



> Antonio Mazzon

CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI RESIDENZIALI

Sviluppo analitico e calcolo manuale della prestazione energetica
secondo le norme UNI TS 11300: 2014 e redazione dell'APE



- > Certificazione energetica e metodologie di calcolo
- > Definizioni ed elementi di base per la redazione del progetto
- > Descrizione delle strutture edilizie dell'edificio
- > Calcolo della prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale

Antonio Mazzon

Certificazione energetica degli edifici residenziali

**Sviluppo analitico e calcolo manuale della prestazione energetica
secondo la norma UNI TS 11300 e redazione dell'APE**



Dario Flaccovio Editore

A. Mazzon

CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI RESIDENZIALI

ISBN 9788857904481

© 2015 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: giugno 2015

Mazzon, Antonio <1964->

Certificazione energetica degli edifici residenziali : sviluppo analitico e calcolo manuale della prestazione energetica secondo la norma UNI TS 11300 e redazione dell'APE / Antonio Mazzon. - Palermo : D. Flaccovio, 2015.

ISBN 978-88-579-0448- 1

1. Edifici – Impianti termici – Certificazione.

696 CDD-22 SBN PAL0280527

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, giugno 2015

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Indice

Introduzione	pag. 9
1. La certificazione energetica e metodologie di calcolo	
1.1. Premessa	» 11
1.2. L'Attestato di Prestazione Energetica	» 12
1.2.1. L'obbligo di dotazione dell'Attestato di Prestazione Energetica	» 13
1.2.2. La validità temporale dell'APE	» 15
1.2.3. I soggetti certificatori.....	» 16
1.2.4. I requisiti di indipendenza e imparzialità	» 18
1.3. L'importanza del settore civile sul parco edilizio nazionale.....	» 19
1.4. Metodologie di calcolo per la determinazione della prestazione energetica degli edifici	» 22
1.4.1. Metodo calcolato di progetto o di calcolo standardizzato	» 24
1.4.2. Metodi di calcolo da rilievo sull'edificio	» 25
1.5. Metodologia di calcolo per la certificazione energetica di un edificio residenziale	» 27
1.5.1. Il fabbisogno globale di energia primaria dell'edificio $Q_{p,H,W}$	» 27
1.5.2. Il fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento $Q_{H,nd}$	» 28
1.6. Il clima della località e la stagione di riscaldamento	» 29
1.7. Lo scambio termico per trasmissione e ventilazione ($Q_{H,ht}$).....	» 32
1.8. Dispersione termica per trasmissione	» 33
1.9. Coefficiente globale di scambio termico, H_{tr}	» 34
1.9.1. Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione H_D	» 35
1.9.2. Calcolo della trasmittanza termica delle strutture edilizie opache	» 35
1.9.3. Verifica termoigrometrica dei componenti opachi	» 38
1.10. La trasmittanza termica delle strutture edilizie trasparenti	» 42
1.10.1. I ponti termici	» 47
1.10.2. Il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso il terreno H_g	» 50
1.10.3. Il coefficiente di scambio termico attraverso gli ambienti non climatizzati H_U	» 54
1.10.4. Il coefficiente di scambio termico verso altre zone climatizzate a temperatura diversa H_A	» 55
1.11. L'extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste	» 56
1.12. Calcolo dello scambio termico per ventilazione	» 58
1.13. Calcolo del fabbisogno di energia termica per umidificazione e deumidificazione	» 60
1.14. Calcolo della dispersione termica totale $Q_{H,ht}$	» 61
1.15. Gli apporti di calore totali $Q_{H,gn}$	» 61
1.15.1. Gli apporti di calore interni	» 61
1.15.2. Gli apporti solari	» 62
1.16. Fattore di utilizzazione degli apporti termici $\eta_{H,gn}$	» 66
1.16.1. Comportamento termico/dinamico dei componenti edilizi	» 67
1.16.2. Calcolo della trasmittanza termica periodica Y_{IE}	» 72

1.16.3.	Calcolo del fattore di decremento.....	»	72
1.16.4.	Calcolo del fattore di decremento.....	»	73
1.16.5.	Calcolo della capacità termica areica	»	73
1.17.	Calcolo della capacità termica interna dell'edificio C_m	»	74
1.18.	Fabbisogno ideale netto per riscaldamento.....	»	77
1.19.	Il fabbisogno termico effettivo di energia per la climatizzazione invernale Q_{hr}	»	77
1.20.	Energia termica fornita dal sistema di generazione del calore al sistema di distribuzione	»	79
1.21.	Energia termica fornita al sistema di generazione	»	81
1.22.	Energia termica fornita al sistema di generazione	»	82
1.23.	Il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari dell'impianto di riscaldamento	»	87
1.24.	Il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria	»	90
1.25.	Il fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria	»	91
1.26.	Determinazione dell'indice di prestazione energetica (EP_i) e del rendimento globale medio stagionale per la climatizzazione invernale	»	95
1.27.	Calcolo dell'Indice di Prestazione Energetica e del rendimento globale medio stagionale per la produzione di acqua calda sanitaria	»	96
1.28.	Determinazione della classe energetica dell'edificio ai sensi del D.M. 26/06/2009	»	97
1.28.1.	Metodologia di classificazione degli edifici.....	»	97
1.28.1.1.	Rappresentazione delle prestazioni, struttura della scala delle classi e soglia di riferimento legislativo	»	97
1.28.1.2.	Classi energetiche e prestazione energetica globale	»	98
1.28.1.3.	Climatizzazione invernale dell'edificio	»	99
1.28.1.4.	Preparazione dell'acqua calda per usi igienici e sanitari.....	»	100
1.29.	Certificazione di edifici e di singoli appartamenti (climatizzazione invernale)	»	101
1.30.	L'analisi costi-benefici degli interventi di risparmio energetico	»	101
1.31.	Regole sui software di calcolo	»	104
2. Definizioni ed elementi di base per la redazione del progetto			
2.1.	Premessa	»	107
2.2.	Scelta della metodologia di calcolo	»	108
2.3.	Metodo di misura dell'edificio.....	»	108
2.4.	L'edificio in studio	»	110
2.5.	Informazioni generali	»	110
2.5.1.	Parametri climatici della località	»	111
2.6.	Dati tecnici e costruttivi dell'edificio e delle relative strutture.....	»	113
2.6.1.	Individuazione del sistema edificio-impianto	»	113
2.6.2.	Fattori tipologici dell'edificio	»	117
2.6.3.	Riepilogo dei dati tecnici e costruttivi dell'edificio e delle relative strutture	»	126
3. Descrizione delle strutture edilizie dell'edificio			
3.1.	Caratteristiche termiche dei componenti edilizi	»	127
3.2.	Strutture edilizie trasparenti	»	127
3.3.	Finestra con telaio metallico senza taglio termico e doppi vetri con aria nell'intercapedine delle dimensioni di 80×140 cm – Tipo S1	»	128
3.4.	Porte	»	138
3.5.	Componenti opachi	»	138
3.5.1.	Parete perimetrale esterna (tipo S6), $s = 29$ cm.....	»	139

3.5.2.	Metodo semplificato Appendice A della UNI EN ISO 13786	» 142
3.5.3.	Metodo analitico della UNI EN ISO 13786	» 142
3.5.4.	Parete (tipo S7) di divisione della zona riscaldata ZT ₁ dalla zona non riscaldata (ZNR1) s = 24 cm	» 153
3.6.	Strutture edilizie opache orizzontali	» 160
3.6.1.	Componente opaco (tipo S10) – Pavimento in laterocemento della zona non riscaldata (ZNR2) s = 38,5 m e strato di ghiaia di sottofondo	» 160
3.6.2.	Calcolo del coefficiente di accoppiamento termico del pavimento della zona termica (ZT01) – piano interrato-terreno	» 161
3.6.3.	Calcolo del coefficiente di accoppiamento termico del pavimento del corpo scala (ZNR1)-piano interrato-terreno	» 165
3.6.4.	Componente opaco (tipo S11) – Copertura in laterocemento della zona riscaldata (ZT1) s = 30 cm	» 165
3.6.5.	Componente opaco (tipo S12) – Solaio di interpiano in laterocemento della zona riscaldata (ZT1) s = 32,2 cm	» 169
3.6.6.	Componente opaco (tipo S13) – Cassonetto	» 172
3.6.7.	Parete (tipo S15) interna di divisione tra locali della zona riscaldata ZT1 s = 13 cm	» 174
3.7.	Ponti termici	» 175
3.8.	Apporti solari	» 182
3.8.1.	Fattori di ombreggiamento dovuti ad ostruzioni esterne, aggetti orizzontali e verticali	» 186
3.8.2.	Esposizione sud	» 186
3.8.2.1.	Calcolo del fattore di ombreggiatura relativo ad ostruzioni esterne (F_{hor})	» 186
3.8.2.2.	Calcolo del fattore di ombreggiatura relativo ad aggetti orizzontali (F_{ov})	» 189
3.8.2.3.	Calcolo del fattore di ombreggiamento relativo ad aggetti verticali (F_{fin})	» 192
3.8.2.4.	Calcolo del fattore di ombreggiamento $F_{sh,ob}$ per l'esposizione sud	» 192
3.8.3.	Esposizione nord	» 193
3.8.4.	Esposizioni est e ovest	» 197
3.8.5.	Area equivalente delle superfici opache soggette ad irraggiamento solare	» 198
3.8.6.	Apporti solari sui componenti trasparenti	» 200
3.9.	Grafici sulle caratteristiche termiche dei componenti edilizi	» 204

