

ESERCIZI

Calcolo dei carichi termici estivi

Indice

1	Introduzione.....	3
2	Modulo di calcolo dei carichi termici estivi – prima parte	4
2.1	Dati di riferimento generali	4
2.2	Ventilazione.....	4
2.3	Condizioni di progetto.....	5
3	Modulo di calcolo dei carichi termici estivi – seconda parte.....	7
3.1	Radiazioni solari - vetri	7
3.2	Radiazioni e trasmissioni – pareti esterne e tetto.....	13
3.3	Trasmissioni – escluse pareti esterne e tetto.....	17
3.4	Aria esterna e infiltrazioni.....	18
3.5	Carichi interni.....	19
3.6	Calore latente	20
3.7	Calore totale ambiente effettivo	21

1 Introduzione

La valutazione dei carichi termici estivi risulta più complessa e comunque non esiste al momento alcuna norma italiana, almeno per il calcolo, cui fare riferimento.

Nel periodo estivo la quantità di calore da smaltire dipende da una serie di fattori alcuni dei quali, come l'incidenza della radiazione solare, variano nell'arco della giornata.

Gli elementi che influiscono maggiormente sul fabbisogno termico estivo sono i seguenti:

- effetto della radiazione solare attraverso le strutture trasparenti;
- effetto della trasmissione di calore attraverso le strutture trasparenti ed opache;
- inerzia termica delle strutture dell'edificio;
- carichi termici interni dovuti alla presenza sia di persone che di apparecchiature che emettono calore (illuminazione, macchinari vari, ecc.);
- entrate di calore dovute alle infiltrazioni ed ai ricambi d'aria.

Il calcolo del carico termico dovrà essere fatto tenendo conto delle condizioni ambientali più sfavorevoli. Quando il calcolo viene eseguito manualmente, in genere si considera una giornata media di luglio alle ore 16.

La complessità del calcolo e la tendenza ad una ottimizzazione degli impianti suggeriscono l'impiego di strumenti di calcolo automatici in alternativa a quelli manuali che tendono, in questo caso, a sovradimensionare gli impianti.

Un impianto di climatizzazione dimensionato per i mesi estivi deve essere in grado di sottrarre all'ambiente il *calore sensibile* e quello *latente*.

- Il calore sensibile, che solitamente prevale su quello latente, è la somma degli apporti di calore che hanno come unico effetto l'aumento della temperatura; proviene dall'esterno per effetto della radiazione solare, della differenza di temperatura tra l'ambiente esterno e quello interno (trasmissione per conduzione attraverso le strutture) ed anche per effetto dei cosiddetti carichi interni, quali ad esempio le persone ed eventuali sorgenti di calore (illuminazione, macchine, motori, ecc.).
- Il calore latente, invece, è la somma degli apporti di calore che concorrono ad aumentare il contenuto di vapore presente nell'aria, quindi dell'umidità, senza per questo aumentare la temperatura; il calore latente ambiente deriva dall'apporto di vapore delle persone (attraverso la respirazione e la traspirazione) e da altre fonti che producono vapore (cottura dei cibi asciugamento della biancheria, ecc.).

L'aria di rinnovo proveniente dall'esterno apporta a sua volta calore sensibile, in forza della sua temperatura più elevata di quella ambiente, e calore latente in forza del suo contenuto di vapore.

Si ha in definitiva un calore sensibile ed uno latente dell'aria esterna di rinnovo ed un carico sensibile e latente dell'ambiente. La somma dei due corrisponde alla quantità di calore che l'impianto di climatizzazione deve dissipare.

Per il calcolo manuale dei carichi termici estivi può essere utilizzata la tabella riportata in allegato della quale si riportano le istruzioni, facendo riferimento alle varie sezioni.

Il calcolo può essere eseguito in due modi: con o senza il fattore di accumulo. Considerando il *fattore di accumulo*, che prevede una funzione di volano termico da parte delle strutture interne (solette, pareti, ecc.), le entrate di calore dovute alla radiazione solare attraverso i serramenti vengono ridotte. Nella pratica si utilizzano entrambe le procedure: la prima (senza fattore di accumulo) per il dimensionamento dei terminali e la seconda per il dimensionamento della potenza refrigerante della macchina frigorifera.

2 Modulo di calcolo dei carichi termici estivi – prima parte

La tabella di calcolo viene utilizzata per definire le condizioni generali dell'ambiente per il quale si esegue il calcolo e per definire le cosiddette "condizioni al contorno".

2.1 Dati di riferimento generali

Le informazioni da inserire riguardano innanzitutto:

- la località di riferimento nella quale è ubicato l'edificio;
- il giorno e l'ora nella quale viene eseguito il calcolo (per le nostre latitudini si considera una giornata intermedia del mese di luglio alle ore 15 o 16);
- la modalità con la quale viene eseguito il calcolo, ossia con o senza accumulo (lo schema di calcolo, come vedremo, è identico ad eccezione della sezione 1 – radiazioni solari attraverso i vetri);

2.2 Ventilazione

Per quanto riguarda l'aria esterna, ci si riferisce ai cosiddetti ricambi d'aria, necessari per garantire una corretta ventilazione dei locali. I valori di questi, che devono essere trasformati in portata volumica (m^3/h) possono essere ricavati dalle tabelle che fanno riferimento alle diverse indicazioni contenute nei regolamenti d'igiene.

Nella tabella 1 sono riportati, a titolo indicativo, i valori dei ricambi d'aria in funzione delle diverse destinazioni d'uso.

