
METODO DI CALCOLO

Sommario

Sommario	1
1 Prestazione energetica dell'edificio.....	8
1.1 <i>Compiti del soggetto certificatore</i>	8
1.2 <i>Riferimenti normativi</i>	9
1.3 <i>Generalità</i>	11
1.4 <i>Condizioni di riferimento per il calcolo</i>	12
2 I servizi e gli indicatori di prestazione energetica dell'edificio	16
2.1 <i>Generalità sul calcolo della prestazione energetica dell'edificio</i>	16
2.1.1 <i>Fonti di energia e vettori energetici</i>	17
2.2 <i>Definizione della prestazione energetica dell'edificio</i>	18
2.2.1 <i>Indice di prestazione energetica EP</i>	18
2.2.2 <i>Indice di produzione di CO₂</i>	19
2.2.3 <i>Quota di energia da fonti rinnovabili</i>	20
2.3 <i>Fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio</i>	21
2.3.1 <i>Fabbisogno complessivo annuale di energia primaria</i>	22
2.3.2 <i>Fabbisogno annuale di energia primaria per servizio</i>	23
2.3.3 <i>Vettori energetici importati e esportati</i>	24
2.4 <i>Schematizzazione dell'impianto termico</i>	28
2.5 <i>Schematizzazione del generico sottosistema impiantistico</i>	32
2.5.1 <i>Perdite termiche</i>	37
2.5.2 <i>Guadagni termici o perdite frigorifere</i>	39
2.6 <i>Perdite recuperabili e fabbisogno termico netto</i>	40
2.7 <i>Ripartizione delle potenze termiche/elettriche ed assorbimenti elettrici da considerare nel calcolo</i>	41
2.8 <i>Efficienza energetica dell'edificio e dell'impianto termico</i>	42
2.8.1 <i>Efficienza globale media annuale dell'edificio</i>	42
2.8.2 <i>Efficienza globale media annuale per il riscaldamento</i>	43
2.8.3 <i>Efficienza globale media annuale per la climatizzazione invernale</i>	43
2.8.4 <i>Efficienza globale media annuale per il raffrescamento</i>	44
2.8.5 <i>Efficienza globale media annuale per la climatizzazione estiva</i>	44
2.8.6 <i>Efficienza globale media annuale per la produzione di acqua calda ad uso sanitario</i>	44
2.8.7 <i>Efficienza globale media annuale per l'illuminazione</i>	45
2.8.8 <i>Efficienza di produzione media annuale per il riscaldamento</i>	45
2.8.9 <i>Efficienza di produzione media annuale per la climatizzazione invernale</i>	46
2.8.10 <i>Efficienza di produzione media annuale per il servizio raffrescamento</i>	46
2.8.11 <i>Efficienza di produzione media annuale per il servizio climatizzazione estiva</i>	46
2.8.12 <i>Efficienza di produzione media annuale per il servizio acqua calda sanitaria</i>	47
2.8.13 <i>Efficienza di produzione media annuale per l'autoproduzione di energia elettrica</i>	47
3 Fabbisogno nominale annuo di energia termica sensibile dell'edificio.....	49
3.1 <i>Le zone termiche</i>	49
3.2 <i>Fabbisogno nominale annuale di energia termica dell'edificio</i>	49
3.3 <i>Fabbisogno nominale di energia termica della zona</i>	50

3.3.1	Fabbisogno nominale di energia termica per il riscaldamento o la climatizzazione invernale	50
3.3.2	Fabbisogno nominale di energia termica per il raffrescamento o la climatizzazione estiva	52
3.3.3	Energia scambiata per trasmissione e ventilazione	53
3.3.4	Apporti mensili di calore gratuiti	53
3.3.5	Energia scambiata per trasmissione	53
3.3.6	Energia scambiata per ventilazione, aerazione e infiltrazione	68
3.3.7	Apporti di calore dovuti ad apparecchiature elettriche e persone	87
3.3.8	Apporti solari mensili attraverso le strutture trasparenti esterne	88
3.3.9	Apporti solari mensili attraverso le strutture opache esterne	100
3.3.10	Fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti per il riscaldamento o la climatizzazione invernale	105
3.3.11	Fattore di utilizzazione delle perdite per il raffrescamento o la climatizzazione estiva	107
4	Fabbisogno nominale annuo di energia termica latente dell'edificio	110
4.1	<i>Fabbisogno nominale di entalpia della zona</i>	110
4.1.1	Fabbisogno nominale di entalpia per l'umidificazione	110
4.1.2	Fabbisogno nominale di entalpia per la deumidificazione	111
4.1.3	Entalpia del vapore d'acqua prodotto e immesso nella zona	111
5	Fabbisogno nominale annuo di acqua calda sanitaria	116
5.1	<i>Fabbisogno termico nominale annuale per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	116
5.2	<i>Fabbisogno termico nominale mensile per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	116
5.2.1	Volume di acqua richiesto per edifici residenziali	117
5.2.2	Volume di acqua richiesto per altre tipologie di edifici	118
6	Fabbisogno nominale annuo energia elettrica per illuminazione	119
6.1	<i>Introduzione</i>	119
6.2	<i>Fabbisogno annuale di energia elettrica per illuminazione artificiale di una zona termica</i>	120
6.3	<i>Calcolo del fattore F_D</i>	122
6.3.1	Calcolo del fattore di disponibilità di luce naturale, $F_{D,S}$	122
6.3.2	Calcolo del fattore $F_{D,C}$	126
6.3.3	Calcolo del fattore di redistribuzione mensile $c_{D,S}$	127
6.4	<i>Calcolo del fattore di occupazione F_o</i>	128
6.5	<i>Fabbisogno annuale di energia elettrica per illuminazione artificiale esterna</i>	131
7	Fabbisogno di energia termica ed elettrica del servizio acqua calda sanitaria	132
7.1	<i>Fabbisogno termico lordo di energia per la produzione di acqua calda ad usi sanitari</i>	134
7.2	<i>Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari per la produzione di acqua calda ad usi sanitari</i>	136
7.3	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema di erogazione</i>	137
7.4	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione</i>	139
7.4.1	Temperature nominali dell'acqua calda sanitaria nelle tubazioni di distribuzione	141
7.4.2	Rete di distribuzione finale alle utenze	141
7.4.3	Rete di ricircolo	142
7.5	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema di accumulo, non integrato con il generatore</i>	144
7.6	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione</i>	147
7.7	<i>Autoclave</i>	150
7.8	<i>Perdite termiche recuperate dal sistema di erogazione del servizio di acqua calda sanitaria</i>	151
8	Fabbisogno di energia termica ed elettrica del servizio riscaldamento e climatizzazione invernale	153
8.1	<i>Energia termica richiesta al servizio di riscaldamento e di climatizzazione invernale</i>	156
8.2	<i>Fabbisogno termico lordo di energia per il riscaldamento e la climatizzazione invernale</i>	161
8.3	<i>Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del servizio di riscaldamento e climatizzazione invernale</i> ..	165

8.4	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di emissione idronico e aeraulico</i>	167
8.4.1	Rendimento dei terminali di erogazione del calore.....	168
8.4.2	Correzione del rendimento dei terminali di erogazione per i pannelli radianti.....	172
8.4.3	Calcolo del rendimento dei terminali di erogazione per locali di altezza superiore ai 4 m.....	172
8.4.4	Rendimento del sistema di controllo.....	173
8.4.5	Fabbisogno elettrico.....	174
8.4.6	Emettitori alimentati elettricamente.....	175
8.5	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di distribuzione idronico</i>	176
8.5.1	Circuito di distribuzione finale nella zona: distribuzione terziaria.....	178
8.5.2	Circuito di distribuzione alla zona: distribuzione secondaria.....	179
8.5.3	Circuito di distribuzione primario.....	180
8.5.4	Rendimenti di distribuzione.....	181
8.5.5	Fabbisogno elettrico.....	185
8.5.6	Potenza elettrica richiesta da una pompa.....	186
8.6	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di distribuzione aeraulico</i>	187
8.6.1	Portata d'aria.....	187
8.6.2	Rete di distribuzione finale nella zona: distribuzione secondaria.....	194
8.6.3	Rete di distribuzione alle zone: distribuzione primaria.....	195
8.6.4	Fabbisogno elettrico.....	196
8.6.5	Potenza elettrica richiesta da un ventilatore.....	197
8.7	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di accumulo termico idronico</i>	198
8.8	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione</i>	202
9	Fabbisogno di energia termica ed elettrica del servizio raffrescamento o climatizzazione estiva.....	206
9.1	<i>Energia termica richiesta al servizio di raffrescamento e di climatizzazione estiva</i>	208
9.2	<i>Fabbisogno termico lordo di energia per il raffrescamento e la climatizzazione estiva</i>	211
9.3	<i>Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del servizio di raffrescamento e climatizzazione estiva</i>	214
9.4	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di emissione</i>	216
9.4.1	Rendimento dei terminali di erogazione.....	216
9.5	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di controllo</i>	216
9.5.1	Fabbisogno elettrico.....	217
9.6	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di distribuzione idronico</i>	218
9.6.1	Circuito di distribuzione finale nella zona: distribuzione terziaria.....	220
9.6.2	Circuito di distribuzione alla zona: distribuzione secondaria.....	221
9.6.3	Circuito di distribuzione primario.....	222
9.6.4	Rendimenti di distribuzione.....	223
9.6.5	Fabbisogno elettrico.....	224
9.6.6	Potenza elettrica richiesta da una pompa.....	225
9.7	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di distribuzione aeraulico</i>	226
9.7.1	Metodo analitico.....	226
9.7.2	Metodo semplificato.....	227
9.7.3	Potenza elettrica richiesta da un ventilatore.....	231
9.8	<i>Bilancio energetico del generico sottosistema di accumulo termico idronico</i>	232
9.9	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione tra accumulo e generazione</i>	236
10	Fabbisogno di energia termica ed elettrica del servizio ventilazione.....	240
10.1	<i>Fabbisogno termico lordo di energia per la ventilazione</i>	240
10.2	<i>Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari per la ventilazione</i>	242
10.3	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema di distribuzione</i>	243
10.4	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema di recupero termico</i>	243
10.5	<i>Bilancio energetico mensile del sottosistema ventilatore</i>	243

11	Fabbisogno di energia dei sistemi di generazione di energia termica ed elettrica	244
11.1	<i>Energia termica richiesta ai sottosistemi di generazione</i>	246
11.1.1	Energia richiesta alla singola centrale da servizi diversi	247
11.1.2	Generazione termica totalmente integrata	249
11.1.3	Generazione termica totalmente separata	251
11.1.4	Suddivisione della richiesta termica tra più centrali dello stesso tipo	252
11.1.5	Allocazione della richiesta termica ai singoli sottosistemi di generazione dei vari servizi	254
11.2	<i>Energia elettrica richiesta alla centrale elettrica</i>	255
11.2.1	Fattori di ripartizione della richiesta di energia elettrica	256
11.3	<i>Energia richiesta dai sottosistemi di generazione</i>	257
11.4	<i>Energia richiesta dalle centrali</i>	259
11.4.1	Centrale termica (HS).....	259
11.4.2	Centrale cogenerativa (HP)	261
11.4.1	Centrale frigorifera (CS).....	263
11.4.2	Centrale elettrica (ES)	265
11.5	<i>Energia termica richiesta al singolo generatore</i>	268
11.5.1	Centrale con un unico generatore	269
11.5.2	Centrale con più generatori.....	269
11.5.3	Caso particolare della generazione combinata per il servizio riscaldamento e acqua calda sanitaria in assenza di generatore solare termico.....	277
11.6	<i>Perdite termiche dei sottosistemi di generazione: centrali termiche</i>	279
11.7	<i>Fabbisogno di energia elettrica dei sottosistemi di generazione termica</i>	282
11.8	<i>Generatori termici: generatori di calore</i>	282
11.8.1	Generatori di calore specifici per la sola produzione di acqua calda sanitaria.....	283
11.8.2	Generatori di acqua calda a combustione con fiamma utilizzanti combustibili fossili	284
11.8.3	Generatori di acqua calda a combustione con fiamma utilizzanti combustibili fossili (modello dettagliato).....	295
11.8.4	Generatori a combustione di biomassa	310
11.8.5	Generatori di acqua calda elettrici ad effetto Joule.....	319
11.8.6	Generatori ad aria calda a fuoco diretto utilizzanti combustibili fossili	319
11.8.7	Teleriscaldamento.....	321
11.8.8	Pompe di calore	325
11.8.9	Generatore solare termico.....	366
11.9	<i>Generatori termici: generatori frigoriferi</i>	377
11.9.1	Fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di produzione.....	379
11.9.2	Prestazioni delle macchine frigorifere ai carichi parziali	380
11.9.3	Coefficiente di prestazione medio mensile del sistema di produzione dell'energia frigorifera η_{mm}	382
11.9.4	Calcolo del coefficiente correttivo η_1 per macchine con funzionamento in condizioni diverse da quelle nominali	383
11.9.5	Coefficienti di correzione per l'adeguamento alle reali condizioni di funzionamento	390
11.10	<i>Generatori termici ed elettrici: cogeneratori</i>	396
11.10.1	Classificazione delle unità cogenerative.....	397
11.10.2	Confini del sottosistema e vincoli	398
11.10.3	Verifica della congruità dell'accumulo termico	399
11.10.4	Bilancio energetico del sistema di cogenerazione	401
11.10.5	Calcolo dell'energia termica prodotta	403
11.10.6	Metodo del contributo frazionale	404
11.10.7	Metodo del profilo di carico mensile.....	407
11.11	<i>Generatori elettrici</i>	429
11.11.1	Solare fotovoltaico.....	429
12	Fabbisogno di energia per il trasporto di persone e/o cose.....	432
12.1	<i>Fabbisogno di energia degli ascensori</i>	432
12.1.1	Dati relativi all'edificio	432
12.1.2	Dati relativi all'impianto	432

12.1.3	Calcolo del fabbisogno energetico	435
12.2	<i>Fabbisogno di energia dei montascale e delle piattaforme elevatrici</i>	438
12.2.1	Dati relativi all'edificio	438
12.2.2	Dati relativi all'impianto	438
12.2.3	Calcolo del fabbisogno energetico	439
12.3	<i>Fabbisogno di energia dei montacarichi e montauto</i>	442
12.4	<i>Fabbisogno di energia di scale e marciapiedi mobili</i>	442
12.4.1	Dati di ingresso.....	442
12.4.2	Calcolo del fabbisogno energetico	443
Appendice A - Calcolo della temperatura degli ambienti confinanti.....		445
A.1.	<i>Temperatura degli ambienti dell'edificio non serviti da impianto termico</i>	445
A.1.1.	Calcolo dei coefficienti $H_{v,ju}$ per una sola zona connessa all'ambiente non climatizzato.....	446
A.1.2.	Temperatura di un ambiente soleggiato (serra) non servito da impianto termico.....	454
A.2.	<i>Temperatura di ambienti climatizzati o non climatizzati non appartenenti allo stesso edificio</i>	455
Appendice B - Calcolo della trasmittanza termica equivalente del basamento		456
B.1.	<i>Proprietà termofisiche del terreno</i>	457
B.2.	<i>Ponti termici e dimensioni considerate</i>	457
B.3.	<i>Resistenze superficiali</i>	457
B.4.	<i>Pavimenti appoggiati sul terreno (controterra)</i>	458
B.4.1	Determinazione del coefficiente U_0	459
B.4.2	Determinazione del coefficiente Ψ	459
B.5.	<i>Pavimenti su spazio aerato (intercapedine)</i>	461
B.6.	<i>Piano interrato riscaldato</i>	464
B.7.	<i>Piano interrato non riscaldato</i>	466
B.8.	<i>Piano interrato parzialmente riscaldato</i>	468
B.8.1	Solaio di separazione tra ambiente interrato non riscaldato e ambiente riscaldato sotto piano di campagna. 468	
B.8.2	Ambiente non riscaldato affiancato da ambiente riscaldato.....	469
B.9.	<i>Trasmittanza termica equivalente per ambienti singoli</i>	469
Appendice C - Fattori di ombreggiatura		471
C.1.	<i>Fattori di ombreggiatura applicabili all'irradiazione giornaliera totale media mensile</i>	472
C.2.	<i>Fattori di ombreggiatura applicabili all'irradiazione giornaliera diffusa media mensile</i>	475
Appendice D - Capacità termica areica efficace del fabbricato		476
Appendice E - Efficienza del sistema di recupero termico nell'impianto di ventilazione meccanica		477
Appendice F - Procedura per il calcolo della irradianza solare totale a cielo sereno e della irradiazione solare totale giornaliera su una superficie comunque orientata.....		481
F.1.	<i>Modello semplificato della radiazione solare a cielo sereno</i>	481
F.2.	<i>Calcolo dell'ora di alba e tramonto per una superficie orientata</i>	484
F.3.	<i>Calcolo dell'irradiazione solare totale giornaliera per una superficie orientata</i>	486
Appendice G - Procedura dettagliata per la valutazione dell'efficacia dei sistemi schermanti.....		489
G.1.	<i>Calcolo dell'ombreggiamento su una facciata dovuto al contesto</i>	490
G.2.	<i>Calcolo dell'ombreggiamento su un elemento di facciata dovuto al contesto</i>	492

G.3.	Valutazione delle ombre proprie portate da aggetti orizzontali e verticali	494
G.4.	Valutazione delle ombre proprie portate da aggetti orizzontali e verticali su un elemento di facciata soggetto ad ombre portate dal contesto.....	498
Appendice H - Procedura per il calcolo delle caratteristiche termiche dinamiche dei componenti edili.....		499
H.1.	Generalità	499
H.2.	Procedura.....	499
H.3.	Matrice di trasferimento termico di uno strato omogeneo.....	499
H.4.	Matrice di trasferimento termico di una intercapedine d'aria o di uno strato superficiale non capacitivo .	501
H.5.	Matrice di trasferimento termico di un componente edilizio.....	501
H.6.	Caratteristiche termiche dinamiche per componenti costituiti da strati piani e omogenei.....	503
H.6.1	Trasmittanza termica periodica e fattore di decremento.....	503
H.6.2	AmmetENZE termiche periodiche	504
H.6.3	Capacità termiche areiche.....	505
H.7.	Capacità termica areica efficace del fabbricato	506
Appendice I - Procedura per la verifica del rischio condensa		508
I.1.	Generalità	508
I.1.1	Proprietà dei materiali e dei prodotti.....	508
I.2.	Procedura.....	509
I.2.1	Calcolo della condensazione superficiale	509
I.2.2	Calcolo della condensazione interstiziale	510
Appendice J - Perdite termiche della distribuzione		518
J.1.	Perdite di distribuzione di circuiti idronici.....	518
J.1.1.	Perdite recuperabili e recuperate	519
J.1.2.	Calcolo delle trasmittanze termiche lineiche delle tubazioni.....	519
J.1.2.1.	Tubazioni non isolate correnti in aria	519
J.1.2.2.	Tubazioni isolate correnti in aria	520
J.1.2.3.	Tubazione singola incassata nella muratura	522
J.1.2.4.	Tubazioni in coppia incassate nella muratura.....	522
J.1.2.5.	Tubazioni interrato.....	523
J.1.2.6.	Valori precalcolati di trasmittanze lineiche	523
J.1.3.	Temperature nella rete di distribuzione idronica	524
J.1.3.1.	Calcolo delle temperature delle unità terminali e nelle reti di distribuzione	529
J.1.3.2.	Circuito generazione-accumulo (G-S).....	547
J.2.	Perdite di distribuzione di circuiti con fluido termovettore aria.....	552
J.2.1.	Metodo analitico	552
J.2.1.1.	Portate d'aria nelle condotte $\dot{V}_{v,duct, k}$	552
J.2.1.2.	Calcolo di $\Delta\theta_{duct}$	554
J.2.1.3.	Calcolo di U'	556
J.2.1.4.	Calcolo di L_{rete}	557
J.2.2.	Metodo semplificato	557
J.2.3.	Stima delle dimensioni della rete aeraulica.....	558
Appendice K – Temperatura del terreno		562
Allegato 1		565
Allegato 2.....		580

1 Prestazione energetica dell'edificio

1.1 Compiti del soggetto certificatore

In presenza dell'asseverazione del Direttore Lavori circa la conformità delle opere realizzate rispetto al progetto e alle sue varianti, compreso quanto dichiarato nella relazione tecnica di cui alla Legge 10/91 art.28 e i suoi aggiornamenti, il Soggetto certificatore, al fine di compilare l'attestato di certificazione energetica, può utilizzare i dati contenuti in tali documenti.

È fatto obbligo al Soggetto certificatore verificare, attraverso uno o più sopralluoghi, la congruenza tra i dati mutuati dalla documentazione di cui sopra e lo stato di fatto dell'edificio. A tale scopo non sono richieste al Soggetto certificatore verifiche di tipo invasivo.

E' dunque posta in carico al Soggetto certificatore la responsabilità di produrre un attestato di certificazione energetica corrispondente allo stato di fatto dell'edificio oggetto di certificazione.

Il Soggetto certificatore è tenuto a conservare, per i 5 anni successivi la registrazione dell'attestato nel catasto energetico, tutta la documentazione acquisita ed utilizzata al fine del calcolo degli indici di prestazione energetica.

A solo titolo di esempio, si cita:

- copia del libretto di impianto o di centrale;
- copia della prova di combustione;
- copia del libretto di uso e manutenzione del generatore di calore;
- relazione tecnica di cui all'art. 28, Legge n.10 del 9 gennaio 1991;
- planimetrie e visure catastali;
- documentazione progettuale;
- documentazione fotografica.

1.2 Riferimenti normativi

Le norme di seguito elencate costituiscono i riferimenti principali sui quali si basa la procedura di calcolo ivi descritta.

UNI EN ISO 13790	Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
UNI/TS 11300-1	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
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, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali.
UNI/TS 11300-3	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
UNI/TS 11300-4	Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
UNI/TS 11300-5	Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili
UNI/TS 11300-6	Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili
UNI EN 15316	Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto.
UNI EN ISO 6946	Componenti ed elementi per l'edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.
UNI EN 1745	Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare le proprietà termiche.
UNI EN ISO 10077-1	Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità.
UNI EN ISO 10077-2	Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 2: Metodo numerico per i telai.
UNI EN 13363-1	Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Parte 1: Metodo semplificato.
UNI 10339	Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.
UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici.
UNI 10351	Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto.
UNI 10355	Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.
UNI EN ISO 14683	Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento.
UNI EN ISO 13370	Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo.
UNI EN ISO 13788	Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia -

	Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo.
UNI EN 13789	Prestazione termica degli edifici - Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione - Metodo di calcolo.
UNI EN 15193	Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione.
UNI EN 12464-1	Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni.
UNI EN 12309-2	Apparecchi di climatizzazione e/o pompe di calore ad assorbimento e adsorbimento, funzionanti a gas, con portata termica nominale non maggiore di 70 kW - Utilizzazione razionale dell'energia
UNI EN 14511-2	Condizionatori, refrigeratori di liquido e pompe di calore con compressore elettrico per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti - Parte 2: Condizioni di prova
UNI EN 14511-3	Condizionatori, refrigeratori di liquido e pompe di calore con compressore elettrico per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti - Parte 3: Metodi di prova
UNI EN 14511-4	Condizionatori, refrigeratori di liquido e pompe di calore con compressore elettrico per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti - Parte 4: Requisiti operativi, marcatura e istruzioni
Raccomandazione CTI 14/2013	Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio

1.3 Generalità

Il calcolo della prestazione energetica dell'edificio, inteso come l'insieme del fabbricato o dei corpi di fabbrica e dei sistemi impiantistici che lo costituiscono, deve essere eseguito secondo il seguente schema:

1. identificazione dell'applicazione (verifica dei limiti di legge per edificio nuovo, oppure certificazione energetica per edificio nuovo o esistente);
2. identificazione del edificio:
 - a. sua destinazione d'uso o dei diversi usi, se di uso combinato, con l'identificazione di quello prevalente;
 - b. identificazione dei servizi tecnici e dei relativi sistemi impiantistici presenti e inclusi nel calcolo della prestazione energetica;
 - c. definizione dei confini del sistema impiegati per il calcolo dei diversi flussi di energia, con l'identificazione del confine dell'edificio, del sito dell'edificio, della prossimità all'edificio;
3. calcolo dei flussi di energia che attraversano i diversi confini identificati;
4. calcolo degli indici di prestazione energetica e/o ambientale (energia primaria non rinnovabile per unità di superficie utile, emissioni di CO₂ per unità di superficie utile, ecc.);
5. se il calcolo della prestazione energetica è per l'applicazione:
 - a. verifica dei limite di legge, si confrontano i valori calcolati con quelli richiesti dalla legge verificandone la congruenza;
 - b. certificazione energetica, si calcola la classe energetica dell'edificio.

1.4 Condizioni di riferimento per il calcolo

In entrambi i casi (verifica dei limiti di legge e certificazione energetica), si utilizza la medesima procedura di calcolo che fa riferimento a dati climatici e d'uso dell'edificio convenzionali (standard). L'unica differenza tra le due applicazioni consiste nei dati sulle caratteristiche dell'edificio, che nel primo caso fanno riferimento al progetto mentre nel secondo allo stato di fatto dell'edificio.

Ai soli fini dell'applicazione della presente procedura di calcolo e limitatamente agli edifici con destinazione d'uso E.1(1) ed E.1(2) si considerano riscaldati o mantenuti a temperatura controllata anche:

- a) gli ambienti privi del sottosistema di emissione, qualora la somma dei loro volumi, riferiti all'unità immobiliare, risulti inferiore del 10% rispetto al volume netto complessivo della medesima unità;
- b) gli ambienti privi del sottosistema di emissione se collegati in modo permanente ad ambienti riscaldati o mantenuti a temperatura controllata mediante sistemi progettati all'uopo.

Ai fini della presente procedura di calcolo si considera inoltre quanto segue:

- i fabbisogni nominali di energia termica dell'edificio sono riferiti al funzionamento continuo, cioè al mantenimento di una temperatura interna, ed eventualmente dell'umidità interna, di ogni singola zona costante nelle 24 ore; si assumono pure costanti sulle 24 ore il livello di occupazione, gli apporti interni e i ricambi d'aria.

Riscaldamento

- per tutti gli edifici o parti di edificio, ad esclusione di quelli/quelle appartenenti alle categorie E.6(1), E.6(2) ed E.8, si assume una temperatura interna costante pari a 20°C;
- per gli edifici o parti di edificio di categoria E.6(1) si assume una temperatura interna costante pari a 28°C;
- per gli edifici o parti di edificio di categoria E.6(2) ed E.8 si assume una temperatura interna costante pari a 18°C.

Climatizzazione invernale

- si assumono le temperature interne definite per il solo riscaldamento;
- per tutti gli edifici o parti di edificio ad esclusione di quelli/quelle appartenenti alla categoria E.6(1), si assume una umidità relativa dell'aria interna costante e pari al 50%;
- per gli edifici o parti di edificio di categoria E.6(1) si assume una umidità relativa dell'aria interna costante pari al 90%.

Raffrescamento

- per tutti gli edifici o parti di edificio, ad esclusione di quelli appartenenti alle categorie E.6(1) ed E.6(2), si assume una temperatura interna costante pari a 26°C;
- per gli edifici o parti di edificio di categoria E.6(1) si assume una temperatura interna costante pari a 28°C;

- per gli edifici o parti di edificio di categoria E.6(2) si assume una temperatura interna costante pari a 24°C.

Climatizzazione estiva

- si assumono le temperature interne definite per il solo raffrescamento;
- per tutti gli edifici o parti di edificio ad esclusione di quelli/quelle appartenenti alla categoria E.6(1), si assume una umidità relativa dell'aria interna costante e pari al 50%;
- per gli edifici o parti di edificio di categoria E.6(1) si assume una umidità relativa dell'aria interna costante pari al 90%.

Il fabbisogno nominale di energia termica dell'edificio per il riscaldamento o la climatizzazione invernale, $Q_{B,H,s}$, viene calcolato su base mensile o frazione di mese considerando che in ogni caso il periodo di calcolo non può eccedere i vincoli indicati nel Prospetto I in funzione della zona climatica.

Zona climatica	Periodo di calcolo
Zone E	15 ottobre – 15 aprile
Zone F	5 ottobre – 22 aprile

Prospetto I – Vincoli al periodo di calcolo in funzione della zona climatica

Per ciascuna zona termica, il primo e l'ultimo giorno del periodo di calcolo sono definiti come i giorni in cui il rapporto adimensionale apporti/perdite per la modalità riscaldamento γ_H è uguale al suo valore limite:

$$\gamma_{H,\text{day}} = \gamma_{H,\text{lim}} = \frac{a_H + 1}{a_H} \quad (1.1)$$

dove a_H è un parametro numerico definito secondo la (3.99).

Ai fini dell'individuazione del periodo di riscaldamento i valori giornalieri di γ_H sono ricavati per interpolazione lineare tra i valori medi mensili adiacenti, attribuendo i valori mensili di temperatura e irraggiamento solare al giorno centrale di ciascun mese.

Si individua così la frazione di mese di inizio del riscaldamento e/o climatizzazione invernale e la frazione di mese di fine dello stesso servizio considerato. Si avrà quindi:

$$\begin{aligned} N_{H,\text{in},m} &\leq N_m \\ N_{H,\text{fin},n} &\leq N_n \end{aligned} \quad (1.2)$$

dove

$N_{H,\text{in},m}$ è il numero di giorni che rappresenta la frazione di mese di inizio riscaldamento e/o climatizzazione invernale, il mese m è il mese di inizio servizio;

N_m è il numero di giorni del mese m di inizio servizio;

$N_{H,\text{fin},n}$ è il numero di giorni che rappresenta la frazione di mese di fine riscaldamento e/o climatizzazione invernale, il mese n è il mese di fine servizio;

N_n è il numero di giorni del mese n di fine servizio.

Il numero di giorni da considerare per il calcolo della richiesta energetica per il servizio di riscaldamento e/o di climatizzazione invernale è quindi nei generici mesi compresi tra l'inizio e la fine del servizio è quindi dato da:

$$\begin{aligned}
 k = m & \Rightarrow N = N_{H,in,m} \\
 m < k < n & \Rightarrow N = N_m \\
 k = n & \Rightarrow N = N_{H,fin,n}
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

Il fabbisogno nominale di energia termica sensibile dell'edificio per il raffrescamento e/o la climatizzazione estiva, $Q_{B,C,s}$, viene calcolato su base mensile e si estende a tutti i mesi dell'anno, in particolare per le zone termiche interne di edifici commerciali nelle quali si può avere un carico termico per raffrescamento anche nel periodo invernale.

Per ciascuna zona termica, il primo e l'ultimo giorno del periodo di calcolo definiti come i giorni in cui il rapporto adimensionale perdite/apporti per la modalità raffrescamento $1/\gamma_c$ è uguale al suo valore limite:

$$\frac{1}{\gamma_{C,day}} = \frac{1}{\gamma_{C,lim}} = \frac{a_c + 1}{a_c} \tag{1.4}$$

dove a_c è un parametro numerico definito secondo la (3.107).

Nel caso in cui per tutti i mesi dell'anno risulti $1/\gamma_c < 1/\gamma_{C,lim}$ la durata della stagione di raffrescamento è estesa a tutto l'anno.

Ai fini dell'individuazione del periodo di raffrescamento i valori giornalieri di γ_c sono ricavati per interpolazione lineare tra i valori medi mensili adiacenti, attribuendo i valori mensili di temperatura e irraggiamento solare al giorno centrale di ciascun mese.

Si individua così la frazione di mese di inizio del raffrescamento e/o climatizzazione estiva e la frazione di mese di fine dello stesso servizio considerato. Si avrà quindi:

$$\begin{aligned}
 N_{C,in,m} & \leq N_m \\
 N_{C,fin,n} & \leq N_n
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

dove

$N_{C,in,m}$ è il numero di giorni che rappresenta la frazione di mese di inizio raffrescamento e/o climatizzazione estiva, il mese m è il mese di inizio servizio;

N_m è il numero di giorni del mese m di inizio servizio;

$N_{H,fin,n}$ è il numero di giorni che rappresenta la frazione di mese di fine raffrescamento e/o climatizzazione estiva, il mese n è il mese di fine servizio;

N_n è il numero di giorni del mese n di fine servizio.

Il numero di giorni da considerare per il calcolo della richiesta energetica per il servizio di riscaldamento e/o di climatizzazione invernale è quindi nei generici mesi compresi tra l'inizio e la fine del servizio è quindi dato da:

$$\begin{aligned}
 k = m & \Rightarrow N = N_{C,in,m} \\
 m < k < n & \Rightarrow N = N_m \\
 k = n & \Rightarrow N = N_{C,fin,n}
 \end{aligned}
 \tag{1.6}$$

La procedura per la determinazione della durata della stagione di riscaldamento e raffrescamento e/ climatizzazione invernale e/o estiva comprende quindi i seguenti passi:

- 1) calcolo del rapporto adimensionale apporti/perdite $\gamma_{H/C}$ su base mensile;
- 2) calcolo del rapporto adimensionale limite apporti/perdite $\gamma_{H/C,lim}$ per il riscaldamento e il raffrescamento, rispettivamente attraverso le equazioni (1.1) e (1.4);
- 3) individuazione dei mesi di transizione tra funzionamento e non funzionamento (attivazione e disattivazione del servizio) in funzione del confronto tra $\gamma_{H/C}$ mensile e $\gamma_{H/C,lim}$ limite;
- 4) individuazione dei giorni di inizio e fine riscaldamento/raffrescamento per interpolazione lineare tra i valori medi mensili adiacenti;
- 5) eventuale troncamento della stagione di riscaldamento in funzione del Prospetto I;
- 6) ricalcolo dei dati climatici con riferimento alle frazioni dei mesi estremi della stagione di riscaldamento e raffrescamento.

Se per una zona termica, servita da un unico sistema impiantistico che è in grado di fornire sia il servizio riscaldamento che il servizio raffrescamento, si determina nel calcolo una condizione per cui entrambi i servizi sarebbero richiesti, se si è nel periodo convenzionale di calcolo per il riscaldamento (Prospetto I), si considera il solo servizio riscaldamento; se invece si è al di fuori di tale periodo si considera il solo servizio raffrescamento.

Il fabbisogno nominale di energia termica latente per l'umidificazione e la deumidificazione, $Q_{BH,hum}$ e $Q_{BC,dehum}$, i cui limiti, se imposti, sono definiti dal valore positivo del fabbisogno, viene calcolato distintamente per entrambi i termini per ogni mese o frazione di mese. Il calcolo si effettua per tutti i mesi dell'anno e solo in presenza di sistemi impiantistici che possano controllare l'umidità dell'aria nell'edificio.

Il fabbisogno di energia primaria per i vari servizi presenti nell'edificio (riscaldamento ovvero climatizzazione invernale, raffrescamento ovvero climatizzazione estiva, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, autoproduzione di energia elettrica, illuminazione artificiale) viene calcolato su base mensile, salvo nei casi ove diversamente specificato.