4. Calcolo della prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale

4.1.	Premessa	» 209
4.2.	Determinazione dello scambio termico globale	» 210
4.2.1.	Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione H_D	» 211
4.2.2.	Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso il terreno H_g	» 215
4.2.3.	Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati H_U	» 216
4.2.3.1.	Calcolo del fattore $b_{tr,U}$ tra la ZTR (appartamenti) e la ZNR1 (corpo scala).....	» 217
4.2.4.	Calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa H_A	» 223
4.2.5.	Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione $H_{tr,adj}$	» 223

4.2.6.	Calcolo del coefficiente globale di scambio termico per ventilazione $H_{ve,adj}$	» 223
4.2.7.	Calcolo del coefficiente globale di scambio termico H	» 224
4.2.8.	Calcolo dell'extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste $\Phi_{r,mn,k}$	» 224
4.3.	Calcolo delle dispersioni termiche	» 231
4.3.1.	Dispersione termica per trasmissione $Q_{H,tr}$	» 231
4.3.2.	Dispersione termica per ventilazione $Q_{H,ve}$	» 232
4.3.3.	Calcolo della dispersione termica totale ($Q_{H,hv}$)	» 232
4.4.	Calcolo degli apporti di calore totali $Q_{H,gn}$	» 233
4.4.1.	Apporti di calore interni Q_{int}	» 233
4.4.2.	Apporti solari $Q_{sol,op/W}$	» 234
4.4.3.	Calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti termici $\eta_{H,gn}$	» 237
4.5.	Fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento ($Q_{H,nd}$)	» 240
4.5.1.	Fabbisogno ideale netto per riscaldamento	» 241
4.5.2.	Fabbisogno effettivo di energia termica per riscaldamento dell'edificio	» 242
4.6.	Impianto di climatizzazione invernale	» 243
4.6.1.	Sottosistema di distribuzione	» 249
4.6.2.	Sottosistema di generazione	» 251
4.6.2.1.	Calcolo del fattore F_1	» 252
4.6.2.2.	Calcolo dei fattori F_2 , F_3 e F_4	» 255
4.7.	Fabbisogno di energia la produzione di acqua calda sanitaria	» 259
4.7.1.	Perdite di erogazione	» 262
4.7.2.	Perdite di distribuzione	» 262
4.7.3.	Perdite di accumulo	» 264
4.7.4.	Perdite di generazione	» 264
4.8.	Il fabbisogno globale di energia primaria dell'edificio $Q_{p,H}$	» 265
4.8.1.	Calcolo degli Indici di Prestazione Energetica EPi, EPacs e Eppl	» 266
4.9.	Calcolo del rendimento medio globale stagionale per la climatizzazione invernale e per la produzione dell'acqua calda sanitaria	» 266
4.10.	Determinazione della classe energetica dell'edificio	» 267
4.10.1.	Classe energetica per la climatizzazione invernale	» 269
4.10.2.	Classe energetica per la produzione di acqua calda sanitaria	» 269
4.10.3.	Classe energetica globale (climatizzazione invernale + acs)	» 270
4.11.	La redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE) per ciascuna unità edilizia	» 271
4.11.1.	Raccomandazione n. 1	» 277
4.11.2.	Raccomandazione n. 2	» 278
4.11.3.	Raccomandazione n. 3	» 280
4.12.	Emissioni di CO ₂ dovute ai consumi di energia termica degli edifici	» 281
4.12.1.	Produzione per vettore energetico	» 281
4.12.2.	Produzione globale di CO ₂ dell'edificio	» 281
4.13.	Note per la compilazione dell'APE	» 285
4.14.	Attestato di Prestazione Energetica (APE) dell'edificio	» 290
4.14.1.	Appartamento, interno 1, piano terra	» 294
4.14.2.	Appartamento, interno 3, piano primo	» 298
	Bibliografia	» 303

Introduzione

Con la conversione in legge del D.L. n. 63/2013, avvenuta con pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale del 3/8/2013 della Legge 90/2013, è stata recepita la Direttiva Europea 2010/31/UE del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica edilizia e l'Attestato di Certificazione Energetica (ACE) è stato sostituito con l'Attestato di Prestazione Energetica (APE). L'APE è il documento, rilasciato da esperti qualificati e indipendenti, che attesta la prestazione energetica di un edificio attraverso l'utilizzo di specifici descrittori e fornisce raccomandazioni per il miglioramento della sua efficienza energetica. È molto probabile che con l'entrata in vigore della L. 90/2013, ci sarà una maggiore diffusione degli Attestati di Prestazione Energetica; conseguentemente, i consumatori saranno maggiormente informati sulla qualità energetica e sui costi di gestione degli immobili, oggetto di compravendita e locazione.

È bene ricordare che lo stock immobiliare italiano è costituito da circa 66,6 milioni di unità, di cui circa il 51% è di tipo residenziale¹. Pertanto, l'analisi del contesto normativo nazionale ed europeo, gli obiettivi di risparmio energetico contenuti nella Strategia Energetica Nazionale (SEN) e i dati sul patrimonio edilizio esistente in Italia, spingono a prevedere, per i prossimi anni, un importante sviluppo delle attività di diagnosi e di certificazione energetica. Inoltre, dopo alcuni anni di incertezza normativa, il D.P.R. del 16 aprile 2013, n. 75 ha definito i criteri di accreditamento per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli tecnici esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici, ai sensi dell'articolo 4, comma 1, lettera c), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192. I corsi di formazione per i certificatori energetici e i relativi esami devono essere svolti, a livello nazionale, da università, da organismi ed enti di ricerca, da consigli, ordini e collegi professionali autorizzati dal Ministero dello sviluppo economico, di intesa con il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti ed il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare; mentre, a livello regionale, i medesimi corsi vengono svolti da altri soggetti, con competenza in materia di certificazione energetica, autorizzati dalle Regioni e dalle Province autonome. Pertanto, sarà sempre più importante il ruolo che assumerà la formazione dei tecnici competenti, che saranno chiamati a redigere gli APE.

Per queste motivazioni si è scelto di realizzare questo primo manuale che sviluppa un esempio completo per la certificazione energetica di un edificio esistente con destinazione d'uso residenziale. Si può presumere infatti che, nei prossimi anni, la maggior parte dei professionisti sarà impegnata nella certificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, che dovrà essere successivamente sottoposto a interventi di riqualificazione energetica. Ciò comporterà un'importante riduzione dei consumi energetici e delle conseguenti emissioni di gas serra del patrimonio immobiliare nazionale, con conseguenti benefici economici ed ambientali sia per i consumatori che per lo Stato.

¹ Dati del *Rapporto Immobiliare 2013* dell'Osservatorio Mercato Immobiliare e Servizi Estimativi dell'Agenzia delle Entrate.

La molteplicità dei provvedimenti legislativi e il numero delle norme tecniche emanate, dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), per la determinazione del fabbisogno di energia primaria degli edifici, la redazione della relazione tecnica ex art. 28 L. 10/91 e degli attestati di qualificazione e di certificazione energetica, impongono al tecnico un continuo aggiornamento ed approfondimento delle proprie conoscenze in materia.