DESTINAZIONE D'USO DEI LOCALI	Ricambi d'aria n (vol. amb./ora)	Portate minime (l/s persona)
Edifici residenziali	0,5	7,5
Uffici	1,5÷2,5	10
Edifici commerciali	1÷2	8
Bar	2÷3	15
Ristoranti	1÷2	10
Alberghi	0,5÷1	8
Asili nido e scuole materne	2,5	8
Scuole elementari	2,5	8
Scuole medie inferiori	3,5	8
Scuole medie superiori	5	8
Università	5	8
Ospedali - degenze in genere	2	13
Ospedali - degenze bambini	3	13
Ospedali - reparti diagnostica	6	8
Ospedali - sale operatorie	15÷20	15
Teatri e cinematografi	-	8÷10

Tab. 1 Valori dei ricambi d'aria n e delle portate minime di ventilazione per alcune destinazioni d'uso

La tabella contiene due indicazioni: la prima considera i ricambi d'aria riferiti al volume (la portata complessiva si ricava quindi moltiplicando i valori indicati per il volume condizionato) mentre la seconda considera i ricambi d'aria necessari alle persone (l/s per persona).

Se è noto l'indice di affollamento, ossia il numero delle persone presenti nel locale, è opportuno eseguire i calcoli con entrambe le procedure e prendere in considerazione, con approccio cautelativo) il valore di portata maggiore tra i due.

▮ Esempio 1:

Uso dei locali: uffici
 volume condizionato: $8 \times 4 \times 3 = 96 \text{ m}^3$
 persone presenti: 6

Lo schema di calcolo viene riempito con i dati di progetto e con quelli contenuti nella tabella 1:

Persone	6	l/s pers. m^3	10	x 3,6 (m^3/h) (m^3/h)	216
	2,5		96		240
			Portata aria rinnovo (m^3/h)		240

Per l'ambiente si considera quindi una portata di 240 m^3/h , maggiore tra le portate calcolate con le due differenti procedure.

2.3 Condizioni di progetto

Devono essere inserite le informazioni riguardanti le condizioni termoigrometriche interne ed esterne.

In entrambi i casi è necessario conoscere almeno due parametri ambientali (es. temperatura bulbo secco e temperatura a bulbo umido, temperatura bulbo secco e umidità relativa, ecc.) sia per le condizioni esterne che per quelle esterne.

Utilizzando il diagramma dell'aria umida, riportato per comodità nella parte inferiore del modulo, è necessario ricavare i valori dell'umidità specifica esterna ed interna che vanno letti, una volta individuate le condizioni dell'aria all'interno del diagramma psicrometrico, nella scala a destra.

Per quanto riguarda le *condizioni esterne di progetto*, normalmente si considerano i seguenti valori:

- temperatura a bulbo secco 35 °C;
- umidità relativa 35÷40 %

nella tabella 2 sono comunque riportati i dati climatici estivi per alcune città italiane.

Per quanto riguarda le condizioni climatiche interne, si considerano normalmente i seguenti valori:

- temperatura a bulbo secco 26÷27 °C;
- umidità relativa 50÷60 %

▮ Esempio 2:

Località: Milano
 temperatura a bulbo secco interna: 27 °C
 umidità relativa interna: 55%

Città	T _{ba} (°C)	T _{bu} (°C)	Esc. Ter. (°C)	U.R. (%)	Latitudine
Bari	35	24,4	10	42	41°06'
Bologna	33,8	22,4	11	37	44°30'
Firenze	35	21,2	11	29	43°47'
Genova	30	24,4	5	63	44°24'
Milano	33,8	22,8	11	39	45°27'
Napoli	32,4	23,8	9	49	40°51'
Padova	34	23	11	39	45°24'
Roma	33,5	22,8	10	40	41°45'
Torino	33,5	23,8	8	45	45°04'
Trieste	33	26	7	58	45°40'
Venezia	32,4	24,4	9	52	45°26'

Tab. 2 Dati climatici estivi per alcune città italiane (23 Luglio ore 15)

La sezioni della tabella di calcolo sarà compilata come segue:

Condizioni di progetto

	temp. b.s. (°C)	temp. b.u. (°C)	U.R. (%)	Xs (g/kg)
Esterne	33,8		39	12,9
Interne	27		50	11,1
Differenza	6,8			1,8

I valori delle temperature esterne di progetto riportati nella tabella 2 si riferiscono alle ore 15. La tabella 3 consente di calcolare le temperature esterne per le altre ore della giornata.

Escursione termica giornaliera (°C)	Temperatura esterna considerata nei calcoli (°C)	ora solare										
		8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	
5,0	bulbo asciut.	-4,5	-3,5	-2,5	-0,5	0	-0,5	-1,0	-2,5	-4,0	-4,5	
	bulbo umido	-1,0	-1,0	-0,5	0	0	0	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	
7,5	bulbo asciut.	-6,5	-5,0	-3,0	-0,5	0	-0,5	-1,0	-3,5	-5,0	-7,0	
	bulbo umido	-1,5	-1,0	-0,5	0	0	0	-0,5	-0,5	-1,5	-2,0	
10,0	bulbo asciut.	-7,5	-5,5	-3,0	-0,5	0	-0,5	-1,5	-3,5	-6,0	-8,5	
	bulbo umido	-2,0	-1,5	-0,5	0	0	0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	
12,5	bulbo asciut.	-8,5	-5,5	-3,0	-0,5	0	-0,5	-1,5	-4,0	-6,5	-9,0	
	bulbo umido	-2,0	-1,5	-0,5	0	0	0	-0,5	-1,0	-2,0	-2,5	
15,0	bulbo asciut.	-9,5	-6,5	-3,0	-0,5	0	-0,5	-2,0	-5,0	-8,0	-10,5	
	bulbo umido	-2,5	-1,5	-0,5	0	0	0	-0,5	-1,5	-2,0	-3,0	
17,5	bulbo asciut.	-10,5	-7,0	-3,5	-0,5	0	-0,5	-2,5	-6,0	-9,0	-12,0	
	bulbo umido	-3,0	-2,0	-1,0	0	0	0	-0,5	-2,0	-2,5	-3,5	
20,0	bulbo asciut.	-12,0	-8,0	-4,0	-0,5	0	-0,5	-3,5	-7,5	-10,0	-14,0	
	bulbo umido	-3,5	-2,5	-1,0	0	0	0	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	