2 I servizi e gli indicatori di prestazione energetica dell'edificio

2.1 Generalità sul calcolo della prestazione energetica dell'edificio

L'edificio è definito come l'insieme del fabbricato e dei sistemi tecnici installati nelle sue pertinenze per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici considerati.

Il **confine del sistema** edificio è quindi il confine che include il fabbricato o la porzione di fabbricato oggetto di valutazione e i sistemi tecnici a servizio del fabbricato e installati al suo interno, su di esso e/o nelle sue pertinenze.

Il **confine di valutazione** è invece il confine sul quale viene effettuato il bilancio energetico dell'edificio. Tale confine è quello rispetto al quale vengono misurate o computate le quantità di energia consegnate (importate) e eventualmente esportate (se l'edificio autoproduce qualche tipo di vettore energetico e non lo utilizza completamente internamente).

In generale confine del sistema e confine di valutazione coincidono solo in assenza di apparati per lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile in situ. La Figura 2.1 illustra la differenza tra confine del sistema e confine di valutazione e tra apparati per lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile installati in situ o ex situ, cioè entro e esternamente alle pertinenze dell'edificio.

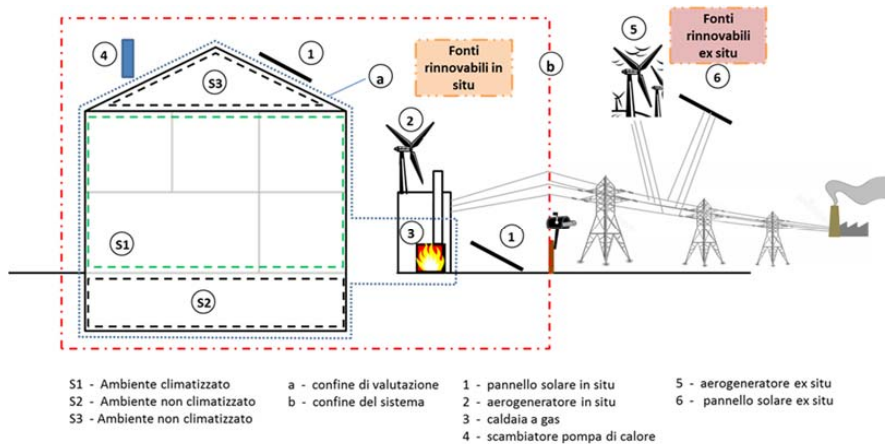


Figura 2.1 – Confine del sistema e confine di valutazione

Le perdite energetiche all'interno del confine di valutazione sono calcolate in modo dettagliato tenendo conto delle caratteristiche tecniche specifiche degli apparati di conversione, produzione, distribuzione, utilizzazione, ecc., impiegati. Le perdite energetiche al di fuori del confine di valutazione sono tenute in considerazione attraverso i coefficienti di conversione in energia primaria.

2.1.1 Fonti di energia e vettori energetici

I fabbisogni di energia finale dell'edificio possono essere soddisfatti attraverso:

- energia prodotta da fonte rinnovabile ottenuta installando gli apparati di conversione, parte integrante dei sistemi tecnici dell'edificio, all'interno del confine del sistema, definita energia finale rinnovabile prodotta "in situ";
- energia finale consegnata attraverso il confine del sistema da vettori energetici che possono essere prodotti sia da fonti non rinnovabili di energia sia da fonti rinnovabili.

Si considerano fonti rinnovabili di energia in situ:

- l'energia solare captata entro il confine del sistema da collettori solari e/o pannelli fotovoltaici;
- energia cinetica del vento intercettata entro il confine del sistema da generatori eolici;
- l'energia termica (aerotermica, geotermica, idrotermica) posseduta da aria, sottosuolo e acque di superficie e di falda che si trovino entro il confine del sistema.

Attraverso l'impiego delle fonti rinnovabili di energia in situ si può produrre sia energia termica sia energia elettrica; tali energie costituiscono i vettori energetici rinnovabili prodotti in situ che attraversano il confine di valutazione già nella forma di energia utile. (Figura 2.2)

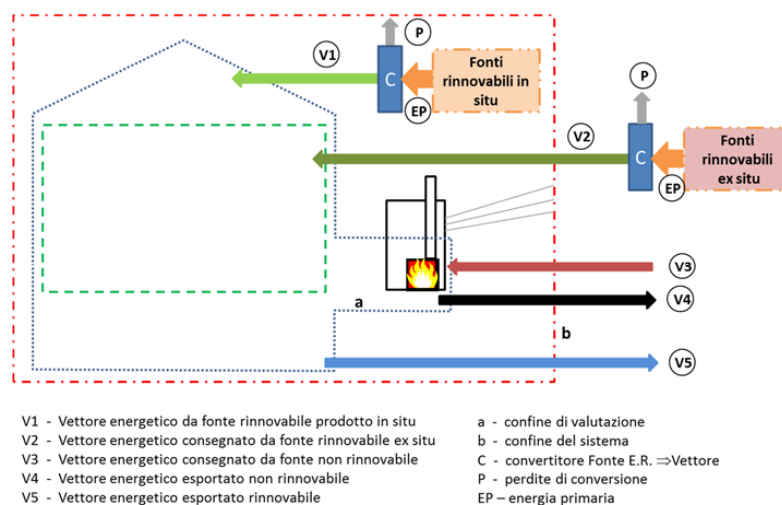


Figura 2.2 – Vettori energetici consegnati, esportati e prodotti in situ

Di contro, i vettori energetici che attraversano il confine del sistema possono essere sia già in forma di energia utile (acqua calda o fredda da teleriscaldamento o teleraffreddamento, energia elettrica) sia in forme che necessitano la conversione (gas, biomassa, ecc.). Il sottosistema tecnico di generazione dell'edificio converte tali vettori in energia termica oppure, con generazione combinata (cogenerazione), in energia termica ed elettrica.

Il calcolo dell'energia elettrica e termica prodotta da fonte rinnovabile in situ, così come il calcolo dell'energia estratta dalle fonti rinnovabili, si effettua secondo quanto descritto nei paragrafi § 11.8, § 11.9,

e §11.10; nel caso di energia termica si prevede che essa sia immessa nel punto di collegamento tra utilizzazione e generazione, ossia in ingresso all'accumulo o alla distribuzione; nel caso di energia elettrica che sia immessa subito valle del punto di consegna del vettore elettrico consegnato, cioè nella centrale elettrica (paragrafo § 11.11;).

Il calcolo dell'energia estratta da fonti rinnovabili ex situ e da fonti non rinnovabili che corrisponde ai vettori energetici, rinnovabili e non rinnovabili, consegnati è effettuato tramite opportuni fattori di conversione in energia primaria (si veda Allegato).

2.2 Definizione della prestazione energetica dell'edificio

2.2.1 Indice di prestazione energetica EP

La prestazione energetica dell'edificio è quantificata da due indici, l'indice di energia primaria globale non rinnovabile e l'indice di energia primaria globale totale, entrambi espressi in kilowattora su metro quadro in un anno:

$$EP_{gl,nren} = E_{p,gl,nren} / A \quad (2.1)$$

dove:

$EP_{gl,nren}$ è l'indice di energia primaria non rinnovabile dell'edificio, [kWh/m² anno];

$E_{p,gl,nren}$ è il fabbisogno annuale globale di energia primaria non rinnovabile dell'edificio, [kWh];

A è l'area della superficie utile dell'edificio [m²]

$$EP_{gl,tot} = E_{p,gl,tot} / A \quad (2.2)$$

dove:

$EP_{gl,tot}$ è l'indice di energia primaria totale dell'edificio, [kWh/m² anno];

$E_{p,gl,tot}$ è il fabbisogno annuale globale di energia primaria totale dell'edificio, [kWh];

A è l'area della superficie utile dell'edificio [m²].

La prestazione energetica del singolo servizio S dell'edificio è anch'essa quantificata dall'indice di energia primaria non rinnovabile e dall'indice di energia primaria globale totale, sempre espressi in kilowattora su metro quadro in un anno:

$$EP_{S,nren} = E_{p,S,nren} / A \quad (2.3)$$

dove:

$EP_{S,nren}$ è l'indice di energia primaria non rinnovabile per il servizio S dell'edificio, [kWh/m² anno];

$E_{p,S,nren}$ è il fabbisogno annuale globale di energia primaria non rinnovabile per il servizio S dell'edificio, [kWh].

$$EP_{S,tot} = E_{p,S,tot} / A \quad (2.4)$$

dove:

$EP_{S,tot}$ è l'indice di energia primaria totale per il servizio S dell'edificio, [kWh/m² anno];

$E_{p,S,tot}$ è il fabbisogno annuale globale di energia primaria totale per il servizio S dell'edificio, [kWh].

I servizi presi in considerazione e per i quali si calcolano gli indici energetici sono:

- riscaldamento: $S=H$
- raffrescamento: $S=C$
- climatizzazione invernale: $S=HA$
- climatizzazione estiva: $S=CA$
- acqua calda sanitaria: $S=W$
- ventilazione: $S=V$
- illuminazione generale: $S=L$
- trasporto di persone o cose $S=T$

NOTA: non è detto che i servizi riscaldamento e climatizzazione invernale, così come i servizi raffrescamento e climatizzazione estiva, siano mutuamente esclusivi; può infatti accadere che un edificio abbia una zona solo riscaldata e un'altra climatizzata; in tal caso occorre determinare entrambi gli indici.

2.2.2 Indice di produzione di CO₂

L'indice di produzione di anidride carbonica, CO₂, è definito come:

$$EM_{CO_2} = M_{CO_2} / A \quad (2.5)$$

dove:

EM_{CO_2} è l'indice di emissioni di CO₂ dell'edificio, [kg_{CO₂}/m² anno];

M_{CO_2} è quantità di emissioni gas climalteranti dell'edificio in un anno, [kg_{CO₂}];

A è l'area della superficie utile dell'edificio [m²].

Analogamente l'indice per servizio S è dato da:

$$EM_{S,CO_2} = M_{S,CO_2} / A \quad (2.6)$$

dove:

EM_{S,CO_2} è l'indice di emissioni di CO₂ per il servizio S dell'edificio, [kg_{CO₂}/m² anno];

M_{S,CO_2} è quantità di emissioni gas climalteranti per il servizio S dell'edificio in un anno, [kg_{CO₂}].

La quantità di emissioni gas climalteranti, M_{CO_2} , viene calcolata in funzione del/i combustibile/i utilizzati secondo la:

$$M_{CO_2} = \sum_i E_{fuel,del,i} \cdot f_{em,fuel,i} + \sum_j E_{fuel,ren,j} \cdot f_{em,fuel,ren,j} + E_{el,del} \cdot f_{em,el} \quad (2.7)$$

dove:

- $E_{fuel,del,i}$ è l'energia fornita all'edificio dall'i-esimo vettore energetico non elettrico e non rinnovabile (gas, olio combustibile, ecc.), [kWh];
- $f_{em,fuel,i}$ è il fattore di emissione dell'i-esimo vettore energetico non elettrico e non rinnovabile (gas, olio combustibile, ecc.), (Allegato), [kg CO_{2eq}/kWh];
- $E_{fuel,ren,j}$ è l'energia fornita all'edificio dal j-esimo vettore energetico non elettrico rinnovabile (biomasse, RSU, biogas, ecc.), [kWh];
- $f_{em,fuel,ren,j}$ è il fattore di emissione del j-esimo vettore energetico non elettrico rinnovabile (biomasse, RSU, biogas, ecc.), (Allegato), [kg CO_{2eq}/kWh];
- $E_{el,del}$ è l'energia elettrica complessivamente fornita all'edificio, [kWh];
- $f_{em,el}$ è il fattore di emissione del vettore energetico energia elettrica, (Allegato), [kg CO_{2eq}/kWh].

2.2.3 Quota di energia da fonti rinnovabili

Il calcolo della quota di energia da fonti rinnovabili può essere riferito a:

- un solo servizio energetico dell'edificio (ad esempio solo per acqua calda sanitaria);
- più servizi energetici dell'edificio (ad esempio per climatizzazione invernale, climatizzazione estiva e acqua calda sanitaria).

La quota di energia da fonti rinnovabili per il singolo servizio S dell'edificio è calcolata come:

$$QER_S = E_{p,S,ren} / E_{p,S,tot} \quad (2.8)$$

dove:

- $E_{p,S,ren}$ è l'energia primaria rinnovabile riferita servizio S dell'edificio, calcolata con la formula (2.11) utilizzando i fattori di conversione in energia primaria rinnovabile $f_{p,x,ren}$ per ciascun vettore energetico x consegnato o esportato;
- $E_{p,S,tot}$ è l'energia primaria totale riferita servizio S dell'edificio, calcolata sempre con la formula (2.11) utilizzando i fattori di conversione in energia primaria totale $f_{p,x,tot}$ per ciascun vettore energetico x consegnato o esportato.

La quota di energia da fonti rinnovabili per l'edificio, cioè per la totalità degli N_s servizi energetici considerati, è calcolata come:

$$QER = \frac{\sum_{S=1}^{N_s} E_{p,S,ren}}{\sum_{S=1}^{N_s} E_{p,S,tot}} \quad (2.9)$$

dove:

N_s è il numero dei servizi presenti nell'edificio.

2.3 Fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio

Il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio è dato dalla somma dei fabbisogni annuali di energia primaria calcolati per i diversi servizi presenti nell'edificio al netto dell'eventuale autoproduzione di energia non consumata ed esportata. I servizi presenti nell'edificio che vengono presi in considerazione sono: il riscaldamento ovvero la climatizzazione invernale (se presente l'umidificazione controllata), il raffrescamento ovvero la climatizzazione estiva (se presente la deumidificazione controllata), la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione controllata meccanicamente e l'illuminazione artificiale degli ambienti.

Per il calcolo del fabbisogno di energia primaria necessario per definire l'indice di prestazione energetica, EP si procede in generale nel seguente modo:

1. si calcola l'energia termica richiesta dall'edificio per soddisfare i vari servizi presenti; ad esempio, il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento ambientale è calcolato come le perdite di energia attraverso l'involucro e per ventilazione meno i guadagni interni (dagli elettrodomestici, sistemi di illuminazione e di occupazione) così come i guadagni "naturali" di energia (riscaldamento solare passivo, raffrescamento passivo, ventilazione naturale, ecc.);
2. si sottrae dal fabbisogno termico calcolato al punto (1) l'energia termica generata e impiegata direttamente sul posto dalle fonti energetiche rinnovabili (FER) (ad esempio da pannelli solari);
3. si calcola il fabbisogno di energia per ogni servizio (climatizzazione invernale e estiva, ovvero riscaldamento e raffrescamento ambientale, acqua calda sanitaria, illuminazione, ventilazione) e per ogni vettore energetico (elettricità, combustibili, ecc.), tenendo conto delle caratteristiche efficienze stagionali di generazione, distribuzione, emissioni e sistemi di controllo;
4. si sottrae dal fabbisogno di energia elettrica l'energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili, generata e utilizzata in loco (ad esempio, dai pannelli fotovoltaici);
5. si calcola l'energia importata per ogni vettore energetico come somma dei fabbisogni energetici non coperti dall'impiego in loco delle fonti energetiche rinnovabili;
6. si calcola l'energia primaria associata con l'energia importata, usando i fattori di conversione in energia primaria per vettore energetico;
7. si calcola l'energia primaria associata con l'energia esportata verso il mercato (ad esempio generata da FER o cogeneratori in luogo) usando i fattori di conversione in energia primaria per vettore energetico;

8. si calcola il fabbisogno di energia primaria come energia primaria netta, cioè la differenza tra le due precedenti quantità calcolate: (6) - (7).

La quantità così calcolata risulta essere l'energia primaria effettivamente impiegata dall'edificio per i servizi complessivamente, o singolarmente, considerati.

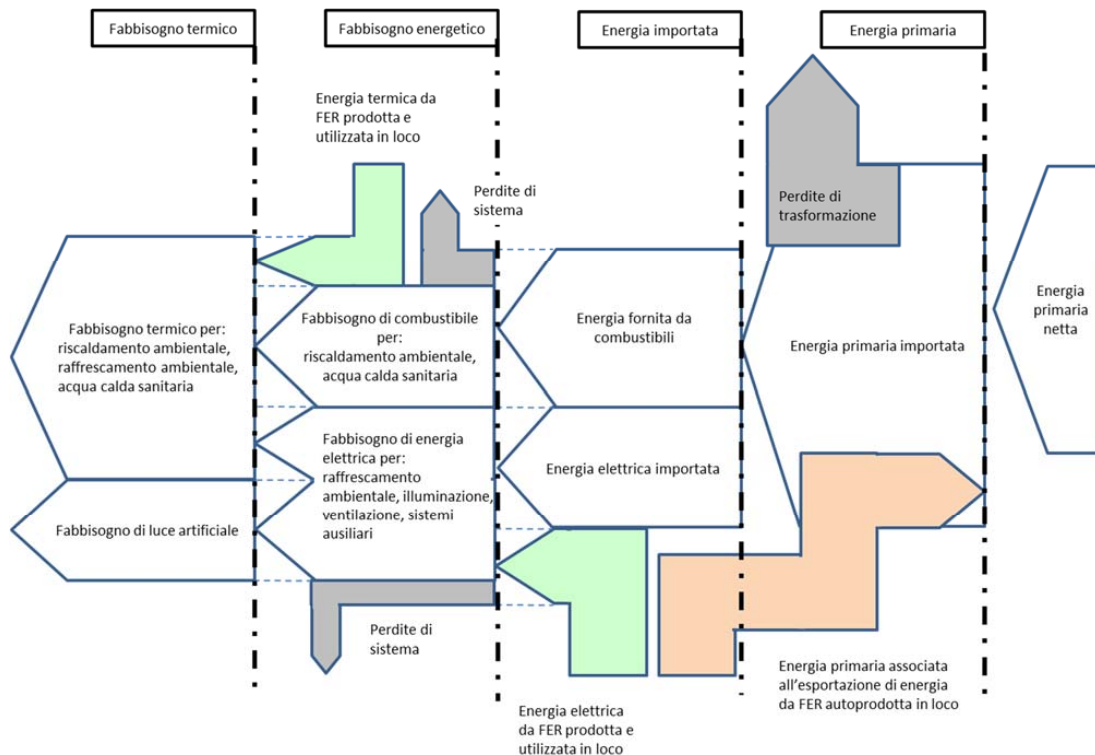


Figura 2.3 – Schematizzazione del metodo di calcolo del fabbisogno di energia primaria

2.3.1 Fabbisogno complessivo annuale di energia primaria

Il fabbisogno complessivo annuale di energia primaria dell'edificio, cioè relativo all'insieme diversi servizi compresi, cioè riscaldamento e/o climatizzazione invernale, raffrescamento e/o climatizzazione estiva, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione e illuminazione artificiale, sia che sia non rinnovabile, rinnovabile o totale, viene determinato come:

$$E_{p,gl,x} = E_{p,H,x} + E_{p,HA,x} + E_{p,C,x} + E_{p,CA,x} + E_{p,W,x} + E_{p,V,x} + E_{p,L,x} + E_{p,T,x} \quad (2.10)$$

dove:

- $E_{p,gl}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio, [kWh];
- $E_{p,H}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria per il riscaldamento dell'edificio, [kWh];
- $E_{p,HA}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria per la climatizzazione invernale dell'edificio, [kWh];
- $E_{p,C}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria per il raffrescamento dell'edificio, [kWh];

- $E_{P,CA}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria per la climatizzazione estiva dell'edificio, [kWh];
- $E_{P,W}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria dell'edificio, [kWh];
- $E_{P,L}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria per l'illuminazione artificiale dell'edificio, [kWh];
- $E_{P,T}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria per il trasporto di persone o cose, [kWh];
- x è il tipo di primaria considerata, non rinnovabile (*nren*), rinnovabile (*ren*), totale (*tot*).

2.3.2 Fabbisogno annuale di energia primaria per servizio

Per un impianto termico ed elettrico finalizzato al soddisfacimento generico servizio S, che utilizzi diverse tipologie di vettori energetici, il fabbisogno di energia primaria annuale (sia che sia non rinnovabile, rinnovabile o totale) è dato dalla seguente relazione:

$$E_{P,S,x} = \sum_{m=1}^{12} E_{P,S,x,m} \quad (2.11)$$

dove:

- $E_{P,S,x}$ è il fabbisogno annuale di energia primaria di tipo x per il servizio S dell'edificio, [kWh];
- $E_{P,S,x,m}$ è il fabbisogno mensile di energia primaria di tipo x per il servizio S dell'edificio, [kWh];
- x è il tipo di primaria considerata, non rinnovabile (*nren*), rinnovabile (*ren*), totale (*tot*), [-];
- m è l'indice del mese, [-].

Il fabbisogno di energia primaria mensile (sia che sia non rinnovabile, rinnovabile o totale) per il generico servizio S è dato dalla seguente relazione:

$$E_{P,S,x,m} = \sum_{x=1}^{N_{in}} (f_{p,x,y,del} \cdot E_{S,y,del})_m - \sum_{x=1}^{N_{out}} (f_{p,x,y,exp} \cdot E_{S,y,exp})_m \quad (2.12)$$

dove:

- $E_{P,S,x,m}$ è il fabbisogno mensile di energia primaria di tipo x d per il servizio S dell'edificio, [kWh];
- $E_{S,y,del}$ è il vettore energetico di tipo x fornito al servizio S dell'edificio nel mese m, [kWh];
- $E_{S,y,exp}$ è il vettore energetico di tipo x eventualmente esportato nel mese m attribuito al servizio S dell'edificio, qualora vi sia autoproduzione eccedente il fabbisogno, [kWh];
- $f_{p,x,y,del}$ è il fattore di conversione in energia primaria di tipo x del vettore energetico di tipo y fornito all'edificio, [-];
- $f_{p,x,y,exp}$ è il fattore di conversione in energia primaria di tipo x del vettore energetico di tipo y esportato dall'edificio, [-];
- N_{in} è il numero di diverse tipologie di vettori energetici forniti, [-];
- N_{out} è il numero di diverse tipologie di vettori energetici esportati, [-];
- x è il tipo di primaria considerata, non rinnovabile (*nren*), rinnovabile (*ren*), totale (*tot*), [-];
- y è il tipo di vettore energetico, [-];
- m è l'indice del mese, [-].

Tra i diversi tipi di energia primaria (totale, non rinnovabile e rinnovabile) sussiste la seguente relazione:

$$E_{P,S,tot,m} = E_{P,S,nren,m} + E_{P,S,ren,m} \quad (2.13)$$

che discende dalla seguente relazione tra i fattori di conversione in energia primaria:

$$f_{p,tot,y,m} = f_{p,nren,y,m} + f_{p,ren,y,m} \quad (2.14)$$

dove:

$f_{p,tot,y}$ è fattore di conversione in energia primaria totale del vettore energetico di tipo y nel mese m ;

$f_{p,nren,y}$ è fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile del vettore energetico di tipo y nel mese m , [-];

$f_{p,ren,y}$ è fattore di conversione in energia primaria rinnovabile del vettore energetico di tipo y nel mese m , [-];

NOTA: Si è indicizzato rispetto al mese perché tali fattori potrebbero anche essere definiti su base mensile.

2.3.3 Vettori energetici importati e esportati

Per il calcolo dell'energia primaria occorre conoscere i vettori energetici importati ed esportati ogni mese attraverso il confine dell'edificio e di valutazione (paragrafo § 2.1.1), in modo da poterli moltiplicare per gli opportuni fattori di conversione in energia primaria in funzione dell'obiettivo richiesto (totale, non rinnovabile, rinnovabile).

I vettori energetici importati dall'edificio (forniti) ed eventualmente esportati si determinano nel seguente modo:

1. per ogni mese m si determinano per **ogni singolo servizio S** presente nell'edificio e **complessivamente**:

- i vettori energetici non elettrici richiesti (importati) dal sottosistema di generazione del servizio S considerato (paragrafo § 11.3, equazione (11.29)), per cui si ha, per $y = \text{fuel}$, r_{fuel} , ecc.):

$$E_{S,y,del,m} \equiv E_{S,y,in,m} \quad (2.15)$$

e la loro somma su tutti gli N_S servizi presenti:

$$E_{y,del,m} = \sum_{S=1}^{N_S} E_{S,y,del,m} \quad (2.16)$$

- la quota di vettore energetico elettrico richiesto (importato) dalla centrale elettrica per il servizio S considerato (paragrafo § 11.4.2, equazione (11.46)), per cui si ha:

$$E_{S,el,del,m} \equiv E_{ES,S,el,in,m} \quad (2.17)$$

e la somma su tutti gli N_S servizi presenti:

$$E_{el,del,m} = \sum_{S=1}^{N_S} E_{S,el,del,m} \quad (2.18)$$

- la quota di vettore energetico elettrico esportato dalla centrale elettrica e attribuito al servizio S considerato (paragrafo § 11.4.2, equazione (11.44)), che risulta differenziato in funzione della tipologia generatore e/o combustibile impiegato, per cui si ha:

$$\begin{aligned}
 E_{S,el-fuel,exp,m} &\equiv E_{ES,S,el,HP,out,m} \\
 E_{S,el-rfuel,exp,m} &\equiv E_{ES,S,el,HPR,out,m} \\
 E_{S,el-wind,exp,m} &\equiv E_{ES,S,el,WD,out,m} \\
 E_{S,el-sol,exp,m} &\equiv E_{ES,S,el,PV,out,m}
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

dove:

el-fuel, *el-rfuel*, *el-wind* e *el-sol* identificano come è stato prodotto il relativo vettore elettrico per potere poi utilizzate il fattore di conversione in energia primaria adeguato;

e la loro somma su tutti gli N_s servizi presenti:

$$\begin{aligned}
 E_{el-fuel,exp,m} &= \sum_{S=1}^{N_s} E_{S,el-fuel,exp,m} \\
 E_{el-rfuel,exp,m} &= \sum_{S=1}^{N_s} E_{S,el-rfuel,exp,m} \\
 E_{el-wind,exp,m} &= \sum_{S=1}^{N_s} E_{S,el-wind,exp,m} \\
 E_{el-sol,exp,m} &= \sum_{S=1}^{N_s} E_{S,el-sol,exp,m}
 \end{aligned}
 \tag{2.20}$$

- la quota di vettore energetico combustibile fossile e rinnovabile associato alla quota di vettore elettrico esportato e attribuito al servizio S considerato (paragrafo § 11.4.2, equazione (11.43)), per cui si ha:

$$\begin{aligned}
 E_{S,fuel-ex-el,del,m} &\equiv E_{HP,S,fuel,in,exp,m} \\
 E_{S,rfuel-ex-el,in,del,m} &\equiv E_{HPR,S,rfu,in,exp,m}
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

dove:

fuel-ex-el e *rfuel-ex-el* identificano rispettivamente il vettore combustibile che è associato alla produzione di energia elettrica esportata, per potere definire e utilizzate fattori di conversione in energia primaria adeguati;

e la loro somma su tutti gli N_s servizi presenti:

$$\begin{aligned}
 E_{fuel-ex-el,del,m} &= \sum_{S=1}^{N_s} E_{S,fuel-ex-el,del,m} \\
 E_{rfuel-ex-el,in,del,m} &= \sum_{S=1}^{N_s} E_{S,rfuel-ex-el,del,m}
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

- la quota di vettore energetico combustibile fossile e rinnovabile associato alla quota di vettore elettrico autoprodotta e autoconsumata e attribuito al servizio S considerato (paragrafo § 11.4.2, equazione (11.42)), per cui si ha:

$$\begin{aligned}
 E_{S,fuel-iu-el,del,m} &\equiv E_{HP,S,fuel,in,iu,m} \\
 E_{S,rfuel-iu-el,in,del,m} &\equiv E_{HPR,S,rfu,in,iu,m}
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

dove:

$fuel-iu-el$ e $rfuel-iu-el$ identificano rispettivamente il vettore combustibile che è associato alla energia elettrica autoprodotta da combustibile, fossile e rinnovabile, e utilizzata internamente, per potere definire e utilizzare fattori di conversione in energia primaria adeguati e la loro somma su tutti gli N_S servizi presenti:

$$E_{fuel-iu-el,del,m} = \sum_{S=1}^{N_S} E_{S,fuel-iu-el,del,m} \quad (2.24)$$

$$E_{rfuel-iu-el,del,m} = \sum_{S=1}^{N_S} E_{S,rfuel-iu-el,del,m}$$

2. calcolati tutti i vettori per tutto l'arco dell'anno ($m = 1$ a 12) **per tutti i servizi S** , si verifica se la quota dei vettori elettrici esportati può essere recuperata (riducendo l'importazione dalla rete) in un altro mese dell'anno nel rispetto della quota limite di recupero prefissata, **secondo il principio che prima si recupera tutta l'energia elettrica da fonte rinnovabile e poi se vi è ancora capienza quella da fonte non rinnovabile**; quindi si determina:

- l'ammontare annuo di energia elettrica esportata, per servizio S e quindi complessivamente, per ogni tipologia di generatore e/o combustibile impiegato e complessivo per tipologia di fonte, cioè prodotta da fonte rinnovabile e non rinnovabile, come:

$$E_{S,el-fuel,exp,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,el-fuel,exp,m}$$

$$E_{S,el-rfuel,exp,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,el-rfuel,exp,m} \quad (2.25)$$

$$E_{S,el-wind,exp,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,el-wind,exp,m}$$

$$E_{S,el-sol,exp,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,el-sol,exp,m}$$

$$E_{S,el-ren,exp,y} = E_{S,el-rfuel,exp,y} + E_{S,el-wind,del,y} + E_{S,el-sol,del,y} \quad (2.26)$$

$$E_{S,el-nren,exp,y} = E_{S,el-fuel,del,y}$$

e analogamente per l'intero edificio:

$$E_{el-fuel,exp,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{el-fuel,exp,m}$$

$$E_{el-rfuel,exp,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{el-rfuel,exp,m} \quad (2.27)$$

$$E_{el-wind,exp,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{el-wind,exp,m}$$

$$E_{el-sol,exp,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{el-sol,exp,m}$$

$$E_{el-ren,exp,y} = E_{el-rfuel,exp,y} + E_{el-wind,del,y} + E_{el-sol,del,y} \quad (2.28)$$

$$E_{el-nren,exp,y} = E_{el-fuel,del,y}$$

e complessivamente:

$$E_{el,exp,y} = E_{el-ren,exp,y} + E_{el-nren,exp,y} \quad (2.29)$$

- l'ammontare annuo della quota di energia elettrica autoprodotta e autoconsumata, attribuite al servizio S considerato, per l'equazione (11.40), come:

$$E_{S,el,iu,y} = \sum_{m=1}^{12} W_{SG,S,iu,m} \quad (2.30)$$

e complessivamente, su tutti i servizi, per l'equazione (11.39):

$$E_{el,iu,y} = \sum_{m=1}^{12} W_{SG,iu,m} \quad (2.31)$$

- l'ammontare annuo della quota di vettore energetico combustibile fossile e rinnovabile associato alla quota di vettore elettrico esportato e alla quota autoconsumata, attribuite al servizio S considerato, come:

$$E_{S,fuel-ex-el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,fuel-ex-el,del,m} \quad (2.32)$$

$$E_{S,rfuel-ex-el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,rfuel-ex-el,del,m}$$

$$E_{S,fuel-iu-el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,fuel-iu-el,del,m} \quad (2.33)$$

$$E_{S,rfuel-iu-el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,rfuel-iu-el,del,m}$$

e analogamente per l'intero edificio:

$$E_{fuel-ex-el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{fuel-ex-el,del,m} \quad (2.34)$$

$$E_{rfuel-ex-el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{rfuel-ex-el,del,m}$$

$$E_{fuel-iu-el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{fuel-iu-el,del,m} \quad (2.35)$$

$$E_{rfuel-iu-el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{rfuel-iu-el,del,m}$$

- l'ammontare annuo di energia elettrica importata dalla rete, per servizio S e complessivamente,:

$$E_{S,el,del,y} = \sum_{m=1}^{12} E_{S,el,del,m} \quad (2.36)$$

$$E_{el,del,y} = \sum_{S=1}^{N_S} E_{S,el,del,y} \quad (2.37)$$

2.4 Schematizzazione dell'impianto termico

Ai fini della determinazione del fabbisogno energetico, l'impianto termico viene suddiviso in sottosistemi impiantistici, indipendentemente dalla funzione del sistema a cui appartengono, secondo la seguente classificazione generale:

- sottosistema di emissione/erogazione in ambiente e relativo controllo, E;
- sottosistema Unità Trattamento Aria, UTA;
- sottosistema di distribuzione, idronico, D, e/o aeraulico, DA;
- sottosistema di accumulo, S;
- sottosistema di generazione, G.

In Figura 2. è riportato, per un edificio con un'unica zona termica, uno schema d'impianto termico policombustibile (da fonte fossile e non) che soddisfa contemporaneamente i requisiti di climatizzazione invernale ed estiva, compresa la produzione di acqua calda, che possa avere a livello della generazione di energia termica qualsiasi combinazione di generatori (dalla semplice caldaia e al gruppo frigorifero a compressione, all'impiego sia di teleriscaldamento che di teleraffrescamento, alla cogenerazione e alla trigenerazione con gruppi frigoriferi ad assorbimento, con cessione all'esterno, se del caso, sia di energia elettrica sia di energia termica).