L'esperienza maturata in oltre 20 anni di progettazione e creazione di modelli di calcolo computerizzati per l'analisi energetica degli edifici², dimostra come l'importanza della figura del "tecnico competente" sia rimasta inalterata fino ad oggi, nonostante talvolta possa sembrare che il computer sia in grado di sostituire l'uomo e l'immagine di nascondere la sostanza. Il software è uno strumento utile in quanto è in grado di eseguire molto velocemente una moltitudine di elaborazioni che consentono al tecnico esperto di "valutare" meglio il proprio progetto; tuttavia, diventa molto "pericoloso" quando viene utilizzato come una scatola nera ove inserire dei dati senza ben conoscere gli algoritmi che li elaborano per restituire un risultato. Per questo motivo, ritengo che sia sempre utile mostrare degli esempi di calcolo sviluppati manualmente al fine di rendere sempre più "trasparenti" le procedure implementate nei software, per migliorare la propria conoscenza o, più semplicemente, per possedere un testo da consultare per ricordare ciò che talvolta può sfuggire a causa della moltitudine di dati di input e di formule da utilizzare. Il manuale mostra, passo dopo passo, lo sviluppo dei calcoli per la determinazione del fabbisogno di energia primaria di un edificio residenziale, partendo dalla determinazione delle caratteristiche geometriche e termiche dell'involucro edilizio e delle caratteristiche dell'impianto di climatizzazione, fino alla determinazione dell'Indice di Prestazione energetica e alla redazione dell'APE. L'esempio è rappresentativo di gran parte del patrimonio immobiliare esistente, in quanto è stato ideato a partire dalle caratteristiche di edifici costruiti in Italia negli ultimi decenni, senza una particolare attenzione all'isolamento termico dell'involucro edilizio e al rendimento dell'impianto termico, utilizzando materiali ed impianti di larga diffusione nel mercato edilizio nazionale. Inoltre, viene spesso effettuato un confronto tra i dati calcolati manualmente ed i risultati ottenuti tramite software dedicato, conforme al D.P.R. 59/09, rilasciato dal Comitato Termotecnico Italiano. Ciò non perché sia necessario possedere il software per utilizzare al meglio il manuale, ma per dimostrare come sia sempre possibile per un tecnico esperto utilizzare indifferentemente una procedura manuale od una computerizzata.

Sono presenti anche le planimetrie, i prospetti e le sezioni dell'edificio, oltre agli schemi grafici che descrivono in dettaglio le misure che concorrono alla determinazione dei parametri utilizzati nel calcolo. Infine, viene effettuata l'analisi costi-benefici di alcuni interventi di efficientamento energetico per la compilazione del punto 6 *Raccomandazioni* dell'APE e il calcolo delle emissioni di CO₂ che potrebbero essere evitate a seguito della loro realizzazione.

Il manuale, quindi, è stato redatto per costituire una guida per la corretta applicazione della legislazione e della normativa tecnica vigente in materia di certificazione energetica degli edifici e per effettuare delle valutazioni finalizzate alla redazione degli inventari delle emissioni di CO₂ e delle azioni dei Piani di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) con riferimento al settore civile.

² I miei primi libri con software Glaser. *Progettazione termo igrometrica delle pareti*, Dario Flaccovio Editore 1991 e *Dalla legge 373 alla legge 10/91 - Analisi energetica degli edifici*, Dario Flaccovio Editore 1993.

1. La certificazione energetica e metodologie di calcolo

1.1. Premessa

L'obiettivo del presente manuale è quello di descrivere, passo dopo passo, un esempio di calcolo del fabbisogno energetico di un edificio esistente e fornire al certificatore energetico le informazioni necessarie per la compilazione dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE). Pertanto, è utile iniziare questo capitolo con l'esame dei concetti fondamentali che riguardano l'APE ed i soggetti abilitati



Figura 1.1. Attestazione di prestazione energetica

al suo rilascio. Nei paragrafi successivi, invece, vengono descritti gli algoritmi utilizzati per il calcolo del fabbisogno di energia primaria, dell'indice di prestazione energetica globale e la determinazione della classe energetica dell'edificio. Nei capitoli successivi, infine, viene sviluppato il calcolo manuale dei parametri necessari per la redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica: trasmittanze termiche dei componenti edilizi opachi e vetrati e dei ponti termici, scambi termici per trasmissione e ventilazione, fabbisogni energetici ed apporti gratuiti, rendimenti d'impianto, fabbisogno di energia primaria, indicatori energetici.

1.2. L'Attestato di Prestazione Energetica

Con il D.L. 4 giugno 2013 n. 63, convertito con Legge 3 agosto 2013 n. 90, è stata data attuazione alla nuova Direttiva comunitaria 2010/31/UE, in materia di rendimento energetico nell'edilizia. Il Decreto ha introdotto, al posto dell'Attestato di Certificazione Energetica (ACE), l'Attestato di Prestazione Energetica (APE), definito come “il documento, redatto e rilasciato da esperti qualificati e indipendenti che attesta la prestazione energetica di un edificio attraverso l'utilizzo di specifici descrittori e fornisce raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica”³.

L'APE è chiamato a svolgere il ruolo di strumento di “informazione” del proprietario, dell'acquirente e/o del locatario dell'unità edilizia (art. 6 commi 1, 2, 3, 8 del D.Lgs. 192/2005). Deve contenere tutti i dati che consentano di valutare e confrontare edifici diversi e, quindi, di scegliere l'unità immobiliare anche in base alla sua prestazione energetica e fornisce raccomandazioni per il suo miglioramento, compatibilmente con il tempo di ritorno dell'investimento. Per consentire tutto ciò con l'APE si attribuisce a ciascuna unità edilizia una determinata “classe energetica”: con la lettera dell'alfabeto “A” e “A+” vengono individuati gli immobili a maggior efficienza energetica, mentre con la lettera “G” vengono individuati quelli con la peggiore efficienza energetica. Con l'attribuzione di specifiche classi prestazionali, l'APE funge da strumento di orientamento del mercato verso gli edifici a migliore rendimento energetico.

Per la prima volta, infatti, viene introdotta nella valutazione degli immobili una variabile diversa da quelle che eravamo abituati a considerare nell'estimo tradizionale (zona, vetustà, orientamento, stato di conservazione, qualità dell'edificio, superficie utile, ecc.). La casa viene considerata in questa prospettiva come una macchina che consuma energia e produce servizi, che nel loro insieme costituiscono importanti elementi per valutare la qualità dell'abitare. Uno studio dell'Istituto per la Competitività (i-COM), realizzato sulla base di interviste agli agenti

³ D.L. 4 giugno 2013 n. 63.

immobiliari, mostra che la percezione degli attori del mercato immobiliare del tema dell'efficienza energetica non è ancora ben definita: oltre il 50% degli acquirenti non ha una percezione adeguata dell'importanza del tema dell'efficienza energetica (ritenuta sufficiente per il 30% del campione), mentre quasi il 70% di chi vende casa non lo considera importante, segno che l'efficienza energetica non è percepita ancora come un valore per i proprietari degli immobili⁴. Inoltre, nella scelta di un immobile ad uso residenziale il risparmio energetico (sebbene utile nell'attuale periodo di crisi) non incide ancora molto: nella valutazione del prezzo medio di vendita di un'abitazione, il risparmio energetico pesa per il 18,4%, mentre l'accessibilità ai servizi e ai mezzi di trasporto, la posizione e la vicinanza al centro incidono di più, fino al 25%. In una grande città come Roma, il risparmio energetico incide sul prezzo di un immobile in periferia per il 9,7%, mentre la luminosità pesa per il 10% e il panorama per il 20%.

1.2.1. L'obbligo di dotazione dell'Attestato di Prestazione Energetica

Per il perseguimento degli scopi che la normativa in materia attribuisce alla certificazione energetica, tutti gli edifici che comportino un "consumo energetico" devono essere dotati dell'attestato di prestazione energetica. Diversi sono i presupposti fissati dall'art. 6, commi 1 e 2, del D.Lgs. 192/2005 per il sorgere dell'obbligo di dotazione dell'APE, tra i quali:

- a. il *presupposto di carattere oggettivo* (legato a specifiche caratteristiche degli edifici inerenti all'epoca di costruzione o ristrutturazione, alla natura "pubblica" del soggetto proprietario o detentore dell'immobile, ecc.);
- b. il *presupposto di carattere contrattuale*, legato al trasferimento a titolo oneroso e/o gratuito dell'edificio o alla sua locazione⁵.

CASO A) PRESUPPOSTO OGGETTIVO

- *nuovi edifici*: gli edifici costruiti in forza del permesso di costruire o della denuncia di inizio attività rispettivamente richiesto o presentata dopo l'8 ottobre 2005 (nel caso del permesso di costruire bisogna fare riferimento alla data della richiesta e non alla data del rilascio). Detti edifici devono essere dotati dell'attestato di prestazione energetica prima del rilascio del certificato di agibilità. L'attestato, in questo caso, è prodotto a cura del costruttore, sia esso committente della costruzione o società di costruzione che opera direttamente⁶;

⁴ Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2012 (RAEE) – ENEA.

⁵ La disciplina nazionale della certificazione energetica – Guida operativa 2014 – Consiglio Nazionale del Notariato. Approvato dall'Area Scientifica – Studi Pubblicistici il 15/05/2014.

⁶ Art. 6, comma 1, del D.Lgs. 192/2005, così come modificato dal D.L. n. 63/2013.

- *edifici ristrutturati*: deve trattarsi, peraltro, di “ristrutturazioni importanti”⁷, cioè gli interventi edilizi, in qualunque modo denominati (a titolo indicativo e non esaustivo: manutenzione ordinaria o straordinaria, ristrutturazione e risanamento conservativo) che insistono su oltre il 25% della superficie dell’involucro dell’intero edificio, comprensivo di tutte le unità immobiliari che lo costituiscono; in particolare detti interventi consistono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, nel rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell’impermeabilizzazione delle coperture.