Tab. 3 Correzione in °C da apportarsi alle temperature esterne (estate) previste nei calcoli in relazione alle varie ore del giorno

☞ Esempio 3:

Località:	Milano
temperatura a bulbo secco esterna:	33,8 °C (riferita alle ore 15)
escursione termica:	11 °C (ricavabile sempre dalla tabella 2)

Calcolare la temperatura esterna alle ore 20

Con la tabella 3 si ricava che, per le ore 20 e con una escursione termica di 10 °C, il valore correttivo di temperatura è pari a - 3,5 °C.

La temperatura esterna dell'aria è quindi all'incirca uguale a: $33,8 - 3,5 = 30,3$ °C.

Valori più accurati si possono ottenere con l'interpolazione (l'escursione termica reale, infatti, è di 11 °C).

3 Modulo di calcolo dei carichi termici estivi – seconda parte

3.1 Radiazioni solari - vetri

In questa sezione sono calcolate le “entrate di calore” attraverso i serramenti esterni (finestre, lucernari) per effetto della radiazione solare.

Lo schema di calcolo generale è il seguente:

$$\text{superficie del serramento} \times \text{radiazione solare incidente} \times \text{fattori di riduzione}$$

le procedure tuttavia si diversificano, a secondo che si applichi il metodo considerando o meno l'effetto dell'accumulo, nella valutazione della radiazione solare incidente e nella valutazione dei fattori di riduzione.

In entrambi i casi la superficie considerata è quella complessiva dei serramenti esterni.

Calcolo senza accumulo

Radiazione solare incidente

Nella tabella 4 sono riportati i valori della radiazione solare incidente (W/m^2) su superfici verticali variamente orientate e su superfici orizzontali.

La tabella considera la radiazione solare complessiva, ossia la somma della radiazione solare diretta e di quella diffusa nelle varie ore del giorno per una località situata ad una latitudine di 45 °N per il mese di luglio.

In neretto sono riportati i valori della radiazione solare massima incidente per i vari orientamenti.

Fattori di riduzione

Alla radiazione solare incidente devono essere applicati dei fattori di riduzione che dipendono:

- dalle caratteristiche del vetro;
- dai sistemi di oscuramento previsti;
- dalle ombre portate da elementi architettonici;
- dalle ombre portate da altri edifici o da sistemi di ombreggiamento naturali.

Ora	Orientamento								
	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE	OR.
5	11	11	11	11	33	59	58	29	22
6	44	44	44	44	125	322	356	208	141
7	80	80	80	80	112	404	505	357	296
8	163	114	114	114	114	388	551	458	448
9	276	144	144	144	144	320	526	508	481
10	367	166	166	166	166	223	447	507	685
11	426	250	181	181	181	181	329	459	750
12	447	370	186	186	186	186	186	370	772
13	426	459	329	181	181	181	181	250	750
14	367	507	447	223	166	166	166	166	685
15	276	508	526	320	144	144	144	144	581
16	163	458	551	388	114	114	114	114	448
17	80	357	505	404	112	80	80	80	296
18	44	208	356	322	125	44	44	44	141
19	11	29	58	59	33	11	11	11	22

Tab. 4 Radiazione solare incidente su superfici verticali latitudine 45 °N nel mese di Luglio (W/m^2) (in grassetto è indicato il valore della radiazione solare massima per l'orientamento)

Nella tabella 5 sono riportati i valori dei fattori di riduzione dovuti alle caratteristiche dei vetri impiegato e dalla eventuale presenza di sistemi di oscuramento. Per quanto riguarda i valori dei coefficienti di riduzione relativi ai vetro è utile comunque fare riferimento alle caratteristiche fornite dai produttori.

Tipo di vetro	Senza scherm.	Tenda esterna		Tenda interna		Veneziana esterna		Veneziana interna	
		chiara	scura	chiara	scura	chiara	scura	chiara	scura
Vetro ordinario	0,95	0,25	0,30	0,50	0,60	0,15	0,20	0,60	0,70
Vetro doppio ordinario	0,90	0,20	0,25	0,45	0,55	0,12	0,16	0,55	0,65
Vetro triplo ordinario	0,80	0,15	0,20	0,40	0,50	0,10	0,13	0,50	0,60
Vetro trattato (verniciato)									
- colore chiaro	0,30								
- colore medio	0,40								
- colore scuro	0,50								

Tab. 5 Fattore di correzione della radiazione solare attraverso il vetro

Lo studio delle ombre portate sulle superfici vetrate degli edifici da parte di cornicioni, terrazze o edifici contigui, consente di effettuare un calcolo più preciso dei carichi termici, riducendo il carico radiante della porzione di superficie vetrata investita dall'ombra alla sola radiazione diffusa.