I termini riportati in Figura 2.4.Figura 2. rappresentano rispettivamente:

- $E_{el,del}$ è il vettore energia elettrica complessivamente fornita all'edificio per i servizi richiesti, [kWh];
- $E_{el,exp}$ è il vettore l'energia elettrica eventualmente ceduta alla rete elettrica nazionale, qualora vi sia autoproduzione eccedente il fabbisogno, [kWh];
- $E_{fuel,del}$ è il vettore energia complessivamente fornita all'edificio dal generico vettore energetico non elettrico non rinnovabile (gas, olio combustibile, teleriscaldamento, ecc.), [kWh];
- $E_{el,sol}$ è l'energia solare complessivamente utilizzata per l'autoproduzione elettrica tramite pannelli fotovoltaici, [kWh];
- $E_{th,sol}$ è l'energia solare complessivamente utilizzata per l'autoproduzione termica tramite collettori solari termici, [kWh];
- E_{wind} è l'energia eolica complessivamente utilizzata per l'autoproduzione elettrica tramite generatori eolici, [kWh];
- $E_{T,H,exp}$ è il vettore energia termica eventualmente ceduta ad una rete di teleriscaldamento esterna all'edificio, qualora vi sia autoproduzione eccedente il fabbisogno, [kWh];
- $E_{T,C,exp}$ è il vettore energia termica eventualmente ceduta ad una rete di teleraffreddamento esterna all'edificio, qualora vi sia autoproduzione eccedente il fabbisogno, [kWh];
- $W_{HP,g,in}$ è l'energia elettrica eventualmente fornita al sottosistema di generazione – Centrale Cogenerativa - per azionare pompe di calore a compressione o altro apparato che converta energia elettrica in energia termica per il riscaldamento di un fluido termovettore, [kWh];
- $W_{HP,g,out}$ è l'energia elettrica eventualmente prodotta dal sottosistema di generazione – Centrale Cogenerativa, [kWh];

- $W_{PV,gn,out}$ è l'energia elettrica eventualmente prodotta dal sottosistema di generazione solare fotovoltaico, [kWh];
- $W_{WD,gn,out}$ è l'energia elettrica eventualmente prodotta dal sottosistema di generazione eolico, [kWh];
- $W_{C,g,in}$ è l'energia elettrica eventualmente fornita al sottosistema di generazione – Centrale Frigorifera - per azionare gruppi frigoriferi a compressione o altro apparato che converta energia elettrica in energia termica per il raffreddamento di un fluido termovettore, [kWh];
- $E_{HP,f,g,in}$ è l'energia eventualmente fornita al sottosistema di generazione – Centrale Cogenerativa - dal generico vettore energetico non rinnovabile non elettrico (gas, olio combustibile, teleriscaldamento, ecc.) per alimentare caldaie o altri apparati che convertano tale vettore in energia termica per il riscaldamento di un fluido termovettore, [kWh];
- $E_{H,rf,g,in}$ è l'energia eventualmente fornita al sottosistema di generazione – Centrale Cogenerativa - dal generico vettore energetico rinnovabile non elettrico (biomasse, RSU, biogas, ecc.) per alimentare caldaie o altri apparati che convertano tale vettore in energia termica per il riscaldamento di un fluido termovettore, [kWh];

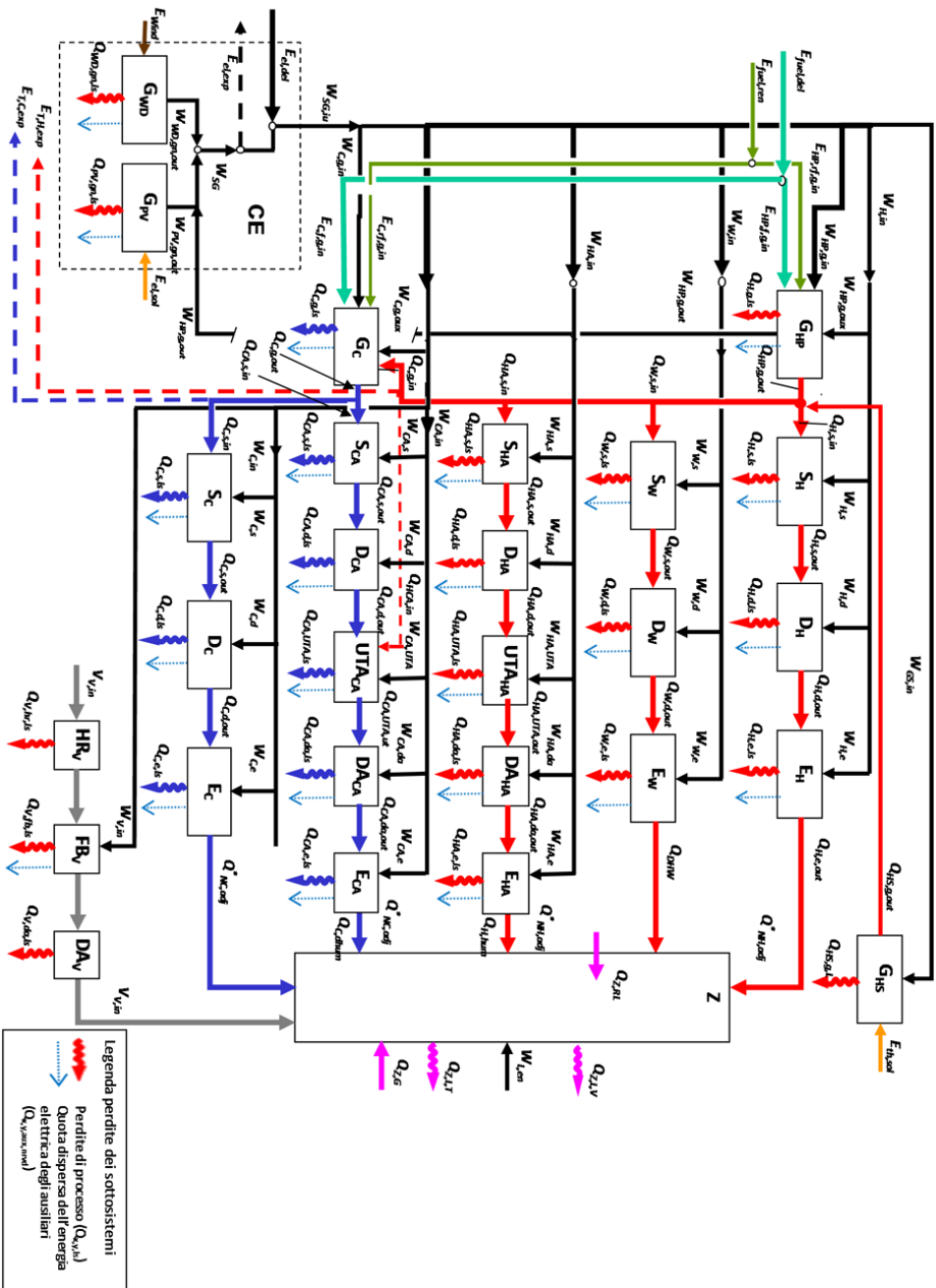


Figura 2.4 – Schematizzazione dell'impianto termico nella sua configurazione e più generale

- $E_{C,f,g,in}$ è l'energia eventualmente fornita al sottosistema di generazione – Centrale Frigorifera - dal generico vettore energetico non rinnovabile non elettrico (gas, olio combustibile, teleriscaldamento, ecc.) per alimentare frigoriferi ad assorbimento o altri apparati che convertano tale vettore in energia termica per il raffreddamento di un fluido termovettore, [kWh];
- $E_{C,rf,g,in}$ è l'energia eventualmente fornita al sottosistema di generazione – Centrale Frigorifera - dal generico vettore energetico rinnovabile non elettrico (biomasse, RSU, biogas, ecc.) per alimentare frigoriferi ad assorbimento o altri apparati che convertano tale vettore in energia termica per il raffreddamento di un fluido termovettore, [kWh];
- $Q_{HP,g,out}$ è l'energia termica complessivamente prodotta tramite il riscaldamento di un fluido termovettore dal sottosistema di generazione – Centrale Cogenerativa, [kWh];
- $Q_{HS,g,out}$ è l'energia termica complessivamente prodotta tramite il riscaldamento di un fluido termovettore dal sottosistema di generazione solare, [kWh];
- $Q_{C,g,out}$ è l'energia termica complessivamente prodotta tramite il raffreddamento di un fluido termovettore dal sottosistema di generazione – Centrale Frigorifera - normalmente asservita al raffrescamento ambientale, [kWh];
- $Q_{H,s,in}$ è l'energia termica fornita dal sottosistema di generazione al resto dell'impianto asservito al riscaldamento ambientale (H), [kWh];
- $Q_{W,s,in}$ è l'energia termica fornita dal sottosistema di generazione al resto dell'impianto asservito alla produzione acqua calda sanitaria (W), [kWh];
- $Q_{C,g,in}$ è l'energia termica eventualmente fornita dal sottosistema di generazione – Centrale Cogenerativa - al sottosistema di generazione – Centrale Frigorifera - per alimentare frigoriferi ad assorbimento o altri apparati che impieghino tale energia termica per il raffreddamento di un fluido termovettore, [kWh];
- $Q_{HCA,in}$ è l'energia termica eventualmente fornita dal sottosistema di cogenerazione – Centrale Cogenerativa - al sottosistema di deumidificazione dell'UTA per il controllo dell'umidità tramite post-riscaldamento, [kWh];
- $W_{H,in}$ è l'energia elettrica complessivamente assorbita dagli ausiliari dell'impianto di riscaldamento ambientale, [kWh];
- $W_{V,in}$ è l'energia elettrica complessivamente assorbita dagli ausiliari dell'impianto di ventilazione meccanica, [kWh];
- $W_{C,in}$ è l'energia elettrica complessivamente assorbita dagli ausiliari dell'impianto di raffrescamento e deumidificazione ambientale, [kWh];
- $W_{GS,in}$ è l'energia elettrica complessivamente assorbita dagli ausiliari del sottosistema di generazione dell'energia termica da fonte solare, [kWh];
- $W_{x,y}$ è l'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del sottosistema y-esimo dell'impianto x-esimo, [kWh];
- $V_{V,in}$ è il volume di aria esterna introdotto dalla ventilazione meccanica, [m³]; l'influenza della ventilazione meccanica con o senza recupero termico statico è considerata all'interno del termine $Q_{z,l,v}$.
- $Q_{x,y,ls}$ è la perdita termica di processo, cioè l'energia termica dispersa dal sottosistema y-esimo al netto della quota relativa alla dispersione termica degli ausiliari, legata alla modalità di trasferimento dell'energia termica dall'ingresso all'uscita del sottosistema considerato, [kWh];
- $Q_{x,y,aux,nrvd}$ è la quota dispersa dell'energia elettrica degli ausiliari verso l'ambiente esterno al sottosistema y-esimo, [kWh];
- $Q_{x,y,out}$ è l'energia termica in uscita dal generico sottosistema y-esimo dell'impianto x-esimo, [kWh];

- $Q_{NH,s,adj}^*$ è il fabbisogno di energia termica per il solo riscaldamento “sensibile”, al netto delle eventuali perdite recuperate dai sottosistemi impiantistici, corretto, cioè calcolato considerando l’effettivo carico dovuto alla ventilazione e infiltrazione sulla zona, [kWh];
- $Q_{NC,s,adj}^*$ è il fabbisogno di energia termica per il solo raffrescamento “sensibile”, al netto delle eventuali perdite recuperate dai sottosistemi impiantistici, corretto, cioè calcolato considerando l’effettivo carico dovuto alla ventilazione e infiltrazione sulla zona, [kWh];
- $Q_{H,hum}$ è il fabbisogno di energia termica per il solo riscaldamento “latente”, cioè la spesa di energia termica per l’umidificazione controllata dell’aria, [kWh];
- $Q_{C,dehum}$ è il fabbisogno di energia termica per il solo “raffrescamento latente”, cioè la spesa di energia termica per la deumidificazione controllata dell’aria, [kWh];
- Q_{DHW} è il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, [kWh];
- $Q_{Z,L,T}$ è l’energia termica scambiata per trasmissione dalla zona termica attraverso il suo involucro con l’ambiente circostante, [kWh];
- $Q_{Z,L,V}$ è l’energia termica scambiata per infiltrazione, ventilazione naturale o aerazione e ventilazione meccanica dalla zona termica con l’ambiente esterno, [kWh];
- $Q_{Z,G}$ è l’energia termica guadagnata dalla zona termica per apporti solari e interni dovuti a persone e cose, [kWh];
- $Q_{Z,rvd}$ è l’energia termica guadagnata dalla zona termica per eventuale recupero parziale delle dispersioni termiche dei sottosistemi impiantistici, [kWh];
- $W_{L,in}$ è il fabbisogno annuale di energia elettrica per la sola illuminazione fissa, definito dall’equazione (6.1) e applicabile solo a destinazioni d’uso non residenziali, [kWh];
- CE centrale elettrica;
- G_X è il sottosistema di generazione dell’energia termica di tipo X (X= H, HP, C);
- G_{HS} è il sottosistema di generazione dell’energia termica da fonte solare;
- G_{PV} è il sottosistema di generazione dell’energia elettrica da fotovoltaico;
- G_{WD} è il sottosistema di generazione dell’energia elettrica da fonte eolica;
- S è il sottosistema di accumulo termico;
- D è il sottosistema di distribuzione idronico;
- E è il sottosistema di emissione/erogazione;
- E_{UTA} è il sottosistema Unità Trattamento Aria;
- HR è il componente recuperatore termico/entalpico del sistema aria di ventilazione;
- FB è il componente ventilatore del sistema aria di ventilazione
- DA è il sottosistema distribuzione aeraulico;
- Z è il sistema involucro della zona termica.

2.5 Schematizzazione del generico sottosistema impiantistico

Per ogni sottosistema, identificato con il pedice Y, appartenente al servizio X, vale, in generale, il seguente bilancio energetico:

$$Q_{X,Y,in} + W_{X,Y} + Q_{\psi,Z,Js,rvd,X,Y} = Q_{X,Y,out} + Q_{X,Y,L} \quad (2.38)$$

dove:

- $Q_{X,Y,in}$ è l'energia termica in ingresso al generico sottosistema Y-esimo del servizio X, [kWh];
- $W_{X,Y}$ è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del generico sottosistema Y-esimo del servizio X, [kWh];
- $Q_{\Psi,Z,ls,rvd,X,Y}$ è l'energia termica recuperata dal sottosistema Ψ del servizio Z in ingresso al generico sottosistema Y-esimo del servizio X, [kWh];
- $Q_{X,Y,out}$ è l'energia termica richiesta al generico sottosistema Y-esimo del servizio X, [kWh];
- $Q_{X,Y,L}$ è l'energia termica dispersa complessivamente dal generico sottosistema Y-esimo del servizio X, [kWh].

Secondo la metodologia di calcolo del presente dispositivo per ciascun sottosistema, conoscendo il fabbisogno di energia termica in uscita, si deve determinare il fabbisogno di energia termica in ingresso. Nel computo dei fabbisogni energetici di ciascun sottosistema si considerano sia gli eventuali recuperi termici da altri sottosistemi, sia i consumi degli ausiliari elettrici e l'energia termica recuperata da questi ultimi (ossia l'energia elettrica dissipata sotto forma di calore). L'energia termica prodotta dagli ausiliari elettrici di un sottosistema si considera nel bilancio termico del sottosistema stesso, e va valutata correttamente in funzione del tipo di servizio fornito dal sottosistema:

a) **sottosistema di un servizio di climatizzazione invernale o riscaldamento, ventilazione, produzione acqua calda sanitaria:**

l'energia termica prodotta dagli ausiliari va portata in detrazione, per la quota recuperata, all'energia richiesta in ingresso in quanto costituisce un "guadagno", cioè un contributo all'energia termica che il sottosistema deve fornire;

b) **sottosistema di un servizio di climatizzazione estiva o raffrescamento:**

l'energia termica prodotta dagli ausiliari va portata in aggiunta, per la quota recuperata, all'energia richiesta in ingresso in quanto costituisce una "perdita", cioè un'ulteriore quota di energia termica che il sottosistema deve fornire per compensare il riscaldamento non desiderato dovuto all'azione degli ausiliari.

In termini generali, ai fini di una completa identificazione e di una ripartizione tra i fabbisogni energetici, ciascun sottosistema può essere caratterizzato, oltre che da una sigla che lo identifica, Y, da una sigla che definisce il servizio al quale è dedicato, X (ad esempio sottosistema di distribuzione dedicato al servizio riscaldamento o al servizio raffrescamento).

Tale notazione con due sigle, ad esempio X ed Y, risulta utile nei casi in cui si consideri il recupero di perdite termiche di un sottosistema Ψ dedicato al servizio Z da parte di un sottosistema Y dedicato al servizio X (ad esempio recupero da sottosistema per servizio acqua calda sanitaria in sottosistema per servizio riscaldamento). In questo caso il termine recupero viene utilizzato per indicare che il sottosistema Y del servizio X acquisisce energia termica dal sottosistema Ψ dedicato al servizio Z; se poi tale acquisizione

comporti un effetto positivo (riduzione dell'energia richiesta dal sottosistema) o negativo (incremento dell'energia richiesta dal sottosistema) dipenderà dalla specifica funzione assoluta (riscaldamento, raffrescamento, ecc.).

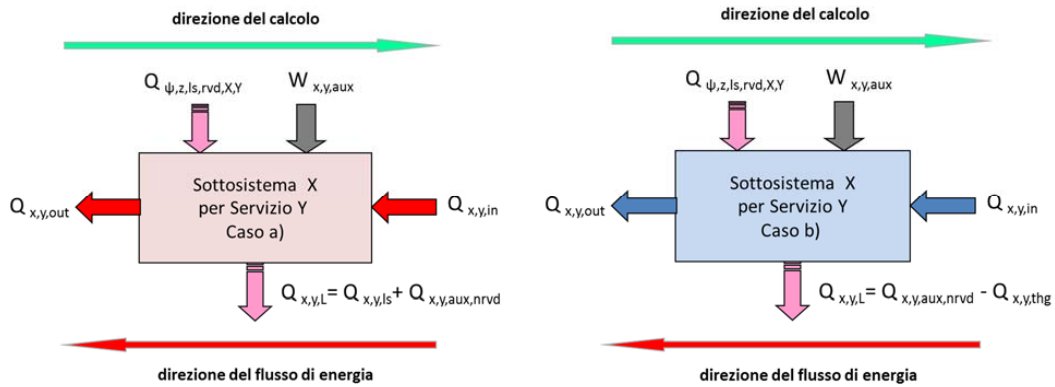


Figura 2.5- Descrizione funzionale del sottosistema y del sistema impiantistico x: caso a) e caso b)

Con riferimento alla Figura 2.5, per ciascun sottosistema Y dedicato al servizio X, si devono determinare:

- il fabbisogno di energia richiesto in ingresso del sottosistema $Q_{x,y,in}$;
- l'energia ausiliaria totale richiesta $W_{x,y,aux}$;
- le perdite complessive (caso a) o nette (caso b) $Q_{x,y,L}$;

sulla base di:

- energia utile da fornire in uscita $Q_{x,y,out}$;
- le perdite recuperate dal sottosistema Ψ dedicato al servizio Z e acquisite dal sottosistema Y, $Q_{\psi,z,ls,rbi}$;
- caratteristiche del sottosistema, del servizio e le condizioni di funzionamento dell'impianto.

Per ciascun sottosistema, se si definiscono in modo più dettagliato i processi che avvengono al suo interno tramite la Figura 2.6 e la Figura 2.7, valgono nei due casi a) e b) le seguenti equazioni di bilancio termico:

$$\text{caso a)} \quad Q_{x,y,in} = Q_{x,y,out} + Q_{x,y,ls} - (Q_{\psi,z,ls,rvd,X,Y} + Q_{x,y,aux,rvd}) \quad (2.39)$$

$$\text{caso b)} \quad Q_{x,y,in} = Q_{x,y,out} + Q_{x,y,thg} + (Q_{\psi,z,ls,rvd,X,Y} + Q_{x,y,aux,rvd}) \quad (2.40)$$

dove:

- $Q_{x,y,in}$ è l'energia termica in ingresso al sottosistema Y dedicato al servizio X;
- $Q_{x,y,out}$ è l'energia termica in uscita al sottosistema Y dedicato al servizio X;
- $Q_{x,y,ls}$ sono le perdite di energia termica di processo del sottosistema Y dedicato al servizio X (solo caso a);
- $Q_{x,y,thg}$ sono i guadagni energia termica del sottosistema Y dedicato al servizio X (solo caso b);

- $Q_{X,Y,aux,rvd}$ è l'energia termica recuperata dall'energia elettrica dissipata sotto forma di calore dagli ausiliari del sottosistema Y;
- $Q_{\Psi,Z,ls,rvd,X,Y}$ sono le perdite di energia termica dal sottosistema Ψ dedicato al servizio Z recuperate dal sottosistema Y del servizio X.

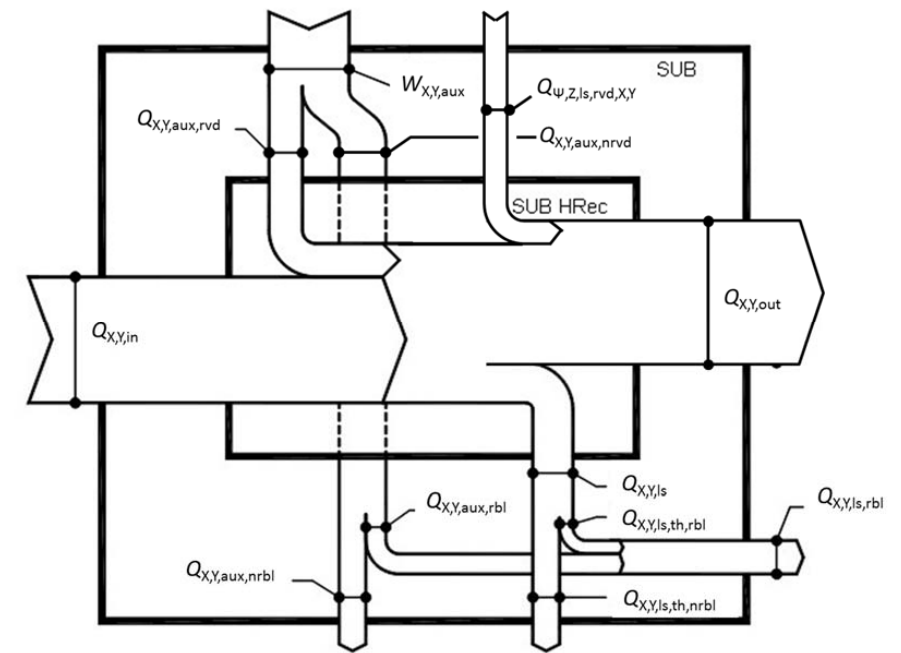


Figura 2.6- Schema di bilancio energetico di un sottosistema di un servizio di climatizzazione invernale o riscaldamento, ventilazione, produzione acqua calda sanitaria

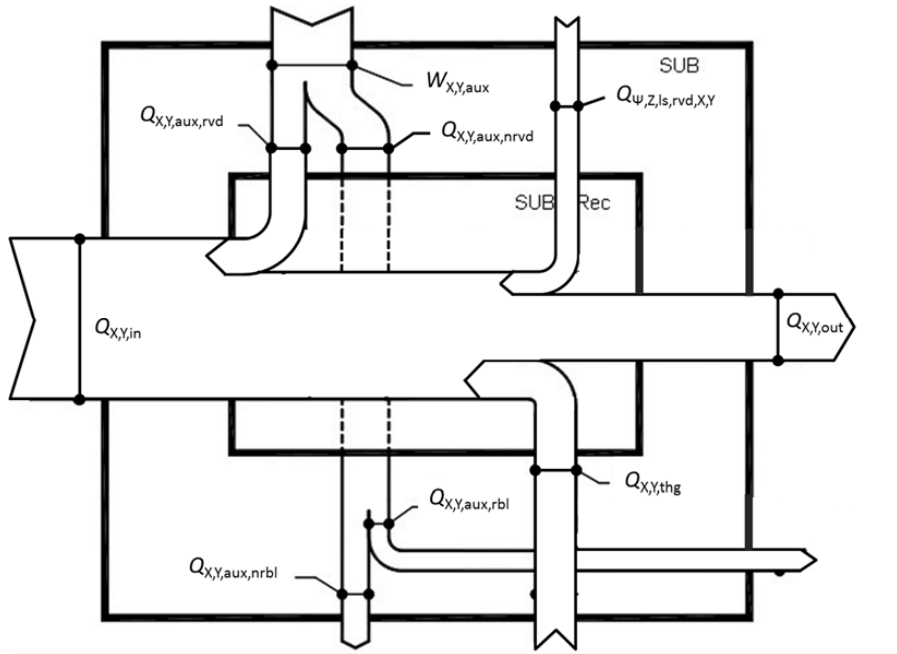


Figura 2.7- Schema di bilancio energetico di un sottosistema di un servizio di climatizzazione estiva o raffreddamento

NOTA : La necessità di scrivere due equazioni di bilancio distinte deriva dal fatto che, nel presente dispositivo, le energie sono sempre prese in modulo (cioè definite positive).

Nel caso di impossibilità di acquisire perdite termiche di altri sottosistemi, per il sottosistema Y del servizio X le formule (2.39)e (2.40) diventano:

caso a)
$$Q_{X,Y,in} = Q_{X,Y,out} + (Q_{X,Y,ls} - Q_{X,Y,aux,rvd}) \tag{2.41}$$

caso b)
$$Q_{X,Y,in} = Q_{X,Y,out} + (Q_{X,Y,thg} + Q_{X,Y,aux,rvd}) \tag{2.42}$$

e, nel caso di utilizzo di valori precalcolati delle perdite e dei guadagni, questi si considerano complessivamente, cioè:

caso a)
$$Q_{X,Y,in} = Q_{X,Y,out} + Q_{X,Y,ls,net} \tag{2.43}$$

caso b)
$$Q_{X,Y,in} = Q_{X,Y,out} + Q_{X,Y,thg,tot} \tag{2.44}$$

con

$$Q_{X,Y,ls,net} = Q_{X,Y,ls} - Q_{X,Y,aux,rvd} \tag{2.45}$$

$$Q_{X,Y,thg,tot} = Q_{X,Y,thg} + Q_{X,Y,aux,rvd} \tag{2.46}$$

Secondo l'equazione (2.43) l'energia termica in ingresso al sottosistema X del servizio di tipo a) è pari all'energia termica necessaria a soddisfare il fabbisogno in uscita maggiorata delle perdite al netto dei recuperi. Secondo l'equazione (2.44) l'energia termica in ingresso al sottosistema X del servizio di tipo b) è pari all'energia termica necessaria a soddisfare il fabbisogno in uscita maggiorata dei guadagni totali.

In questi casi i valori precalcolati non vengono assegnati in valore assoluto ma in forma adimensionale attraverso un rendimento definito come rapporto tra l'energia termica di processo in uscita e quella in ingresso, cioè:

$$\eta_{x,y} = Q_{x,y,out} / Q_{x,y,in} \quad (2.47)$$

da cui le perdite nette o i guadagni totali sono calcolabili come:

$$Q_{x,y,ls,net} = (1/\eta_{x,y} - 1) \cdot Q_{x,y,out} \quad (2.48)$$

$$Q_{x,y,thg,tot} = (1/\eta_{x,y} - 1) \cdot Q_{x,y,out} \quad (2.49)$$

Ai fini della presente procedura di calcolo la determinazione del rendimento del sottosistema Y-esimo, $\eta_{x,y}$, si effettua utilizzando i prospetti contenenti dati precalcolati in funzione della tipologia di sottosistema e di uno o più parametri caratteristici.

Si presti attenzione al fatto che, per ciascun sottosistema, il bilancio energetico è espresso in energia termica e non in energia primaria. L'opportuna conversione in energia primaria è effettuata solo sui fabbisogni all'ingresso dei confini dell'edificio in funzione dei vettori energetici utilizzati per soddisfarne i fabbisogni.

2.5.1 Perdite termiche

Le perdite termiche totali di ciascun sottosistema si suddividono in:

- non recuperabili (**nrbl**): energia termica non recuperabile (ad es. tubazioni con fluido termovettore caldo correnti all'esterno dell'edificio);
- recuperabili (**rbl**): energia termica che può essere recuperata (ad es. tubazioni con fluido termovettore caldo correnti all'interno dello spazio riscaldato);
- recuperate (**rvd**): frazione delle perdite di energia termica recuperabile che effettivamente viene recuperata e che quindi può essere detratta dal fabbisogno di energia termica utile;
- non recuperate (**nrvd**): frazione delle perdite di energia termica recuperabile che non viene recuperata.

Con riferimento alla Figura 2.6, in un sottosistema dotato di ausiliari, in generale l'energia assorbita dagli ausiliari si suddivide come:

$$W_{x,y} = Q_{x,y,aux} = Q_{x,y,aux,rvd} + Q_{x,y,aux,nrvd} = Q_{x,y,aux,rvd} + Q_{x,y,aux,rbl} + Q_{x,y,aux,nrbl} \quad (2.50)$$

dove:

$W_{x,y}$ è il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del generico sottosistema Y-esimo dedicato al servizio X, [kWh];

$Q_{x,y,Aux,rvd}$ è la quota recuperata dell'energia elettrica degli ausiliari in termini di incremento dell'energia termica in uscita al sottosistema Y-esimo dedicato al servizio X, [kWh];

$Q_{x,y,Aux,nrvd}$ è la quota dispersa dell'energia elettrica degli ausiliari verso l'ambiente esterno al sottosistema Y-esimo dedicato al servizio X, [kWh], di cui una quota può essere recuperata **da altri sottosistemi** dello stesso o di altri servizi mentre la restante parte non può comunque essere recuperata, cioè:

$$Q_{X,Y,aux,nrvd} = Q_{X,Y,aux,rbl} + Q_{X,Y,aux,nrbl} \quad (2.51)$$

dove:

$Q_{X,Y,aux,rbl}$ è la quota recuperabile da altro sottosistema dell'energia termica non recuperata dal sottosistema Y dedicato al servizio X dall'energia elettrica dissipata sotto forma di calore dai suoi ausiliari, [kWh];

$Q_{X,Y,aux,nrbl}$ è la quota non recuperabile da altro sottosistema dell'energia termica non recuperata dal sottosistema Y dedicato al servizio X dall'energia elettrica dissipata sotto forma di calore dai suoi ausiliari, [kWh].

In generale le quote di energia recuperata e non recuperata **all'interno dello stesso sottosistema** dell'energia elettrica dissipata sotto forma di calore dai suoi ausiliari, $Q_{X,Y,aux,rvd}$, sono calcolate come:

$$Q_{X,Y,aux,rvd} = k_{X,Y} \cdot W_{X,Y} \quad (2.52)$$

$$Q_{X,Y,aux,nrvd} = (1 - k_{X,Y}) \cdot W_{X,Y} \quad (2.53)$$

dove:

$k_{X,Y}$ è il **fattore di recupero** dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari del generico sottosistema Y-esimo del servizio X, compreso tra 0 e 1.

Allo stesso modo la perdita di energia termica di processo (nel caso a) si suddivide in quota recuperabile o non recuperabile **da altro sottosistema**, come:

$$Q_{X,Y,ls} = Q_{X,Y,ls,rbl} + Q_{X,Y,ls,nrbl} \quad (2.54)$$

dove:

$Q_{X,Y,ls,rbl}$ è la quota recuperabile da altro sottosistema della perdita di energia termica di processo del sottosistema Y dedicato al servizio X, [kWh];

$Q_{X,Y,ls,nrbl}$ è la quota non recuperabile da altro sottosistema della perdita di energia termica di processo del sottosistema Y dedicato al servizio X, [kWh].

Nel presente dispositivo si adotta il metodo semplificato per cui, dalle perdite totali $Q_{X,Y,L}$, definite per la Figura 2.6 come:

$$Q_{X,Y,L} = Q_{X,Y,ls} + Q_{X,Y,aux,nrvd} \quad (2.55)$$

le perdite del sottosistema Y dedicato al servizio X e **recuperabili** dal sottosistema Ψ del servizio Z,

$Q_{X,Y,ls,rbl,\Psi,Z}$ sono date da:

$$Q_{X,Y,ls,rbl,\Psi,Z} = k_{X,Y,ls,rbl,\Psi,Z} \cdot Q_{X,Y,L} \quad (2.56)$$

dove:

$k_{X,Y,ls,rbl,\Psi,Z}$ è il **fattore di recuperabilità** delle perdite totali del sottosistema Y, dedicato al servizio X, da parte sottosistema ψ del servizio Z. Se Z ed X coincidono, Z può essere omissa, [-].

e le perdite del sottosistema Y dedicato al servizio X **recuperate** per il servizio Z dal sottosistema ψ ,

$Q_{X,Y,ls,rvd,\Psi,Z}$, sono date da:

$$Q_{X,Y,ls,rvd,\Psi,Z} = k_{X,Y,ls,rvd,\Psi,Z} \cdot Q_{X,Y,ls,rbl,\Psi,Z} \quad (2.57)$$

dove:

$k_{x,y,ls,rvd,\psi,z}$ è il **fattore di recupero** delle perdite recuperabili del sottosistema Y, dedicato al servizio X, da parte del sottosistema ψ del servizio Z. Se Z ed X coincidono, Z può essere omissso, [-].

Nel presente dispositivo, in casi particolari ben specificati, (sottosistemi che hanno più elementi tecnici al proprio interno termicamente interagenti), le perdite recuperabili da uno di tali elementi vengono totalmente o parzialmente recuperate da un altro di tali elementi. In tal caso si tiene conto di tale recupero interno, riducendo di tale quota o le perdite totali o direttamente l'energia richiesta in ingresso.

Nel caso di metodi analitici, come quello riportato in Appendice J, i fattori di recuperabilità e di recupero sono riferiti ai singoli elementi di perdita e non al totale. Le perdite recuperabili totali sono la somma delle perdite recuperabili dei singoli elementi del sottosistema.

2.5.2 Guadagni termici o perdite frigorifere

I sottosistemi dei servizi di tipo b), che impiegano un fluido termovettore freddo, sono soggetti non a perdite termiche di processo ($Q_{x,y,ls}$) ma a guadagni termici ($Q_{x,y,thg}$), cioè l'energia fluisce per differenza di temperatura dall'ambiente circostante al fluido termovettore (vedasi Figura 2.7). Siccome l'energia termica richiesta per mantenere, in condizioni ideali, l'edificio nelle condizioni assegnate di temperatura, $Q_{c,nd}$, è data in modulo (cioè come quantità positiva), anche tali guadagni termici sono presi definiti positivi, in modo che sommati all'energia "frigorifera" che deve essere fornita dal sottosistema, l'energia "frigorifera" in ingresso risulti maggiore e quindi in grado di compensare tali guadagni termici. Se si adotta l'attributo "frigorifero" per il fluido termovettore freddo, in tal caso il suddetto guadagno termico, $Q_{x,y,thg}$, può essere indicato come una "perdita frigorifera", in similitudine alle perdite termiche (fluido termovettore caldo).

I guadagni termici, o perdite frigorifere, non sono divisibili come le perdite termiche di processo in recuperabili e non recuperabili, ma sono considerati tutti acquisiti dal sottosistema causando l'incremento dell'energia frigorifera richiesta. Costituiscono un dato di ingresso che va comunque determinato o con l'approccio analitico, come, ad esempio riportato nella Appendice J per quanto riguarda il sottosistema di distribuzione sia idronico che aeraulico, **prendendo sempre il modulo della perdita determinata con le procedure lì riportate**, o con l'approccio semplificato, come indicato nell'equazione (2.49), tramite il rendimento del sottosistema $\eta_{x,y}$ definito dalla equazione (2.47).

L'energia elettrica assorbita dagli ausiliari invece si suddivide anche in questo caso come riportato nell'equazione (2.50), in una quota "recuperata" e in una non recuperata; ma in questo caso la quota recuperata, $Q_{x,y,aux,rvd}$, costituisce un guadagno e comporta anch'essa un incremento dell'energia frigorifera richiesta (in input) (vedasi Figura 2.7).

La somma dei guadagni termici (o perdite frigorifere) e della quota recuperata dell'energia elettrica assorbita dagli ausiliari costituisce il guadagno termico totale, $Q_{x,y,thg,tot}$, così come definito dall'equazione (2.46).