Detti edifici devono essere dotati dell’attestato di prestazione energetica prima del rilascio del certificato di agibilità.

- *edifici pubblici*: al riguardo, l’attuale disciplina distingue tra:
 - a. *edificio adibito ad uso pubblico*: edificio, non necessariamente di proprietà pubblica, nel quale si svolge, in tutto o in parte, l’attività istituzionale di enti pubblici (in quanto detenuto dall’ente pubblico ad es. a titolo di locazione o comodato)⁸;
 - b. *edificio di proprietà pubblica*: edificio di proprietà dello Stato, delle regioni o degli enti locali, nonché di altri enti pubblici, anche economici ed occupati dai predetti soggetti⁹.

A sua volta l’art. 6 del D.L. n. 63/2013 (ai commi 6, 7, 9) stabilisce quanto segue:

- nel caso di *edifici utilizzati da pubbliche amministrazioni e aperti al pubblico con superficie utile totale superiore a 500 m²*, ove l’edificio non ne sia già dotato, è fatto obbligo al proprietario o al soggetto responsabile della gestione, di produrre l’attestato di prestazione energetica entro 120 giorni dalla data di entrata in vigore del D.L. 63/2013. A partire dal 9 luglio 2015, la soglia di 500 m² è stata abbassata a 250 m² Per gli edifici scolastici tali obblighi ricadono sugli enti proprietari;
- per gli *edifici aperti al pubblico, con superficie utile totale superiore a 500 m²*, per i quali sia stato rilasciato l’attestato di prestazione energetica, è fatto obbligo, al proprietario o al soggetto responsabile della gestione dell’edificio stesso, di affiggere con evidenza tale attestato all’ingresso dell’edificio o in altro luogo chiaramente visibile al pubblico;
- tutti i contratti, nuovi o rinnovati, relativi alla gestione degli impianti termici o di climatizzazione degli edifici pubblici (sia che si tratti di edifici adibiti ad uso pubblico che di edifici di proprietà pubblica), o nei quali figura come committente un soggetto pubblico, devono prevedere la predisposizione dell’attestato di prestazione energetica dell’edificio o dell’unità immobiliare interessati.

⁷ Art. 2, c. 1, lett. l-viciesquater, del D.Lgs. 192/2005, così come modificato dal D.L. n. 63/2013.

⁸ Art. 2, c. 1, lett. l-sexies, D.Lgs. 192/2005, così come modificato dal D.L. n. 63/2013.

⁹ Art. 2, c. 1, lett. l-septies, D.Lgs. 192/2005, così come modificato dal D.L. n. 63/2013.

CASO B) PRESUPPOSTO CONTRATTUALE

L'art. 6, comma 2, D.Lgs. 192/2005, così come modificato dal D.L. n. 63/2013, stabilisce che “nel caso di vendita, di trasferimento di immobili a titolo, o di nuova locazione di edifici o unità immobiliari, ove l'edificio o l'unità non ne sia già dotato, il proprietario è tenuto a produrre l'attestato di prestazione energetica di cui al comma 1”. Devono, pertanto, essere dotati della certificazione energetica in occasione di un trasferimento sia a titolo oneroso che gratuito o di un nuovo contratto di locazione i “fabbricati esistenti”, ossia tutti gli edifici (a prescindere dall'epoca di costruzione) che comportino un “consumo energetico”.

1.2.2. La validità temporale dell'APE

Gli attestati di prestazione energetica hanno una validità temporale massima di dieci anni¹⁰ e devono essere aggiornati a ogni intervento di ristrutturazione o riqualificazione che modifichi la classe energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare. La validità massima dell'attestato di prestazione energetica di un edificio è, peraltro, subordinata al rispetto delle prescrizioni per le operazioni di controllo di efficienza energetica degli impianti tecnici dell'edificio, in particolare per quelli termici, comprese le eventuali necessità di adeguamento, previste dalle normative vigenti. Nel caso di mancato rispetto delle predette disposizioni l'attestato di prestazione energetica decade il 31 dicembre dell'anno successivo a quello in cui è prevista la prima scadenza non rispettata per le predette operazioni di controllo di efficienza energetica; a tal fine i libretti di impianto sono allegati, in originale o in copia, all'attestato di prestazione energetica; tale disposizione, già dettata dal D.M. 26 giugno 2009 di approvazione delle *Linee guida Nazionali*, è stata ora introdotta anche nel testo dell'art. 6, c. 5, D.Lgs. 192/2005, per effetto delle modifiche apportate dal D.L. 63/2013.

L'art. 6 dello stesso D.M. 26 giugno 2009 ha, inoltre, così disciplinato la validità della certificazione energetica (ora definita Attestato di Prestazione Energetica):

- la validità non viene inficiata dall'emanazione di provvedimenti di aggiornamento delle linee guida nazionali e/o introduttivi della certificazione energetica di ulteriori servizi quali, a titolo esemplificativo, la climatizzazione estiva e l'illuminazione;
- la certificazione energetica è aggiornata ad ogni intervento di ristrutturazione, edilizio e impiantistico, che modifica la prestazione energetica dell'edificio nei termini seguenti:
 - a. ad ogni intervento migliorativo della prestazione energetica a seguito di interventi di riqualificazione che riguardino almeno il 25% della superficie esterna dell'immobile;

¹⁰ Art. 6, c. 5, D.Lgs. 192/2005.

- b. ad ogni intervento migliorativo della prestazione energetica a seguito di interventi di riqualificazione degli impianti di climatizzazione e di produzione di acqua calda sanitaria che prevedono l'installazione di sistemi di produzione con rendimenti più alti di almeno 5 punti percentuali rispetto ai sistemi preesistenti;
- c. ad ogni intervento di ristrutturazione impiantistica o di sostituzione di componenti o apparecchi che, fermo restando il rispetto delle norme vigenti, possa ridurre la prestazione energetica dell'edificio;
- d. facoltativo in tutti gli altri casi.

1.2.3. I soggetti certificatori

Dopo alcuni anni di incertezza normativa, il D.P.R. del 16 aprile 2013, n. 75 ha definito i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici, ai sensi dell'articolo 4, comma 1, lettera c), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192.

Il decreto stabilisce che l'attività di certificazione energetica deve essere svolta da un *tecnico abilitato*. Sono abilitati al rilascio dell'attestato di prestazione energetica e, quindi, riconosciuti come soggetti certificatori:

- a. i tecnici abilitati (ossia i tecnici operanti, sia in veste di dipendenti di enti e organismi pubblici o di società di servizi pubbliche o private, comprese le società di ingegneria, che in veste di professionisti liberi od associati);
- b. gli Enti pubblici e gli organismi di diritto pubblico operanti nel settore dell'energia e dell'edilizia, che esplicano l'attività con un tecnico o con un gruppo di tecnici abilitati, in organico;
- c. gli organismi pubblici e privati qualificati a effettuare attività di ispezione nel settore delle costruzioni edili, opere di ingegneria civile in generale e impiantistica connessa, accreditati presso l'organismo nazionale italiano di accreditamento di cui all'articolo 4, comma 2, della legge 23 luglio 2009, n. 99, o altro soggetto equivalente in ambito europeo, sulla base delle norme UNI CEI EN ISO/IEC 17020, *Criteri generali per il funzionamento dei vari tipi di organismi che effettuano attività di ispezione*, sempre che svolgano l'attività con un tecnico o con un gruppo di tecnici abilitati, in organico;
- d. le società di servizi energetici (ESCO) che operano conformemente alle disposizioni di recepimento e attuazione della direttiva 2006/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici, sempre che svolgano l'attività con un tecnico, o con un gruppo di tecnici abilitati, in organico.

Il decreto individua quali soggetti possano definirsi “tecnici abilitati”, distinguendoli in due distinte categorie:

1. *tecnici già abilitati alla certificazione energetica* senza necessità di frequentare corsi di formazione. All’interno di questa categoria occorre effettuare l’ulteriore suddivisione tra:
 - a. *tecnici abilitati totalmente alla certificazione energetica* degli edifici, essendo abilitati alla certificazione sia degli edifici che di tutti gli impianti asserviti agli edifici stessi, senza limitazioni. Questi devono essere in possesso di uno dei titoli di studio elencati al comma 3 dell’art. 2 del D.P.R. 75/2013 ed essere iscritti ai relativi ordini e collegi professionali, ove esistenti, ed abilitati all’esercizio della professione relativa alla progettazione di edifici ed impianti, asserviti agli edifici stessi, nell’ambito delle competenze ad essi attribuite dalla legislazione vigente. In questo caso, peraltro, il *tecnico abilitato* opera all’interno delle proprie competenze;
 - b. *tecnici abilitati parzialmente alla certificazione energetica* degli edifici essendo abilitati solamente, o alla progettazione degli edifici o alla progettazione di impianti, oppure solamente a determinate categorie di edifici e/o impianti, tenendo conto di limiti tipologici e/o dimensionali (ad esempio solo edifici civili, solo edifici rurali, solo impianti al di sotto di una certa potenza, ecc.). Ove il tecnico non sia competente in tutti i campi richiesti (o nel caso che alcuni di essi esulino dal proprio ambito di competenza), egli deve operare in collaborazione con altro tecnico abilitato in modo che il gruppo costituito copra tutti gli ambiti professionali su cui è richiesta la competenza.