Per la definizione delle ombre portate è necessario conoscere la posizione del sole che è definita da due angoli: l'angolo azimutale solare e l'angolo di altezza solare (fig. 1).

- l'angolo azimutale solare δ è l'angolo, in un piano orizzontale, tra il Nord e il piano verticale passante per il sole e per il punto considerato della superficie terrestre;
- l'angolo di altezza solare α è l'angolo, in un piano verticale, tra il sole e un piano orizzontale passante per un punto considerato della superficie terrestre.

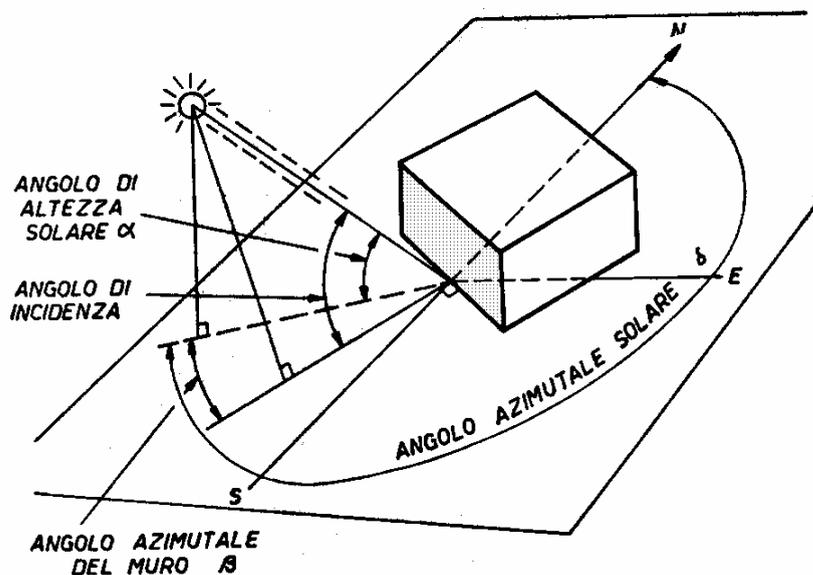


Fig. 1 Definizione degli angoli solari (fonte: Carrier - Systems Design Manual)

La posizione del sole rispetto all'esposizione di un muro è definita dall'angolo azimutale solare del muro, β , e dall'angolo di altezza solare α .

L'angolo azimutale solare del muro è l'angolo nel piano orizzontale tra la perpendicolare al muro e il piano verticale passante per il sole e per il punto considerato della superficie terrestre.

Per il calcolo delle ombre portate è utile fare riferimento allo schema di figura 2.

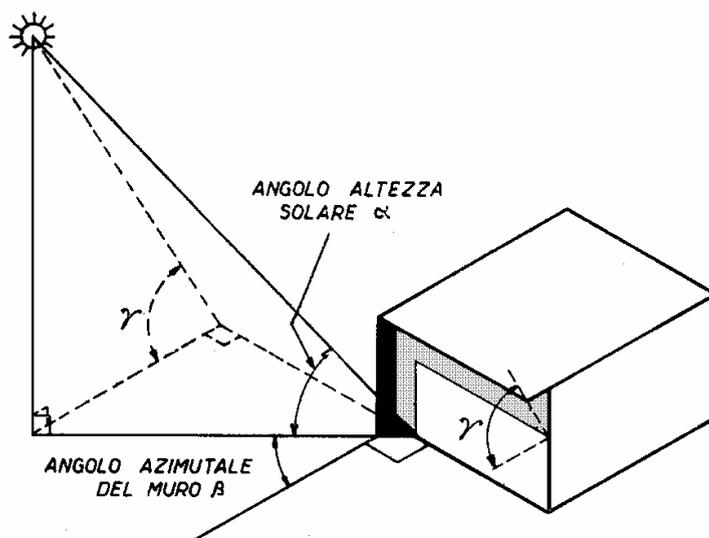


Fig. 2 Ombre portate da sporgenze architettoniche dell'edificio (fonte: Carrier - Systems Design Manual)

L'ombra portata su una finestra dalla *proiezione di uno schermo verticale* è data dalla tangente dell'angolo azimutale del muro, β , per la profondità dello schermo.

L'ombra portata su una finestra dalla proiezione di uno schermo orizzontale è data dalla tangente dell'angolo γ per la profondità dello schermo, dove:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \alpha / \cos \beta$$

Nella tabella 6 sono riportati alcuni valori degli angoli α , β e δ per superfici verticali variamente orientate.

