di EP in modo da avere la giusta consapevolezza di ciò che si sta calcolando e come.

Come detto, la normativa prevede il calcolo di tutta una serie di grandezze che, assieme, concorrono alla valutazione della prestazione energetica globale dell'edificio.

Nei paragrafi seguenti illustriamo il calcolo di alcuni di questi parametri e in particolare:

- l'indice di prestazione per la climatizzazione invernale EP_i ;
- l'indice di prestazione per l'acqua calda sanitaria EP_{acs} ;
- l'indice di prestazione per la climatizzazione estiva EP_e .

6.3 Calcolo dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EP_i

In sintesi: per calcolare l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EP_i bisogna:

- calcolare il fabbisogno di energia dell'involucro Q_H (energia utile);
- attraverso il rendimento dell'impianto di riscaldamento calcolare l'energia primaria $Q_H = \eta Q_p$;
- dividere Q_p per la superficie utile (calpestable) A dell'edificio per ottenere l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale $EP_i = Q_p/A$.



6.3.1 Calcolo di Q_H

Riprendiamo la relazione che descrive il bilancio energetico per il caso invernale illustrata al par. 3.1, Formula [3.2] a pag. 49, che riportiamo per comodità:

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta * (Q_I + Q_{Sol}) \quad [6.1]$$

Dove:

Q_H = energia utile

Q_T = scambi di calore per Trasmissione

Q_V = scambi di calore per Ventilazione

Q_I = apporti di calore gratuiti Interni

Q_{Sol} = apporti di calore gratuiti Solari

η = coefficiente di utilizzazione degli apporti gratuiti

Calcolo di Q_T (scambi di calore per trasmissione)

Avengono attraverso i componenti dell'involucro e sono originati da una differenza di temperatura tra i due ambienti (interno ed esterno) e dalle caratteristiche geometriche e termofisiche dell'involucro stesso.

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta * (Q_I + Q_{Sol}) \quad [6.2.a]$$

$$Q_T = H_T * (\theta_{int} - \theta_{est}) * t + \left\{ \sum_k F_K \Phi_K \right\} * t - Q_{sol,op} \quad [6.2.b]$$

$$H_T = H_D + H_g + H_U \quad [6.2.c]$$

$$H_D = \sum_i U_i A_i + \sum_k \Psi_k I_k + \sum_j \chi_j \quad [6.2.d]$$

$$H_g = A U_f b_{ir,g} \quad [6.2.e]$$

$$H_U = H_{iu} b_{ir,x} \quad [6.2.f]$$

$$\text{Dove: } b_{ir,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad [6.2.g]$$

$$F_K = F_{sh} \frac{1 + \cos S}{2} \quad [6.2.h]$$

$$\Phi_K = R_{se} U A h_r \Delta \theta_{er} \quad [6.2.i]$$

Dove:

[6.2.a] Q_T = scambio termico per trasmissione nel caso si riscaldamento

[6.2.b] H_T = coefficiente di scambio termico per trasmissione dell'intero involucro disperdente

θ_{int} = 20 °C, temperatura interna nel caso di climatizzazione invernale.

θ_{est} = temperatura media mensile ambiente esterno (ricavabile da UNI 10349)

t = durata del mese considerato (vedi tabella 6.5)

F_K = fattore di forma tra componente edilizio k -esimo e la volta celeste

Φ_K = extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste del componente k -esimo

$Q_{sol,op}$ = apporti di energia termica dovuti alla radiazione incidente sui componenti opachi, espressi in MJ

[6.2.c] H_D = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso l'ambiente esterno

H_g = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno

H_U = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso ambienti non climatizzati

[6.2.d] U_i = trasmittanza dell' i -esimo elemento edilizio

A_i = superficie dell' i -esimo elemento edilizio

ψ_k = trasmittanza lineica del k -esimo ponte termico lineare

l_k = lunghezza del k -esimo ponte termico lineare

χ_j = trasmittanza puntuale del j -esimo ponte termico puntuale

[6.2.e] A = superficie dell'elemento contro-terra

U_f = trasmittanza termica del pavimento o dell'elemento contro-terra

$b_{tr,g}$ = fattore di correzione (vedi tabella 6.4)

[6.2.g] H_{iu} = coefficiente di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato

H_{ue} = coefficiente di scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno.