Per questi tecnici, il possesso del titolo di studio (ad es. laurea in ingegneria, laurea in architettura, diploma di perito industriale nei settori edilizia, elettronica, meccanica, termotecnica, aeronautica, energia nucleare, metallurgica, navalmeccanica, metalmeccanica, diploma di geometra, ecc.) congiuntamente all’iscrizione al relativo ordine professionale ed all’abilitazione all’esercizio della professione relativa alla progettazione di edifici ed impianti, asserviti agli edifici stessi, sono requisiti sufficienti per la legittimazione al rilascio della certificazione energetica.

2. *tecnici potenzialmente abilitati* ma che ancora non lo sono, che per diventarlo:
 - a. devono essere in possesso di uno dei titoli di studio elencati al *comma 4 dell’art. 2 del D.P.R. 75/2013* e di un attestato di frequenza, con superamento dell’esame finale, relativo a specifici corsi di formazione per la certificazione energetica degli edifici, i cui contenuti minimi sono individuati dal medesimo D.P.R. 75/2013.



Figura 1.2. Soggetti certificatori ai sensi del D.P.R. 75/2013

Quanto alla formazione, il D.P.R. 75/2013 stabilisce all'articolo 2, comma 5, che i corsi per la certificazione energetica degli edifici e i relativi esami sono svolti:

- a. a livello nazionale, da università, da organismi ed enti di ricerca, e da consigli, ordini e collegi professionali, autorizzati dal Ministero dello sviluppo economico di intesa con il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti ed il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare;
- b. a livello regionale, i medesimi corsi sono svolti direttamente da Regioni e Province autonome, e da altri soggetti di ambito regionale con competenza in materia di certificazione energetica autorizzati dalle predette Regioni e Province autonome.

1.2.4. I requisiti di indipendenza e imparzialità

Al fine di assicurare indipendenza ed imparzialità di giudizio, i tecnici abilitati, all'atto di sottoscrizione dell'attestato di prestazione energetica, devono dichiarare:

- a. nel caso di certificazione di edifici di nuova costruzione, l'assenza di conflitto di interessi (da intendere come non coinvolgimento diretto o indiretto nel processo di progettazione e realizzazione dell'edificio da certificare o con i produttori dei materiali e dei componenti in esso incorporati, nonché rispetto ai vantaggi che possano derivarne al richiedente, che in ogni caso non può essere né il coniuge né un parente fino al quarto grado);

la climatizzazione estiva e per l'illuminazione e, quindi per la determinazione dell'indice di prestazione energetica completo:

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

con

- EP_e indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva
- EP_{ill} indice di prestazione energetica per l'illuminazione.

Questa procedura è applicabile a tutte le tipologie edilizie degli edifici nuovi ed esistenti indipendentemente dalla loro dimensione.

1.4.2. Metodi di calcolo da rilievo sull'edificio

Per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EP_i) e per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EP_{acs}), attuativo del metodo di calcolo da rilievo sull'edificio, il D.M. 26.06.2009 prevedeva tre livelli di approfondimento.

LIVELLO 1

In merito al metodo di cui al punto 2i) del precedente paragrafo 1.4, per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EP_i) e per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EP_{acs}), si fa riferimento allo specifico metodo e alle relative semplificazioni comprese nelle norme UNI TS 11300, a partire dal rilievo delle caratteristiche dell'edificio esistente. Infatti le predette norme uni prevedono, per gli edifici esistenti, modalità di determinazione dei dati descrittivi dell'edificio e degli impianti sotto forma di abachi e tabelle in relazione, ad esempio, alle tipologie e all'anno di costruzione.

Questa procedura è applicabile a tutte le tipologie edilizie degli edifici esistenti indipendentemente dalla loro dimensione.

LIVELLO 2

In merito alla metodologia di cui al punto 2ii) del paragrafo 1.4, per il calcolo degli indici di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EP_i) e per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EP_{acs}), si faceva riferimento al metodo di calcolo predisposto da CNR ed ENEA, sulla base della normativa UNI e CEN, attraverso il software applicativo DOCET che sarà disponibile sui siti internet del CNR e dell'ENEA. Questa procedura è applicabile agli edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 3000 m², fino alla sua abrogazione intervenuta con l'emanazione delle nuove norme UNI TS 11300:2014, nel mese di ottobre 2014.

LIVELLO 3

In merito alla metodologia di cui al punto 2iii) del paragrafo 1.4, per il calcolo dell'indice di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale (EP_i) si utilizzava il metodo semplificato di cui all'allegato 2 al D.M. 26/06/2009, mentre per il calcolo dell'indice energetico per la produzione dell'acqua calda sanitaria (EP_{acs}) si faceva riferimento alle norme UNI TS 11300 per la parte semplificata relativa agli edifici esistenti.

Questa procedura era applicabile agli edifici residenziali esistenti con superficie utile fino a 1000 m².

Per le finalità individuate dalle Linee guida sulla certificazione energetica sono considerati edifici residenziali gli edifici classificati E.1, in base alla destinazione d'uso, all'articolo 3, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, con l'esclusione di collegi, conventi, case di pena e caserme.

La tabella 1.2 riporta sinteticamente le varie metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche in relazione agli edifici interessati e ai servizi energetici da valutare.

Tabella 1.2. Riepilogo delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici (D.M. del 26/06/2009 e modifiche introdotte dall'emanazione delle nuove norme UNI TS 11300:2014)

Edifici interessati	Tutte le tipologie di edifici nuovi ed esistenti	Tutte le tipologie di edifici esistenti	Edifici residenziali esistenti con superficie utile inferiore o uguale e 3000 m ²	Edifici residenziali esistenti con superficie utile inferiore o uguale e 1000 m ²
Prestazione invernale involucro edilizio	UNI TS 11300-1:2014		DOCET (CNR-ENEA) -	Metodo semplificato (Allegato 2 DM 26/06/2009)
Energia primaria prestazione invernale	UNI TS 11300-1:2014 UNI TS 11300-2:2014			Metodo semplificato (Allegato 2 DM 26/06/2009)
Energia primaria prestazione acqua calda sanitaria	UNI TS 11300-1:2014			Norme UNI TS 11300
Prestazione estiva involucro edilizio	UNI TS 11300-1:2014			Norme UNI TS 11300 o DOCET (par. 6.2 DM 20/06/2009)
Energia primaria prestazione estiva	UNI TS 11300-3:2014			
Impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili	UNI TS 11300-4:2012			
Prestazione energetica per illuminazione	UNI TS 11300-1:2014 UNI EN 15193			

Nota: metodo abrogato ottobre 2014

dove

θ_n è la temperatura superficiale dello strato n-esimo, in °C

θ_{n-1} è la temperatura superficiale dello strato successivo allo strato n-esimo, in °C

R_n è la resistenza termica dello strato n-esimo, in m²K/W

Q è la potenza termica dispersa da 1 m² del componente edilizio, determinata dalla trasmittanza termica dell'elemento per la differenza della temperature superficiali delle estremità, ovvero:

$$Q = K \cdot 1 \cdot (\theta_e - \theta_i) = \frac{(\theta_e - \theta_i)}{R} \quad \text{W}$$

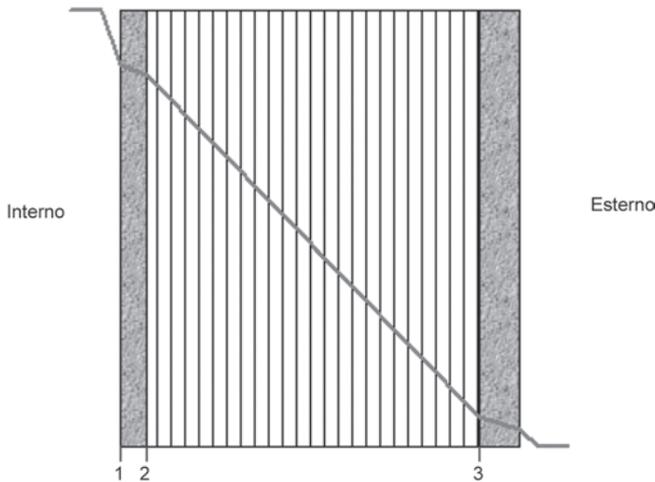


Figura 1.8. Diagramma delle temperature

DIAGRAMMA DELLE PRESSIONI DI VAPORE E DI SATURAZIONE

Per determinare le pressioni di saturazione sulla superficie dei singoli strati del componente edilizio multistrato si possono utilizzare le formule riportate nella norma UNI EN ISO 13788:

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}} \quad \text{Pa} \quad \text{per } \theta \geq 0 \text{ °C}$$

$$p_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}} \quad \text{Pa} \quad \text{per } \theta < 0 \text{ °C}$$

dalle quali è possibile determinare le corrispondenti temperature di saturazione. Per la temperature dell'aria interna di 20 °C, si ricava una pressione di vapore pari a 2337 Pa.