Latitudine 40° N, 23 Luglio										
ora	altezza solare a (gradi)	azimut d (gradi)	angolo azimutale della parete b (gradi)							
			<i>N</i>	<i>NE</i>	<i>E</i>	<i>SE</i>	<i>S</i>	<i>SO</i>	<i>O</i>	<i>NO</i>
6	13	74	74	29	16	61	0	0	0	0
7	24	83	83	38	7	52	0	0	0	0
8	35	93	0	48	3	42	87	0	0	0
9	47	104	0	59	14	31	76	0	0	0
10	57	118	0	73	28	17	62	0	0	0
11	66	143	0	0	53	8	37	82	0	0
12	70	180	0	0	0	45	0	45	0	0
13	66	217	0	0	0	82	37	8	53	0
14	57	242	0	0	0	0	62	17	28	73
15	47	256	0	0	0	0	76	31	14	59
16	35	267	0	0	0	0	87	42	3	48
17	24	277	0	0	0	0	0	52	7	38
18	13	286	0	0	0	0	0	61	16	29
Latitudine 50° N, 23 Luglio										
ora	altezza solare a (gradi)	azimut d (gradi)	angolo azimutale della parete b (gradi)							
			<i>N</i>	<i>NE</i>	<i>E</i>	<i>SE</i>	<i>S</i>	<i>SO</i>	<i>O</i>	<i>NO</i>
6	15	77	77	32	13	58	0	0	0	0
7	25	88	88	43	2	47	0	0	0	0
8	34	100	0	55	10	35	80	0	0	0
9	44	114	0	69	24	21	66	0	0	0
10	52	131	0	86	41	4	49	0	0	0
11	58	152	0	0	62	17	28	73	0	0
12	60	180	0	0	0	45	0	45	0	0
13	58	208	0	0	0	73	28	17	62	0
14	52	229	0	0	0	0	49	4	41	86
15	44	246	0	0	0	0	66	21	24	69
16	34	260	0	0	0	0	80	35	10	55
17	25	272	0	0	0	0	0	47	2	43
18	15	283	0	0	0	0	0	58	13	32

Tab. 6 Valori degli angoli a , b e d per superfici verticali variamente orientate alle latitudini 40 e 50 °N.

▮ Esempio 4:

Calcolare l'ombreggiamento dovuto ad una mensola di 60 cm situata al di sopra di una finestra di una parete esposta ad Ovest, alle ore 14 del 23 Luglio, 40 °N.

Soluzione:

Dalla tabella 6 si ricavano i seguenti valori:

angolo α 57°

angolo β 28°

$$\tan \gamma = \operatorname{tg} \alpha / \cos \beta = 1,539 / 0,882 = 1,75$$

essendo la profondità dello schermo pari a 0,6 m, l'ombra portata è pari a:

$$0,6 \times 1,75 = 1,05 \text{ m}$$

Se gli edifici sono isolati e non esistono sporgenze si calcolano solo i fattori di riduzione dovuti al vetro o ai sistemi di oscuramento riportati in tabella 5.

▮ Esempio 5:

Un edificio ha due pareti esterne che si affacciano verso Sud e verso Est dotate di serramenti aventi le seguenti caratteristiche:

Finestra a Sud: dimensioni m 5 x 1,7 = m² 8,5
 tipo di vetro: doppio ordinario
 tipo di oscuramento: veneziana interna chiara

Finestra a Est: dimensioni m 2 x 1,7 = m² 3,4
 tipo di vetro: doppio ordinario
 tipo di oscuramento: veneziana interna chiara

Calcolare le entrate di calore che si verificano nel mese di luglio alle ore 15 per una latitudine pari a 45 °N.

Lo schema di calcolo è riportato di seguito:

Denominazione	Orientamento	Superficie (m ²)	Rad. (W/m ²) o Dt (°C)	Coeff. fatt. rid.	Potenza (W)
1 - Radiazioni solari - vetri					
Serramenti esterni	<i>Sud</i>	8,5	276	0,55	1290
Serramenti esterni	<i>Est</i>	3,4	144	0,55	269
Serramenti esterni					
Serramenti esterni					
Lucernari					
tot. 1					1559

Calcolo con accumulo

Se si vuole tenere conto dell'effetto dell'accumulo, è necessario:

- considerare il valore della radiazione solare massima per l'orientamento in esame;
- applicare, oltre ai fattori di riduzione fino ad ora considerati, i fattori di riduzione riportati in tabella 7, ricavati in funzione dei seguenti parametri:
 - massa di edificio per m² di pavimento;
 - esposizione della superficie;
 - tipologia della schermatura;
 - ore di funzionamento dell'impianto.