2.6 Perdite recuperabili e fabbisogno termico netto

La procedura di calcolo del fabbisogno di energia primaria dell'edificio segue, nella sua applicazione, un percorso inverso a quello delineato dai flussi di energia tra i vari sottosistemi, come riportato in Figura 2.5. Il calcolo parte quindi dai fabbisogni termici della zona termica (o edificio se mono-zona), nelle sue varie componenti, e procede a ritroso con la determinazione delle perdite termiche di ogni sottosistema e degli assorbimenti elettrici degli ausiliari. Note tali perdite è possibile calcolare la quota eventualmente recuperata dal sistema involucro della zona termica nel mese m , $Q_{z,rvd,m}$, definita come:

$$Q_{z,rvd,m} = \sum_{x=1}^{N_{imp}} \sum_{y=1}^{N_{sub}} (f_{R,x,y} \cdot Q_{x,y,L})_m \quad (2.58)$$

dove:

- $Q_{z,rvd}$ è la quota parte delle perdite termiche dei sottosistemi recuperata dal sistema involucro della zona termica considerata, [kWh];
- $Q_{x,y,L}$ è l'energia termica dispersa complessivamente dal generico sottosistema y -esimo appartenente al sistema impiantistico x -esimo, tale grandezza può essere sia positiva (perdita) sia negativa (guadagno), [kWh];
- $f_{R,x,y}$ è il fattore di recupero dell'energia termica dispersa complessivamente dal generico sottosistema y -esimo appartenente al sistema impiantistico x -esimo, [-];
- N_{imp} è il numero di sistemi impiantistici che servono la zona termica considerata, [-];
- N_{sub} è il numero di sottosistemi impiantistici che servono la zona termica considerata, [-];
- m è l'indice del mese, [-].

In presenza di perdite recuperate occorre ripetere il calcolo partendo dal fabbisogno termico netto della zona termica nel mese m , definito come:

$$Q_{NH,adj,Z,m}^* = Q_{NH,adj,Z,m} - Q_{z,rvd,m} \quad (2.59)$$

$$Q_{NC,adj,Z,m}^* = Q_{NC,adj,Z,m} + Q_{z,rvd,m} \quad (2.60)$$

dove:

- $Q_{NH,adj,Z}^*$ è il fabbisogno di energia termica per il solo riscaldamento "sensibile" della zona termica Z al netto delle perdite recuperate, [kWh];
- $Q_{NC,adj,Z}^*$ è il fabbisogno di energia termica per il solo raffrescamento "sensibile" della zona termica Z al netto delle perdite recuperate, [kWh];
- $Q_{z,rvd}$ è la quota parte delle perdite termiche dei sottosistemi recuperata dal sistema involucro della zona termica Z considerata, [kWh];
- m è l'indice del mese, [-].

Il calcolo così impostato richiederebbe di procedere per iterazioni successive, giacché cambiando il fabbisogno termico netto della zona variano anche le perdite dei vari sottosistemi impiantistici, la loro quota recuperata e quindi ancora il fabbisogno termico netto definito sopra.

Per evitare tali iterazioni, si considerano nulli tutti i fattori di recupero dell'energia termica dispersa complessivamente da ogni sottosistema impiantistico relativo ad ogni servizio, ad esclusione di quelli relativi alla produzione, all'accumulo, alla distribuzione e all'erogazione dell'acqua calda sanitaria; cioè:

$$Q_{Z,rvd} = \sum_{j=1}^{N_{sub}} Q_{Z,rvd,j} \quad (2.61)$$

dove:

$Q_{Z,rvd}$ è il totale delle perdite termiche del sistema impiantistico per la produzione di acqua calda sanitaria asservito alla produzione di acqua calda sanitaria recuperate dal sistema fabbricato della zona Z, [kWh], così come calcolato al § 7.8;

$Q_{Z,rvd,j}$ è la quota recuperata nella zona Z della perdita termica del sottosistema j-esimo del sistema impiantistico per la produzione di acqua calda sanitaria, [kWh], così come definito al § 7.8;

N_{sub} è il numero di sottosistemi impiantistici che servono la zona termica considerata.

I termini $Q_{w,y,L}$ sono sempre positivi (solo perdite) e quindi $Q_{Z,rvd}$ è sempre definito positivo, sia nella stagione di riscaldamento sia nella stagione di raffrescamento.

Di conseguenza prima di procedere al calcolo del fabbisogno di energia primaria per gli altri servizi erogati, occorre calcolare la richiesta di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria e le relative perdite.

2.7 Ripartizione delle potenze termiche/elektriche ed assorbimenti elettrici da considerare nel calcolo

Nel caso in cui l'edificio, o la porzione di edificio oggetto di certificazione energetica, sia servito da uno o più sistemi di generazione e ausiliari elettrici condivisi con altri edifici o porzioni di edificio non coinvolti nella certificazione, le potenze termiche/elektriche devono essere corrette o in funzione del fabbisogno di energia termica dell'involucro delle zone termiche oggetto di certificazione o in funzione dell'effettivo volume lordo considerato.

Gli assorbimenti elettrici da considerare nel calcolo sono quelli di progetto, in assenza di tali dati si assumono le potenze elettrici di targa.

2.8 Efficienza energetica dell'edificio e dell'impianto termico

La caratterizzazione della prestazione energetica dell'edificio e dell'impianto termico è realizzata attraverso l'introduzione del concetto di efficienza energetica, che è definita in generale come il rapporto tra l'effetto richiesto e la spesa effettuata per ottenerlo. Tale definizione di efficienza fa sempre riferimento alla spesa energetica in termini di energia primaria, indipendentemente dalla effettiva sorgente o vettore energetico impiegato, per consentire la comparabilità delle diverse soluzioni impiantistiche ai fini della riduzione dell'impiego dei combustibili fossili e della CO₂.

Si definiscono quindi più efficienze per mettere in evidenza i vari processi di conversione dell'energia legati ai diversi servizi, riscaldamento e climatizzazione invernale, raffrescamento e climatizzazione estiva, ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione, produzione di energia elettrica e/o termica; si definiscono inoltre delle efficienze globali, sia per i diversi servizi, sia per l'edificio, per caratterizzarne complessivamente la prestazione.

2.8.1 Efficienza globale media annuale dell'edificio

L'efficienza globale media annuale dell'edificio corrisponde all'efficienza dell'impianto termico e dell'impianto di illuminazione (quest'ultimo considerato nel calcolo solo per destinazioni d'uso diverse da quella residenziale) nel suo complesso, $\varepsilon_{g,yr}$, ed è il rapporto tra il fabbisogno di energia termica ed elettrica per l'insieme dei servizi forniti (riscaldamento e climatizzazione invernale, raffrescamento e climatizzazione estiva, ventilazione, produzione di acqua calda per usi sanitari, illuminazione ove richiesto) e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari. Tale valore viene determinato secondo la:

$$\varepsilon_{g,yr} = \frac{Q_{BH,yr} + Q_{Bh,hum,yr} + Q_{BC,yr} + Q_{Bh,dhum,yr} + Q_{DHW,yr} + E_{L,el,in}}{E_p} \quad (2.62)$$

dove:

- $\varepsilon_{g,yr}$ è l'efficienza globale media annuale dell'edificio, [-];
- $Q_{BH,yr}$ è il fabbisogno annuale di energia termica di riferimento per il riscaldamento o la climatizzazione invernale, definito dall'equazione (3.1), [kWh];
- $Q_{Bh,hum,yr}$ è il fabbisogno annuale di entalpia per l'umidificazione, definito dall'equazione (3.2), [kWh];
- $Q_{BC,yr}$ è il fabbisogno annuale di energia termica di riferimento per il raffrescamento o climatizzazione estiva, definito dall'equazione (3.2), [kWh];
- $Q_{Bh,dhum,yr}$ è il fabbisogno annuale di entalpia per la deumidificazione, definito dall'equazione (3.2), [kWh];
- $Q_{DHW,yr}$ è il fabbisogno annuale di energia termica per la produzione di acqua calda ad uso sanitario, definito dall'equazione (5.1) [kWh];
- $E_{L,el,in}$ è il fabbisogno annuale di energia elettrica per la sola illuminazione fissa, definito dall'equazione (6.1) e considerato solo per destinazioni d'uso non residenziali, [kWh];

E_P è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio per il riscaldamento e la climatizzazione invernale, il raffrescamento e la climatizzazione estiva, la ventilazione, la produzione di acqua calda per usi sanitari, l'illuminazione ove richiesto, definito dall'equazione (2.10), [kWh].

2.8.2 Efficienza globale media annuale per il riscaldamento

L'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per il servizio di riscaldamento, $\varepsilon_{gH,yr}$, è il rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il servizio di riscaldamento e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari utilizzata per tale servizio. Tale valore viene determinato secondo la:

$$\varepsilon_{gH,yr} = \frac{Q_{BH,yr}}{E_{PH}} \quad (2.63)$$

dove:

$\varepsilon_{gH,yr}$ è l'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per il riscaldamento o la climatizzazione invernale, [-];

$Q_{BH,yr}$ è il fabbisogno annuale di energia termica di riferimento per il riscaldamento o la climatizzazione invernale, definito dall'equazione (3.1), [kWh];

E_{PH} è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio per il riscaldamento o la climatizzazione invernale dell'edificio definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.3 Efficienza globale media annuale per la climatizzazione invernale

L'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale, $\varepsilon_{gHA,yr}$, è il rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il servizio di climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari utilizzata per tale servizio. Tale valore viene determinato secondo la:

$$\varepsilon_{gHA,yr} = \frac{Q_{BH,yr} + Q_{Bh,um,yr}}{E_{PHA}} \quad (2.64)$$

dove:

$\varepsilon_{gHA,yr}$ è l'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per la climatizzazione invernale;

$Q_{BH,yr}$ è il fabbisogno annuale di energia termica di riferimento per la climatizzazione invernale, definito dall'equazione (3.1), [kWh];

$Q_{Bh,um,yr}$ è il fabbisogno annuale di entalpia per l'umidificazione, definito dall'equazione (4.1), [kWh];

E_{PHA} è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio per il riscaldamento o la climatizzazione invernale dell'edificio definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.4 Efficienza globale media annuale per il raffrescamento

L'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per il servizio di raffrescamento ambientale, $\varepsilon_{gC,yr}$, è il rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il servizio di raffrescamento ambientale e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari utilizzata per tale servizio. Tale valore viene determinato secondo la:

$$\varepsilon_{gC,yr} = \frac{Q_{BC,yr}}{E_{PC}} \quad (2.65)$$

dove:

- $\varepsilon_{gC,yr}$ è l'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per il raffrescamento, [-];
- $Q_{BC,yr}$ è il fabbisogno annuale di energia termica di riferimento per il raffrescamento, definito dall'equazione (3.2), [kWh];
- E_{PC} è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio per il raffrescamento dell'edificio definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.5 Efficienza globale media annuale per la climatizzazione estiva

L'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione estiva, $\varepsilon_{gCA,yr}$, è il rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il servizio di raffrescamento ambientale o climatizzazione estiva e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari utilizzata per tale servizio. Tale valore viene determinato secondo la:

$$\varepsilon_{gCA,yr} = \frac{Q_{BC,yr} + Q_{Bh,dhum,yr}}{E_{PCA}} \quad (2.66)$$

dove:

- $\varepsilon_{gCA,yr}$ è l'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per la climatizzazione estiva, [-];
- $Q_{BC,yr}$ è il fabbisogno annuale di energia termica di riferimento per la climatizzazione estiva, definito dall'equazione (3.2), [kWh];
- $Q_{Bh,dhum,yr}$ è il fabbisogno annuale di entalpia per la deumidificazione, definito dall'equazione (4.1), [kWh];
- E_{PCA} è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio per la climatizzazione estiva dell'edificio definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.6 Efficienza globale media annuale per la produzione di acqua calda ad uso sanitario

L'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per il servizio acqua calda sanitaria, $\varepsilon_{gW,yr}$, è il rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il servizio produzione acqua calda sanitaria e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari utilizzata per tale servizio. Tale valore viene determinato secondo la:

$$\varepsilon_{gW, yr} = \frac{Q_{DHW, yr}}{E_{PW}} \quad (2.67)$$

dove:

$\varepsilon_{gW, yr}$ è l'efficienza globale media annuale dell'impianto termico per la produzione di acqua calda ad uso sanitario;

$Q_{DHW, yr}$ è il fabbisogno annuale di energia termica per la produzione di acqua calda ad uso sanitario, definito dall'equazione (5.1), [kWh];

E_{PW} è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio per la produzione di acqua calda ad uso sanitario definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.7 Efficienza globale media annuale per l'illuminazione

L'efficienza globale media annuale del servizio illuminazione, $\varepsilon_{gL, yr}$, è il rapporto tra il fabbisogno di energia elettrica per il servizio di illuminazione fissa e l'energia primaria delle fonti energetiche, ivi compresa l'energia elettrica dei dispositivi ausiliari utilizzata per tale servizio. Tale valore viene determinato secondo la:

$$\varepsilon_{gL, yr} = \frac{E_{L, el, in}}{E_{PL}} \quad (2.68)$$

dove:

$\varepsilon_{gL, yr}$ è l'efficienza globale media annuale del servizio di illuminazione, [-];

$E_{L, el, in}$ è il fabbisogno annuale di energia elettrica per la sola illuminazione fissa, definito dall'equazione (6.1) e applicabile solo a destinazioni d'uso non residenziali, [kWh];

E_{PL} è il fabbisogno annuale di energia primaria dell'edificio per l'illuminazione fissa definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.8 Efficienza di produzione media annuale per il riscaldamento

L'efficienza di produzione media stagionale per il servizio riscaldamento, $\varepsilon_{pH, yr}$, è il rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nell'eventuale accumulatore termico, o direttamente nella rete di distribuzione, del servizio riscaldamento o climatizzazione invernale (compresa la ventilazione meccanica) e l'energia primaria delle fonti energetiche, compresa l'energia elettrica, impiegate per tale generazione, cioè:

$$\varepsilon_{pH, yr} = \frac{Q_{H, g, out}}{E_{PH}} \quad (2.69)$$

dove:

$\varepsilon_{pH, yr}$ è l'efficienza di produzione media stagionale per il riscaldamento, [-];

$Q_{H,g,out}$ è l'energia termica fornita durante l'anno dal sottosistema di generazione al servizio di riscaldamento, [kWh];

E_{PH} è il fabbisogno annuale di energia primaria per il riscaldamento ambientale definito dall'equazione (2.11), in [kWh].

2.8.9 Efficienza di produzione media annuale per la climatizzazione invernale

L'efficienza di produzione media stagionale per il servizio climatizzazione invernale, $\epsilon_{pHA,yr}$, è il rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nell'eventuale accumulatore termico, o direttamente nella rete di distribuzione, del servizio climatizzazione invernale (compresa la ventilazione meccanica) e l'energia primaria delle fonti energetiche, compresa l'energia elettrica, impiegate per tale generazione, cioè:

$$\epsilon_{pHA, yr} = \frac{Q_{HA, g, out}}{E_{PHA}} \quad (2.70)$$

dove:

$\epsilon_{pHA, yr}$ è l'efficienza di produzione media stagionale per la climatizzazione invernale, [-];

$Q_{HA, g, out}$ è l'energia termica fornita durante l'anno dal sottosistema di generazione al servizio della climatizzazione invernale, [kWh];

E_{PHA} è il fabbisogno annuale di energia primaria per la climatizzazione invernale definito dall'equazione (2.11), in [kWh].

2.8.10 Efficienza di produzione media annuale per il servizio raffrescamento

L'efficienza di produzione media stagionale per il servizio raffrescamento, $\epsilon_{pC, yr}$, è il rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nell'eventuale accumulatore termico, o direttamente nella rete di distribuzione, del servizio di raffrescamento e l'energia primaria delle fonti energetiche, compresa l'energia elettrica, impiegate per tale generazione, cioè:

$$\epsilon_{pC, yr} = \frac{Q_{C, g, out}}{E_{PC}} \quad (2.71)$$

dove:

$\epsilon_{pC, yr}$ è l'efficienza di produzione media stagionale per il raffrescamento, [-];

$Q_{C, g, out}$ è l'energia termica fornita durante l'anno dal sottosistema di generazione al servizio di raffrescamento, [kWh];

E_{PC} è il fabbisogno annuale di energia primaria per il raffrescamento definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.11 Efficienza di produzione media annuale per il servizio climatizzazione estiva

L'efficienza di produzione media stagionale per il servizio di climatizzazione estiva, $\epsilon_{pCA, yr}$, è il rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nell'eventuale accumulatore termico, o direttamente nella rete

di distribuzione, del servizio di climatizzazione estiva (compresa la deumidificazione con o senza post-riscaldamento) e l'energia primaria delle fonti energetiche, compresa l'energia elettrica, impiegate per tale generazione, cioè:

$$\epsilon_{pCA,yr} = \frac{Q_{C,g,out} + Q_{HCA,g,out}}{E_{PCA}} \quad (2.72)$$

dove:

$\epsilon_{pAC,yr}$ è l'efficienza di produzione media stagionale per la climatizzazione estiva, [-];

$Q_{C,g,out}$ è l'energia termica fornita durante l'anno dal sottosistema di generazione al servizio di climatizzazione estiva (sensibile + latente), [kWh];

$Q_{HCA,g,out}$ è l'energia termica fornita durante l'anno dal sistema di produzione al sottosistema di post-riscaldamento, [kWh];

E_{PCA} è il fabbisogno annuale di energia primaria per la climatizzazione estiva definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.12 Efficienza di produzione media annuale per il servizio acqua calda sanitaria

L'efficienza di produzione media stagionale per il servizio di acqua calda sanitaria, $\epsilon_{pW,yr}$, è il rapporto tra l'energia termica utile generata ed immessa nell'eventuale accumulatore termico, o direttamente nella rete di distribuzione del servizio acqua calda sanitaria e l'energia primaria delle fonti energetiche, compresa l'energia elettrica, impiegate per tale generazione, cioè:

$$\epsilon_{pC,yr} = \frac{Q_{W,s,in}}{E_{PW}} \quad (2.73)$$

dove:

$\epsilon_{pW,yr}$ è l'efficienza di produzione media annuale per la produzione di acqua calda sanitaria;

$Q_{W,g,out}$ è l'energia termica fornita durante l'anno dal sottosistema di generazione al servizio acqua calda sanitaria, [kWh];

E_{PW} è il fabbisogno annuale di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria definito dall'equazione (2.11), [kWh].

2.8.13 Efficienza di produzione media annuale per l'autoproduzione di energia elettrica

L'efficienza di produzione media stagionale per autoproduzione di energia elettrica, $\epsilon_{pE,yr}$, è il rapporto tra l'energia elettrica generata in autoproduzione, sia da fonti non rinnovabili che rinnovabili, e l'energia primaria delle fonti energetiche impiegate per tale generazione, cioè:

$$\epsilon_{pE,yr} = \frac{E_{el,exp,y} + E_{el,iu,y}}{E_{PE}} \quad (2.74)$$

dove:

$\epsilon_{pE,yr}$ è l'efficienza di produzione media annuale per l'energia elettrica autoprodotta;

$E_{el,exp,y}$ è l'energia elettrica autoprodotta esportata in un anno, calcolabile secondo la (2.29), [kWh];

$E_{el,iu,y}$ è l'energia elettrica autoprodotta autoconsumata in un anno, calcolabile secondo la (2.31), [kWh];

E_{PE} è il fabbisogno annuale di energia primaria non rinnovabile per l'energia elettrica autoprodotta, [kWh], calcolato come:

$$E_{PE} = f_{p,fuel,del} \cdot (E_{fuel-ex-el,del,y} + E_{fuel-iu-el,del,y}) + f_{p,rfuel,ren} \cdot (E_{rfuel-ex-el,del,y} + E_{rfuel-iu-el,del,y}) \quad (2.75)$$

dove:

$f_{p,fuel,del}$ è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia da combustibile fossile fornita all'edificio dal generico vettore energetico non elettrico;

$E_{fuel-ex-el,del,y}$ è la quantità annuale corretta del vettore combustibile fornito relativo alla produzione di energia elettrica non rinnovabile esportata, [kWh];

$E_{fuel-iu-el,del,y}$ è la quantità annuale corretta del vettore combustibile fornito relativo alla produzione di energia elettrica non rinnovabile autoconsumata, [kWh];

$f_{p,rfuel,ren}$ è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia da combustibile rinnovabile fornita all'edificio dal generico vettore energetico non elettrico;

$E_{rfuel-ex-el,del,y}$ è la quantità annuale corretta del vettore combustibile fornito relativo alla produzione di energia elettrica rinnovabile esportata, [kWh];

$E_{rfuel-iu-el,del,y}$ è la quantità annuale corretta del vettore combustibile fornito relativo alla produzione di energia elettrica rinnovabile autoconsumata, [kWh];

3 Fabbisogno nominale annuo di energia termica sensibile dell'edificio

3.1 Le zone termiche

Ai fini della determinazione del fabbisogno annuale di energia termica di un edificio, quest'ultimo viene suddiviso in zone termiche omogenee.

Il fabbisogno annuale di energia termica di un edificio viene quindi determinato sommando il fabbisogno energetico delle sue zone termiche.

3.2 Fabbisogno nominale annuale di energia termica dell'edificio

Il fabbisogno annuale nominale di energia termica di un edificio viene determinato sommando il fabbisogno nominale di energia termica delle singole zone termiche calcolato su base mensile, separatamente per il riscaldamento o climatizzazione invernale e per il raffrescamento o climatizzazione estiva, e viene calcolato due volte:

- una prima volta nell'ipotesi di ventilazione naturale o sola aerazione, per mettere in evidenza le caratteristiche termiche dell'involucro edilizio (valore di riferimento $Q_{BH,yr}$ e $Q_{BC,yr}$);
- una seconda volta considerando l'effettivo modo di ventilare l'edificio, per mettere in evidenza l'eventuale miglioramento di efficienza dovuto alla presenza di ventilazione meccanica e per calcolare correttamente l'energia richiesta al sistema di generazione, (valore corretto $Q_{BH,adj,yr}$ e $Q_{BC,adj,yr}$).

Si ha, quindi:

$$Q_{BH,yr} = \sum_{m=1}^{N_H} Q_{BH,m} = \sum_{m=1}^{N_H} \left(\sum_{i=1}^{N_z} Q_{NH,i,m} \right) \quad (3.1)$$

$$Q_{BH,adj,yr} = \sum_{m=1}^{N_H} Q_{BH,adj,m} = \sum_{m=1}^{N_H} \left(\sum_{i=1}^{N_z} Q_{NH,adj,i,m} \right)$$

$$Q_{BC,yr} = \sum_{m=1}^{N_C} Q_{BC,m} = \sum_{m=1}^{N_C} \left(\sum_{i=1}^{N_z} Q_{NC,i,m} \right) \quad (3.2)$$

$$Q_{BC,adj,yr} = \sum_{m=1}^{N_C} Q_{BC,adj,m} = \sum_{m=1}^{N_C} \left(\sum_{i=1}^{N_z} Q_{NC,adj,i,m} \right)$$

dove:

$Q_{BH,yr}$ è il fabbisogno annuale nominale di energia termica di riferimento per il riscaldamento o la climatizzazione invernale dell'edificio, [kWh];

$Q_{BH,adj,yr}$ è il fabbisogno annuale nominale di energia termica corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale dell'edificio, [kWh];

$Q_{BH,m}$	è il fabbisogno nominale di energia termica di riferimento per il riscaldamento o la climatizzazione invernale dell'edificio nel mese m-esimo, [kWh];
$Q_{BH,adj,m}$	è il fabbisogno nominale di energia termica corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale dell'edificio nel mese m-esimo, [kWh];
$Q_{NH,i,m}$	è il fabbisogno nominale di energia termica di riferimento per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima nel mese m-esimo, [kWh];
$Q_{NH,adj,i,m}$	è il fabbisogno nominale di energia termica corretto per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona termica i-esima nel mese m-esimo [kWh];
$Q_{BC,yr}$	è il fabbisogno annuale nominale di energia termica di riferimento per il raffrescamento o la climatizzazione estiva dell'edificio, [kWh];
$Q_{BC,adj,yr}$	è il fabbisogno annuale nominale di energia termica corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva dell'edificio, [kWh];
$Q_{BC,m}$	è il fabbisogno nominale di energia termica di riferimento per il raffrescamento o la climatizzazione estiva dell'edificio nel mese m-esimo, [kWh];
$Q_{BC,adj,m}$	è il fabbisogno nominale di energia termica corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva dell'edificio nel mese m-esimo, [kWh];
$Q_{NC,i,m}$	è il fabbisogno nominale di energia termica di riferimento per il raffrescamento o la climatizzazione estiva della zona termica i-esima nel mese m-esimo, [kWh];
$Q_{NC,adj,i,m}$	è il fabbisogno nominale di energia termica corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva della zona termica i-esima nel mese m-esimo, [kWh];
m	è il mese considerato;
i	è la zona termica considerata;
N_H	è il numero di mesi della stagione di riscaldamento (climatizzazione invernale);
N_C	è il numero di mesi della stagione di raffrescamento (climatizzazione estiva);
N_Z	è il numero delle zone termiche in cui è stato suddiviso l'edificio.

3.3 Fabbisogno nominale di energia termica della zona

Il fabbisogno nominale di energia termica della zona viene determinato separatamente per il riscaldamento o climatizzazione invernale e per il raffrescamento o climatizzazione estiva.

3.3.1 Fabbisogno nominale di energia termica per il riscaldamento o la climatizzazione invernale

Per ciascuna zona il fabbisogno nominale di energia termica per il riscaldamento o la climatizzazione invernale viene determinato, sia nella condizione di riferimento (Q_{NH}) che in quella corretta ($Q_{NH,adj}$), come segue:

$$\begin{aligned}
 Q_{NH} &= \max[0; Q_{L,H,net} - \eta_{G,H} \cdot Q_{G,H}] \\
 Q_{NH,adj} &= \max[0; Q_{L,H,net,adj} - \eta_{G,H,adj} \cdot Q_{G,H}]
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

con le condizioni:

$$\begin{aligned} \text{se } Q_{NH} < 1 & \quad \text{si pone } Q_{NH} = 0 \\ \text{se } Q_{NH,adj} < 1 & \quad \text{si pone } Q_{NH,adj} = 0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

dove:

- Q_{NH} è il fabbisogno nominale di energia termica di riferimento per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona considerata, [kWh];
- $Q_{NH,adj}$ è il fabbisogno nominale di energia termica corretta per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona considerata, [kWh];
- $Q_{L,H,net}$ è la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro, [kWh];
- $Q_{L,H,net,adj}$ è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro, [kWh];
- $\eta_{G,H}$ è il fattore di utilizzazione di riferimento degli apporti energetici gratuiti;
- $\eta_{G,H,adj}$ è il fattore di utilizzazione corretto degli apporti energetici gratuiti;
- $Q_{G,H}$ è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare entrata attraverso i componenti trasparenti, [kWh];

con:

$$\begin{aligned} Q_{L,H,net} &= Q_{L,H} - Q_{SE,O} - Q_{SE,S} \\ Q_{L,H,net,adj} &= Q_{L,H,adj} - Q_{SE,O} - Q_{SE,S} \end{aligned} \quad (3.5)$$

dove:

- $Q_{L,H,net}$ è la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro, [kWh];
- $Q_{L,H,net,adj}$ è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro, [kWh];
- $Q_{L,H}$ è la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante, [kWh];
- $Q_{L,H,adj}$ è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante, [kWh];
- $Q_{SE,O}$ è la quantità di energia solare assorbita dai componenti opachi e trasferita all'ambiente a temperatura controllata o climatizzato, [kWh];
- $Q_{SE,S}$ è la quantità di energia solare trasferita all'ambiente servito dall'impianto termico dovuta all'assorbimento di radiazione solare da parte di parete/i opaca/opache di separazione con eventuali spazi soleggiati a temperatura non controllata addossati all'involucro, equazione (3.95), [kWh].

3.3.2 Fabbisogno nominale di energia termica per il raffrescamento o la climatizzazione estiva

Per ciascuna zona, il fabbisogno nominale di energia termica per il raffrescamento o la climatizzazione estiva viene determinato, sia nella condizione di riferimento ($Q_{NC,s}$) che in quella corretta ($Q_{NC,s,adj}$), come segue:

$$\begin{aligned}
 Q_{NC} &= \max[0; Q_{G,C} - \eta_{L,C} \cdot Q_{L,C,net}] \\
 Q_{NC,adj} &= \max[0; Q_{G,C} - \eta_{L,C,adj} \cdot Q_{L,C,net,adj}]
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

con la condizione:

$$\begin{aligned}
 \text{se } Q_{NC} < 1 & \quad \text{si pone } Q_{NC} = 0 \\
 \text{se } Q_{NC,adj} < 1 & \quad \text{si pone } Q_{NC,adj} = 0
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

dove:

- Q_{NC} è il fabbisogno nominale di energia termica di riferimento per il raffrescamento o la climatizzazione estiva della zona considerata, [kWh];
- $Q_{NC,adj}$ è il fabbisogno nominale di energia termica corretto per il raffrescamento o la climatizzazione estiva della zona considerata, [kWh];
- $Q_{G,C}$ è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare, [kWh];
- $\eta_{L,C}$ è il fattore di utilizzazione di riferimento delle dispersioni termiche;
- $\eta_{L,C,adj}$ è il fattore di utilizzazione corretto delle dispersioni termiche;
- $Q_{L,C,net}$ è la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente climatizzato o a temperatura controllata e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro, [kWh];
- $Q_{L,C,net,adj}$ è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente climatizzato o a temperatura controllata e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro, [kWh];

con:

$$\begin{aligned}
 Q_{L,C,net} &= Q_{L,C} - Q_{SE,O} - Q_{SE,S} \\
 Q_{L,C,net,adj} &= Q_{L,C,adj} - Q_{SE,O} - Q_{SE,S}
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

dove:

- $Q_{L,C}$ è la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente climatizzato o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- $Q_{L,C,adj}$ è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente climatizzato o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- $Q_{SE,O}$ è la quantità di energia solare assorbita dai componenti opachi e trasferita all'ambiente climatizzato o a temperatura controllata, [kWh];
- $Q_{SE,S}$ è la quantità di energia solare trasferita all'ambiente servito dall'impianto termico dovuta all'assorbimento di radiazione solare da parte di parete/i opaca/opache di separazione con eventuali spazi soleggiati a temperatura non controllata addossati all'involucro, equazione (3.95), [kWh].

3.3.3 Energia scambiata per trasmissione e ventilazione

La quantità di energia scambiata per trasmissione e per ventilazione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, Q_L , si calcola allo stesso modo sia per il riscaldamento che per il raffrescamento, ed è data, sia nella condizione di riferimento (Q_L) che in quella corretta ($Q_{L,adj}$), da:

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_T + Q_V \\ Q_{L,adj} &= Q_T + Q_{V,adj} \end{aligned} \quad (3.9)$$

dove:

- Q_L è la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- $Q_{L,adj}$ è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- Q_T è la quantità di energia dispersa per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- Q_V è la quantità di energia di riferimento dispersa per ventilazione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- $Q_{V,adj}$ è la quantità di energia corretta trasferita per ventilazione, considerando anche la ventilazione meccanica, ibrida, notturna o in presenza di un impianto di climatizzazione a tutt'aria o aria primaria, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante [kWh].

3.3.4 Apporti mensili di calore gratuiti

Gli apporti mensili di calore gratuiti, interni e solari, nella zona climatizzata o a temperatura controllata, devono essere calcolati mediante la seguente relazione:

$$Q_G = Q_I + Q_{SI} + Q_{SI,S} \quad (3.10)$$

dove:

- Q_G è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare, [kWh];
- Q_I è la quantità di energia gratuita dovuta ad apparecchiature elettriche e persone, [kWh];
- Q_{SI} è la quantità di energia gratuita dovuta alla radiazione solare entrante attraverso le superfici trasparenti rivolte direttamente verso l'ambiente esterno, [kWh];
- $Q_{SI,S}$ è la quantità di energia gratuita dovuta alla radiazione solare entrate attraverso le superfici trasparenti rivolte verso uno spazio soleggiato addossato all'involucro, equazione (3.62), [kWh].

3.3.5 Energia scambiata per trasmissione

La quantità di energia scambiata per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, Q_T , è data da:

$$Q_T = H_T \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t + \Delta Q_{T,R} \quad (3.11)$$

dove:

- Q_T è la quantità totale di energia trasferita per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];

- H_T è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $\Delta\theta$ è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, θ_i , e il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna, θ_e , [°C];
- Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];
- $\Delta Q_{T,R}$ è il complemento all'energia trasferita per radiazione superficiale esterna dalla zona climatizzata o a temperatura controllata all'ambiente esterno per una temperatura media radiante dell'ambiente esterno minore di quella dell'aria (si veda la (3.32)), [kWh];

con:

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_e \quad (3.12)$$

θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda § 1.4, [°C];

θ_e è il valore medio della temperatura giornaliera esterna media mensile (si veda § 3.3.5.1), [°C];

e con:

$$\Delta t = \frac{24 \cdot N_k}{1000} \quad (3.13)$$

N_k è il numero dei giorni del mese k -esimo considerato, così come definiti nel paragrafo § 1.4, equazioni (1.3) e (1.6).

3.3.5.1 Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di Provincia, θ_e^r , sono riportati nell'Allegato 1 - Prospetto I.

Per la definizione della temperatura media giornaliera dell'aria esterna nel Comune considerato, θ_e , si applica una temperatura corretta che tiene conto della diversa localizzazione e altitudine del Comune considerato rispetto al capoluogo di Provincia, applicando il seguente criterio:

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

$$\theta_e = \theta_e^r - (z - z^r) \cdot \delta \quad (3.14)$$

dove:

- θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna, [°C];
- θ_e^r è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera dell'aria esterna nel capoluogo di riferimento (Allegato 1 - Prospetto I), [°C];
- z è l'altitudine s.l.m. del Comune considerato, [m];
- z^r è l'altitudine s.l.m. del capoluogo di riferimento (Allegato 1 - Prospetto I), [m];
- δ è il gradiente verticale di temperatura, il cui valore è assunto pari a 1/178, [°C/m].

3.3.5.2 Coefficiente di scambio termico per trasmissione

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione, H_T , che tiene conto delle perdite o guadagni termici attraverso le strutture che separano la zona termica considerata dall'ambiente circostante, è dato dalla:

$$H_T = \sum_k A_{L,k} \cdot U_k \cdot \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e} \quad (3.15)$$

dove:

- H_T è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $A_{L,k}$ è l'area lorda della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente circostante, [m²];
- U_k è la trasmittanza termica media della struttura k-esima, che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [W/m²K];
- θ_a è la temperatura media mensile dell'ambiente circostante che, se non è esterno, viene calcolata secondo la metodologia descritta all'Appendice A, anche nel caso in cui sia un ambiente soleggiato (serra), [°C];
- θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda § 1.4), [°C];
- θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna (si veda § 3.3.5.1), [°C].

La trasmittanza termica equivalente del basamento dell'edificio, intendendo con questo l'insieme delle strutture e degli ambienti che si trovano sotto il piano di campagna, deve essere valutata secondo quanto riportato nella Appendice B.