I valori della pressione parziale del vapore possono essere calcolati in base ai valori della temperatura e dell'umidità relativa, con la seguente equazione:

$$p_e = \Phi_e \cdot p_{sat}(\theta_e) \quad \text{Pa}$$

$$p_i = \Phi_i \cdot p_{sat}(\theta_i) \quad \text{Pa}$$

A partire dai valori di umidità relativa interna (Φ_i) e di umidità relativa esterna (Φ_e), corrispondente alla temperatura dell'aria esterna media mensile, si determinano i valori delle pressioni di vapore sulle superfici, interna ed esterna, del componente edilizio da sottoporre a verifica termoigrometrica.

Il flusso di vapore totale attraverso la struttura considerata è espresso dalla seguente formula:

$$\Phi = \Pi \cdot (P_{vi} - P_{ve}) \quad \text{kg/s}$$

dove

P_{vi} è la pressione parziale interna, in Pa

P_{ve} è la pressione parziale esterna, in Pa

Π è la permeanza unitaria totale al passaggio del vapore della struttura, determinata dall'inverso della sommatoria della resistenza al passaggio del vapore di ogni singolo strato, ovvero:

$$\Pi = \frac{1}{\sum \frac{s_n}{\pi_n}} \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

dove

s_n è lo spessore dello strato, in m

π_n è la permeabilità dello strato, in $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$.

A questo punto possiamo calcolare la pressione parziale del vapore per ogni singolo strato, assumendo stazionario il flusso di vapore:

$$P_n = P_{n-1} - \frac{s_n}{\pi_n} \cdot \Phi$$

dove

P_n è la pressione parziale di vapore dello strato considerato, in Pa

P_{n-1} è pressione parziale di vapore dello strato precedente, in Pa

Φ è il flusso di vapore totale, in kg/s .

Per verificare che non vi sia condensazione interstiziale all'interno del componente edilizio si effettua il confronto numerico o grafico tra le pressioni di vapore nei singoli strati e le corrispondenti pressioni di saturazione. Se l'andamento della pressione parziale del vapore non interseca mai l'andamento della pressione di saturazione, non si verifica alcun fenomeno di condensazione interstiziale nel componente edilizio.

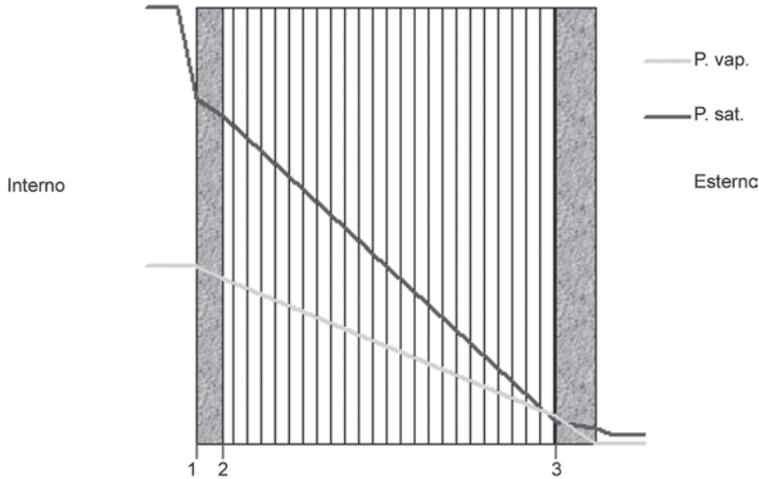


Figura 1.9. Diagramma delle pressioni di vapore (Glaser)

1.10. La trasmittanza termica delle strutture edilizie trasparenti

La trasmittanza termica delle finestre si calcola secondo la norma UNI EN ISO 10077-1. Nel caso di una finestra singola, la trasmittanza U_w viene calcolata utilizzando la seguente equazione (1.10):

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + L_g \psi_g}{A_g + A_f} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (1.10)$$

dove

A_g è l'area del vetro della finestra ed è la più piccola delle aree visibili, viste da entrambi i lati, in m^2

U_g è la trasmittanza termica della vetrata, in $\text{W/m}^2\text{K}$

A_f è l'area del telaio della finestra; cioè la più piccola tra le proiezioni dell'area del telaio su un piano parallelo al vetro, considerate sia dalla parte interna che da quella esterna della finestra, in m^2

U_f è la trasmittanza termica del telaio, in $\text{W/m}^2\text{K}$

L_g è il perimetro totale della vetrata, è la somma del perimetro visibile delle lastre di vetro della finestra, in m. Se i perimetri su entrambi i lati della lastra o del pannello sono diversi, allora deve essere utilizzato il maggiore dei due

ψ_g è la trasmittanza termica lineare dovuta agli effetti termici combinati della vetrata, del distanziatore e del telaio, in W/m^2K .

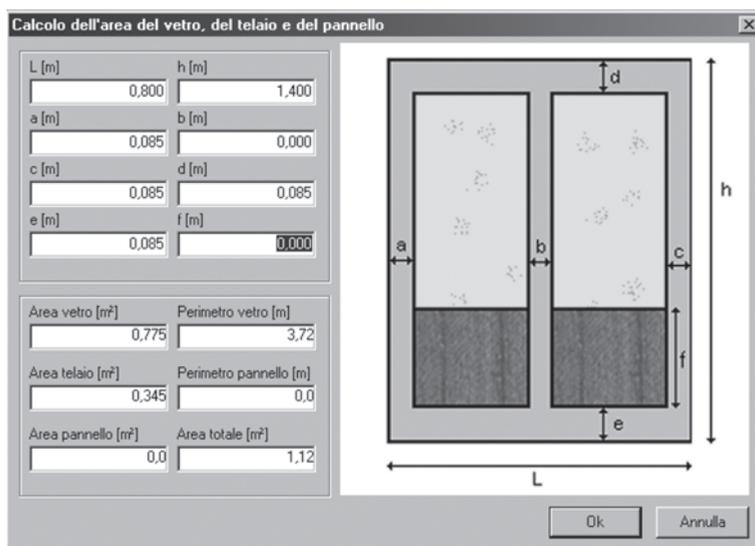


Figura 1.10. Finestra di calcolo delle strutture finestrate

In assenza di dati certificati dal costruttore, i valori della trasmittanza dei vetri U_w possono essere ricavati dal prospetto B.1 dell'Appendice B della norma UNI TS 11300-1:2014, in funzione del tipo di vetro e di gas contenuto nell'intercapedine, nel caso di vetri doppi o tripli. A titolo di esempio si riportano due grafici con i dati relativi alle seguenti tipologie di vetrate:

- vetrate doppie con due vetri di spessore pari a 4 mm e intercapedine di spessore pari a 6 mm, riempita con diversi gas (figura 1.11);
- vetrate doppie di diverso spessore, con intercapedine riempita con aria (figura 1.12).

In assenza di dati certificati dal costruttore, i valori della trasmittanza del telaio U_f possono essere ricavati dal prospetto B.2 dell'Appendice B della norma UNI TS 11300-1:2014, in funzione del materiale del telaio e delle sue caratteristiche geometriche.