$b_{tr,x}$ = fattore di correzione dello scambio termico tra ambiente climatizzato e non climatizzato, diverso da 1 nel caso in cui la temperatura di quest'ultimo è diversa da quella dell'ambiente esterno (per edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori per $b_{tr,x}$ si possono assumere dal prospetto 6.3)

[6.2.h] F_{sh} = fattore di riduzione per ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa, pari ad 1 in assenza di ombreggiature da elementi esterni

S = angolo di inclinazione del componente sull'orizzonte ($S=0$ per coperture orizzontali, $S=\pi/2$ per pareti verticali)

[6.2.i] R_{se} = resistenza superficiale esterna

U = trasmittanza dell'elemento

A = superficie dell'elemento

h_r = coefficiente di trasferimento radiativo (per approssimazione di può considerare un valore medio pari a $5 \text{ εW/m}^2\text{K}$)

$\Delta\theta_{er}$ = differenza di temperatura esterna media della località (dalla UNI 10349), può essere posta pari ad 11 °K

Dalla formula [6.2b] emerge che Q_T (energia termica dispersa dall'involucro) è composto da due termini:



- il termine contenente $H_T \rightarrow$ che tiene conto delle dispersioni attraverso l'involucro;
- il termine contenente $F_K \Phi_K \rightarrow$ che tiene conto dell'energia termica dispersa dalle pareti esterne per irraggiamento (1).
- Il termine contenente $Q_{sol,op}$ tiene conto del guadagno (ecco perché negativo) di energia termica dovuto alla radiazione solare incidente nelle pareti opache esterne e trasmessa all'interno degli ambienti.

Le sommatorie sono estese a tutti gli elementi edilizi che concorrono a definire l'intera superficie disperdente dell'involucro edilizio.

Tab. 6.3

AMBIENTE CONFINANTE		$b_{tr,x}$
Ambiente	- con una parete esterna	0,4
	- senza serramenti e con almeno 2 porte esterne	0,5
	- con serramenti esterni e con almeno 2 pareti esterne (autorimesse)	0,6
	- con tre pareti esterne (vani scala)	0,8
Piano interrato o seminterrato	- senza finestre o serramenti verso l'esterno	0,5
	- con finestre e serramenti verso l'esterno	0,8
Sottotetto	- tetto non isolato con tasso di ventilazione elevato (tetti ricoperti di tegole)	1,0
	- altro tetto non isolato	0,9
	- tetto isolato	0,7
Aree interne di circolazione non ventilate		0,0
Aree interne di circolazione ventilate		1,0
Solette sospese (solette sopra vespaio)		0,8
Pavimento o parete controterra		0,45

Tab. 6.4

AMBIENTE CONFINANTE	$b_{tr,g}$
Pavimento contro terra	0,45
Parete contro terra	0,45
Pavimento su vespaio areato	0,80

1. A maggior rigore ci sarebbe da considerare un ulteriore termine che tiene conto dell'energia termica dispersa dalle pareti che confinano con ambienti non riscaldati; questo ulteriore termine è considerato nella norma UNI TS 11300-1 ma in questa trattazione per semplicità è stato trascurato.

Tab. 6.5 - Calcolo di **t**

MESE	NUMERO GIORNI	NUMERO ORE	PERIODO IN Ms (t)
Gennaio	31	744	2,6784
Febbraio	28	672	2,4192
Marzo	31	744	2,6784
Aprile	30	720	2,592
Maggio	31	744	2,6784
Giugno	30	720	2,592
Luglio	31	744	2,6784
Agosto	31	744	2,6784
Settembre	30	720	2,592
Ottobre	31	744	2,6784
Novembre	30	720	2,592
Dicembre	31	744	2,6784

Calcolo di Q_V (scambi di calore per ventilazione)

Possono avvenire in regime naturale, attraverso l'apertura dei serramenti o per infiltrazioni d'aria, oppure in modo forzato attraverso specifici sistemi impiantistici.

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta * (Q_I + Q_{Sol}) \quad [6.3.a]$$

$$\downarrow$$

$$Q_V = H_V * (\theta_{int} - \theta_{est}) * t \quad [6.3.a]$$

$$\downarrow$$

$$H_V = Vn\rho_a c_a \quad [6.3.c]$$

H_V = coefficiente di scambio termico per ventilazione

V = Volume netto ambiente climatizzato

n = tasso di ricambi d'aria (valori tabellati su UNI 103391)

$\rho_a c_a$ = capacità termica dell'aria; $\rho_a c_a = 1200 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$

Nel caso di ventilazione naturale ed edifici residenziali il valore di n è fissato a 0,3 V/h.

Il volume netto può essere ricavato da quello lordo utilizzando un fattore di correzione secondo quanto riportato nella tabella 6.6.