Esposizione latitudine nord	Massa per m ² di pavimento (3) (kg/m ²)	Ora solare															
		16 ore di funzionamento impianto								12 ore di funzionamento impianto							
		6	8	10	12	14	16	18	20	6	8	10	12	14	16	17	
Con schermi interni	N e in ombra	750 e oltre	0,23	0,75	0,80	0,81	0,83	0,86	0,88	0,35	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
		500	0,25	0,73	0,82	0,83	0,85	0,88	0,90	0,34	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
		150	0,07	0,69	0,86	0,94	0,97	0,98	0,99	0,23	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	E	750 e oltre	0,47	0,68	0,54	0,27	0,20	0,17	0,12	0,09	0,51	0,71	0,57	0,29	0,25	0,21	0,19
		500	0,46	0,70	0,56	0,27	0,20	0,16	0,12	0,08	0,52	0,73	0,58	0,29	0,24	0,19	0,16
		150	0,45	0,80	0,64	0,25	0,16	0,11	0,07	0,02	0,53	0,82	0,65	0,25	0,16	0,11	0,09
	S	750 e oltre	0,19	0,34	0,60	0,73	0,64	0,42	0,22	0,17	0,28	0,40	0,64	0,77	0,73	0,49	0,31
		500	0,16	0,31	0,59	0,76	0,69	0,45	0,22	0,16	0,26	0,38	0,64	0,79	0,77	0,51	0,31
		150	0,12	0,44	0,77	0,88	0,56	0,24	0,11	0,05	0,21	0,48	0,79	0,89	0,56	0,24	0,16
	O	750 e oltre	0,23	0,21	0,20	0,18	0,36	0,63	0,55	0,19	0,63	0,28	0,25	0,22	0,46	0,71	0,72
		500	0,22	0,19	0,17	0,15	0,36	0,66	0,60	0,20	0,67	0,28	0,24	0,20	0,44	0,72	0,73
		150	0,12	0,10	0,10	0,09	0,42	0,81	0,74	0,19	0,77	0,25	0,17	0,13	0,44	0,82	0,85
Senza schermi interni	N e in ombra	750 e oltre	0,31	0,64	0,72	0,73	0,74	0,76	0,78	0,52	0,75	0,79	0,84	0,88	0,91	0,93	0,93
		500	0,30	0,60	0,72	0,77	0,79	0,81	0,83	0,51	0,81	0,86	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95
		150	0,04	0,53	0,78	0,88	0,93	0,97	0,99	0,34	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	E	750 e oltre	0,29	0,44	0,48	0,41	0,28	0,23	0,20	0,16	0,36	0,50	0,53	0,44	0,36	0,30	0,28
		500	0,27	0,48	0,52	0,41	0,28	0,23	0,18	0,14	0,36	0,54	0,57	0,44	0,34	0,28	0,24
		150	0,25	0,68	0,69	0,38	0,22	0,15	0,09	0,04	0,34	0,71	0,70	0,39	0,23	0,15	0,12
	S	750 e oltre	0,33	0,32	0,43	0,55	0,57	0,48	0,37	0,29	0,47	0,42	0,51	0,61	0,66	0,61	0,54
		500	0,27	0,28	0,42	0,58	0,60	0,53	0,37	0,27	0,44	0,39	0,50	0,64	0,70	0,63	0,53
		150	0,06	0,15	0,49	0,75	0,81	0,61	0,28	0,13	0,28	0,25	0,54	0,78	0,82	0,61	0,42
	O	750 e oltre	0,38	0,32	0,26	0,23	0,26	0,36	0,44	0,33	0,56	0,44	0,36	0,31	0,35	0,49	0,54
		500	0,34	0,28	0,23	0,21	0,23	0,40	0,51	0,35	0,60	0,44	0,34	0,29	0,33	0,51	0,57
		150	0,17	0,13	0,11	0,10	0,29	0,67	0,75	0,33	0,77	0,38	0,22	0,16	0,33	0,69	0,77

Tab. 7 Fattori di accumulo per radiazione solare attraverso i vetri

La massa a metro quadro di pavimento è data da:

$$\frac{\text{(massa muri esterni + massa delle pareti interne, pavimento e soffitto)}}{\text{superfici dell'ambiente}}$$

Se sul pavimento sono stesi dei tappeti, la massa del pavimento deve essere moltiplicata per 0,5 a causa dell'effetto isolante dei tappeti stessi.

I coefficienti previsti per la condizione "senza schermi interni" sono validi anche nel caso in cui siano utilizzati schermi esterni.

I carichi massimi reali sono calcolati in base alla seguente relazione: carichi massimi istantanei per l'orientamento considerato (quelli indicati nella tabella 4 in neretto) x superficie vetrata x fattore di correzione solare (tabella 5) x coefficiente d'accumulo per l'ora considerata (tabella 7)

Esempio 6:

Un edificio ha due pareti esterne che si affacciano verso Sud e verso Est dotate di serramenti aventi le seguenti caratteristiche:

Finestra a Sud: dimensioni m 5 x 1,7 = m² 8,5
 tipo di vetro: doppio ordinario
 tipo di oscuramento: veneziana interna chiara

Finestra a Est: dimensioni m 2 x 1,7 = m² 3,4
 tipo di vetro: doppio ordinario
 tipo di oscuramento: veneziana interna chiara

Calcolare le entrate di calore che si verificano nel mese di luglio alle ore 15 per una latitudine pari a 45 °N, sapendo che l'impianto di funzionamento funziona per 16 ore/giorno e che la massa dell'edificio è pari a 500 kg/m² di pavimento. Lo schema di calcolo è riportato di seguito:

Denominazione	Orientamento	Superficie (m ²)	Rad. (W/m ²) o Dt (°C)	Coeff. fatt. rid.	Potenza (W)
1 - Radiazioni solari - vetri					
Serramenti esterni	Sud	8,5	447	0,55 x 0,57	1191
Serramenti esterni	Est	3,4	551	0,55 x 0,18	185
Serramenti esterni					
Serramenti esterni					
Lucernari					
tot. 1					1376

I valori dei fattori di accumulo di 0,57 e 0,18 sono stati ricavati per interpolazione tra quelli delle ore 14 e delle ore 16. Si può osservare come le entrate di calore siano inferiori rispetto a quelle calcolate nell'esempio precedente, per un edificio analogo alle stesse condizioni, senza tenere conto del fattore di accumulo.

3.2 Radiazioni e trasmissioni – pareti esterne e tetto

Le entrate di calore attraverso le pareti opache e la copertura devono essere calcolate tenendo conto anche dell'effetto della radiazione solare incidente.

Il calcolo, di per sé complesso, si semplifica notevolmente se si introduce il concetto di *temperatura fittizia esterna* t_e^1 , maggiore di quella dell'aria esterna, definita come quella temperatura esterna che, in assenza della radiazione solare, diretta e diffusa, potrebbe dar luogo, nell'unità di tempo, all'ingresso di calore entro la superficie esterna della parete pari a quello che in effetti si ha con la reale combinazione della radiazione solare incidente, degli scambi di energia radiante con il cielo e con gli oggetti circostanti e dello scambio di calore per convezione con l'aria esterna.