Trasmittanze vetrate

Vetrate doppie (4-6-4 mm)
(UNI TS 11300-1:2014)

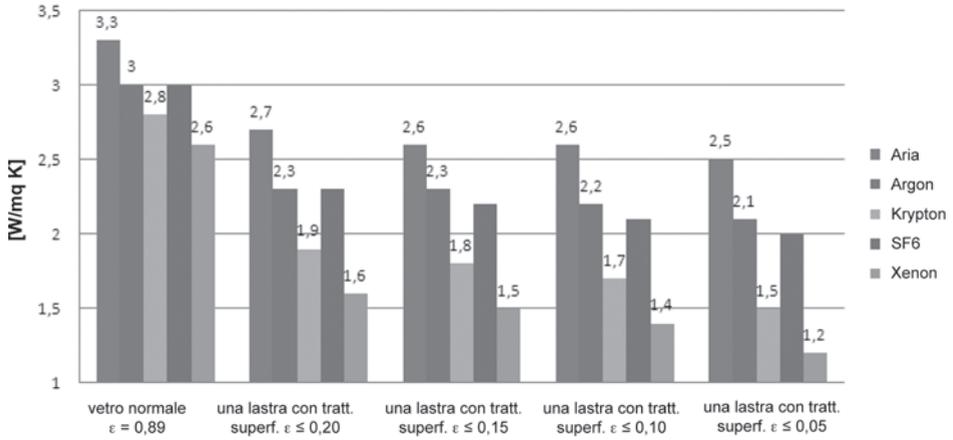


Figura 1.11. Trasmittanza termica di vetrate verticali doppie (4 × 6 × 4 mm) con diversi gas nell'intercapedine, W/(m²K)

Trasmittanze vetrate

Vetrate doppie (con aria nell'intercapedine)
(UNI TS 11300-1:2014)

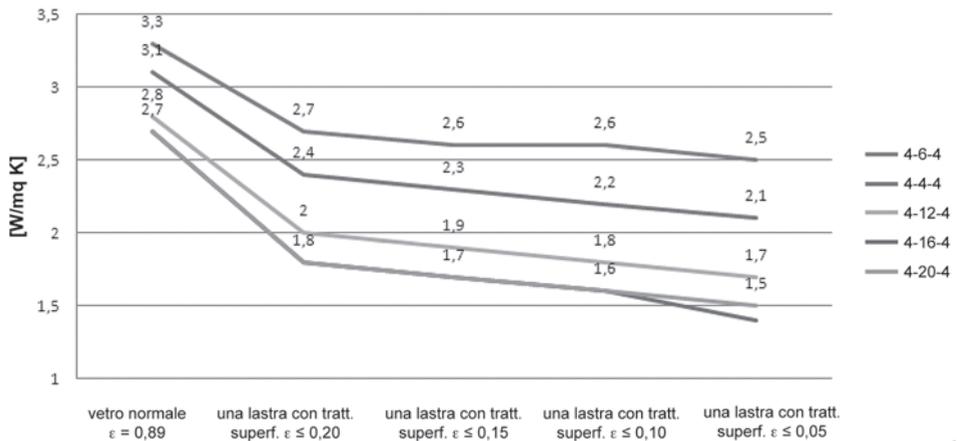


Figura 1.12. Trasmittanza termica di vetrate verticali doppie con diversi spessori dell'intercapedine riempita con aria, W/(m²K)

La trasmittanza termica lineare per il distanziatore del vetro ψ_g è riportata nel prospetto E.1 dell'Appendice D della norma UNI EN ISO 10077-1.

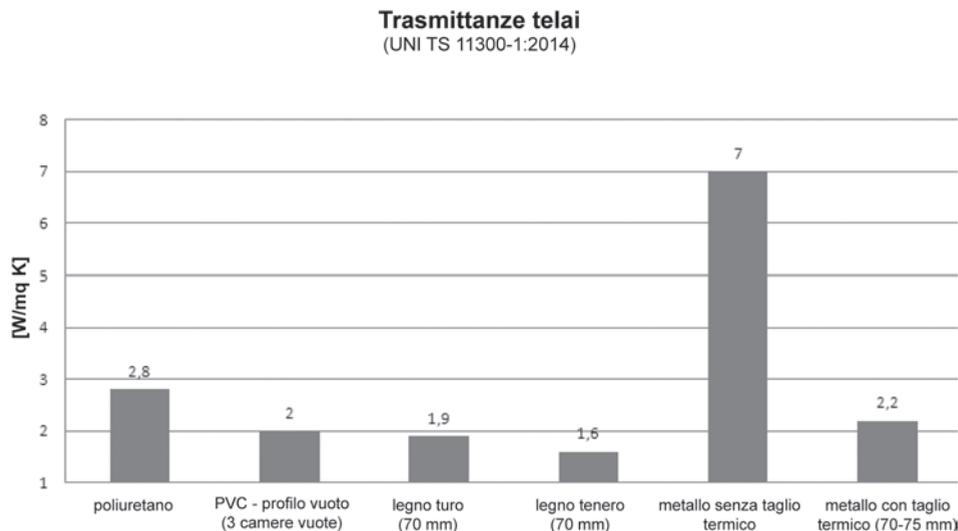


Figura 1.13. Trasmittanza termica di alcuni tipi di telai (prospetto B.2 della norma UNI TS 11300-1:2014, W/(m²K))

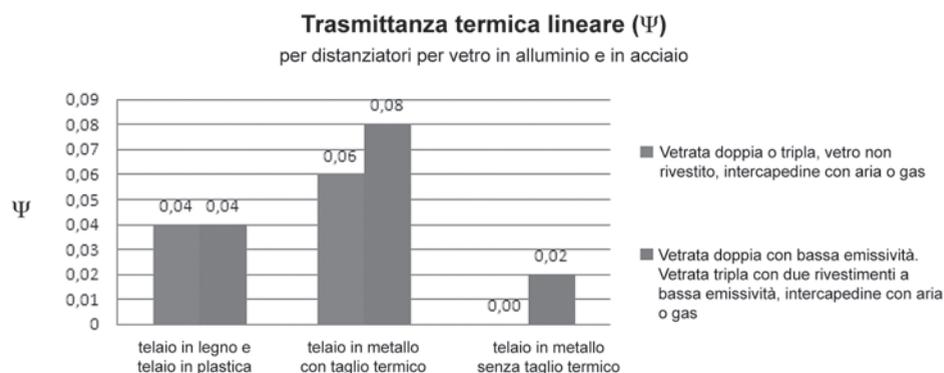


Figura 1.14. Valori della trasmittanza termica lineare ψ , per distanziatori per vetro in alluminio e in acciaio (non in acciaio inossidabile)

La resistenza termica aggiuntiva dell'avvolgibile può essere determinata dal prospetto B.4 dell'Appendice B della norma UNI TS 11300-1:2014, in funzione del tipo di chiusura e della permeabilità all'aria.

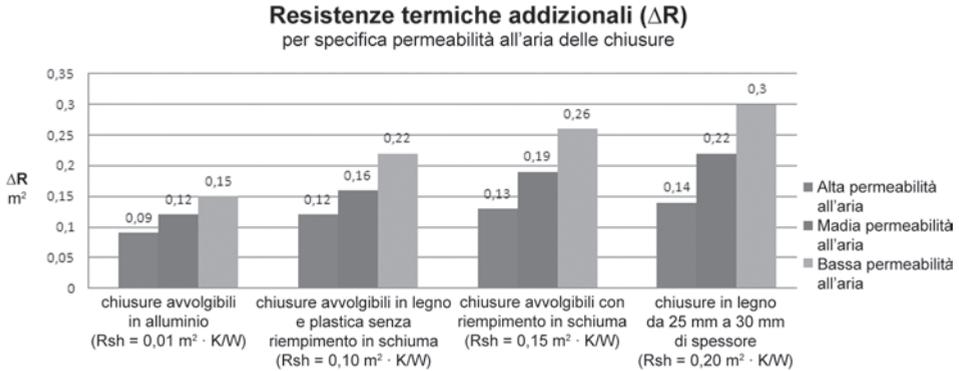


Figura 1.15. Valori della termica aggiuntiva, ΔR , per finestre dotate di chiusure chiuse

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori di trasmittanza termica delle vetrate e dei telai o direttamente di alcune tipologie di finestre possono essere ricavati dalle tabelle contenute nella norma UNI TS 11300 – Parte 1.

Nel caso di un serramento dotato sia di vetri che di pannelli opachi, la sua trasmittanza termica va determinata con la seguente equazione:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + L_g \psi_g + L_p \psi_p}{A_g + A_f + A_p} \quad W/m^2K \quad (1.10a)$$

dove

A_p è l'area del pannello opaco del serramento (finestra o porta-finestra), in m^2

U_p è la trasmittanza termica del pannello opaco del serramento, in W/m^2K

L_p è il perimetro totale della pannello opaco, è la somma del perimetro visibile dei pannelli opachi del serramento, in m^2

ψ_p è la trasmittanza termica lineare dei pannelli opachi del serramento, in W/m^2K .

Nel caso in cui il componente finestrato sia dotato di chiusure oscuranti, i valori della trasmittanza e della resistenza termica complessiva del serramento (“trasmittanza/resistenza termica di notte”) possono essere calcolati con le seguenti formule:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad W/(m^2 \cdot K) \quad (1.11)$$

$$R_{ws} = R_w + \Delta R \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (1.12)$$

Il valore medio della trasmittanza del serramento, con e senza chiusura oscurante $U_{w,corr}$ (trasmittanza “giorno-notte”), viene calcolato tenendo conto della variazione della trasmittanza nel tempo, utilizzando i valori di t_w , periodo di tempo in cui il serramento ha la trasmittanza U_w (senza chiusura) e i valori di t_{ws} , periodo di tempo in cui il serramento ha la trasmittanza U_{ws} , con chiusura e applicando la formula riportata nella norma UNI TS 11300-1:

$$U_{w,corr} = U_{w+shut} \cdot f_{shut} + U_w \cdot (1 - f_{shut}) \quad (1.13)$$

dove

$U_{w,corr}$ è la trasmittanza “giorno-notte” del serramento
 U_w è la trasmittanza termica della finestra senza chiusura oscurante
 U_{w+shut} è la trasmittanza termica della finestra con chiusura oscurante
 f_{shut} è la frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura derivante dal profilo orario di utilizzo della chiusura oscurante e dal profilo orario della differenza tra temperatura interna ed esterna.