Tab. 6.6

CATEGORIA EDIFICIO	TIPO DI COSTRUZIONE	
	E.1, E.2, E.3, E.7	Pareti con spessore > 45 cm
0,6		0,7
E.4, E.5, E.6, E.8	Con partizioni interne	Senza partizioni interne
	0,8	0,9

Calcolo di Q_I (apporti di calore gratuiti interni)

Includono il calore generato nell'ambiente interno da elementi *diversi dal sistema di riscaldamento* ad esempio: metabolismo degli occupanti, attrezzature elettriche, illuminazione, ecc.

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta * (Q_I + Q_{Sol}) \quad [6.4]$$

Per edifici di categoria E.1(1) e E.1(2), aventi superficie utile di pavimento A_f , il valore globale degli apporti interni, espresso in W, è ricavato come:

$$Q_I = 7,987 * A_f - 0,0353 * A_f^2 \quad \text{se } A_f \leq 120 \text{ m}^2 \quad [6.5]$$

$$Q_I = 450 \text{ W} \quad \text{se } A_f > 120 \text{ m}^2 \quad [6.6]$$

Gli apporti termici interni per le altre categorie di edifici sono espressi in funzione della destinazione d'uso secondo quanto riportato in tabella 6.7:

Tab. 6.7

CATEGORIA EDIFICIO	DESTINAZIONE D'USO	APPORTI MEDI GLOBALI W/m ²
E.1(1) - E.1(2)	Abitazioni	a)
E.1(1)	Collegi, caserme, case di pena, conventi	6
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari	6
E.2	Edifici adibiti ad uffici e assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili	8
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4 (2)	Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto	8

Tab. 6.7 (segue)

CATEGORIA EDIFICIO	DESTINAZIONE D'USO	APPORTI MEDI GLOBALI W/m ²
E.4 (3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	10
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili	8
E.6 (1)	Piscine, saune ed assimilabili	10
E.6 (2)	Palestre ed assimilabili	5
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	4
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili	4
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili	6

a) Dipende dalla superficie utile dell'appartamento

Calcolo di Q_{sol} (apporti gratuiti solari)

Dovuti alla radiazione solare assorbita dall'involucro o che entra direttamente attraverso le superfici trasparenti.

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta * (Q_I + Q_{Sol}) \quad [6.7.a]$$

$$Q_{sol} = \left\{ \sum_k \Phi_{sol,k} \right\} * t \quad [6.7.b]$$

$$\Phi_{sol,k} = F_{sol,k} A_{sol,k} I_{sol,k} \quad [6.7.c]$$

$$F_{sol} = F_{hor} * F_{ov} * F_{fin} \quad [6.7.d]$$

$$A_{sol,op} = \alpha_{sol,c} R_{se} U_c A_c \quad [6.7.e] \text{ (el. opachi)}$$

$$A_{sol,w} = F_{sh,gl} g_{gl} * (1 - F_F) * A_{w,p} \quad [6.7.f] \text{ (el. vetrati)}$$

$$F_{sh,gl} = \frac{[(1 - f_{sh,with}) * g_{gl} + f_{sh,with} g_{gl+sh}]}{g_{gl}} \quad [6.7.g]$$

[6.7.b] $\Phi_{sol,k}$ = flusso termico k -esimo di origine solare, mediato sul tempo

[6.7.c] $F_{sol,k}$ = fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k -esima;

$A_{sol,k}$ = area di captazione solare effettiva della superficie k -esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale, nella



zona o ambiente considerato; rappresenta l'effettiva superficie attraverso la quale viene trasmessa l'energia radiante incidente dall'esterno verso l'ambiente interno.

$I_{sol,k}$ = irradianza solare media mensile, sulla superficie k -esima, con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale.

[6.7.d] F_{hor} = fattori di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne (vedi tabella 6.12)

F_{ov} = fattori di ombreggiatura relativi ad oggetti orizzontali

F_{fin} = fattori di ombreggiatura relativi ad oggetti verticali

[6.7.e] $\alpha_{sol,c}$ = fattore di assorbimento solare del componente opaco;

R_{se} = resistenza termica superficiale esterna del componente opaco, determinato secondo la UNI EN ISO 6946;

U_c = trasmittanza termica del componente opaco;

A_c = area proiettata del componente opaco.