Ai fini del calcolo del coefficiente di scambio termico per trasmissione della zona termica considerata si assume come superficie disperdente la superficie dei componenti delle strutture opache e trasparenti rivolti verso l'esterno, verso il terreno e verso ambienti non mantenuti a temperatura controllata o climatizzati.

Ai soli fini della certificazione energetica, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, ad esclusione degli spazi soleggiati, il coefficiente di scambio termico per trasmissione, H_T , può essere stimato secondo l'equazione (3.16). Le diverse condizioni di temperatura, a cui si può trovare l'ambiente circostante, vengono valutate applicando il fattore correttivo $F_{T,k}$.

$$H_T = \sum_k A_{L,k} \cdot U_{C,k} \cdot F_{T,k} \quad (3.16)$$

dove:

- H_T è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $A_{L,k}$ è l'area lorda della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente circostante, [m²];
- $U_{C,k}$ è la trasmittanza termica media della struttura k-esima, che separa la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente circostante, [W/m²K];

$F_{T,k}$ è il fattore correttivo da applicare a ciascuna struttura k-esima così da tener conto delle diverse condizioni di temperatura degli ambienti con cui essi sono a contatto (Prospetto 3.1);

k è il numero delle strutture disperdenti.

Ambiente circostante	$F_{T,k}$
Ambienti con temperatura pari alla temperatura esterna	1,00
Ambiente non climatizzato	
o con una parete esterna	0,40
o senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,50
o con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse)	0,60
o con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni)	0,80
Piano interrato o seminterrato non climatizzato	
o senza finestra o serramenti esterni	0,50
o con finestre o serramenti esterni	0,80
Sottotetto non climatizzato	
o tasso di ventilazione del sottotetto elevato (per esempio tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura discontinua) senza rivestimento con feltro o assito	1,00
o altro tetto non isolato	0,90
o tetto isolato	0,70
Aree interne di circolazione non climatizzate (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria minore di $0,5 \text{ h}^{-1}$)	0,00
Aree interne di circolazione non climatizzate e liberamente ventilate (rapporto tra l'area delle aperture e volume dell'ambiente maggiore di $0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$)	1,00
Terreno *	0,45
Vespai (aerato e non)	0,80

Prospetto 3.1- Fattori correttivi da applicare a ciascun componente, k, così da tener conto delle diverse condizioni di temperatura degli ambienti adiacenti alla zona termica considerata

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014, * ELABORAZIONE FINLOMBARDA)

La trasmittanza termica media della generica struttura k-esima, sia essa opaca o trasparente, viene determinata attraverso l'equazione:

$$U_k = \frac{\sum_j A_{L,j} \cdot U_j + \sum_i \Psi_{e,i} \cdot L_{e,i}}{\sum_j A_{L,j}} \quad (3.17)$$

dove:

U_k è la trasmittanza termica media della struttura opaca k-esima, che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

$A_{L,j}$ è l'area lorda di ciascun componente, j, della struttura k-esima che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [m^2];

U_j è la trasmittanza termica di ciascun componente, j, uniforme della struttura k-esima che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$];

$\Psi_{e,i}$ è la trasmittanza termica lineica dell' i-esimo ponte termico lineare attribuito alla struttura k-esima, basata sulle dimensioni esterne, [W/mK];

$L_{e,i}$ è la lunghezza caratteristica del ponte termico i-esimo, [m].

L'incidenza dei ponti termici deve essere determinata in accordo alla UNI EN ISO 14683, che prevede il calcolo numerico dettagliato secondo la UNI EN ISO 10211 o in alternativa attraverso atlanti di ponti termici ovvero l'uso di metodi di calcolo "manuali" (correlazioni). È escluso l'impiego dei valori di progetto della trasmittanza termica lineare riportati nell'allegato A della UNI EN ISO 14683.

La trasmittanza termica dei componenti costituiti da strati omogenei piani (pareti o solai multistrato) si calcola come:

$$U_j = \frac{1}{R_{se} + \sum_{i=1}^{N_{sj}} \frac{d_i}{\lambda_i} + \sum_{i=1}^{N_{ij}} R_i + R_{si}} \quad (3.18)$$

dove:

- R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna desumibile dal Prospetto 3.III, [K m²/W];
- d_i è lo spessore dello strato omogeneo i-esimo, [m];
- λ_i è la conduttività termica dello strato omogeneo i-esimo, [W/ (m K)];
- R_i è la resistenza termica dell'intercapedine d'aria i-esima racchiusa tra due strati omogenei desumibile dal Prospetto 3.II, [m²K/W];
- R_{si} è la resistenza termica superficiale interna desumibile dal Prospetto 3.III, [K m²/W];
- N_{sj} è il numero di strati omogenei, [-];
- N_{ij} è il numero di intercapedini d'aria, [-].

Resistenza termica di intercapedini d'aria con emissività elevate			
Spessore dell'intercapedine mm	Resistenza termica m ² ·K/W		
	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

NOTA: Valori intermedi possono essere ricavati per interpolazione

Prospetto 3.II – Resistenza termica di intercapedini d'aria con emissività elevate [m² K/W]
(Fonte: UNI EN ISO 6946-2007)

Resistenza superficiale m ² ·K/W	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R _{si}	0,10	0,13	0,17
R _{se}	0,04	0,04	0,04

Prospetto 3.III – Resistenza superficiale convenzionale [m² K/W]
(Fonte: UNI EN ISO 6946-2007)

3.3.5.3 Trasmittanza termica di componenti particolari

Cassonetti

In mancanza di dati forniti dal costruttore, i valori di trasmittanza termica dei cassonetti devono essere dedotti dal Prospetto 3.IV.

Tipologia cassonetto	Trasmittanza termica [W/m ² K]
Cassonetto non isolato	6
Cassonetto isolato*	1

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

Prospetto 3.IV – Trasmittanza termica dei cassonetti [W/m²K]

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Serramenti trasparenti

In mancanza di dati dichiarati dal costruttore secondo la UNI EN 14351-1 la trasmittanza termica di serramenti singoli, U_w, si calcola mediante la relazione:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_t U_t + L_g \Psi_g}{A_g + A_t} \quad (3.19)$$

dove:

U_w è la trasmittanza termica del serramento singolo, [W/m²K];

A_g è l'area del vetro, [m²];

U_g è la trasmittanza termica del vetro, (Prospetto 3.V) [W/m²K];

A_t è l'area del telaio, [m²];

U_t è la trasmittanza termica del telaio, (Prospetto 3.VI) [W/m²K];

L_g è il perimetro del vetro, [m];

Ψ_g è la trasmittanza termica lineare del vetro, (Prospetto 3.VII e Prospetto 3.VIII), [W/mK].

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas 90%)				
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni mm	Aria	Argon	Krypton	SF ₆	Xenon
Vetrata doppia	Vetro normale	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6
			4-8-4	3,1	2,9	2,7	3,1	2,6
			4-12-4	2,8	2,7	2,6	3,1	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
	Una lastra con trattamento superficiale	0,20	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3	1,6
			4-8-4	2,4	2,1	1,7	2,4	1,6
			4-12-4	2,0	1,8	1,6	2,4	1,6
			4-16-4	1,8	1,6	1,6	2,5	1,6
	Una lastra con trattamento superficiale	0,15	4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5	1,7
			4-6-4	2,6	2,3	1,8	2,2	1,5
			4-8-4	2,3	2,0	1,6	2,3	1,4
			4-12-4	1,9	1,6	1,5	2,3	1,5
	Una lastra con trattamento superficiale	0,10	4-16-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
			4-20-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
			4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1	1,4
			4-8-4	2,2	1,9	1,4	2,2	1,3
	Una lastra con trattamento superficiale	0,05	4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3	1,3
			4-16-4	1,6	1,4	1,3	2,3	1,4
			4-20-4	1,6	1,4	1,4	2,3	1,4
4-6-4			2,5	2,1	1,5	2,0	1,2	
Vetrata tripla	Vetro normale	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	1,9	1,7
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0	1,6
	Due lastre con trattamento superficiale	0,20	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,3	1,0	1,3	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,3	0,8
	Due lastre con trattamento superficiale	0,15	4-6-4-6-4	1,7	1,4	1,1	1,2	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,2	0,9	1,2	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,7	1,3	0,7
	Due lastre con trattamento superficiale	0,10	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,1	0,8
			4-8-4-8-4	1,4	1,1	0,8	1,1	0,7
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2	0,6
	Due lastre con trattamento superficiale	0,05	4-6-4-6-4	1,6	1,2	0,9	1,1	0,7
			4-8-4-8-4	1,3	1,0	0,7	1,1	0,5
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1	0,5

Prospetto 3.V – Trasmissione termica di vetrate verticali doppie e triple riempite con diversi gas [W/(m²K)]
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Materiale	Tipo	Trasmittanza termica U_T (W/m ²)
Poliuretano	con anima di metallo e spessore di PUR ≥ 5	2,8
PVC – profilo vuoto	con due camere cave	2,2
	con tre camere cave	2,0
	con cinque camere cave	1,2
	con sei camere cave	1,0
Legno duro (rovere, mogano, iroko)	spessore 50 mm	2,2
	spessore 60 mm	2,0
	spessore 70 mm	1,9
	spessore 90 mm	1,6
Legno tenero (pino, abete, larice, douglas, hemlock)	spessore 50 mm	2,0
	spessore 60 mm	1,8
	spessore 70 mm	1,6
	spessore 90 mm	1,3
Metallo	senza taglio termico	7,0
Metallo con taglio termico	dimensioni sezione: 45-55 mm lunghezza barrette taglio termico: 14-16 mm	2,8
	dimensioni sezione: 60-70 mm lunghezza barrette taglio termico: 22-28 mm	2,5
	dimensioni sezione: 70-75 mm lunghezza barrette taglio termico: 30-36 mm	2,2
	dimensioni sezione: 70-75 mm lunghezza barrette taglio termico: 36-42 mm riempimento della cavità tramite schiuma	1,6
	dimensioni sezione: 90 mm lunghezza barrette taglio termico: 52-58 mm riempimento della cavità tramite schiuma	1,1

Prospetto 3.VI – Valori della trasmittanza termica del telaio per alcune tipologie di materiale
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Materiali del telaio	Vetrata doppia o tripla non rivestita, intercapedine con aria o gas Ψ [W/mK]	Vetrata doppia con bassa emissività, vetrata tripla con due rivestimenti a bassa emissività intercapedine con aria o gas Ψ [W/mK]
Telaio in legno o telaio in PVC o poliuretano	0,06	0,08
Telaio in alluminio con taglio termico	0,08	0,11
Telaio in metallo senza taglio termico	0,02	0,05

Prospetto 3.VII – Valori della trasmittanza termica lineare Ψ per distanziatori in metallo
(Fonte: UNI EN ISO 10077-1:2007)

Materiali del telaio	Vetrata doppia o tripla non rivestita, intercapedine con aria o gas Ψ [W/mK]	Vetrata doppia con bassa emissività, vetrata tripla con due rivestimenti a bassa emissività intercapedine con aria o gas Ψ [W/mK]
Telaio in legno o telaio in PVC o poliuretano	0,05	0,06
Telaio in alluminio con taglio termico	0,06	0,08
Telaio in metallo senza taglio termico	0,01	0,04

Prospetto 3.VIII – Valori della trasmittanza termica lineare Ψ per distanziatori in PVC
(Fonte: UNI EN ISO 10077-1:2007)

Tipo di vetrata	U _g [W/(m ² ×K)]	U _t [W/(m ² ×K)]												
		0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Singola	5,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	6,0
Doppia o tripla	3,3	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	4,1
	3,2	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	4,0
	3,1	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,9
	3,0	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4	3,9
	2,9	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,8
	2,8	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,1	3,7
	2,7	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,6
	2,6	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,5
	2,5	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	3,5
	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,4
	2,3	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	3,3
	2,2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	3,2
	2,1	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	3,1
	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	3,1
	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1
	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	3,0
	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,9
	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,8
	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,7
	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,7
1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,6	
1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,5	
1,1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	2,4	
1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,3	
0,9	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	2,3	
0,8	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	2,2	
0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	2,1	
0,6	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	2,0	
0,5	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,9	

Prospetto 3.IX – Trasmittanza termica di finestre con percentuale dell’area di telaio pari al 20% dell’area dell’intera finestra e in presenza di comuni distanziatori di vetrate [W/(m²K)]
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

In assenza di dati geometrici specifici delle finestre (percentuale di telaio rispetto all’area dell’apertura), per dimensioni del serramento pari a 1,20 m x 1,50 m (± 10%), si possono utilizzare le trasmittanze precalcolate per l’intero serramento riportate nel Prospetto 3.IX.

Nel caso di serramenti composti da due telai separati, doppio serramento (si veda Figura 3.1), la trasmittanza si calcola mediante la relazione che segue:

$$U_w = \left(\frac{1}{U_{w1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{w2}} \right)^{-1} \quad (3.20)$$

dove:

U_{w1} è la trasmittanza termica del componente interno calcolata secondo la (3.19) o fornita dal costruttore, [W/m²K];

U_{w2} è la trasmittanza termica del componente esterno calcolata secondo la (3.19) o fornita dal costruttore, [W/m²K];

R_{si} è la resistenza termica superficiale interna della finestra esterna quando applicata da sola (ai fini del calcolo si assume pari a 0,13 m²K/W);

- R_s è la resistenza termica dell'intercapedine racchiusa tra le vetrate delle due finestre (Prospetto 3.X), [m²K/W];
- R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna della finestra interna quando applicata da sola (ai fini del calcolo si assume pari a 0,04 m²K/W).

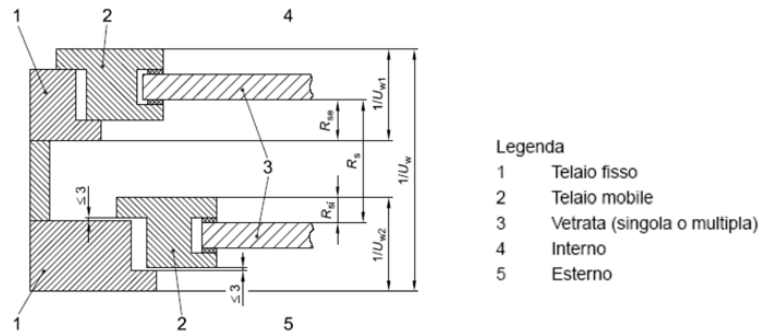


Figura 3.1 – Esempio di doppio serramento
(Fonte: UNI EN ISO 10077-1:2007)

Spessore dell'intercapedine d'aria [mm]	Emissività emisferica dell'unica superficie trattata				Entrambe le superfici non trattate - R_s
	0,1	0,2	0,4	0,8	
6	0,211	0,191	0,163	0,132	0,127
9	0,299	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,377	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,447	0,364	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,336	0,26	0,189	0,179
100	0,406	0,336	0,26	0,189	0,179
150	0,406	0,336	0,26	0,189	0,179
200	0,406	0,336	0,26	0,189	0,179
250	0,406	0,336	0,26	0,189	0,179
300	0,406	0,336	0,26	0,189	0,179

Prospetto 3.X – Resistenza termica di intercapedini (m²K/W)
(Fonte parziale: UNI EN ISO 10077-1:2007)

Facciate continue trasparenti

La trasmittanza termica delle facciate continue trasparenti, U_{cw} , in W/(m² K) rappresenta un dato d'ingresso caratteristico del sistema e dovrà essere calcolata e certificata dal costruttore secondo la UNI EN ISO 12631. Se tale dato risultasse non disponibile, occorre comunque calcolarla in accordo alla la UNI EN ISO 12631

Effetto di chiusure esterne ai serramenti

L'effetto di chiusure esterne ai fini dell'incremento dell'isolamento notturno o della sicurezza (cioè quando non serve la trasparenza), se esistenti, deve essere tenuto in conto tramite il calcolo di una trasmittanza media giornaliera in funzione della frazione media giornaliera media mensile di chiusura della protezione,:

$$U_{w,ave} = U_{w+shut} \cdot f_{shut} + U_w \cdot (1 - f_{shut}) \tag{3.21}$$

dove:

$U_{w,ave}$ è la trasmittanza termica media del componente trasparente più la chiusura esterna, [W/m²K];

U_w è la trasmittanza termica del componente trasparente senza chiusura esterna, [W/m²K];
 U_{w+shut} è la trasmittanza termica del componente trasparente più la chiusura esterna, [W/m²K];
 f_{shut} frazione media giornaliera media mensile di chiusura della protezione, che ai fini del presente dispositivo viene sempre convenzionalmente essere assunta pari a 0,6;
 con

$$U_{w+shut} = \frac{1}{1/U_w + \Delta R} \quad (3.22)$$

dove:

ΔR è la resistenza termica addizionale ΔR della sola chiusura esterna, [m²K/W].

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori di resistenza termica addizionale ΔR della chiusura esterna possono essere ricavati dal Prospetto 3.XI.

Tipo di chiusura	Resistenza termica caratteristica della chiusura R_{sh} [m ² K/W]	Resistenze termiche addizionali per una specifica permeabilità all'aria delle chiusure ^{a)} ΔR [m ² K/W]		
		Alta permeabilità all'aria	Media permeabilità all'aria	Bassa permeabilità all'aria
Chiusure avvolgibili in alluminio	0,01	0,09	0,12	0,15
Chiusure avvolgibili in legno e plastica senza riempimento in schiuma	0,10	0,12	0,16	0,22
Chiusure avvolgibili in plastica con riempimento in schiuma	0,15	0,13	0,19	0,26
Chiusure in legno da 25 mm a 30 mm di spessore	0,20	0,14	0,22	0,30

Per la definizione di permeabilità si fa riferimento alla UNI EN ISO 10077-1

Prospetto 3.XI – Resistenza termica addizionale per finestre con chiusure esterne
 (Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Pareti solari ventilate (muri Trombe)

Per le pareti solari ventilate, progettate per captare l'energia solare e trasferirla all'ambiente interno tramite un flusso d'aria prelevato dall'interno e reimmesso all'interno, così come indicato in Figura 3.1, che rispettano le seguenti condizioni:

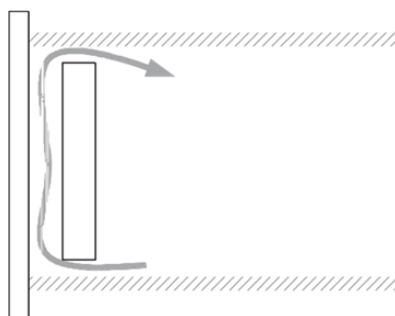


Figura 3.1 – Percorso del flusso d'aria in una parete solare ventilata

- il flusso d'aria si arresta automaticamente quando l'intercapedine d'aria è più fredda rispetto all'ambiente riscaldato e durante l'estate per evitare il surriscaldamento dei locali, durante la quale la trasmittanza da impiegare è la U_0 dell'equazione (3.23);
- la portata d'aria è regolata meccanicamente ad un valore costante, $\dot{V}_{v,sw}$, quando l'intercapedine d'aria è più calda rispetto all'ambiente riscaldato;

la trasmittanza termica della parete si calcola come:

$$U = U_0 + \Delta U \quad (3.23)$$

dove:

U_0 è la trasmittanza termica della parete nell'ipotesi che il canale sia una intercapedine chiusa, [W/m²K];

ΔU è la trasmittanza termica aggiuntiva della parete dovuta alla ventilazione dell'intercapedine, [W/m²K]

La trasmittanza termica aggiuntiva della parete dovuta alla ventilazione dell'intercapedine si calcola come:

$$\Delta U = \frac{\rho_a c_a \dot{V}_{v,sw}}{A_{sw}} \left[\frac{U_e}{U_i} \right]^2 \cdot \delta \cdot K_{sw} \quad (3.24)$$

dove:

$\rho_a c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1.210 J/(m³K) a 20 °C;

$\dot{V}_{v,sw}$ è la portata volumica d'aria circolante del canale, [m³/s];

A_{sw} è l'area della parete solare ventilata, [m²];

U_e è la trasmittanza termica esterna tra l'ambiente esterno e il nodo intercapedine d'aria, [m²K/W];

U_i è la trasmittanza termica interna tra l'ambiente interno e il nodo intercapedine d'aria, [m²K/W];

K_{sw} è un fattore adimensionale definito dall'equazione (3.26), [-];

δ è il rapporto tra la differenza cumulata di temperatura interna-esterna, quando la ventilazione è attiva, e il suo valore relativo all'intero passo di calcolo, [-].

con

$$U_e = \frac{1}{R_e + R_{al}/2} \quad ; \quad U_i = \frac{1}{R_i + R_{al}/2} \quad (3.25)$$

$$K_{sw} = \left[1 - \exp\left(\frac{-A_{sw} Z}{\rho_a c_a \dot{V}_{v,sw}}\right) \right] \quad (3.26)$$

$$\delta = 0,3 v_{al} + 0,03 (0,0003 v_{al} - 1) \quad (3.27)$$

dove

R_e è la resistenza termica areica esterna tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente esterno, [m²K/W];

R_i è la resistenza termica areica interna tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente interno, [m²K/W];

R_{al} è la resistenza termica areica dell'intercapedine d'aria considerata non ventilata, [m²K/W];

Z è il parametro dimensionale definito dall'equazione (3.31), [W/(m²K)];

γ_{al} è il rapporto tra gli apporti termici solari, $Q_{gn,sw}$, e la dispersione termica dell'intercapedine d'aria, $Q_{ht,al}$, durante il passo di calcolo definiti dalle equazioni (3.29) e (3.30), [-];

$$\gamma_{al} = \frac{Q_{gn,sw}}{Q_{ht,al}} \quad (3.28)$$

con

$$Q_{gn,sw} = N \cdot \bar{H}_W A_{sol} \quad (3.29)$$

$$Q_{ht,al} = \Delta t \cdot U_e A_{sw} (\theta_i - \theta_e) \quad (3.30)$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{h_r}{h_c (h_c + 2h_r)} + \frac{1}{U_i + U_e} \quad (3.31)$$

dove:

\bar{H}_W è l'irradiazione totale (diretta + diffusa) giornaliera media mensile sulla superficie della parete nel mese considerato, [kWh/m²];

A_{sol} è l'area di captazione efficace della parete è pari all'area della parete A_{sw} per fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura, $F_{s,r}$, così come definito dall' equazione (3.64), per il fattore di guadagno termico solare, S_r , così come definito dall' equazione (3.90) o (3.91); [m²];

h_c è il coefficiente di scambio termico superficiale convettivo nell'intercapedine d'aria (da Prospetto 3.XII), [W/m²K];

h_r è il coefficiente di scambio termico superficiale radiativo nell'intercapedine d'aria (da Prospetto 3.XII), [W/m²K];

N è il numero di giorni del mese considerato;

θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda 1.4), [°C];

θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna (si veda § 3.3.5.1), [°C].

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Spessore dell'intercapedine d'aria [mm]	Coeff. Convettivo W/(m ² K)	Coeff. Radiativo - Una sola superficie trattata, superficie non trattata con emissività normale di				Entrambe le superfici non trattate - h _r
		0,1	0,2	0,4	0,8	
6	4,14	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
9	2,77	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
12	2,11	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
15	1,80	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
50	2,07	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
60	2,06	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
70	2,05	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
80	2,05	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
90	2,04	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
100	2,04	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
120	2,04	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
140	2,04	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
160	2,03	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
180	2,03	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
200	2,03	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
220	2,03	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
240	2,03	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
260	2,03	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
280	2,03	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702
300	2,03	0,505	0,990	1,909	3,561	3,702

Prospetto 3.XII – Coefficienti di scambio termico superficiale convettivi e radiativi di intercapedini (m²K/W)

(Fonte parziale: UNI EN ISO 10077-1:2007)

3.3.5.4 Complemento all'energia trasferita per radiazione superficiale esterna

Lo scambio termico radiativo tra le superfici esterne dei componenti, sia opachi sia trasparenti, costituenti l'involucro edilizio è già in parte contenuto nel coefficiente di scambio termico per trasmissione, H_T , dato dall'equazione (3.16), che nelle trasmittanze dei componenti considera i coefficienti di scambio termico superficiale misti convettivo-radiativi. Tale coefficiente viene però moltiplicato per una differenza di temperatura basata sulla temperatura dell'aria esterna e quindi sottostima lo scambio termico radiativo verso l'ambiente esterno. Si calcola quindi il complemento a tale energia trasferita per radiazione, in modo separato e semplificato, considerando lo scambio termico radiativo dovuto alla sola differenza di temperatura tra aria e temperatura media radiante non di tutto l'ambiente esterno ma solo quella della volta celeste, considerando la presenza di eventuali schermi radiativi. Tale contributo si calcola come:

$$\Delta Q_{T,R} = \left(\sum_{k=1}^{N_e} F_{r,k} \Phi_{r,k} \right) \cdot \Delta t \quad (3.32)$$

dove:

- $F_{r,k}$ è il fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste, [-];
- $\Phi_{r,k}$ è il valore medio giornaliero dell'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo, [W];
- Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh];
- N_e è il numero di componenti edilizi che separano la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente esterno.

Il fattore di forma F_r tra un componente edilizio e la volta celeste si determina come:

$$F_r = F_{s,d} \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (3.33)$$

dove:

- $F_{s,d}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa, pari a 1 in assenza di ombreggiature da elementi esterni, altrimenti desumibile da Prospetto C. 7, Prospetto C. 8, Prospetto C. 9 [-];
- β è l'angolo d'inclinazione della superficie esterna del componente sull'orizzonte, [°];

Il valore medio giornaliero dell'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dalla superficie esterna di un componente edilizio, Φ_r , si calcola come:

$$\Phi_{r,k} = \frac{U_k}{h_e} A_k \cdot \epsilon_k \cdot h_r \cdot \Delta \theta_{er} \quad (3.34)$$

dove:

- U_k è la trasmittanza termica media della struttura k-esima, che separa la zona termica considerata dall'ambiente esterno, [W/m²K];
- A_k è l'area lorda del componente k-esimo che separa la zona termica considerata dall'ambiente esterno, [m²];
- h_e è il coefficiente di scambio termico superficiale esterno misto convettivo-radiativo, pari a 25 [W/m²K];

ϵ_k è l'emissività termica totale nell'infrarosso della superficie esterna del componente k-esimo, [-]; in assenza di valori specifici per le superfici intonacate o comunque con finitura ruvida e non metallica si può assumere $\epsilon = 0,9$, mentre per le superfici esterne senza depositi superficiali di ossidi metallici di sistemi vetrati, $\epsilon = 0,837$;

h_r è il coefficiente di scambio termico superficiale radiativo di corpo nero aria-cielo [W/m²K];

$\Delta\theta_{er}$ è la differenza media giornaliera tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura equivalente di corpo nero del cielo, [°C].

Il coefficiente di scambio termico superficiale radiativo di corpo nero aria-cielo si calcola come:

$$h_r = \sigma \frac{T_{sky}^4 - T_e^4}{T_{sky} - T_e} \quad (3.35)$$

dove:

σ è la costante di Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ [W/m²K⁴];

T_{sky} è la temperatura assoluta equivalente di corpo nero del cielo, [K];

T_e è la temperatura assoluta media giornaliera media mensile dell'aria esterna, [K].

La temperatura assoluta del cielo viene calcolata come:

$$T_{sky} = 291 - 51,6 \cdot e^{-p_v/1000} \quad (3.36)$$

dove:

p_v è la pressione parziale del vapore nell'aria, valore medio giornaliero medio mensile, ricavabile dall'Allegato 1 - Prospetto IV, [Pa].

La differenza media giornaliera tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura equivalente di corpo nero del cielo, $\Delta\theta_{er}$, si calcola come:

$$\Delta\theta_{er} = \theta_e + 273,15 - T_{sky} \quad (3.37)$$

dove:

θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna (si veda § 3.3.5.1), [°C].

3.3.6 Energia scambiata per ventilazione, aerazione e infiltrazione

Per ventilazione si intende il ricambio dell'aria negli ambienti a fini esclusivamente sanitari (mantenimento della qualità dell'aria) o tramite l'impiego di ventilatori (ventilazione meccanica) o tramite la presenza di aperture nell'involucro edilizio, all'uopo predisposte e normalmente non occluse, che attivino ventilazione naturale principalmente per tiraggio termico; con aerazione si intende il ricambio d'aria negli ambienti per apertura e chiusura manuale delle finestre; con infiltrazione si intendono i ricambi d'aria non desiderati dovuti alla non perfetta impermeabilità dell'involucro e alla presenza di differenze di pressione tra esterno e interno dovute all'azione del vento e di differenze di temperatura.

L'energia termica di riferimento che per effetto della ventilazione naturale, aerazione e infiltrazione, Q_v , deve essere compensata dal sistema impiantistico di climatizzazione per mantenere la temperatura interna desiderata, è data da:

$$Q_v = H_v \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t \quad (3.38)$$

dove:

- Q_v è la quantità di energia di riferimento trasferita per ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- H_v è il coefficiente di scambio termico di riferimento per ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $\Delta\theta$ è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, θ_i , e la temperatura media giornaliera esterna, θ_e , si veda § 3.3.5, [°C];
- Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Nel caso di ventilazione meccanica, ibrida, notturna o in presenza di un impianto di climatizzazione a tutt'aria o aria primaria che svolga solo la funzione di ventilazione, per considerare l'effetto della ventilazione meccanica sull'efficienza complessiva del sistema, occorre calcolare anche l'energia termica corretta scambiata per ventilazione meccanica, $Q_{v,adj}$:

$$Q_{v,adj} = H_{v,adj} \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t \quad (3.39)$$

dove:

- $Q_{v,adj}$ è la quantità di energia corretta richiesta in presenza di ventilazione meccanica, ibrida, notturna o in presenza di un impianto di climatizzazione a tutt'aria o aria primaria che svolga solo la funzione di ventilazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante [kWh];
- $H_{v,adj}$ è il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione meccanica, ibrida, notturna o in presenza di un impianto di climatizzazione a tutt'aria o aria primaria che svolga solo la funzione di ventilazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $\Delta\theta$ è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, θ_i , e il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna, θ_e , si veda § 3.3.5, [°C];
- Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

3.3.6.1 Coefficiente di scambio termico di riferimento e di scambio termico corretto per ventilazione, aerazione e infiltrazione

Il coefficiente di scambio termico di riferimento per ventilazione, H_v , si determina mediante la seguente relazione:

$$H_v = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k \dot{V}_{a,k} \cdot c_{v,k} \right) \quad (3.40)$$

dove:

- H_v è il coefficiente di scambio termico di riferimento per ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];
- $\rho_a \cdot c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1.210 J/(m³K) a 20 °C;
- $\dot{V}_{a,k}$ è la portata d'aria media giornaliera k-esima dovuta a ventilazione naturale o aerazione e/o infiltrazione della zona, [m³/s];
- $c_{v,k}$ è il fattore di correzione definito, nel caso di ventilazione attraverso spazi soleggiati o spazi non climatizzati, dall'equazione (3.41), in tutti gli altri casi è posto pari a 1, [-];

k è il singolo e specifico ricambio d'aria dovuto o a ventilazione naturale o ad aerazione o a infiltrazione dell'ambiente k -esimo appartenente alla zona considerata.

Per aerazione o ventilazione naturale della zona climatizzata o a temperatura controllata effettuata attraverso spazi soleggiati o spazi non climatizzati, il termine correttivo $c_{v,k}$ si calcola (per ogni spazio soleggiato o non climatizzato k -esimo) come:

$$c_{v,k} = \frac{\theta_i - \theta_{im,k}}{\theta_i - \theta_e} \quad (3.41)$$

dove:

$\theta_{im,k}$ è il valore della temperatura dello spazio soleggiato o non climatizzato k -esimo determinato come riportato in Appendice A [°C];

θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda § 1.4), [°C];

θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna (si veda § 3.3.5.1), [°C].

Ai soli fini della certificazione energetica, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, ad esclusione degli spazi soleggiati, il coefficiente di scambio termico per ventilazione, H_v , può essere stimato secondo l'equazione (3.40) sostituendo al termine $c_{v,k}$ il fattore correttivo F_T riportato nel Prospetto 3.I.

Il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione, $H_{v,adj}$, che è necessario calcolare se si è in presenza di un sistema di ventilazione meccanica, ibrida, notturna o in presenza di un impianto di climatizzazione a tutt'aria o aria primaria (altrimenti $H_{v,adj} = H_v$), si determina mediante la seguente relazione:

$$H_{v,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \sum_k \dot{V}_{a,k,adj} \quad (3.42)$$

dove:

$H_{v,adj}$ è il coefficiente di scambio termico corretto per ventilazione, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K];

$\rho_a \cdot c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1.210 J/(m³K) a 20 °C;

$\dot{V}_{a,k,adj}$ è la portata d'aria media giornaliera k -esima dovuta a ventilazione naturale o aerazione e/o infiltrazione della zona o ventilazione meccanica, [m³/s];

k è il singolo e specifico ricambio d'aria dovuto o a ventilazione naturale o ad aerazione o a infiltrazione o a ventilazione meccanica.

I coefficienti di scambio termico per ventilazione/infiltrazione, H_v e $H_{v,adj}$, non tengono conto dei flussi d'aria tra zone climatizzate diverse (o ininfluenti o trascurabili), ma solo dei flussi d'aria dall'ambiente esterno alla zona climatizzata o direttamente o indirettamente attraverso ambienti non climatizzati o spazi soleggiati (serre).

Nel calcolo di tali coefficienti le portate medie giornaliere, $\dot{V}_{a,k}$ e $\dot{V}_{a,k,adj}$, sono le portate assegnate per mantenere certe specifiche condizioni di qualità dell'aria nell'ambiente k-esimo della zona considerata. Infatti si considera che ogni singolo ambiente costituente la zona abbia un unico scambio di massa complessivo in forma diretta con l'ambiente esterno pari alle condizioni di richiesta di aria di rinnovo. Quindi le sommatorie riportate nelle equazioni sono relative alla somma delle richieste di rinnovo d'aria che ha ogni singolo ambiente costituente la zona considerata.

Solo nel caso in cui la zona considerata sia anche adiacente ad un ambiente non climatizzato e/o uno spazio soleggiato è possibile che tale zona realizzi i ricambi d'aria richiesti sia in modo diretto che attraverso l'ambiente non climatizzato e/o lo spazio soleggiato. In tal caso si hanno due portate distinte che, complessivamente soddisfano la richiesta della intera zona o dell'ambiente della zona che è ad esso adiacente. Per la determinazione della ripartizione delle portate si seguono le procedure riportate in Appendice A.

3.3.6.2 Portata di ventilazione minima di progetto

All'interno di un edificio, allo scopo di assicurare sufficienti condizioni sia igieniche sia di benessere termoigrometrico, è necessario garantire una portata minima di aria esterna, chiamata in questo contesto portata minima di ventilazione o aerazione, che serve a diluire e mantenere ad un livello accettabile la concentrazione degli inquinanti rilasciati nell'ambiente da persone e cose. Inevitabilmente questo rinnovo d'aria negli ambienti può determinare un incremento dell'energia scambiata con l'esterno, ma ciò è necessario per garantire la salubrità e la qualità dell'aria. Le portate adottate nel seguito risentono di tale necessità più che di quella connessa alla minimizzazione degli scambi termici per ventilazione.