Se la temperatura fittizia esterna t_e^1 è definita dalla relazione:

$$t_e^1 = t_e + \frac{a \cdot I_\alpha}{h_e}$$

dove:

t_e è la temperatura esterna;

a è il coefficiente di assorbimento della parete;

I_{α} è l'intensità della radiazione solare incidente sulla superficie comunque orientata e inclinata;
 h_e è il coefficiente liminare esterno.

Gli ingressi di calore attraverso una superficie opaca irraggiata possono variare durante il giorno per effetto dell'inerzia termica della struttura e del fattore di smorzamento di questa. L'ingresso di calore, quindi, non è istantaneo ma viene ritardato.

Per semplificare un calcolo che sarebbe altrimenti complesso, vengono introdotte le cosiddette differenze di temperature equivalenti DTE.

Latitudine nord Parete volta a:	ORA SOLARE																	
	8		10		12		14		16		18		20		22		24	
	Colore esterno del muro (S = scuro; C = chiaro)																	
	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C
Massa del muro 220 kg/m²																		
NE	0	0	0	0	11,1	5,6	8,9	5,6	5,6	3,3	6,7	5,6	7,8	6,7	6,7	5,6	4,4	4,4
E	2,2	1,1	6,7	2,2	13,3	6,7	14,4	7,8	11,1	6,7	6,7	5,6	7,8	6,7	7,8	5,6	5,6	4,4
SE	1,1	0	1,1	0	8,9	4,4	11,1	6,7	11,1	7,8	7,8	6,7	7,8	6,7	6,7	5,6	4,4	3,3
S	0	0	0	0	1,1	0	6,7	3,3	13,3	7,8	14,4	8,9	11,1	7,8	6,7	5,6	4,4	3,3
SO	1,1	0	1,1	0	1,1	0	3,3	2,2	6,7	5,6	14,4	10,0	16,7	11,1	14,4	10,0	4,4	3,3
O	2,2	1,1	2,2	1,1	2,2	1,1	3,3	2,2	5,6	4,4	10,0	7,8	16,6	12,2	17,8	12,2	10,0	7,8
NO	0	0	0	0	1,1	0	2,2	1,1	4,4	3,3	6,7	5,6	12,2	10,0	16,7	12,2	5,6	4,4
N (ombra)	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	0	0	3,3	3,3	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	3,3	3,3
Massa del muro 350 kg/m²																		
NE	1,1	1,1	1,1	1,1	5,6	1,1	8,9	4,4	7,8	4,4	5,6	3,3	5,6	4,4	5,6	5,6	5,6	4,4
E	4,4	3,3	4,4	3,3	7,8	4,4	10,0	5,6	10,0	6,7	8,9	4,4	7,8	5,6	7,8	5,6	6,7	5,6
SE	4,4	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	7,8	5,6	10,0	6,7	8,9	5,6	8,9	6,7	6,7	5,6	6,7	5,6
S	2,2	1,1	2,2	1,1	2,2	1,1	2,2	1,1	5,6	3,3	8,9	5,6	8,9	6,7	6,7	5,6	5,6	4,4
SO	4,4	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	4,4	2,2	5,6	3,3	6,7	4,4	11,1	6,7	13,3	8,9	11,1	7,8
O	4,4	2,2	3,3	2,2	3,3	3,3	4,4	3,3	5,6	3,3	7,8	4,4	11,1	8,9	13,3	8,9	13,3	8,9
NO	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2	1,1	3,3	2,2	4,4	3,3	5,6	4,4	8,9	7,8	10,0	7,8
N (ombra)	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	1,1	3,3	3,3	4,4	4,4	4,4	4,4	3,3	3,3
Massa del muro 500 kg/m²																		
NE	4,4	3,3	4,4	3,3	4,4	2,2	4,4	2,2	5,6	2,2	6,7	3,3	6,7	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3
E	6,7	4,4	6,7	4,4	6,6	4,4	5,6	3,3	6,7	4,4	7,8	5,6	7,8	5,6	7,8	4,4	7,8	4,4
SE	5,6	6,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	6,7	4,4	7,8	5,6	7,8	5,6	6,7	4,4
S	4,4	3,3	3,3	3,3	3,3	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	4,4	2,2	5,6	3,3	6,7	4,4	6,7	4,4
SO	3,6	6,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	4,4	5,6	4,4	6,7	4,4	7,8	5,6
O	6,7	4,4	6,7	4,4	6,7	4,4	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	6,7	4,4	8,9	5,6
NO	4,4	3,3	4,4	3,3	4,4	2,2	4,4	2,2	4,4	2,2	4,4	1,2	4,4	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3
N (ombra)	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2	2,2	3,3	3,3
Massa del muro 600 kg/m²																		
NE	2,2	1,1	2,2	0	8,9	4,4	7,8	4,4	5,6	3,3	6,7	4,4	6,7	5,6	5,6	4,4	4,4	3,3
E	3,3	2,2	7,8	4,4	13,3	6,7	13,3	6,7	13,3	6,7	10,0	5,6	7,8	5,6	7,8	5,6	5,6	4,4
SE	3,3	1,1	3,3	2,2	8,9	5,6	10,0	6,7	10,0	6,7	7,8	6,7	6,7	5,6	6,7	5,6	5,6	4,4
S	1,1	0,6	1,1	0,6	2,2	0,6	6,7	3,3	8,9	6,7	10,0	6,7	7,8	6,7	5,6	4,4	4,4	3,3
SO	3,3	1,1	2,2	1,1	3,3	1,1	4,4	2,2	7,8	5,6	12,2	8,9	13,3	8,9	12,2	8,9	5,6	4,4
O	3,3	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	4,4	3,3	6,7	4,4	11,1	7,8	15,6	10,0	15,6	10,0	14,4	5,6
NO	2,2	1,1	2,2	0	2,2	1,1	2,2	2,2	3,3	3,3	6,7	5,6	11,1	7,8	15,6	8,9	4,4	3,3
N (ombra)	0	0	0	0	0	0	1,1	1,1	2,2	2,2	3,3	3,3	4,4	4,4	3,3	3,3	2,2	2,2
Massa del muro 750 kg/m²																		
NE	3,3	2,2	3,3	1,1	3,3	1,1	7,8	4,4	7,8	4,4	5,6	4,4	5,6	4,4	5,7	5,6	5,6	4,4
E	5,6	3,3	4,4	3,3	5,6	3,3	10,0	6,7	8,9	5,6	5,7	5,6	7,8	5,6	7,8	5,6	7,8	5,6
SE	4,4	2,2	4,4	2,2	3,3	2,2	7,8	4,4	8,9	5,6	8,9	5,6	7,8	5,6	6,7	5,6	6,7	5,6
S	3,3	2,2	2,2	1,1	2,2	1,1	2,2	1,1	5,6	3,3	7,8	5,6	8,9	6,6	7,8	5,6	5,6	4,4
SO	4,4	2,2	4,4	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	4,4	3,3	5,6	4,4	10,0	7,8	11,1	7,8	10,0	6,7
O	5,6	3,3	4,4	3,3	4,4	3,3	5,6	3,3	5,6	3,3	6,7	4,4	8,9	5,6	13,3	7,8	12,2	7,8
NO	3,3	2,2	3,3	1,1	3,3	1,1	3,3	2,2	3,3	2,2	4,4	3,3	5,6	4,4	10,0	6,7	11,1	7,8
N (ombra)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	1,1	2,2	2,2	3,3	4,4	4,4	3,3