Nella valutazione sul progetto o nella valutazione standard si considera un periodo giornaliero di chiusura degli oscuranti di 12 h, dalle ore 20:00 alle ore 8:00. In mancanza di dati precisi sui profili giornalieri della temperatura esterna, si assume $f_{shut} = 0,6$.

Nel caso di disponibilità dei dati sul profilo giornaliero della temperatura esterna ($\theta_{e,t}$ per $t = 1, 2, \dots, 24$ h) il valore del fattore f_{shut} è dato dalla seguente equazione:

$$f_{shut} = \frac{\sum_{t=1}^8 (\theta_{int} - \theta_{e,t}) + \sum_{t=21}^{24} (\theta_{int} - \theta_{e,t})}{\sum_{t=1}^{24} (\theta_{int} - \theta_{e,t})} \quad (1.14)$$

1.10.1. I ponti termici

Un ponte termico, secondo la definizione data dalla norma UNI EN ISO 10211:2008 è una parte dell’involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme sulla superficie delle pareti, cambia in modo significativo per effetto di una o più delle seguenti situazioni:

- compenetrazione totale o parziale di materiali con conduttività termica diversa nell’involucro edilizio;

- variazione dello spessore della costruzione;
- differenze tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella sul lato esterno, come avviene per esempio in corrispondenza dei giunti tra parete e pavimento o parete e soffitto.

La norma UNI TS 11300-1:2014 prescrive che lo scambio di energia termica per trasmissione attraverso i ponti termici deve essere calcolato secondo il punto 5 della UNI EN ISO 14683:2008. Il flusso termico in regime stazionario dovuto alla presenza di un ponte termico viene calcolato attraverso il coefficiente di accoppiamento termico con la seguente equazione:

$$L_p = \sum_k^n \psi_k l_k + \sum_j^n \chi_j \quad \text{W/K} \quad (1.15)$$

dove

- L_p è il coefficiente di accoppiamento termico per ponti termici, in W/K
 ψ_k è la trasmittanza termica lineica del k-esimo ponte termico lineare, in W/mK
 l_k è la lunghezza lungo la quale si applica ψ_k , in m
 χ_j è la trasmittanza termica puntuale del j-esimo ponte termico puntuale, in W/K.

L'influenza di ponti termici puntuali, che in genere si trovano in corrispondenza dell'intersezione di ponti termici lineari, può essere trascurata.

La norma UNI EN ISO 14683 fornisce dei prospetti con i valori di progetto di ψ , per diverse tipologie di ponti termici presenti negli edifici.

Per ciascun tipo di ponte termico vengono riportati tre valori, ciascuno in funzione del sistema di valutazione delle dimensioni dell'edificio, descritti nella norma UNI EN ISO 13789.

Nell'esempio di calcolo sviluppato in questo manuale sono state utilizzate le dimensioni interne, misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente dell'edificio (escluso quindi lo spessore delle partizioni interne) e i valori delle trasmittanze lineiche dei ponti termici riportati nei prospetti della norma UNI EN ISO 14683 indicati con il simbolo ψ_i .

La revisione delle UNI TS 11300 dell'ottobre 2014 ha modificato i metodi di calcolo dei "ponti termici", eliminando il metodo di calcolo forfettario o semplificato, anche nel caso di edifici esistenti, obbligando il certificatore ad effettuare sempre un calcolo analitico; in particolare attraverso:

1. un calcolo agli elementi finiti conforme alla norma UNI EN ISO 10211;
2. utilizzando Abachi o Atlanti dei Ponti Termici conformi alla Norma UNI EN ISO 10211, come ad esempio quello realizzato dal Politecnico di Milano, nell'ambito di una collaborazione istituzionale con la Regione Lombardia.

La figura 1.16 mostra un esempio di schema di calcolo di un ponte termico parete-pilastro contenuto nell'Atlante dei ponti termici costruito in conformità alla norma UNI EN ISO 10211.

Nel caso dell'intersezione di pareti interne con pareti esterne in corrispondenza di un pilastro, la norma individua due diverse tipologie di ponti termici. In questo caso, è possibile considerare soltanto il ponte termico dovuto all'interruzione di continuità della parete per la presenza del pilastro. Nel caso di pilastri d'angolo (caso B di figura 1.17) si considera sia il contributo dovuto all'interruzione di continuità della parete sia quello relativo all'interruzione di forma.

Nel caso dei ponti termici confinanti con più di una zona termica oppure con una zona termica e l'ambiente esterno, lo scambio termico va ripartito tra di esse. Nel caso, ad esempio, di due zone termiche, a ciascuna andrà attribuita la metà del valore della trasmittanza lineica del ponte termico.

ASP.001	ANGOLO SPORGENTE ISOLATO DALL'ESTERNO CON PILASTRO
Ponte termico formato dalla giunzione ad angolo sporgente di due pareti uguali isolate dall'esterno, con presenza di pilastro non isolato nella giunzione.	
SEZIONE ORIZZONTALE	
TRASMITTANZA TERMICA LINEARE	
Riferita alle dimensioni esterne	$\psi_E = -0.408 + 0.058 \cdot U' + 0.944 \cdot \lambda_{eq} \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$
Riferita alle dimensioni interne	$\psi_I = -0.018 + 0.036 \cdot U' + 0.996 \cdot \lambda_{eq} \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$

Figura 1.16. Esempio di Atlante dei ponti termici secondo la norma UNI EN ISO 10211

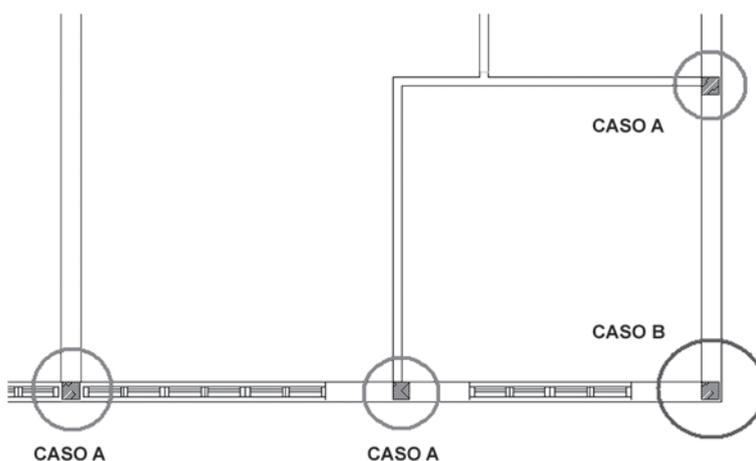


Figura 1.17. Individuazione di ponti termici tra strutture opache

1.10.3. Il coefficiente di scambio termico attraverso gli ambienti non climatizzati H_U

Il coefficiente globale di scambio termico, H_U , tra la zona climatizzata e l'esterno attraverso gli ambienti non climatizzati viene determinato con la seguente equazione:

$$H_u = H_{iu} b_{tr,U} \quad \text{W/K} \quad (1.21)$$

dove

H_{iu} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato, W/K

$b_{tr,U}$ è il fattore di correzione dello scambio termico tra l'ambiente climatizzato e quello non climatizzato, diverso da 1 nel caso in cui la temperatura di quest'ultimo sia diversa da quella dell'ambiente esterno.

Le grandezze H_{iu} e $b_{tr,U}$ sono calcolate con le formule:

$$b_{tr,U} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (1.22)$$

dove

$$H_{iu} = H_{tr,iu} + H_{ve,iu} \quad \text{e} \quad H_{ue} = H_{tr,ue} + H_{ve,ue} \quad (1.23)$$

$H_{tr,iu}$ è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato, W/K

$H_{ve,iu}$ è il coefficiente di scambio termico per ventilazione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato, W/K

$H_{tr,ue}$ è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno, W/K

$H_{ve,ue}$ è il coefficiente di scambio termico per ventilazione tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno, W/K.

I coefficienti di trasmissione $H_{ve,iu}$ e $H_{ve,ue}$ vengono calcolati con le seguenti equazioni:

$$H_{ve,iu} = \rho \cdot c \cdot q_{ve,iu} \quad \text{e} \quad H_{ve,ue} = \rho \cdot c \cdot q_{ve,ue} \quad (1.24)$$

dove

ρ_a è la densità dell'aria, in kg/m³

c_a è la capacità termica specifica dell'aria, in Wh/kg K

$\rho_a c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria ed è pari a 0,34 Wh/m³K oppure a 1200 J/m³K