La portata media giornaliera (media mensile) si determina in funzione della **portata minima di progetto di aria esterna**, che si calcola:

- a) per tutte le destinazioni d'uso, ad esclusione degli edifici residenziali di categoria E.1(1) e E.1.(2), degli edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili (categoria E.8) e dei servizi in cui sia prevista l'estrazione d'aria, come:

$$\dot{V}_{a,p,min} = \dot{V}_{a,0,n} \cdot \frac{\epsilon_{v,n}}{\epsilon_{v,c}} \cdot C_1 \cdot C_2 \quad (3.43)$$

dove:

$\dot{V}_{a,p,min}$ è la portata minima di progetto di aria esterna, [m³/s];

$\dot{V}_{a,0,n}$ è la portata nominale di aria esterna, [m³/s], ricavabile con l'equazione (3.44);

$\epsilon_{v,n}$ efficienza nominale di ventilazione, pari a 0,8;

$\epsilon_{v,c}$ efficienza convenzionale di ventilazione, posta pari a 0.8 per aerazione e ventilazione naturale, mentre per i sistemi di ventilazione meccanica è riportata nel Prospetto 3.XVI;

C_1 è il coefficiente correttivo per impianti misti, che, pari a 1 per gli impianti a tutta aria e di ventilazione (tutti i tipi), è riportato in funzione del tipo di terminale ad acqua nel Prospetto 3.XVII;

C_2 è il coefficiente correttivo dell'altitudine riportato nel Prospetto 3.XVIII.

NOTA:

l'efficienza di ventilazione, $\epsilon_{v,c}$, riportata nell'equazione (3.43) e desumibile dal Prospetto 3.XVI, viene scelta, definito il tipo diffusore adottato, nel seguente modo:

- se la portata di ventilazione richiesta è fornita da un sistema di sola ventilazione si assume convenzionalmente $\epsilon_{v,c} = 0.8$ per tutto l'arco dell'anno;
- se la portata di ventilazione richiesta è fornita attraverso un sistema che fa anche riscaldamento e raffrescamento, si assume per la tutta la durata della stagione convenzionale invernale $\epsilon_{v,c}$ fisso desumibile dalla colonna con $\Delta T > 0$ (inverno) del Prospetto 3.XVI, e per tutta la durata della stagione convenzionale estiva $\epsilon_{v,c}$ fisso desumibile dalla colonna con $\Delta T < 0$ (estate) del Prospetto 3.XVI; le stagioni convenzionali sono qui definite per il riscaldamento i mesi (estremi inclusi) compresi nella stagione di calcolo convenzionale invernale, come dal Prospetto I, mentre per il periodo di raffrescamento (se questo è previsto), i mesi complementari;
- se la portata di ventilazione richiesta è fornita attraverso un sistema che fa anche solo riscaldamento o solo raffrescamento, si assume per la tutta la durata della stagione convenzionale o di riscaldamento o di raffrescamento, come sopra definite, il valore $\epsilon_{v,c}$ fisso desumibile dalla relativa colonna del Prospetto 3.XVI, e per il periodo di tempo complementare in cui il sistema funziona esclusivamente come impianto di ventilazione si assume convenzionalmente $\epsilon_{v,c} = 0.8$.

La portata nominale di aria esterna si calcola come:

$$\dot{V}_{a,0,n} = n_{per} \cdot \dot{V}_p + A_f \cdot \dot{V}_s \quad (3.44)$$

dove:

\dot{V}_p è la portata specifica di aria esterna minima per persona, [m^3/s persona], riportata nel Prospetto 3.XIV (il valore riportato nel prospetto va diviso per 1000);

\dot{V}_s è la portata specifica di aria esterna minima per unità di superficie utile servita dalla ventilazione, [$m^3/(m^2s)$], riportata nel Prospetto 3.XIV (il valore riportato nel prospetto va diviso per 1000);

n_{per} numero di persone previste a progetto o calcolato mediante l'affollamento convenzionale come $n_{per} = (i_s \cdot A_f)$, [-];

i_s è l'indice di affollamento convenzionale per unità di superficie riferito alle condizioni di progetto, [m^{-2}], riportato nel Prospetto 3.XIII in funzione della categoria dell'edificio;

A_f è l'area della superficie utile servita dalla ventilazione, [m^2].

- b) per gli edifici residenziali di categoria E.1(1) e E.1(2) e gli edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili (categoria E.8), e per i servizi ove sia prevista l'estrazione di aria interna (vedi Prospetto 3.XIV), come:

$$\dot{V}_{a,p,min} = V \cdot n / 3600 \quad (3.45)$$

dove

V è il volume netto del locale o zona considerata, [m³];

n è il numero di ricambi d'aria medio giornaliero comprensivo di infiltrazioni, [h⁻¹], determinato, per il calcolo ai fini del presente dispositivo dal Prospetto 3.XIV ad esclusione dei seguenti casi:

- edifici o parti di edificio residenziali, per cui , comprensivo di infiltrazioni, vale $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$;
- edifici o parti di edificio industriali, per cui , comprensivo di infiltrazioni, vale $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$.

CATEGORIA EDIFICIO	Affollamento i_s Persone/m ²
EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA E ASSIMILABILI	
ALBERGHI E PENSIONI ecc	
ingresso, soggiorni	0,2
sale conferenze/auditori (piccole)	0,6
sale da pranzo	0,66
camere da letto	0,1
EDIFICI PER UFFICI E ASSIMILABILI	
Uffici singoli	0,1
Uffici open space	0,12
Call-Center/Centro inserimento	0,4
Locali riunione	0,6
OSPEDALI CLINICHE, CASE DI CURA E ASSIMILABILI	
degenze (2 -3 letti)	0,1
corsie	0,1
camere per infettivi	0,08
camere per immunodepressi	0,08
sale mediche	0,1
soggiorni	0,4
terapie fisiche	0,2
diagnostiche	0,1
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ RICREATIVE ASSOCIATIVE DI CULTO E ASSIMILABILI	
CINEMA, TEATRI, SALE PER CONGRESSI	
atri, sale attesa, zona bar annessa	0,3
platee, loggioni, aree per il pubblico, sale cinematografiche, sale teatrali, sale per riunioni	0,7
Sala scommesse	0,4
MOSTRE MUSEI, BIBLIOTECHE, LUOGHI DI CULTO	
sale mostre pinacoteche, musei	0,4
sale lettura biblioteche	0,3
luoghi di culto	0,7
BAR RISTORANTI, SALE DA BALLO	
bar, pasticcerie, self-service	0,8
ristorante	0,6
sale da ballo/Discoteche	0,7

Prospetto 3.XIII - Valori di i_s in funzione della categoria di edificio
(Fonte: prUNI 10339:2014)

CATEGORIA EDIFICI	Affollamento i_s Persone/m ²
ATTIVITÀ COMMERCIALE E ASSIMILABILI	
grandi magazzini - piano interrato	0,2
negozi o reparti di grandi magazzini:	0,2
barbieri, saloni bellezza	0,2
abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi	0,2
alimentari, farmacie	0,2
lavasecco,	0,1
zone pubblico banche, quartieri fieristici	0,2
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SPORTIVA	
PISCINE, SAUNE E ASSIMILABILI	
piscine (sala vasca)	0,5
spogliatoi	0,2
PALESTRE E ASSIMILABILI	
palazzetti sportivi (campi da gioco)	0,25
zone spettatori in piedi	0,7
zone spettatori seduti	0,7
spogliatoio atleti	0,2
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE E ASSIMILABILI	
asili nido e scuole materne (scuole dell'infanzia)	0,42
aule scuole elementari (primarie di primo grado)	0,52
aule scuole medie inferiori (primarie di secondo grado)	0,52
aule scuole medie superiori (secondarie di secondo grado)	0,51
aule universitarie	0,50
servizi	-
biblioteche, sale lettura	0,3
aule musica e lingue	0,2
laboratori chimici/biologici	-
laboratori	0,5
sale insegnanti	0,7

(continua) Prospetto 3.XIII - Valori di i_s in funzione della categoria di edificio

(Fonte: prUNI 10339:2014)

Destinazione d'uso dell'edificio e dell'ambiente	Portata per persona \dot{V}_p [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ per persona]	Portata per superficie \dot{V}_s [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ m ⁻²]	Portata di estrazione		Note
			\dot{V} [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹]	n [h ⁻¹]	
ALBERGHI E PENSIONI					
ingresso, soggiorni	7	0,8			
sale conferenze/auditori (piccole)	7	0,3			
sale da pranzo	7	1,0			
camere da letto	6,5	0,6			
cucine	Estrazioni in funzionamento continuo			8	a
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	a
bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	b
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	b
UFFICI E ASSIMILABILI					
Uffici singoli	7,5	0,4			
uffici collettivi/multipli tipo open space	7	0,6			
Call-center/Centro inserimento dati	7	0,7			
locali riunione	7	0,6			
locali stampanti/fotocopiatrici	Estrazione			5	
servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	b
	Estrazioni valori in funzionamento discontinuo			16	b
OSPEDALI CLINICHE, CASE DI CURA E ASSIMILABILI					
degenze (2 -3 letti)	10	0,4			
corsie	10	0,4			
camere per infettivi	Estrazioni in funzionamento continuo			6	c
camere per immunodepressi	Immissioni in funzionamento continuo			6	d
sale mediche	10	0,4			
soggiorni	7	0,6			
terapie fisiche	10	0,8			
diagnostiche	10	0,4			
sale operatorie/sale parto					e
bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	b
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	b
ATTIVITÀ RICREATIVE, ASSOCIATIVE, DI CULTO E ASSIMILABILI					
<i>cinema, teatri, sale per congressi</i>					
atri, sale attesa, zona bar annessa	Estrazione			8	
platee, loggioni, aree per il pubblico, sale cinematografiche, sale teatrali, sale per riunioni	7	0,4			
bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	b
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	b
Sala giochi/scommesse	7	0,6			
<i>mostre musei, biblioteche, luoghi di culto</i>					
sale mostre pinacoteche, musei	7	0,4			
sale lettura biblioteche	7	0,5			
deposito libri					
luoghi di culto	7	0,4			
bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	b
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	b
<i>bar, ristoranti, sale da ballo</i>					
bar/Pasticcerie/self-service	7	1,0			
ristoranti	7	1,0			
sale da ballo/Discoteche	15	1,1			
cucine	Estrazioni in funzionamento continuo			8	a
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	a
bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	b
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	b

Prospetto 3.XIV – Valori di portata di aria volumica di aria esterna nominale
(adattata da: prUNI 10339:2014)

Destinazione d'uso dell'edificio e dell'ambiente	Portata per persona \dot{V}_p [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ per persona]	Portata per superficie \dot{V}_s [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ m ⁻²]	Portata di estrazione		Note
			\dot{V} [10 ⁻³ m ³ s ⁻¹]	n [h ⁻¹]	
ATTIVITÀ COMMERCIALE E ASSIMILABILI					
grandi magazzini - piano interrato	7	0,4			
negozi o reparti di grandi magazzini:	7	0,4			
barbieri, saloni bellezza	7	0,5			
abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi	7	0,4			
alimentari, lavasecco, farmacie	7	0,8			
zone pubblico banche, quartieri fieristici	7	0,4			
bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	b
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	b
ADIBITI AD ATTIVITÀ SPORTIVA PISCINE, SAUNE E ASSIMILABILI					
piscine (sala vasca)	7	6,0			f
Spogliatoi	7	0,3			
bagni/servizi	Estrazione			8	b
<i>palestre e assimilabili</i>					
palazzetti sportivi (campi da gioco)	5	0,6			
zone spettatori in piedi	7	0,4			
zone spettatori seduti	7	0,4			
altri locali					
spogliatoio atleti	7	0,3			
bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	
ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE E ASSIMILABILI					
asili nido e scuole materne (scuole per l'infanzia)	6	1,0			g
aule scuole elementari (primarie di primo grado)	6	0,5			g
aule scuole medie inferiori (primarie di secondo grado)	6	0,5			g
aule scuole medie superiori (secondarie di secondo grado)	6	0,5			g
aule universitarie	6	0,5			
bagni/servizi	Estrazioni in funzionamento continuo			8	b
	Estrazioni in funzionamento discontinuo			16	b
biblioteche, sale lettura	5,5	0,5			
aule musica e lingue	5,5	0,3			
laboratori chimici/biologici	Estrazione			5	
laboratori	6	0,5			
sale insegnanti	6	0,5			
NOTE:					
a Negli ambienti adibiti a cucina e dotati di estrazioni localizzate, l'impianto di climatizzazione deve essere progettato in modo da tener conto delle estrazioni e delle necessità di mantenimento delle desiderate condizioni di differenza di pressione tra tutti gli ambienti serviti dall'impianto. La portata minima estratta negli impianti a funzionamento continuo non deve essere inferiore a 8·10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ nelle cucine e a 4·10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ nei bagni.					
b Il volume è quello relativo ai bagni (antibagni esclusi).					
c Tali ambienti devono essere mantenuti in depressione. Si prescrive una estrazione minima pari a 6 h ⁻¹ e una depressione minima misurabile di 15 Pa.					
d Tali ambienti devono essere mantenuti in pressione. Si prescrive un rinnovo minimo pari a 6 h ⁻¹ e una pressione minima misurabile 15 Pa.					
e Per questi ambienti le portate di aria devono essere stabilite in relazione alle prescrizioni vigenti e alle specifiche esigenze delle singole applicazioni.					
f Valori più elevati possono essere richiesti per controllare l'umidità. Per le piscine si prescrive una portata minima di aria esterna di 5,5 10 ⁻³ m ³ s ⁻¹ per m ² di area della superficie della vasca.					
g In ogni caso deve essere rispettato il numero di ricambi/ora minimo indicato nel D.M. del 18 dicembre 1975 e s.m.i					

(continua) Prospetto 3.XV – Valori di portata di aria volumica di aria esterna nominale
(adattata da: prUNI 10339:2014)

Tipologia di diffusore	ε_v	
	Estate $\Delta T < 0$ K	Inverno $\Delta T > 0$ K
Diffusore a effetto elicoidale o turbolento	1,00	1,00
Diffusore a ugello (per lunga gittata) ^a	1,00	1,00
Diffusore lineare a feritoia con lancio a getto non tangenziale	1,00	1,00
Diffusore (circolari o quadrati) a coni o settori concentrici	0,85	0,75
Diffusore lineare a feritoia con lancio tangenziale	0,80	0,70
Bocchetta a singolo o doppio filare di alette (a parete)	0,70	0,60
Diffusore a micro-ugelli	0,80	0,70
Diffusore a dislocamento, versioni cilindriche (per installazione libera) o piane/semicilindriche (per installazione a parete)	1,3 ^b	0,8 ^c
Diffusore a dislocamento per installazione sotto poltrona o a gradino (o similari)	1,3 ^b	1,3 ^d
Diffusore ad alta induzione da pavimento	1,2 ^e	1,1 ^e
Note al prospetto: a. I diffusori a ugello, quando utilizzati sia per raffrescamento che per riscaldamento, sono normalmente dotati di servomotore per la modifica della inclinazione di lancio; i valori di efficienza riportati nel prospetto possono essere utilizzati solo quando viene garantita la posizione di lancio corretta in relazione con il tipo di funzionamento imposto. b. Nel funzionamento in raffrescamento la differenza di temperatura non può essere elevata (in generale $\Delta T < -5$ K); per i limiti effettivi ci si deve riferire alle indicazioni tecniche del costruttore. c. Vale se $\Delta T \leq +1,5$ K, per $+1,5 \leq \Delta T \leq +3$ K l'efficienza convenzionale si riduce. L'utilizzo di diffusori a dislocamento (nel riscaldamento) è escluso per $\Delta T > +3$ K. d. Il funzionamento con $\Delta T > 0$ è in generale limitato alle fasi di avviamento e messa a regime degli impianti e pertanto raramente impiegato per la determinazione della portata minima di aria esterna (condizioni di massimo affollamento). e. Per i limiti (sia in raffrescamento che in riscaldamento) della differenza tra il valore della temperatura dell'aria in immissione e quello della temperatura dell'aria in ambiente (ΔT) e di velocità di lancio dell'aria, in generale diversi e più elevati di quelli per i diffusori a dislocamento, ci si deve riferire alle indicazioni tecniche del costruttore.		

Prospetto 3.XVI - Efficienza convenzionale di ventilazione di sistemi tipici di diffusione dell'aria
(Fonte: prUNI 10339:2014)

Descrizione dell'impianto	Coefficiente C_1
IMPIANTI TERMINALI LOCALI DEL TIPO VENTILCONVETTORE	
Ventilconvettori (che trattano aria secondaria) separati dai diffusori che immettono l'aria trattata centralmente (aria primaria)	
Lancio dell'aria immessa dal diffusore discorde (in opposizione) rispetto al lancio del ventilconvettore. (per esempio si ha questa condizione quando il ventilconvettore in esecuzione verticale viene posto a pavimento addossato sulla parete esterna e il diffusore dell'aria primaria è posto sulla parete interna opposta)	1,15
Lancio dell'aria immessa dal diffusore concorde rispetto al lancio del ventilconvettore. (per esempio si ha questa condizione quando il ventilconvettore in esecuzione verticale viene posto a pavimento addossato su una parete e il diffusore dell'aria primaria è posto sulla stessa parete)	0,95
Flusso aria immessa da diffusore in posizione centrale a soffitto con qualsiasi posizione del ventilconvettore.	1,05
Diffusione combinata dell'aria immessa e dell'aria trattata dai ventilconvettori	
Flusso aria immessa non attraversante la batteria del ventilconvettore	1,00
Flusso aria immessa attraversante la batteria del ventilconvettore sempre in funzione; regolazione sull'acqua	1,00
Flusso aria immessa attraversante la batteria del ventilconvettore funzionante a intermittenza; regolazione ON-OFF	Non ammesso (*)
IMPIANTI A PANNELLI RADIANTI E ARIA IMMESSA	
Impianto con pannelli a pavimento, a soffitto o a parete	
Pannello radiante a soffitto e aria immessa da diffusori di qualsiasi tipologia posizionati a soffitto o nella parte alta delle pareti verticali	1,10
Pannello radiante a pavimento e aria immessa da diffusori a dislocamento di qualsiasi tipologia posizionati a pavimento o nella parte bassa delle pareti verticali	1,20
In tutti gli altri casi	1,00
(*) Questa soluzione non è ammessa in quanto a ventilatore del ventilconvettore fermo viene arrestata anche la portata di aria primaria.	

Prospetto 3.XVII - Valore del coefficiente moltiplicativo C_1 da assumersi in caso di impianti misti.
(Fonte: prUNI 10339:2014)

Altitudine H [m s.l.m.]	Coefficiente correttivo C ₂
0	1,00
500	1,06
1000	1,12
1500	1,18
2000	1,25
2500	1,31
3000	1,38

Prospetto 3.XVIII – Coefficiente correttivo in funzione dell'altitudine H sul livello del mare
(Fonte: prUNI 10339:2014)

Categoria edificio	Sottocategoria edificio	Destinazione d'uso	f _{v,t}
E.1 EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA E ASSIMILABILI	E.1.1 Residenze a carattere continuativo	Abitazioni civili (*)	0,60
		Collegi, case di pena, caserme, conventi (*)	0,60
	E.1.2 Residenze occupate saltuariamente	Vale quanto prescritto per le residenze a carattere continuativo (*)	0,60
	E.1.3 Alberghi pensioni e attività similari	Ingresso, soggiorni	1,00
		Sale conferenze/auditori (piccoli)	0,47
		Sale da pranzo	0,34
		Camere da letto	0,26
E.2 EDIFICI PER UFFICI E ASSIMILABILI		Uffici singoli	0,59
		Uffici open space	0,59
		Call-Center/centro inserimento	0,59
		Locali riunione	0,51
		Locali stampanti/fotocopiatrici	0,51
E.3 OSPEDALI CLINICHE, CASE DI CURA E ASSIMILABILI		Degenze (2 -3 letti)	1,00
		Corsie	1,00
		Camere per infettivi	1,00
		Camere per immunodepressi	1,00
		Sale mediche	1,00
		Soggiorni	0,68
		Terapie fisiche	0,51
		Diagnostiche	0,51
E.4 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ RICREATIVE, ASSOCIATIVE, DI CULTO E ASSIMILABILI	E.4.1 Cinema, teatri, sale per congressi	Atri, sale attesa, zona bar annessa	0,51
		Platee, loggioni, aree per il pubblico, sale cinematografiche, sale teatrali, sale per riunioni	0,51
		Sala scommesse	0,43
	E.4.2 Mostre, musei, biblioteche, luoghi di culto	Sale mostre pinacoteche, musei	1,00
		Sale lettura biblioteche	0,51
		Luoghi di culto	0,34
	E.4.3 Bar, ristoranti, sale da ballo	Bar	0,55
		Pasticcerie	0,47
		Self-service	0,34
		Sale da ballo, discoteche	0,43
E.5 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ COMMERCIALE E ASSIMILABILI		Grandi magazzini - piano interrato	0,47
		Negozi o reparti di grandi magazzini:	0,51
		Barbieri, saloni bellezza	0,51
		Abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi	0,51
		Alimentari, lavasecco, farmacie	0,51
		Zone pubblico banche, quartieri fieristici	0,55

Prospetto 3.XIX – Fattore di correzione per la ventilazione in condizioni di riferimento

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Categoria edificio	Sottocategoria edificio	Destinazione d'uso	$f_{v,t}$
E.6 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SPORTIVA	E.6.1 Piscine, saune e assimilabili	Piscine (sala vasca)	0,34
		Spogliatoi	0,34
	E.6.2 Palestre e assimilabili	Palazzetti sportivi (campi da gioco)	0,18
		Zone spettatori in piedi	0,18
		Zone spettatori seduti	0,18
	E.6.3 Servizi di supporto alle attività sportive	Spogliatoi atleti	0,43
	E.7 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE E ASSIMILABILI		Asili nido e scuole materne
Aule scuole elementari			0,47
Aule scuole medie inferiori			0,47
Aule scuole medie superiori			0,47
Aule universitarie			0,51
Locali stampanti/fotocopiatrici			0,51
Biblioteche, sale lettura			0,43
Aule musica e lingue			0,43
Laboratori chimici/biologici: solo estrazione			0,43
Laboratori			0,43
Sale insegnanti	0,47		
E.8 EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ INDUSTRIALI ED ARTIGIANALI E ASSIMILABILI			0,51
Da E1.(3) a E.8		Servizi con estrattori in funzionamento continuo	0,51
Da E1.(3) a E.8		Servizi con estrattori in funzionamento discontinuo	0,25
(*) Compresa estrazione d'aria dai servizi			

(Continua)

Prospetto 3.XIX – Fattore di correzione per la ventilazione in condizioni di riferimento

(Fonte: prUNI 10339:2014)

3.3.6.3 Portata di ventilazione media giornaliera

Le portate d'aria medie giornaliere di ventilazione della zona vengono calcolate per ogni flusso k come segue:

- a) **in condizioni di riferimento** (sola aerazione o ventilazione naturale, comprese le infiltrazioni):

$$\dot{V}_{a,k} = \dot{V}_{a,p,min,k} \cdot f_{v,t,k} \quad (3.46)$$

dove:

$\dot{V}_{a,p,min}$ è la portata minima di progetto di aria esterna calcolata con l'equazione (3.43) o (3.45), [m³/s];

$f_{v,t,k}$ è un fattore di correzione che rappresenta la frazione di tempo in cui si attua il flusso d'aria k-esimo e che tiene conto dell'effettivo profilo di utilizzo e delle infiltrazioni che si hanno quando non si opera l'aerazione. I valori del fattore di correzione $f_{v,t,k}$ sono riportati nel Prospetto 3.XIX in funzione della destinazione d'uso.

b) in condizioni effettive in presenza di sola ventilazione naturale:

La portata media effettiva coincide con la portata di ventilazione in condizioni di riferimento, calcolata mediante l'equazione (3.46).

c) in condizioni effettive in presenza di un sistema di ventilazione meccanica:

$$\dot{V}_{a,k} = \left(\bar{V}'_{a,x} \right)_k \cdot (1 - \beta_k) + \left(\dot{V}_{a,f} \cdot b_v \cdot FC_v + \bar{V}_{a,x} \right)_k \cdot \beta_k \quad (3.47)$$

dove:

$\bar{V}'_{a,x}$ è la portata d'aria media giornaliera addizionale dovuta agli effetti del vento, nel periodo in cui non è funzionante la ventilazione meccanica, (equazione (3.54)), [m³/s];

$\dot{V}_{a,f}$ è la portata nominale della ventilazione meccanica, (equazione (3.55)), [m³/s];

$\bar{V}_{a,x}$ è la portata d'aria media giornaliera addizionale con ventilazione meccanica funzionante dovuta a infiltrazioni per ventilazione naturale termica e trasversale (equazione (3.57)), [m³/s];

b_v è il fattore di correzione della temperatura dipende dalla tipologia di ventilazione adottata ($b_{v,k} \neq 1$ se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di recupero termico dell'aria di ventilazione, e va calcolato come riportato al paragrafo § 3.3.6.10, [-];

FC_v il fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica rilevabile dal Prospetto 3.XXIV, [-];

β_k è la frazione dell'intervallo temporale di calcolo con ventilazione meccanica funzionante per il flusso d'aria k-esimo.

d) in condizioni effettive in presenza di un sistema di ventilazione ibrida (meccanica + naturale):

$$\dot{V}_{a,k} = \left(\bar{V}_{a,0} + \bar{V}'_{a,x} \right)_k \cdot (1 - \beta_k) + \left(\dot{V}_{a,f} \cdot b_v \cdot FC_v + \bar{V}_{a,x} \right)_k \cdot \beta_k \quad (3.48)$$

dove:

$\bar{V}_{a,0}$ è la portata d'aria media giornaliera per ventilazione naturale, durante il periodo di non funzionamento della ventilazione meccanica, (equazione (3.44)) [m³/s].

e) in condizioni effettive in presenza di un impianto di climatizzazione a tutt'aria o aria primaria:

$$\dot{V}_{a,k} = \left(\bar{V}_{a,0} + \bar{V}'_{a,x} \right)_k \cdot (1 - \alpha_k - \beta'_k) + \left(\dot{V}_{a,f} \cdot b_v \cdot FC_v + \bar{V}_{a,x} \right)_k \cdot \beta'_k \quad (3.49)$$

dove:

α_k è la frazione di ore settimanali in cui l'impianto di climatizzazione è in funzione come tale, calcolata come:

$$\alpha_k = \frac{n_{\text{clim,settimana}}}{168} \quad (3.50)$$

β'_k è la frazione di ore settimanali in cui l'impianto di climatizzazione serve solo come sistema per la ventilazione meccanica, calcolata come:

$$\beta'_k = \frac{n_{\text{vent, settimana}}}{168} \quad (3.51)$$

con

- $n_{\text{clim, settimana}}$ numero di ore settimanali in cui l'impianto di climatizzazione è in funzione come tale, [h];
 $n_{\text{vent, settimana}}$ numero di ore settimanali in cui l'impianto di climatizzazione serve solo come sistema per la ventilazione meccanica, [h].

Di norma, per la certificazione energetica e per la verifica dei limiti di legge, essendo gli impianti a disposizione 24 ore su 24, nel periodo di riscaldamento e in quello di raffrescamento, sarebbero sempre in modalità climatizzazione e mai di sola ventilazione. Di conseguenza, in tali periodi si assume la frazione $\alpha_k = 1$ e $\beta'_k = 0$. Al di fuori di tali periodi, l'impianto di climatizzazione, se previsto, può essere usato come impianto di pura ventilazione, così come trattato al punto c).

f) **in condizioni effettive in presenza ventilazione notturna ai fini del raffrescamento** (free cooling):

$$\dot{V}_{a,k} = \left(\bar{\dot{V}}'_{a,x} \right)_k \cdot (1 - \beta_k^n - \beta_k^g) + \left(\dot{V}_{a,f,n} \cdot b_{v,n} + \bar{\dot{V}}_{a,x} \right)_k^n \cdot \beta_k^n + \left(\dot{V}_{a,f} \cdot b_v \cdot FC_v + \bar{\dot{V}}_{a,x} \right)_k^g \cdot \beta_k^g \quad (3.52)$$

dove i significati dei vari termini restano quelli in precedenza definiti, salvo che i termini con apici g sono determinati come riportato ai paragrafi precedenti in funzione delle esigenze di qualità dell'aria, mentre i termini con gli apici n , sono determinati in funzione dell'obiettivo del raffrescamento notturno. In particolare:

$\dot{V}_{a,f,n}$ è la portata d'aria esterna per raffrescamento notturno, [m³/s].

La ventilazione notturna può essere considerata solo in presenza di ventilazione meccanica, assumendo una ventilazione notturna (dalle ore 23:00 alle ore 7:00) per tutti i giorni del periodo di raffrescamento. In questo caso:

- il periodo diurno va dalle ore 7:00 alle ore 23:00 ($\beta_k^g = 0,67$) e per tale periodo le relative portate si determinano come esplicitato nei paragrafi seguenti;
- il periodo notturno va dalle ore 23:00 alle ore 7:00 ($\beta_k^g = 0,33$) e la portata è quella per raffrescamento notturno.

I valori di correzione della temperatura, b_v e $b_{v,n}$, tengono conto della diversa differenza di temperatura tra ambienti interno ed esterno nelle due frazioni del periodo di calcolo (dalle ore 7:00 alle ore 23:00 e dalle ore 23:00 alle ore 7:00). In mancanza di dati precisi sui profili giornalieri della temperatura esterna e nel caso in cui sia $\theta_i > \theta_e$, si assuma $b_{v,n} = 1,5 b_v$.

3.3.6.4 Portata d'aria media giornaliera per ventilazione naturale che si ha nel periodo di non funzionamento della ventilazione meccanica

La portata aria per ventilazione naturale che si ha nel periodo di non funzionamento della ventilazione meccanica, $\bar{V}_{a,0}$, che si ottiene tramite sistemi di aperture che vengono attivate quando si arresta la ventilazione meccanica, si calcola come:

$$\dot{V}_{a,0} = V \cdot n_{vn} / 3600 \tag{3.53}$$

dove

V è il volume netto del locale o zona considerata, [m³];

n_{vn} è il numero di ricambi d'aria medio giornaliero per ventilazione naturale, [h⁻¹], che si assume pari ai valori riportati nel Prospetto 3.XX e nel Prospetto 3.XXI.

Classe di schermatura ^{a)}	Tasso di ricambio d'aria					
	n _{vn} [h ⁻¹]					
	Più di una facciata esposta			Una sola facciata esposta		
	Permeabilità dell'edificio			Permeabilità dell'edificio		
	Bassa	Media	Alta	Bassa	Media	Alta
Nessuna schermatura	0,5	0,7	1,2	0,5	0,6	1,0
Media schermatura	0,5	0,6	0,9	0,5	0,5	0,7
Forte schermatura	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5

^{a)} Le classi di schermatura sono definite nel Prospetto 3.XXIII.

Prospetto 3.XX – Ricambi d'aria medi giornalieri n_{vn} per ventilazione naturale in funzione della classe di schermatura e della permeabilità all'aria dell'edificio: edifici residenziali multifamiliari e altre destinazioni d'uso.
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Classe di schermatura ^{a)}	Ricambi d'aria		
	n _{vn} [h ⁻¹]		
	Permeabilità dell'edificio		
	Bassa	Media	Alta
Nessuna schermatura	0,5	0,7	1,2
Media schermatura	0,5	0,6	0,9
Fortemente schermato	0,5	0,5	0,6

^{a)} Le classi di schermatura sono definite nel Prospetto 3.XXIII.

Prospetto 3.XXI – Ricambi d'aria medi giornalieri n_{vn} per ventilazione naturale in funzione della classe di schermatura e della permeabilità all'aria dell'edificio: edifici residenziali monofamiliari.
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

3.3.6.5 Portata d'aria media giornaliera addizionale dovuta agli effetti del vento

La portata d'aria media giornaliera addizionale dovuta agli effetti del vento, nel periodo in cui non è funzionante la ventilazione meccanica, $\bar{V}'_{a,x,k}$, [m³/s] si calcola come:

$$\bar{V}'_{a,x,k} = V \cdot n_{50} \cdot \frac{e}{3600} \tag{3.54}$$

dove:

V è il volume netto del locale o zona considerata, [m³];

n_{50} ricambio d'aria risultante da una differenza di pressione di 50 Pa tra interno ed esterno, [h⁻¹];

e coefficiente di esposizione al vento riportato nel Prospetto 3.XXIII.

In assenza di valori misurati secondo la UNI EN 13829 e documentati, i valori caratteristici di n_{50} da applicare sono riportati nel Prospetto 3.XXII in funzione della permeabilità dell'involucro.

Permeabilità dell'involucro (*)	Tasso di ricambio d'aria a 50 Pa n_{50} [h ⁻¹]	
	Edificio residenziale multifamiliare o altra destinazione d'uso	Edificio residenziale monofamiliare
Bassa	1	2
Media	4	7
Alta	8	14

(*) In assenza di informazioni sulla permeabilità dei serramenti in riferimento alla normativa tecnica vigente (UNI EN 12207) si assume "permeabilità media".

Prospetto 3.XXII – Tasso di ricambio d'aria caratteristico medio giornaliero per una differenza tra interno ed esterno di 50 Pa, n_{50} , in funzione della permeabilità dell'involucro

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

3.3.6.6 Portata nominale della ventilazione meccanica

La portata di nominale della ventilazione meccanica $\dot{V}_{a,f}$ si calcola come:

$$\dot{V}_{a,f} = \max[\dot{V}_{a,des}; \dot{V}_{a,p,min}] \quad (3.55)$$

con

$\dot{V}_{a,des}$ è la portata di esercizio dell'impianto di ventilazione meccanica in condizioni di progetto, [m³/s]

$\dot{V}_{a,p,min}$ è la portata minima di progetto calcolata con l'equazione (3.43) o ((3.45), [m³/s].