[6.7.f] $F_{sh,gl}$ = fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili;

g_{gl} = fattore solare della parte trasparente del componente; caratterizza il comportamento degli elementi trasparenti rispetto alla radiazione solare

$g = 0 \rightarrow$ corpo perfettamente assorbente (nero)

$g = 1 \rightarrow$ corpo perfettamente riflettente

F_f = frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato; $(1 - F_f)$ è chiamato fattore telaio e in assenza di dati più attendibili si può assumere un valore pari a 0,8

$A_{w,p}$ = area proiettata totale del componente vetrato (l'area del vano finestra).

[6.7.g] g_{gl} = trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura solare non è utilizzata;

g_{gl+sh} = trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura solare è utilizzata;

$f_{sh,with}$ = frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, pesata sull'irraggiamento solare incidente; essa dipende dal profilo dell'irradianza solare incidente sulla finestra e quindi dal clima, dalla stagione e dall'esposizione (vedi tabella 6.11).

Tab. 6.8

TIPO DI VETRO	g_{gl}
Vetro singolo	0,85
Doppio vetro normale	0,75
Doppio vetro con rivestimento basso emissivo	0,67

Tab. 6.8 (segue)

TIPO DI VETRO	g_{gl}
Triplo vetro normale	0,70
Triplo vetro con rivestimento basso emissivo	0,50
Doppia finestra	0,75

Tab. 6.9

COLORE SUPERFICIE ESTERNA	$\alpha_{sol,c}$
Chiaro	0,30
Medio	0,60
Scuro	0,90

Tab. 6.10 - $F_{sh,gl}$: fattori di riduzione per alcuni tipi di tenda pari al rapporto tra i valori di trasmittanza di energia solare totale della finestra con e senza schermatura (g_{gl+sh} / g_{gl})

TIPO DI TENDA	PROPRIETÀ OTTICHE DELLA TENDA		FATTORI DI RIDUZIONE CON	
	ASSORBIMENTO	TRASMISSIONE	TENDA INTERNA	TENDA ESTERNA
Veneziane bianche	0,1	0,05	0,25	0,10
		0,1	0,30	0,15
		0,3	0,45	0,35
Tende bianche	0,1	0,5	0,65	0,55
		0,7	0,80	0,75
		0,9	0,95	0,95
Tessuti colorati	0,3	0,1	0,42	0,17
		0,3	0,57	0,37
		0,5	0,77	0,57
Tessuti rivestiti di alluminio	0,2	0,05	0,20	0,08

Tab. 6.11 - Fattore di riduzione per le schermature mobili, $f_{sh,with}$

MESE	NORD	EST	SUD	OVEST
1	0,00	0,52	0,81	0,39
2	0,00	0,48	0,82	0,55
3	0,00	0,66	0,81	0,63
4	0,00	0,71	0,74	0,62

Tab. 6.11 (segue) - Fattore di riduzione per le schermature mobili, $f_{sh,with}$

MESE	NORD	EST	SUD	OVEST
5	0,00	0,71	0,62	0,64
6	0,00	0,75	0,56	0,68
7	0,00	0,74	0,62	0,73
8	0,00	0,75	0,76	0,72
9	0,00	0,73	0,82	0,67
10	0,00	0,72	0,86	0,60
11	0,00	0,62	0,84	0,30
12	0,00	0,50	0,86	0,42

Nell'appendice D delle UNI TS 11300 - 1 sono riportati i fattori di ombreggiatura mensili relativi alle ostruzioni esterne, aggetti orizzontali ed aggetti verticali. La tabella 6.12 ne è uno stralcio.

Tab. 6.12 - Fattore di ombreggiatura F_{hor} relativo ad ostruzioni esterne.

Mese di GENNAIO

ANGOLO SU ORIZZONTE	36° N LATITUDINE			38° N LATITUDINE			40° N LATITUDINE		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,86	0,83	0,95	0,85	0,83	0,94	0,83	0,83
20°	0,85	0,67	0,67	0,82	0,65	0,67	0,77	0,63	0,67
30°	0,46	0,47	0,52	0,34	0,45	0,52	0,25	0,44	0,52
40°	0,05	0,37	0,38	0,05	0,33	0,38	0,05	0,30	0,38

ANGOLO SU ORIZZONTE	42° N LATITUDINE			44° N LATITUDINE			46° N LATITUDINE		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,93	0,81	0,83	0,91	0,80	0,83	0,88	0,76	0,83
20°	0,70	0,60	0,67	0,59	0,58	0,67	0,47	0,54	0,67
30°	0,15	0,44	0,52	0,09	0,44	0,52	0,05	0,39	0,52
40°	0,05	0,27	0,38	0,05	0,23	0,38	0,04	0,21	0,38