La portata di progetto della ventilazione meccanica, $\dot{V}_{a,des}$, coincide con:

- nel caso di ventilazione meccanica per estrazione, con la portata di estrazione $\dot{V}_{a,ext}$;
- nel caso di ventilazione meccanica per immissione, con la portata di immissione $\dot{V}_{a,sup}$;
- nel caso ventilazione meccanica bilanciata, con il massimo tra la portata di immissione e quella di estrazione:

$$\dot{V}_{a,des} = \max[\dot{V}_{a,sup}; \dot{V}_{a,ext}] \quad (3.56)$$

3.3.6.7 Portata d'aria media giornaliera addizionale con ventilazione meccanica $\bar{V}_{a,x}$

La portata d'aria media giornaliera addizionale con ventilazione meccanica funzionante dovuta a ventilazione naturale termica e trasversale, $\bar{V}_{a,x}$, si calcola come:

$$\bar{V}_{a,x} = \frac{\bar{V}'_{a,x}}{1 + \frac{f}{e} \left[\frac{\dot{V}_{a,sup} - \dot{V}_{a,ext}}{V \cdot n_{50} / 3600} \right]^2} \tag{3.57}$$

dove

$\bar{V}'_{a,x}$ portata d'aria media giornaliera addizionale dovuta agli effetti del vento (equazione (3.54)), [m³/s];

$\dot{V}_{a,sup}$ è la portata di progetto del sistema di immissione (ventilatore, eiettore, ecc.) pari a $\dot{V}_{a,f}$ solo nel caso di ventilazione meccanica per immissione; in tal caso si ha anche $\dot{V}_{a,ext} = 0$, [m³/s];

$\dot{V}_{a,ext}$ è la portata minima di progetto del sistema di estrazione (ventilatore, eiettore, ecc.) pari a $\dot{V}_{a,f}$ solo nel caso di ventilazione meccanica per estrazione; in tal caso si ha anche $\dot{V}_{a,sup} = 0$, [m³/s];

V è il volume netto del locale o zona considerata, [m³];

n₅₀ è il ricambio d'aria risultante da una differenza di pressione di 50 Pa tra interno ed esterno, inclusi gli effetti delle aperture di immissione dell'aria (da Prospetto 3.XXII se non misurati e documentati), [h⁻¹];

e coefficiente di schermatura riportato nel Prospetto 3.XXIII;

f coefficiente di schermatura riportato nel Prospetto 3.XXIII.

Coefficiente	Schermatura		Esposizione	
	Classe	Descrizione	Più di una facciata esposta	Solo una facciata esposta
e	Nessuna schermatura	Edifici in aperta campagna, grattacieli nel centro città	0,10	0,03
	Media schermatura	Edifici in campagna con alberi o con altri edifici nelle vicinanze, periferie	0,07	0,02
	Fortemente schermato	Edifici di media altezza nei centri cittadini, edifici in mezzo a foreste	0,04	0,01
f	Tutte le classi di schermatura	Tutti gli edifici	15	20

Prospetto 3.XXIII – Coefficienti di esposizione al vento e ed f in funzione della schermatura e dell'esposizione dell'edificio nei confronti del vento
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

3.3.6.8 Frazione dell'intervallo temporale di calcolo con ventilazione meccanica funzionante, β_k

La frazione dell'intervallo temporale di calcolo con ventilazione meccanica funzionante per il flusso d'aria k-esimo, β_k , è pari alle ore cumulate giornaliere (valore medio mensile) di presenza di persone

corrispondente al profilo di occupazione relativo alla destinazione d'uso considerata rapportate alle 24 ore, desumibili dal Prospetto 4.1:

$$\beta_k = f_{G,per} \quad (3.58)$$

3.3.6.9 Fattore d'efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica, FC_v ,

Il fattore d'efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica, FC_v , riportato nel Prospetto 3.XXIV, per tipo di locale in funzione della tipologia di sistema di rilevamento e di attuazione del controllo della portata d'aria di ventilazione. Tale fattore tiene conto della riduzione della portata media giornaliera rispetto al valore nominale, conseguenza della retroazione dei sistemi di controllo che modulano la portata effettiva in funzione del tasso di occupazione. Sistemi di regolazioni diversi hanno capacità diverse nel seguire la richiesta e quindi valori diversi della portata media giornaliera erogata a parità di profilo di occupazione. Se il sistema di ventilazione è a portata costante (assenza di sistema di regolazione) il valore del fattore di efficienza della regolazione è unitario.

Destinazione d'uso dell'edificio	Tipo di sensore							Umidità relativa
	Bocchetta con rilevatore di presenza integrato	Presenza		Movimento		CO ₂		
		Modulo di regolazione della portata	Ventilatore a velocità variabile	Modulo di regolazione della portata	Ventilatore a velocità variabile	Modulo di regolazione della portata	Ventilatore a velocità variabile	
E.1 - Residenze	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70	0,70	0,60
E.1 (3) camere d'albergo	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70	0,70	0,60
E.2 - Uffici singoli	0,66	0,64	0,68	0,67	0,71	0,57	0,61	-
E.2 - Open space	0,80	0,80	0,80	0,53	0,59	0,45	0,50	-
E.2 - Sala riunioni	0,58	0,55	0,60	0,34	0,42	0,29	0,37	-
E.3								-
E.4 - Ristorazione	0,8	0,8	0,8	0,58	0,63	0,49	0,53	-
E.4 - Cinema, teatri, sale per congressi	-	-	-	-	-	0,33	0,40	-
E.5	-	-	-	-	-	0,33	0,40	-
E.6	-	-	-	-	-	-	-	-
E.7 - Edificio scolastico primario	0,66	0,64	0,68	0,67	0,71	0,57	0,61	-
E7. - Edificio scolastico secondario	0,8	0,8	0,8	0,48	0,54	0,41	0,47	-
E.8	-	-	-	-	-	-	-	-

Prospetto 3.XXIV - Fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica, FC_v , per destinazione d'uso in funzione della tipologia di sistema di rilevamento e di attuazione del controllo della portata d'aria di ventilazione

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

3.3.6.10 Fattore di correzione $b_{v,k}$

Il fattore di correzione per la differenza di temperatura effettivamente presente nel k-esimo flusso d'aria, $b_{v,k}$, viene calcolato nel seguente modo:

- a) ventilazione meccanica a semplice flusso con ventilatore premente (immissione diretta di aria esterna attraverso l'apparato ventilante) o in estrazione (immissione di aria esterna per depressione attraverso aperture e/o fenditure nell'involucro)

$$b_{v,k} = 1$$

- b) ventilazione meccanica a semplice flusso con ventilatore premente o in estrazione con prelievo, per sovrappressione o depressione, dell'aria esterna attraverso uno spazio non climatizzato (eventualmente anche soleggiato: serra);

$$b_{v,k} = \frac{\theta_i - \theta_{im,k}}{\theta_i - \theta_e}$$

dove:

$\theta_{im,k}$ è il valore della temperatura dello spazio soleggiato k-esimo determinato come riportato in Appendice A [°C];

θ_i è la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, (si veda § 1.4), [°C];

θ_e è il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna (si veda § 3.3.5.1), [°C].

Ai soli fini della certificazione energetica, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, ad esclusione degli spazi soleggiati, qualora il coefficiente di scambio termico per ventilazione, H_v , sia stato stimato secondo l'equazione (3.41) sostituendo al termine $C_{v,k}$ il fattore correttivo F_T riportato nel Prospetto 3.I., si pone anche $b_{v,k} = F_T$.

- c) ventilazione meccanica a doppio flusso

$b_{v,k} = 1$ per sistemi senza recupero termico;

$$b_{v,m} = \frac{\theta_i - \theta_{im}}{\theta_i - \theta_e} \quad \text{per sistemi con recupero termico;}$$

dove

θ_{im} è il valore di progetto della temperatura di immissione dell'aria nella zona dopo il recuperatore, ovvero la temperatura di uscita dal recuperatore (si faccia riferimento all'Appendice E per la sua determinazione), [°C].

d) ventilazione meccanica effettuata tramite l'impianto di climatizzazione a tutta aria o aria primaria:

$b_{v,k} = 0$ nelle ore di attivazione della climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento);

$b_{v,m} = \frac{\theta_i - \theta_{im}}{\theta_i - \theta_e}$ nelle ore di attivazione dell'impianto ai soli fini della ventilazione (condizione che solitamente si ha nelle stagioni intermedie), dove θ_{im} viene determinato come definito al punto c).

e) ventilazione meccanica effettuata tramite una parete ventilata:

$b_{v,k} = 0$ sia per ventilatore premente che aspirante purché sia aria di espulsione;

$b_{v,m} = \frac{\theta_i - \theta_{im}}{\theta_i - \theta_e}$ sia per ventilatore premente che aspirante purché sia aria di immissione; si faccia riferimento all'Appendice E per la determinazione della temperatura di immissione.

3.3.7 Apporti di calore dovuti ad apparecchiature elettriche e persone

Qualunque calore generato all'interno della zona climatizzata o a temperatura controllata contribuisce ad accrescere gli apporti di calore interni, Q_i .

Tra le principali sorgenti di calore interne vi sono:

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

In edifici a destinazione d'uso residenziale, gli apporti di calore dovuti alla presenza di queste sorgenti sono ricavati, in maniera convenzionale, mediante la seguente relazione:

$$Q_i = \dot{Q}_a \cdot \Delta t \tag{3.59}$$

dove:

Q_i è l'apporto di calore dovuto ad apparecchiature elettriche e persone, [kWh];

\dot{Q}_a è il valore medio globale degli apporti interni, (Prospetto 3.XXV), [W];

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali \dot{Q}_a [W]
E.1 (1); E.1 (2)	Edifici residenziali con $A \leq 120 \text{ m}^2$	$7,987 \cdot A - 0,0353 \cdot A^2$
E.1 (1); E.1 (2)	Edifici residenziali con $A > 120 \text{ m}^2$	450

Prospetto 3.XXV - Valori globali degli apporti interni, \dot{Q}_a

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Per tutte le altre destinazioni d'uso, l'entità degli apporti di calore interni è ricavata come:

$$Q_i = \dot{q}_a \cdot A \cdot \Delta t \quad (3.60)$$

dove:

- Q_i è l'apporto di calore gratuito dovuto ad apparecchiature elettriche e persone, [kWh];
 A è la superficie utile di pavimento, [m²];
 \dot{q}_a è il valore medio globale degli apporti interni per unità di superficie utile, (Prospetto 3.XXVI), [W/m²];
 Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali per unità di superficie \dot{q}_a [W/m ²]
E.1 (1)	Collegi, caserme, case di pena, conventi	6
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari	6
E.2	Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche o case di cura ed assimilabili	8
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4 (2)	Luoghi di culto, mostre, musei e biblioteche	8
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 di tutti i livelli e assimilabili	4
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali ed assimilabili	6

Prospetto 3.XXVI - Valori globali degli apporti interni, \dot{Q}_a

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

3.3.8 Apporti solari mensili attraverso le strutture trasparenti esterne

L'energia dovuta agli apporti solari sulle superfici trasparenti rivolte verso l'ambiente esterno, Q_{Si} , viene calcolata prendendo in considerazione l'effetto di schermature mobili permanenti, cioè integrate nell'involucro edilizio e non liberamente montabili e smontabili dall'utente, come:

$$Q_{Si} = N \cdot \sum_j \left[\bar{H}_{s,j} \cdot \left(\sum_i A_{L,i} \cdot (1 - F_{r,i}) \cdot F_{S,i,j} \cdot F_{(sh+gl),i,j} \cdot g_{\perp,i} \right) \right] \quad (3.61)$$

dove:

- Q_{Si} è l'apporto di calore dovuto alla radiazione solare attraverso le superfici trasparenti rivolte verso l'ambiente esterno, [kWh];
 N è il numero dei giorni del mese considerato;
 $\bar{H}_{s,j}$ è l'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente con esposizione, j , calcolata come da Appendice F, [kWh/m²];
 $A_{L,i}$ è la superficie lorda del serramento vetrato, i , (assunta pari a quella dell'apertura realizzata sulla parete), [m²];

- 1-F_{F,i} è il coefficiente di riduzione dovuto al telaio per il serramento i, pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise si assume un valore convenzionale pari a 0,80;
- F_{S,i,j} è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura per la superficie i, con esposizione j, da calcolare con l'equazione (3.64);
- F_{(sh+g),i,j} è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili o fisse complanari al serramento i, con esposizione j, definito dalla (3.65), ovvero di correzione per angolo di incidenza medio giornaliero diverso da 0° (incidenza normale), giacché tiene esplicitamente conto della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata, sia per il serramento con schermature che per il serramento senza schermature;
- g_{⊥,i} è la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento, i, (alcuni valori indicativi del coefficiente di trasmissione solare, g_⊥, di alcuni tipi di vetro sono riportati nel Prospetto 3.XXVII: tali valori devono essere utilizzati solo quando non sono disponibili dati più precisi forniti dal costruttore).

L'energia dovuta agli apporti solari sulle superfici trasparenti rivolte verso uno spazio soleggiato (serra, vedi Figura 3.8), Q_{Si,S}, si calcola come doppia trasmissione dell'energia solare, attraverso i sistemi trasparenti costituenti lo spazio soleggiato e attraverso i componenti finestrati tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato:

$$Q_{Si,S} = N \cdot \overline{\left((1-F_F)_{we} \cdot F_{S,we} \cdot F_{(sh+g),we} \cdot g_{\perp,we} \right)} \cdot \sum_{k=1}^{N_{wi}} \left(A_{L,wi} \cdot (1-F_F)_{wi} \cdot F_{S,wi} \cdot F_{(sh+g),wi} \cdot g_{\perp,wi} \cdot \bar{H}_{s,pi} \right)_k \quad (3.62)$$

dove:

- Q_{Si,S} è l'apporto solare diretto (interno) dovuto alla radiazione solare che passa prima attraverso i sistemi trasparenti costituenti lo spazio soleggiato e poi attraverso i componenti finestrati tra la zona climatizzata e lo spazio soleggiato, [kWh];
- N è il numero dei giorni del mese considerato, [-];
- (1-F_F) è il coefficiente di riduzione dovuto al telaio, pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale del generico serramento (pedice, we, per il componente trasparente posto tra lo spazio non climatizzato soleggiato e l'esterno, pedice, wi, per il componente trasparente posto sulla parete divisoria tra lo spazio a temperatura controllata e quello soleggiato), in assenza di dati specifici si assume un valore convenzionale pari a 0,80; [-];
- F_(sh+g) è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili o fisse complanari al serramento i, con esposizione j, definito dalla (3.65), ovvero di correzione per angolo di incidenza medio giornaliero diverso da 0° (incidenza normale), giacché tiene esplicitamente conto della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata, sia per il serramento con schermature che per il serramento senza schermature, (pedice, we, per il componente trasparente posto tra lo spazio non climatizzato soleggiato e l'esterno, pedice, wi, per il componente trasparente posto sulla parete divisoria tra lo spazio a temperatura controllata e quello soleggiato), [-];
- F_S è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura, così come definito dalla equazione (3.64), (pedice, we, per il componente trasparente posto tra lo spazio non climatizzato soleggiato e l'esterno, pedice, wi, per il componente trasparente posto sulla parete divisoria tra lo spazio a temperatura controllata e quello soleggiato), [-];
- g_⊥ è la trasmittanza dell'energia solare totale della generica superficie trasparente di un serramento (pedice, we, per il componente trasparente posto tra lo spazio non climatizzato soleggiato e

l'esterno, pedice, w_i , per il componente trasparente posto sulla parete divisoria tra lo spazio a temperatura controllata e quello soleggiato; alcuni valori indicativi del coefficiente di trasmissione solare, g_{\perp} , di alcuni tipi di vetri sono riportati nel Prospetto 3.XXVII: tali valori devono essere utilizzati solo quando non sono disponibili dati più precisi forniti dal costruttore), [-];

A_{L,w_i} è l'area lorda della superficie del serramento trasparente k-esimo posto tra lo spazio a temperatura controllata e quello soleggiato, [m²];

$\bar{H}_{s,pi}$ è l'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sul serramento k-esimo posto tra lo spazio a temperatura controllata e quello soleggiato, calcolata come da Appendice F, [kWh/m²].

e il termine $\left((1 - F_F)_{we} \cdot F_{s,we} \cdot F_{(sh+gl),we} \cdot g_{\perp,we} \right)$ è calcolato con l'equazione (3.63).

$$\frac{\left((1 - F_F)_{we} \cdot F_{s,we} \cdot F_{(sh+gl),we} \cdot g_{\perp,we} \right)}{\left((1 - F_F)_{we} \cdot F_{s,we} \cdot F_{(sh+gl),we} \cdot g_{\perp,we} \right)} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{we}} (A_{L,we,i} \cdot g_{\perp,we,i} \cdot (1 - F_F)_{we,i} \cdot F_{s,we,i} \cdot F_{(sh+gl),we,i})}{\sum_{i=1}^{N_{we}} (A_{L,we,i})} \quad (3.63)$$

dove:

$A_{L,we,i}$ è la superficie lorda del serramento trasparente i-esimo posto tra lo spazio soleggiato e l'esterno, [m²];

N_{we} è il numero totale di elementi trasparenti posti tra lo spazio soleggiato e l'ambiente esterno, [-].

Tipo di vetro	g_{\perp}
Vetro singolo	0,85
Vetro singolo selettivo (fonte UNI 10344)	0,66
Doppio vetro normale	0,75
Doppio vetro con rivestimento basso emissivo	0,67
Triplo vetro normale	0,70
Triplo vetro con doppio rivestimento basso emissivo	0,5
Doppia finestra con vetri singoli	0,75

Prospetto 3.XXVII - Valori della trasmittanza per energia solare totale, g_{\perp} , per alcune tipologie di vetri (Fonte: UNI TS 11300-1:2014 e UNI 10344:1993)

Il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura deve essere calcolato mediante l'equazione (3.64):

$$F_{s,i,j} = F_{h,i,j} \cdot \min (F_{o,i,j}; F_{f,i,j}) \quad (3.64)$$

dove:

$F_{s,i,j}$ è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura per il serramento i, con esposizione j;

$F_{h,i,j}$ è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne per il serramento i, con esposizione j, (Prospetto C. 1 e Prospetto C. 2);

$F_{o,i,j}$ è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti orizzontali per il serramento i, con esposizione j, (Prospetto C. 3 e Prospetto C. 4);

$F_{f,i,j}$ è il fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti verticali per il serramento i, con esposizione j, (Prospetto C. 5 e Prospetto C. 6).

NOTA: per i serramenti inclusi in tetti a falda fino a 45° di inclinazione o tetti piani o lastrici solari, si assume convenzionalmente F_s pari sempre ad 1; per pendenze maggiori si considerano i coefficienti relativi alle superfici verticali.

Il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili e fisse complanari al serramento, comprensivo della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata, deve essere calcolato mediante le seguenti equazioni:

$$F_{(sh+gl),i,j} = f_{shd,j} \cdot F_{sh,i,j} + (1 - f_{shd,j}) \cdot F_{gl,i} \quad (3.65)$$

$$F_{sh,i,j} = \frac{g_{(sh+gl),b,i} \cdot f_{b,j} + g_{(sh+gl),d,i} \cdot (1 - f_{b,j})}{g_{\perp,i}} \quad (3.66)$$

dove:

$F_{(sh+gl),i,j}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili o fisse complanari al serramento i , con esposizione j , ovvero di correzione per angolo di incidenza medio giornaliero diverso da 0° (incidenza normale), giacché tiene esplicitamente conto della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata, sia per il serramento con schermature che per il serramento senza schermature;

$f_{shd,j}$ è la frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, pesata sull'irradianza solare incidente, ed in funzione della sua esposizione j ; i valori di riferimento sono riportati nel Prospetto 3.XXVIII; tale fattore viene considerato anche nella stagione di riscaldamento per la necessità di operare con la schermatura ai fini dell'abbagliamento da luce diretta;

$F_{sh,i,j}$ è il fattore di riduzione degli apporti solari dovuto all'effetto di schermature mobili permanenti, cioè integrate nell'involucro edilizio e non liberamente montabili e smontabili dall'utente, calcolato secondo l'equazione (3.66), comprensivo della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata; ovvero dovuto all'effetto di tendaggi filtranti, il cui valore si desume dal § 3.3.8.3;

$F_{gl,i}$ è il fattore di correzione che tiene conto della dipendenza angolare delle proprietà ottiche della superficie trasparente i , quando non è schermata, ed è desumibile per diverse tipologie di vetrate dal Prospetto 3.XXIX;

$g_{(sh+gl),b,i}$ è la trasmittanza di energia solare diretta totale dell' i -esimo serramento in presenza di sistemi schermanti. Il cui calcolo viene effettuato in accordo a quanto indicato al § 3.3.8.1;

$f_{b,j}$ è il fattore di peso dell'irradiazione diretta rispetto all'irradiazione totale sulla superficie con esposizione j , valori di riferimento convenzionali da impiegare per la Regione Lombardia sono riportati nel Prospetto 3.XXX;

$g_{(sh+gl),d,i}$ è la trasmittanza di energia solare diffusa totale dell' i -esimo serramento in presenza di sistemi schermanti. Il calcolo viene effettuato in accordo a quanto indicato al § 3.3.8.1;

$g_{\perp,i}$ è la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento, i , (alcuni valori indicativi del coefficiente di trasmissione solare, g_{\perp} , di alcuni tipi di vetri sono riportati nel Prospetto 3.XXVII: tali valori devono essere utilizzati solo quando non sono disponibili dati più precisi forniti dal costruttore).

Mese	Nord	Est	Sud	Ovest
Gennaio	0,00	0,52	0,81	0,39
Febbraio	0,00	0,48	0,82	0,55
Marzo	0,00	0,66	0,81	0,63
Aprile	0,00	0,71	0,74	0,62
Maggio	0,00	0,71	0,62	0,64
Giugno	0,00	0,75	0,56	0,68
Luglio	0,00	0,74	0,62	0,73
Agosto	0,00	0,75	0,76	0,72

Settembre	0,00	0,73	0,82	0,67
Ottobre	0,00	0,72	0,86	0,60
Novembre	0,00	0,62	0,84	0,30
Dicembre	0,00	0,50	0,86	0,42

Prospetto 3.XXVIII – Fattore di riduzione f_{shd} per le schermature mobili, nel caso di orientamenti non considerati si procede per interpolazione lineare
(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

Mese	Vetro singolo				Doppio vetro				Triplo vetro			
	S	E/O	N	Orizz.	S	E/O	N	Orizz.	S	E/O	N	Orizz.
Gen.	0,984	0,902	0,932	0,876	0,978	0,861	0,901	0,812	0,972	0,833	0,880	0,770
Feb.	0,967	0,923	0,932	0,902	0,950	0,890	0,901	0,851	0,937	0,868	0,880	0,817
Mar.	0,933	0,932	0,931	0,931	0,897	0,904	0,901	0,895	0,872	0,884	0,879	0,871
Apr.	0,888	0,938	0,921	0,949	0,833	0,912	0,890	0,923	0,796	0,894	0,868	0,906
Mag.	0,852	0,941	0,895	0,955	0,787	0,916	0,854	0,933	0,747	0,898	0,828	0,918
Giu.	0,838	0,941	0,877	0,955	0,770	0,915	0,831	0,934	0,731	0,898	0,802	0,920
Lug.	0,835	0,941	0,877	0,956	0,766	0,915	0,831	0,935	0,724	0,898	0,801	0,921
Ago.	0,861	0,940	0,905	0,952	0,797	0,915	0,870	0,928	0,756	0,898	0,846	0,912
Set.	0,911	0,935	0,930	0,940	0,865	0,907	0,899	0,909	0,833	0,888	0,877	0,887
Ott.	0,957	0,925	0,931	0,912	0,933	0,894	0,900	0,865	0,915	0,872	0,878	0,833
Nov.	0,981	0,912	0,931	0,880	0,971	0,876	0,901	0,818	0,964	0,851	0,879	0,776
Dic.	0,987	0,903	0,932	0,858	0,982	0,862	0,901	0,789	0,977	0,834	0,880	0,744

Prospetto 3.XXIX – Valori dei coefficienti correttivi F_{gl} per diverse tipologie di vetrate, nel caso di orientamenti non considerati si procede per interpolazione lineare.
(Fonte: UNI TS 11300-1 2014)

f_b (mese, esposizione)	Sud	Est/Ovest	Nord	Orizzontale
Gennaio	0,75	0,50	0	0,40
Febbraio	0,70	0,50	0	0,50
Marzo	0,65	0,55	0	0,55
Aprile	0,55	0,55	0,10	0,60
Maggio	0,40	0,55	0,25	0,60
Giugno	0,35	0,55	0,30	0,65
Luglio	0,45	0,60	0,35	0,70
Agosto	0,50	0,60	0,15	0,65
Settembre	0,65	0,60	0	0,60
Ottobre	0,75	0,55	0	0,55
Novembre	0,75	0,50	0	0,45
Dicembre	0,75	0,50	0	0,40

Prospetto 3.XXX – Fattori di peso f_b della radiazione solare diretta sulla totale (ricavati per la Regione Lombardia con approssimazione conservativa per il fabbisogno estivo), nel caso di orientamenti non considerati si procede per interpolazione lineare.

Le schermature che vengono prese in considerazione sono solo quelle disposte verticalmente e parallele al piano contenente le superfici trasparenti dell'involucro (finestre, facciate continue trasparenti, ecc.).

3.3.8.1 Calcolo della trasmittanza di energia solare totale, diretta e diffusa, in presenza di sistemi schermanti

La valutazione della trasmittanza di energia solare totale di un componente di involucro trasparente dotato di sistema schermante viene effettuata in accordo alla norma UNI EN 13363-1:2008, per quanto riguarda la componente diretta, $g_{(sh+gl),b}$. Per il calcolo della componente diffusa, $g_{(sh+gl),d}$, si procede in modo analogo alla diretta modificando opportunamente i fattori di trasmissione e riflessione della schermatura. Le tipologie trattate da tale norma e di seguito riportate sono limitate al caso di elementi schermanti disposti sul piano parallelo a quello del sistema trasparente e del seguente tipo:

- tende avvolgibili;
- tende veneziane;
- persiane;
- frangisole a lamelle orizzontali o verticali;
- tapparelle.

Per il calcolo della prestazione di tali sistemi, ad esclusione del primo (tende avvolgibili), la trasmittanza di energia solare totale (comprendente oltre all'energia della radiazione solare entrante attraverso il sistema trasparente anche l'energia solare assorbita dal sistema e trasferita termicamente all'interno) va distinta facendo riferimento alle componenti diretta, $g_{(sh+gl),b}$, e diffusa, $g_{(sh+gl),d}$, essendo le prestazioni dei sistemi a lamelle significativamente differenti per le due tipologie di radiazione incidente. Di contro per le tende avvolgibili, tale differenza è trascurabile e quindi, in tal caso, i parametri fisici che definiscono le due diverse trasmittanze sono assunti coincidenti. In ogni caso, per entrambe le tipologie, i valori della trasmittanza tengono implicitamente conto della dipendenza angolare giornaliera della radiazione diretta incidente, anche se risultano riferite alla trasmittanza di energia solare totale normale del sistema vetrato da queste schermato, g_{\perp} .

Per alcune tipologie di sistema trasparente non direttamente contemplate nella citata norma, viene riportata di seguito un'estensione dell'applicazione della UNI EN 13363-1:2008 che associa ad ognuna di esse la tipologia prevista con prestazioni estive più simili, ma potenzialmente meno favorevoli (valutazione conservativa), qui definita come "sistema equivalente". Per queste e altre configurazioni con schermature integrate ed intercapedini ventilate non incluse in questa procedura è pertanto suggerito il ricorso ad una valutazione delle prestazioni energetiche attraverso l'uso di opportuni codici di simulazione dinamica che impieghino il metodo di calcolo dettagliato descritto nella norma UNI EN 13363-2:2006 o analoghi modelli sviluppati e validati da Università o Enti di Ricerca.

- a) Schermature solari poste all'esterno dell'elemento di involucro trasparente, con intercapedine tra schermo e superficie chiusa, sia ventilata che non ventilata (approccio conservativo)

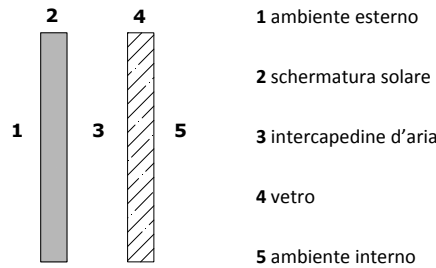


Figura 3.2 – Schematizzazione di una schermatura solare esterna

Le trasmittanze di energia solare totale diretta e diffusa della finestra in presenza di sistema schermante esterno, se non fornita dal produttore, sono calcolate con le seguenti formule:

$$g_{(sh+g),b} = \tau_{e,b} \cdot g_{\perp} + \alpha_{e,b} \cdot \frac{G}{G_2} + \tau_{e,b} \cdot (1 - g_{\perp}) \cdot \frac{G}{G_1} \quad (3.67)$$

$$g_{(sh+g),d} = \tau_{e,d} \cdot g_{\perp} + \alpha_{e,d} \cdot \frac{G}{G_2} + \tau_{e,d} \cdot (1 - g_{\perp}) \cdot \frac{G}{G_1} \quad (3.68)$$

dove:

G_1 è assunto dalla normativa pari a 5 W/m²K;

G_2 è assunto dalla normativa pari a 10 W/m²K;

G è espressa in W/m²K e definita come:

$$G = \left(\frac{1}{G_1} + \frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1} \quad (3.69)$$

con:

U_g è la trasmittanza termica del vetro, [W/m²K];

g_{\perp} è la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento, i, (alcuni valori indicativi del coefficiente di trasmissione solare, g_{\perp} , di alcuni tipi di vetri sono riportati nel Prospetto 3.XXVII: tali valori devono essere utilizzati solo quando non sono disponibili dati più precisi forniti dal costruttore);

$\tau_{e,b/d}$ è il fattore di trasmissione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d); per i dispositivi schermanti a lamelle orientabili (veneziane, persiane, e per estensione le tapparelle e i frangisole) è ricavabile dalle equazioni (3.78) e (3.80); per le tende avvolgibili risultano coincidenti e in assenza di dati specifici possono essere ricavati dal Prospetto 3.XXXI;

$\alpha_{e,b/d}$ è la frazione di energia solare assorbita dal componente schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d), ottenuta secondo le equazioni (3.70) e (3.71) seguenti:

$$\alpha_{e,b} = 1 - \tau_{e,b} - \rho_{e,b} \quad (3.70)$$

$$\alpha_{e,d} = 1 - \tau_{e,d} - \rho_{e,d} \quad (3.71)$$

con:

$\rho_{e,b/d}$ è il fattore di riflessione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d); per i dispositivi schermanti a lamelle orientabili (veneziane, persiane, e per estensione le tapparelle e i frangisole) è ricavabile dalle equazioni (3.79) e (3.81); per le tende avvolgibili risultano coincidenti e in assenza di dati specifici possono essere ricavati dal Prospetto 3.XXXI;

- b) Schermature solari poste all'interno dell'elemento di involucro trasparente sia con intercapedine d'aria ventilata verso l'interno sia chiusa (valutazione conservativa)

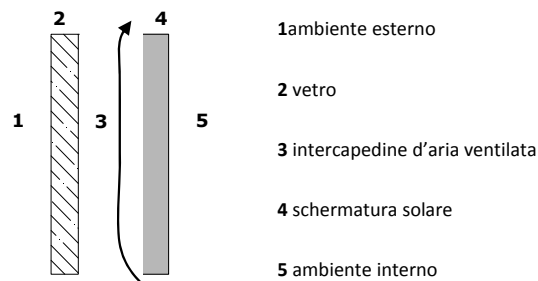


Figura 3.3 – Schematizzazione di una schermatura solare interna con intercapedine d'aria ventilata

Le trasmittanze di energia solare totale diretta e diffusa della finestra in presenza di sistema schermante interno, se non fornite dal produttore, sono calcolate con le seguenti formule:

$$g_{(sh+g),b} = g_{\perp} \cdot \left(1 - g_{\perp} \cdot \rho_{e,b} - \alpha_{e,b} \cdot \frac{G}{G_2} \right) \quad (3.72)$$

$$g_{(sh+g),d} = g_{\perp} \cdot \left(1 - g_{\perp} \cdot \rho_{e,d} - \alpha_{e,d} \cdot \frac{G}{G_2} \right) \quad (3.73)$$

dove:

G_2 è assunto dalla normativa pari a 30 W/m²K;

G è espressa in W/m²K e definita come:

$$G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1} \quad (3.74)$$

con:

U_g è la trasmittanza termica del vetro, [W/m²K];

g_{\perp} è la trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento, i, (alcuni valori indicativi del coefficiente di trasmissione solare, g_{\perp} , di alcuni tipi di vetri sono riportati nel Prospetto 3.XXVII: tali valori devono essere utilizzati solo quando non sono disponibili dati più precisi forniti dal costruttore);

$\alpha_{e,b/d}$ è la frazione di energia solare assorbita dal componente schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d), ottenuta secondo le equazioni (3.70) e (3.71); per le tende

avvolgibili risultano coincidenti e in assenza di dati specifici possono essere ricavati dal Prospetto 3.XXXI;

$\rho_{e,b/d}$ fattore di riflessione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d); per i dispositivi schermanti a lamelle orientabili (veneziane, persiane, e per estensione le tapparelle e i frangisole) è ricavabile dalle equazioni (3.79) e (3.81); per le tende avvolgibili risultano coincidenti e in assenza di dati specifici possono essere ricavati dal Prospetto 3.XXXI.

c) Schermature solari integrate con intercapedine d'aria non ventilata

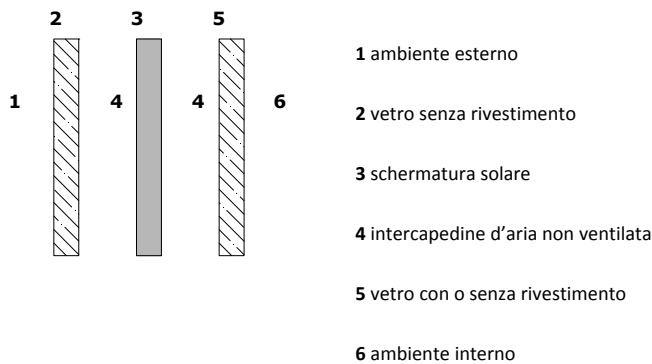


Figura 3.4 – Schematizzazione di una schermatura solare integrata con intercapedine non ventilata

Le trasmittanze di energia solare totale della finestra in presenza di sistema schermante integrato, se non fornite dal produttore, sono calcolate con le seguenti formule:

$$g_{(sh+g),b} = g_{\perp} \cdot \tau_{e,b} + g_{\perp} \cdot (\alpha_{e,b} + (1 - g_{\perp}) \cdot \rho_{e,b}) \cdot \frac{G}{G_3} \quad (3.75)$$

$$g_{(sh+g),d} = g_{\perp} \cdot \tau_{e,d} + g_{\perp} \cdot (\alpha_{e,d} + (1 - g_{\perp}) \cdot \rho_{e,d}) \cdot \frac{G}{G_3} \quad (3.76)$$

dove:

G_3 è assunto dalla normativa pari a 3 W/m²K;

G è espressa in W/m²K e definita come:

$$G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_3} \right)^{-1} \quad (3.77)$$

dove:

g_{\perp} è la trasmittanza dell'energia solare totale della vetrata senza l'inserimento della schermatura solare (elemento 3 in Figura 3.4), (alcuni valori indicativi del coefficiente di trasmissione solare, g_{\perp} , di alcuni tipi di vetri sono riportati nel Prospetto 3.XXVII: tali valori devono essere utilizzati solo quando non sono disponibili dati più precisi forniti dal costruttore);

$\tau_{e,b/d}$ è il fattore di trasmissione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d); per i dispositivi schermanti a lamelle orientabili (veneziane, persiane, e per estensione le tapparelle e i frangisole) è ricavabile dalle equazioni (3.78) e (3.80); per le tende

avvolgibili risultano coincidenti e in assenza di dati specifici possono essere ricavati dal Prospetto 3.XXXI;

$\alpha_{e,b/d}$ è la frazione di energia solare assorbita dal componente schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d), ottenuta secondo le equazioni (3.70) e (3.71); per le tende avvolgibili risultano coincidenti e in assenza di dati specifici possono essere ricavati dal Prospetto 3.XXXI;

$\rho_{e,b/d}$ è il fattore di riflessione solare del dispositivo schermante, rispettivamente per la radiazione diretta (b) e per la diffusa (d); per i dispositivi schermanti a lamelle orientabili (veneziane, persiane, e per estensione le tapparelle e i frangisole) è ricavabile dalle equazioni (3.79) e (3.81); per le tende avvolgibili risultano coincidenti e in assenza di dati specifici possono essere ricavati dal Prospetto 3.XXXI.

- d) Schermature solari interposte tra due vetrate costituenti l'elemento di involucro trasparente, con ventilazione naturale o forzata dell'intercapedine e presa ed espulsione dell'aria all'esterno della zona climatizzata .

Il sistema reale, indicato in Figura 3.5 – a, viene schematizzato con il sistema equivalente (Figura 3.5-b)

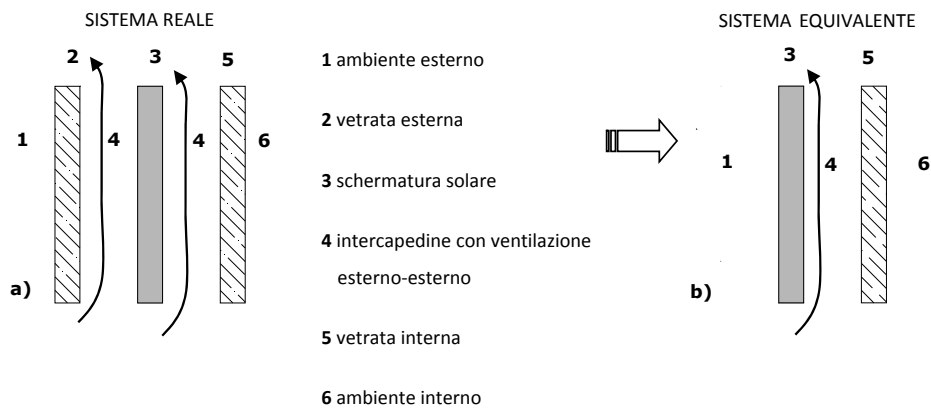


Figura 3.5 – Schematizzazione di una schermatura solare integrata con intercapedine ventilata esterno su esterno e del suo sistema equivalente ai fini del calcolo semplificato del fabbisogno estivo

In assenza di un'analisi dinamica della prestazioni energetiche di questi sistemi d'involucro (secondo i presupposti menzionati all'inizio del paragrafo), ai soli fini del fabbisogno termico estivo, si assegnano alle trasmittanze di energia solare totale diretta e diffusa del "sistema reale", schematizzato in Figura 3.5–a, i valori che si desumono dall'applicazione delle equazioni (3.67) e (3.68) (per schermi esterni) al suo "sistema equivalente" (Figura 3.5–b), ottenuto escludendo il sistema vetrato esterno.

- e) Schermature solari interposte tra due vetrate costituenti l'elemento di involucro trasparente, con ventilazione naturale o forzata dell'intercapedine, presa dell'aria all'interno della zona climatizzata ed espulsione all'interno o all'esterno (l'espulsione verso l'esterno, in assenza di un'analisi che tenga propriamente conto dei ricambi d'aria effettuati con la ventilazione attraverso la doppia pelle, viene ricondotta in via conservativa all'espulsione verso l'interno).

Il sistema reale, indicato in

Figura 3.6 – a, viene schematizzato con il sistema equivalente (

Figura 3.6 -b).

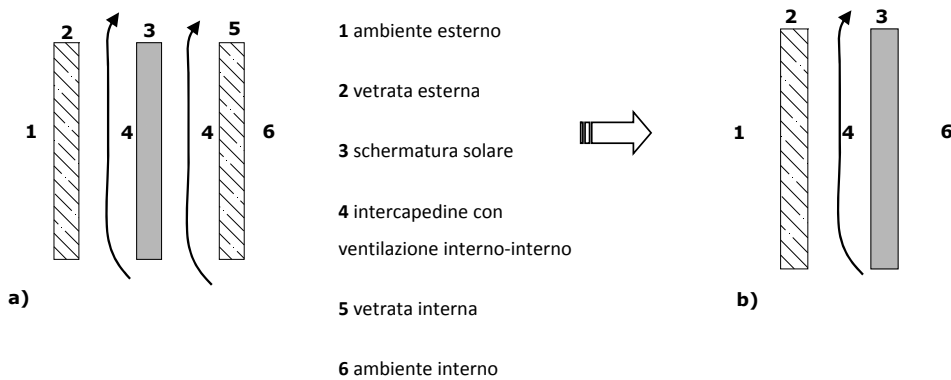


Figura 3.6 – Schematizzazione di una schermatura solare integrata con intercapedine ventilata interno su interno e del suo sistema equivalente ai fini del calcolo semplificato del fabbisogno estivo

In assenza di un'analisi dinamica delle prestazioni energetiche di questi sistemi d'involucro (secondo i presupposti menzionati all'inizio del paragrafo), ai soli fini del fabbisogno termico estivo, si assegnano alle trasmittanze di energia solare totale diretta e diffusa del "sistema reale", schematizzato in

Figura 3.6 –a, i valori che si desumono dall'applicazione delle equazioni (3.72) e (3.73) (per schermi interni) al suo "sistema equivalente" (

Figura 3.6 –b), ottenuto escludendo il sistema vetrato interno.

3.3.8.2 Trasmittanza, riflettanza e assorbanza solari delle schermature

I valori di $\tau_{e,b/d}$, $\rho_{e,b/d}$, $\alpha_{e,b/d}$ sono specifici della schermatura solare adottata, per cui devono essere forniti direttamente dal produttore; solo in assenza di dati certi si può fare riferimento ai valori riportati nel Prospetto 3.XXXI; dove le proprietà indicate sono tutte riferite a radiazione diretta con angolo di incidenza normale (\perp).

Valori di $\tau_{e,b,\perp}$ in funzione della trasparenza della schermatura		$\rho_{e,b,\perp}$				$\alpha_{e,b,\perp}$			
		Bianco	Pastello	Scuro	Nero	Bianco	Pastello	Scuro	Nero
Opaca	0,0	0,7	0,5	0,3	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Mediamente traslucida o perforata	0,2	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7
Altamente traslucida o perforata	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Prospetto 3.XXXI– Valori convenzionali di $\tau_{e,b}$, $\rho_{e,b}$, $\alpha_{e,b}$ normali
(Fonte: UNI EN 13363-1:2008)

Nel caso di sistemi a lamelle orientabili (come ad esempio veneziane, persiane e per estensione tapparelle e frangisole) i fattori di trasmissione e riflessione solare convenzionali del dispositivo schermante per la radiazione diretta e diffusa sono quelli ricavabili per un angolo di apertura di circa 45° (o comunque tale da intercettare al massimo la radiazione diretta) dalle seguenti equazioni:

$$\tau_{e,b}(45^\circ) = 0,65 \cdot \tau_{e,b,\perp} + 0,15 \cdot \rho_{e,b,\perp} \quad (3.78)$$

$$\rho_{e,b}(45^\circ) = \rho_{e,b,\perp} (0,75 + 0,70 \cdot \tau_{e,b,\perp}) \quad (3.79)$$

$$\tau_{e,d}(45^\circ) = 0,30 + 0,70 \cdot \tau_{e,b}(45^\circ) \quad (3.80)$$

$$\rho_{e,d}(45^\circ) = 0,70 \cdot \rho_{e,b}(45^\circ) \quad (3.81)$$

dove:

$\tau_{e,b,\perp}$ è la trasmittanza solare della lamella ad incidenza ortogonale sulla superficie della lamella; in assenza di dati certi forniti dal produttore si possono desumere dal Prospetto 3.XXXI;

$\rho_{e,b,\perp}$ è la riflettanza solare della lamella ad incidenza quasi normale sulla superficie della lamella; in assenza di dati certi forniti dal produttore si possono desumere dal Prospetto 3.XXXI

3.3.8.3 Fattore di riduzione degli apporti solari F_{sh} per tende

Tipo di tenda	Proprietà ottiche della tenda		Fattori di riduzione con	
	assorbimento	trasmissione	tendaggio interno	tendaggio esterno
Tendaggi bianchi	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 con lamina di alluminio	0,2	0,05	0,20	0,08

Prospetto 3.XXXII– Fattore di riduzione degli apporti solari F_{sh} per tende in funzione di $\alpha_{e,B,\perp}$ e $\tau_{e,B,\perp}$ normali
(Fonte: adattata da UNI EN ISO 13790:2008)

Nel Prospetto 3.XXXII sono riportati, per tende poste parallelamente alla superficie vetrata o verso l'ambiente esterno o verso l'ambiente interno, i fattori di riduzione degli apporti solari relativi all'utilizzo di schermature mobili o fisse, F_{sh} , in funzione dei valori normali del coefficiente di assorbimento $\alpha_{e,B,\perp}$ e di trasmissione $\tau_{e,B,\perp}$ per diverse tipologie di tende.

3.3.9 Apporti solari mensili attraverso le strutture opache esterne

Gli apporti solari mensili attraverso le strutture opache esterne (pareti, lastrici solari e tetti) sono definiti dalla seguente relazione:

$$Q_{SE,O} = N \cdot \sum_j \bar{H}_{s,j} \cdot \left(\sum_i A_{L,i} \cdot F_{S,i} \cdot S_{f,i} \right)_j \quad (3.82)$$

dove:

$Q_{SE,O}$ è la quantità di energia solare assorbita dalle pareti opache esterne e trasferita all'ambiente a temperatura controllata o climatizzato, [kWh];

N è il numero di giorni del mese considerato;

$\bar{H}_{s,j}$ è l'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie opaca con esposizione, j , calcolata come da Appendice F, [kWh/m²];

$A_{L,i}$ è la superficie lorda della parete opaca, i , rivolta verso l'esterno, [m²];

$F_{S,i}$ è il fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura, così come definito dall'equazione (3.64);

$S_{f,i}$ è il fattore di guadagno termico solare, [-], come definito, di norma, dalla seguente equazione .

$$S_{f,i} = \alpha_i \cdot \frac{U_i}{h_e} \quad (3.83)$$

con:

α_i è il fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca, i , rivolta verso l'esterno (Prospetto 3.XXXIII);

U_i è la trasmittanza termica della parete opaca, i , rivolta verso l'esterno, [W/m²K];

h_e è il coefficiente di scambio termico superficiale esterno, pari a 25 W/m²K.

NOTA: per componenti opachi di tetti a falda fino a 45° di inclinazione o tetti piani o lastrici solari, si assume convenzionalmente F_S pari sempre ad 1; per pendenze maggiori si considerano i coefficienti relativi alle superfici verticali.

Il fattore di guadagno termico solare, S_f , riportato nell'equazione(3.83), è riferito alle normali componenti edili opache prive di ventilazione.

Tipo di colorazione della parete	α
Chiaro	0,3
Medio	0,6
Scuri	0,9

Prospetto 3.XXXIII – Valori del fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca rivolta verso l'esterno, α .

(Fonte: UNI TS 11300-1:2014)

3.3.9.1 Elementi opachi con isolamento trasparente

Per gli elementi edilizi opachi provvisti di materiale isolante trasparente, specificatamente progettati per captare l'energia solare, il fattore di guadagno termico solare del componente i relativo all'esposizione j , $S_{f,i,j}$, si calcola come segue:

$$S_{f,i,j} = (1 - F_{F,i}) \frac{U_i}{U_{te,j}} g_{t,i,j} \quad (3.84)$$

dove:

$F_{F,i}$ è il fattore di telaio definito dall'equazione (3.85), [-];

U_i è la trasmittanza termica dell'elemento, da ambiente interno ad ambiente esterno, [W/(m²K)];

$U_{te,i}$ è la trasmittanza termica della parte trasparente dell'elemento (dall'ambiente esterno all'eventuale intercapedine tra parete opaca e isolante trasparente, o tra l'ambiente esterno e la superficie della parete opaca), [W/(m²K)];

$g_{t,i,j}$ è trasmittanza energetica solare totale efficace dell'isolante trasparente, [-];

con

$$F_{F,i} = A_{t,i} / A_i \quad (3.85)$$

dove:

A_i è l'area totale dell'elemento edilizio con isolamento trasparente, [m²];

$A_{t,i}$ è l'area del telaio dell'elemento edilizio ricoperta dall'isolante trasparente, [m²].

e con

$$U_i = 1 / (R_{se} + R_t + R_{ai} + R_i + R_{si})_i \quad (3.86)$$

dove:

R_{se} è la resistenza termica areica superficiale esterna, [m²K/W];

R_t è la resistenza termica areica conduttiva dell'isolante trasparente, [m²K/W];

R_{ai} è la resistenza termica areica dell'eventuale intercapedine d'aria tra l'isolante trasparente e la parete opaca, [m²K/W];

R_i è la resistenza termica areica conduttiva della parete opaca, [m²K/W];

R_{si} è la resistenza termica areica superficiale interna, [m²K/W].

e con

$$U_{te,i} = 1 / (R_{se} + R_t + R_{ai})_i \quad (3.87)$$

La trasmittanza energetica totale solare **efficace** dell'isolante trasparente si calcola come:

- se la trasmittanza solare dell'isolamento trasparente è elevata ($\tau_{sol,t} > 0,7$):

$$g_{t,i,j} = \alpha_i \cdot (g_{t,hem} - c_j \cdot g_{t,\perp})_{i,j} \quad (3.88)$$

- se la trasmittanza solare dell'isolamento trasparente è bassa e l'assorbimento della radiazione solare avviene preminentemente in seno all'isolante ($\tau_{sol,t} \leq 0,7$):

$$g_{t,i,j} = \frac{R_{se} + R_t}{R_{se} + R_t + R_{al}} \cdot (g_{t,hem} - c_j \cdot g_{t,\perp})_{i,j} \quad (3.89)$$

dove:

- α_i è il coefficiente di assorbimento solare dell'elemento opaco dietro l'isolamento trasparente (Prospetto 3.XXXIII);
- $g_{t,hem}$ è la trasmittanza energetica solare totale dell'isolamento trasparente (incidenza diffusa-emisferica), [-];
- $g_{t,\perp}$ è la trasmittanza energetica solare totale dell'isolamento trasparente (incidenza normale), [-];
- c_j è il coefficiente correttivi che tiene conto dell'angolo di incidenza medio giornaliero medio mensile della radiazione solare su superficie verticale di orientamento j, [-], riportato in Prospetto 3.XXXIV;
- i è l'indice dell'elemento, [-];
- j è l'indice dell'esposizione, [-].

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Maggio	Giugno	Luglio	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
S	-0,105	-0,067	-0,023	0,042	0,073	0,089	0,094	0,062	0,005	-0,054	-0,093	-0,105
SO/SE	-0,034	-0,027	-0,010	0,002	0,022	0,037	0,036	0,013	-0,015	-0,025	-0,034	-0,026
O/E	0,054	0,033	0,016	-0,012	-0,005	-0,002	-0,012	-0,007	-0,001	0,024	0,049	0,052
NE/NO	0,002	0,008	0,016	0,030	0,018	0,013	0,013	0,024	0,033	0,014	0,004	0,000
N	0,000	0,000	0,000	0,011	0,021	0,031	0,042	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000

Prospetto 3.XXXIV – Coefficienti c_j per il calcolo della trasmittanza energetica solare totale efficace dell'isolamento trasparente utilizzando i valori misurati per incidenza normale ed emisferica (per pareti verticali).

(Fonte: UNI EN ISO 13790-2008)

3.3.9.2 Pareti solari ventilate (muri Trombe)

Per le pareti solari ventilate, progettate per captare l'energia solare durante la stagione di riscaldamento e trasferirla all'ambiente interno tramite un flusso d'aria prelevato dall'interno e reimpresso all'interno, il fattore di guadagno termico solare del componente i, $S_{f,i}$, si calcola, in funzione delle caratteristiche dello schermo esterno di copertura del canale ventilato, come segue:

- se lo strato ventilato è coperto da uno strato esterno opaco alla radiazione solare:

$$S_{f,i} = (1 - F_f)_i \alpha_i \frac{U_{0,i}}{h_{e,i}} \left[1 + \frac{U_{0,i}}{U_i^2} \rho_a c_a \frac{\dot{V}_{v,sw}}{A_{sw}} K_{sw} \omega \right]_i \quad (3.90)$$

- se lo strato ventilato è coperto da uno stato esterno trasparente alla radiazione solare:

$$S_{f,i} = (1 - F_F)_i g_{w,i} \left[U_0 R_e + \frac{U_{0,i}^2 R_i}{U_i U_e} \rho_a c_a \frac{\dot{V}_{v,sw}}{A_{sw}} K_{sw} \omega \right] \quad (3.91)$$

dove:

- $F_{F,i}$ è il fattore di telaio definito dal rapporto tra l'area interessata dal canale e l'area totale della parete, [-];
- α_i è il fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della superficie dietro l'intercapedine d'aria (Prospetto 3.XXXIII);
- $U_{0,i}$ è la trasmittanza termica della parete, i , nell'ipotesi che il canale sia una intercapedine chiusa, [W/m²K];
- h_e è il coefficiente di scambio termico superficiale esterno, pari a 25 W/m²K;
- R_e è la resistenza termica areica esterna tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente esterno, [m²K/W];
- R_i è la resistenza termica areica interna tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente interno, [m²K/W];
- U_e è la trasmittanza termica esterna tra l'ambiente esterno e il nodo intercapedine d'aria, [m²K/W];
- U_i è la trasmittanza termica interna tra l'ambiente interno e il nodo intercapedine d'aria, [m²K/W];
- $\rho_a \cdot c_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1.210 J/(m³K) a 20 °C;
- $\dot{V}_{v,sw}$ è la portata volumica d'aria circolante del canale, [m³/s];
- A_{sw} è l'area della parete solare ventilata, [m²];
- K_{sw} è un fattore adimensionale definito dall'equazione (3.26), [-];
- ω è il rapporto tra la radiazione solare totale incidente sull'elemento quando l'intercapedine d'aria è aperta e la radiazione solare totale durante l'intero passo di calcolo, [-].

con

$$\omega = 1 - \exp(-2,2 \gamma_{al}) \quad (3.92)$$

dove

- γ_{al} è il rapporto tra gli apporti termici solari, $Q_{gn,sw}$, e la dispersione termica dell'intercapedine d'aria, $Q_{ht,al}$, durante il passo di calcolo, definiti dalle equazioni (3.29) e (3.30) [-].

Questo procedimento è implicito: le equazioni (3.90) e (3.91) dovrebbero essere risolte attraverso un procedimento iterativo per calcolare gli apporti termici solari, iniziando con $\gamma_{al} = 1$.

Al di fuori della stagione di riscaldamento la parete solare ventilata deve essere considerata non attiva, cioè la portata circolante è nulla nelle equazioni (3.90) e (3.91).

3.3.9.3 Elementi d'involucro ventilati

Per gli elementi d'involucro ventilati, progettati per introdurre l'aria di ventilazione dall'esterno all'interno preriscaldandola o preraffrescandola (vedasi Appendice E), il fattore di guadagno termico solare del componente i , $S_{f,i}$, si calcola, in funzione delle caratteristiche dello schermo esterno di copertura del canale ventilato, come segue:

se lo strato ventilato è coperto da uno strato esterno opaco alla radiazione solare:

$$S_{f,i} = (1 - F_f)_i \alpha_i \frac{U_{0,i}}{h_{e,i}} \left[1 + \frac{U_{0,i}}{U_i^2} \rho_a c_a \frac{\dot{V}_{v,sw}}{A_{sw}} K_{sw} \right] \quad (3.93)$$

se lo strato ventilato è coperto da uno stato esterno trasparente alla radiazione solare:

$$S_{f,i} = (1 - F_f)_i g_{w,i} \left[U_{0,i} R_e + \frac{U_{0,i}^2 R_i}{U_i U_e} \rho_a c_a \frac{\dot{V}_{v,sw}}{A_{sw}} K_{sw} \right] \quad (3.94)$$

dove tutti i termini sono analoghi a quelli del paragrafo precedente sulle pareti solari ventilate.

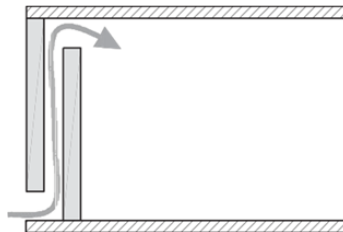


Figura 3.7 – Percorso del flusso d’aria in una parete ventilata

3.3.9.4 Spazi soleggiati (serre)

La procedura di seguito descritta viene applicata al caso di spazi soleggiati addossati all’involucro dell’edificio (ad esempio verande o logge chiuse con elementi vetrati o serre addossate), in cui è presente una parete divisoria (l’involucro) tra il volume climatizzato o a temperatura controllata e quello soleggiato ad esso esterno.

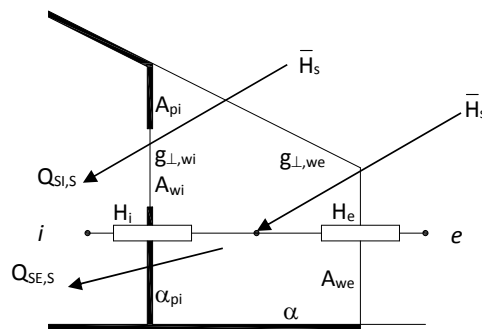


Figura 3.8 – Schema elettrico equivalente per uno spazio soleggiato contiguo a uno spazio interno all’edificio

Se lo spazio soleggiato è dotato di impianto termico oppure è presente un’apertura permanente fra lo spazio climatizzato o a temperatura controllata e quello soleggiato, allora il volume di quest’ultimo deve essere considerato come un’estensione diretta della zona climatizzata o a temperatura controllata.

Il contributo solare indiretto, $Q_{SE,S}$, dovuto alla radiazione solare direttamente assorbita dalle parti opache delle pareti divisorie tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato, viene calcolato come segue:

$$Q_{SE,S} = N \cdot \overline{\left((1 - F_F)_{we} \cdot F_{s,we} \cdot F_{(sh+gl),we} \cdot g_{\perp,we} \right)} \cdot \sum_{k=1}^{N_{pi}} \left(\overline{H_{s,pi}} \cdot A_{L,pi} \cdot \alpha_{pi} \cdot \frac{U_{pi}}{h_i} \right)_k \quad (3.95)$$

dove:

- N è il numero dei giorni del mese considerato;
- k è l'indice della sommatoria per esposizione che si riferisce a tutte le pareti opache divisorie tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato;
- $A_{L,pi,k}$ è l'area lorda della parete opaca divisoria k-esima tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato, [m²];
- $U_{pi,k}$ è la trasmittanza della parete opaca divisoria k-esima tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato, [W/m²K];
- h_i è il coefficiente di scambio termico superficiale interno, pari a 7,7 W/m²K;
- $\overline{H_{s,pi}}$ è l'irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla parete opaca con esposizione k, calcolata come da Appendice F, [kWh/m²];
- $\alpha_{pi,k}$ è il fattore di assorbimento solare della superficie della parete opaca k-esima posta tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato, (Prospetto 3.XXXIII);
- N_{pi} è il numero di pareti opache di separazione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato, [-];

e con il termine $\overline{\left((1 - F_F)_{we} \cdot F_{s,we} \cdot F_{(sh+gl),we} \cdot g_{\perp,we} \right)}$, che corrisponde al coefficiente di trasmissione solare totale medio dell'intero spazio soleggiato, calcolato con l'equazione (3.63).

3.3.10 Fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti per il riscaldamento o la climatizzazione invernale

Il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti per il riscaldamento di riferimento, η_H , e corretto, $\eta_{H,adj}$, è funzione del rapporto apporti/perdite di riferimento, γ_H , o corretto, $\gamma_{H,adj}$, e di un parametro numerico, a_H o $a_{H,adj}$, che dipende dalla costante di tempo della zona, in accordo con le equazioni sotto riportate:

$$\text{se: } \gamma_H > 0 \text{ e } \gamma_H \neq 1 \quad \eta_{G,H} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (3.96)$$

$$\text{se: } \gamma_{H,adj} > 0 \text{ e } \gamma_{H,adj} \neq 1 \quad \eta_{G,H,adj} = \frac{1 - \gamma_{H,adj}^{a_{H,adj}}}{1 - \gamma_{H,adj}^{a_{H,adj}+1}}$$

$$\text{se: } \gamma_H = 1 \quad \eta_{G,H} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (3.97)$$

$$\text{se: } \gamma_{H,adj} = 1 \quad \eta_{G,H,adj} = \frac{a_{H,adj}}{a_{H,adj} + 1}$$

con:

$$\gamma_H = \frac{Q_{G,H}}{Q_{L,H,net}} \quad ; \quad \gamma_{H,adj} = \frac{Q_{G,H}}{Q_{L,H,net,adj}} \quad (3.98)$$

dove:

γ_H è il rapporto apporti/perdite di riferimento nel mese;

$\gamma_{H,adj}$ è il rapporto apporti/perdite corretto nel mese;

$Q_{G,H}$ è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare entrante attraverso le superfici trasparenti nel periodo di riscaldamento, calcolata secondo la (3.10), [kWh];

$Q_{L,H,net}$ è la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro nel periodo di riscaldamento, calcolata secondo la (3.5), [kWh];

$Q_{L,H,net,adj}$ è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente a temperatura controllata o climatizzato e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro nel periodo di riscaldamento, calcolata secondo la (3.5), [kWh];

e con:

$$a_H = a_{0,H} + \frac{\tau_H}{\tau_{0,H}} \quad ; \quad a_{H,adj} = a_{0,H} + \frac{\tau_{H,adj}}{\tau_{0,H}} \quad (3.99)$$

dove:

a_H è il parametro numerico di riferimento;

$a_{H,adj}$ è il parametro numerico corretto;

τ_H è la costante di tempo di riferimento, [h];

$\tau_{H,adj}$ è la costante di tempo corretta, [h];

$\tau_{0,H}$ è il valore di riferimento per la costante di tempo, [h].

I valori di $a_{0,H}$ e $\tau_{0,H}$ sono definiti dalla norma UNI EN ISO 13790:2008 e ai fini della presente procedura di calcolo (funzionamento continuo dell'impianto sulle 24 ore, calcolo mensile) valgono rispettivamente 1 e 15 ore.

Pertanto l'equazione (3.99) può essere scritta come segue:

$$a_H = 1 + \frac{\tau_H}{15} \quad ; \quad a_{H,adj} = 1 + \frac{\tau_{H,adj}}{15} \quad (3.100)$$

I valori delle costanti di tempo, τ_H e $\tau_{H,adj}$, si calcolano come:

$$\tau_H = \frac{C_m \cdot A_{tot}}{3,6 \cdot H_{L,H}} \quad ; \quad \tau_{H,adj} = \frac{C_m \cdot A_{tot}}{3,6 \cdot H_{L,H,adj}} \quad (3.101)$$

con:

$$H_{L,H} = \frac{Q_{T,H} + Q_{V,H}}{\Delta\theta \cdot \Delta t} \quad ; \quad H_{L,H,adj} = \frac{Q_{T,H} + Q_{V,H,adj}}{\Delta\theta \cdot \Delta t} \quad (3.102)$$

dove:

τ_H è la costante di tempo di riferimento, [h];

$\tau_{H,adj}$ è la costante di tempo corretta, [h];

C_m è la capacità termica efficace per unità di superficie interna calcolata secondo quanto riportato in Appendice H; ai soli fini della certificazione energetica, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, è possibile utilizzare il prospetto sintetico riportato in Appendice D, [kJ/m²K];

A_{tot} è l'area totale interna, cioè la somma delle superfici nette dei componenti opachi che delimitano una zona climatizzata o a temperatura controllata, per ulteriori dettagli si rimanda all'Appendice H, [m²];

$Q_{T,H}$ è la quantità totale di energia trasferita mensilmente per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante durante il periodo di riscaldamento, calcolata secondo la (3.11), [kWh];

$Q_{V,H}$ è la quantità di energia di riferimento trasferita per ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante durante il periodo di riscaldamento, calcolata secondo la (3.38), [kWh];

$Q_{V,H,adj}$ è la quantità di energia corretta richiesta in presenza di ventilazione meccanica, ibrida, notturna o in presenza di un impianto di climatizzazione a tutt'aria o aria primaria che funzioni in modalità solo ventilazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante durante il periodo di riscaldamento, calcolata secondo la (3.39), [kWh];

$\Delta\theta$ è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, θ_i , e il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna, θ_e , si veda § 3.3.5, [°C];

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].

3.3.11 Fattore di utilizzazione delle perdite per il raffrescamento o la climatizzazione estiva

Il fattore di utilizzazione delle perdite per il calcolo del fabbisogno di raffrescamento, η_c , è funzione degli apporti/perdite, γ_c , e di un parametro numerico, a_c , che dipende dalla costante di tempo della zona, in accordo con le equazioni qui sotto riportate:

$$\text{se: } \gamma_c > 0 \text{ e } \gamma_c \neq 1 \quad \eta_{L,C} = \frac{1 - \gamma_c^{-a_c}}{1 - \gamma_c^{-(a_c+1)}} \quad (3.103)$$

$$\text{se: } \gamma_{c,adj} > 0 \text{ e } \gamma_{c,adj} \neq 1 \quad \eta_{L,C,adj} = \frac{1 - \gamma_{c,adj}^{-a_{c,adj}}}{1 - \gamma_{c,adj}^{-(a_{c,adj}+1)}}$$

$$\text{se: } \gamma_c = 1 \quad \eta_{L,C} = \frac{a_c}{a_c + 1} \quad (3.104)$$

$$\text{se: } \gamma_{c,adj} = 1 \quad \eta_{L,C,adj} = \frac{a_{c,adj}}{a_{c,adj} + 1}$$

$$\begin{aligned} \text{se: } \gamma_c < 0 & \quad \eta_{L,C} = 1 \\ \text{se: } \gamma_{C,adj} < 0 & \quad \eta_{L,C,adj} = 1 \end{aligned} \quad (3.105)$$

con:

$$\gamma_c = \frac{Q_{G,C}}{Q_{L,C,net}} \quad ; \quad \gamma_{C,adj} = \frac{Q_{G,C}}{Q_{L,C,net,adj}} \quad (3.106)$$

dove:

γ_c è il rapporto apporti/perdite di riferimento nel mese;

$\gamma_{C,adj}$ è il rapporto apporti/perdite corretto nel mese;

$Q_{G,C}$ è la quantità di energia gratuita dovuta alle sorgenti interne ed alla radiazione solare entrante attraverso le superfici trasparenti nel periodo di raffrescamento, calcolata secondo la (3.10), [kWh];

$Q_{L,C,net}$ è la quantità di energia di riferimento scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente climatizzato o a temperatura controllata e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro nel periodo di raffrescamento, calcolata secondo la (3.5), [kWh];

$Q_{L,C,net,adj}$ è la quantità di energia corretta scambiata per trasmissione e per ventilazione tra l'ambiente climatizzato o a temperatura controllata e l'ambiente circostante al netto dei contributi della radiazione solare trasferita all'interno per assorbimento sui componenti opachi e da eventuali spazi soleggiati addossati all'involucro nel periodo di raffrescamento, calcolata secondo la (3.5), [kWh];

e con:

$$a_c = a_{0,C} + \frac{\tau_c}{\tau_{0,C}} \quad ; \quad a_{C,adj} = a_{0,C} + \frac{\tau_{C,adj}}{\tau_{0,C}} \quad (3.107)$$

dove:

a_c è il parametro numerico di riferimento;

$a_{C,adj}$ è il parametro numerico corretto;

τ_c è la costante di tempo di riferimento, [h];

$\tau_{C,adj}$ è la costante di tempo corretta, [h];

$\tau_{0,C}$ è il valore di riferimento per la costante di tempo, [h];

I valori di $a_{0,C}$ e $\tau_{0,C}$ sono definiti dalla norma UNI EN ISO 13790:2008 e ai fini della presente procedura di calcolo (funzionamento continuo dell'impianto sulle 24 ore, calcolo mensile) valgono rispettivamente 1 e 15.

Pertanto l'equazione (3.107) può essere scritta come segue:

$$a_c = 1 + \frac{\tau_c}{15} \quad ; \quad a_{C,adj} = 1 + \frac{\tau_{C,adj}}{15} \quad (3.108)$$

I valori delle costanti di tempo, τ_c e $\tau_{C,adj}$, si calcolano come:

$$\tau_c = \frac{C_m \cdot A_{tot}}{3,6 \cdot H_{L,C}} \quad ; \quad \tau_{C,adj} = \frac{C_m \cdot A_{tot}}{3,6 \cdot H_{L,C,adj}} \quad (3.109)$$

con:

$$H_{L,C} = \frac{Q_{T,C} + Q_{V,C}}{\Delta\theta \cdot \Delta t} \quad ; \quad H_{L,C,adj} = \frac{Q_{T,C} + Q_{V,C,adj}}{\Delta\theta \cdot \Delta t} \quad (3.110)$$

dove:

τ_c è la costante di tempo di riferimento, [h];

$\tau_{C,adj}$ è la costante di tempo corretta, [h];

C_m è la capacità termica efficace per unità di superficie interna calcolata secondo quanto riportato in Appendice H; ai soli fini della certificazione energetica, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, è possibile utilizzare il prospetto sintetico riportato in Appendice D, [kJ/m²K];

A_{tot} è l'area totale interna, cioè la somma delle superfici nette dei componenti opachi che delimitano una zona climatizzata o a temperatura controllata, per ulteriori dettagli si rimanda all' Appendice H, [m²];

$Q_{T,C}$ è la quantità di energia trasferita per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante durante il periodo di raffrescamento, calcolata secondo la (3.11), [kWh];

$Q_{V,C}$ è la quantità di energia di riferimento trasferita per ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante durante il periodo di raffrescamento, calcolata secondo la (3.38), [kWh];

$Q_{V,C,adj}$ è la quantità di energia corretta richiesta in presenza di ventilazione meccanica, ibrida, notturna o in presenza di un impianto di climatizzazione a tutt'aria o aria primaria che funzioni in modalità solo ventilazione, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante durante il periodo di raffrescamento, calcolata secondo la (3.39), [kWh];

$\Delta\theta$ è la differenza tra la temperatura interna prefissata della zona termica considerata, θ_i , e il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna, θ_e , si veda § 3.3.5, [°C];

Δt è la durata del mese considerato (si veda la (3.13)), [kh].