Tab. 8 Differenza di temperatura equivalente DTE per il calcolo degli ingressi di calore attraverso muri soleggiati o in ombra (i valori indicati sono stimati per temperatura esterna di 35 °C e temperatura interna di 26,7 °C)

Esposizione	Tipo del tetto	Massa (kg/m ²)	Ora solare								
			8	10	12	14	16	18	20	22	24
Al sole	Costruz. leggera	50	6,7	21,1	30,0	34,4	27,8	14,4	5,6	2,2	0
	Costruz. medio leggera	150	3,3	16,7	26,7	32,2	27,8	17,8	7,8	3,3	1,1
	Costruz. media	250	0	11,1	21,1	27,8	28,9	22,2	12,2	6,7	3,3
	Costruz. pesante	400	2,2	3,3	13,3	21,1	25,6	24,4	17,8	10,0	6,7
In ombra	Costruz. leggera	50	-2,2	0	3,3	6,7	7,8	6,7	4,4	1,1	0
	Costruz. media	250	-2,2	-1,1	1,1	4,4	6,7	6,7	5,6	3,3	1,1
	Costruz. pesante	400	-1,1	-1,1	0	2,2	4,4	5,6	5,6	4,4	2,2

Tab. 9 *Differenza di temperatura equivalente per il calcolo degli ingressi di calore attraverso tetti soleggiati od ombreggiati (i valori indicati sono stimati per temperatura esterna di 35 °C e temperatura interna di 26,7 °C)*

La differenza di temperatura equivalente deve prendere in considerazione i diversi fattori che influiscono sulla trasmissione del calore attraverso le pareti opache irraggiate, tra i quali:

- i diversi tipi di costruzione (leggera, pesante, ecc.);
- le diverse esposizioni;
- l'ora del giorno;
- la posizione geografica dell'edificio considerato (latitudine).

Utilizzando la DTE, la trasmissione di calore attraverso la struttura può essere calcolata utilizzando l'equazione fondamentale della trasmissione del calore attraverso una parete a facce piane e parallele in condizioni di regime stazionario:

$$Q = K S DTE$$

dove:

K è la trasmittanza della parete (W/m²K);

S è la superficie della parete (m²);

DTE è la differenza di temperatura equivalente prima definita (K).

I valori delle differenze di temperature equivalenti per i muri e per i tetti sono riportati, rispettivamente, nelle tabelle 8 e 9 e calcolati per entrambe le tabelle nelle seguenti ipotesi:

- temperatura interna di 26,7 °C e temperatura esterna di 35 °C;
- latitudine 45 °N;
- escursione termica giornaliera 11 °C;
- coefficiente di assorbimento per muri di colore chiaro pari a 0,5 e per muri di colore scuro pari a 0,9;
- coefficiente di assorbimento per tetti pari a 0,9.

Nel caso in cui la condizioni di temperatura interna ed esterna siano diverse da quelle sopra indicate, il valore del DTE' reale può essere calcolato con la seguente relazione:

$$DTE' = DTE + (\Delta T - 8,3)$$

dove:

DTE è il valore della differenza di temperatura equivalente ricavato dalle tabelle 8 o 9;
 ΔT è la differenza tra la temperatura esterna e quella interna di progetto;
 8,3 è la differenza tra la temperatura esterna e quella interna assunta per elaborare la tabella (35 – 26,7)

☞ Esempio 7:

Calcolare la differenza di temperatura equivalente DTE' e l'entrata di calore per una parete nelle seguenti condizioni:

temperatura interna di progetto: 27 °C
 temperatura esterna di progetto: 32 °C
 massa del muro: 350 kg/m²
 ora solare: 16
 colore esterno del muro: scuro
 orientamento: Est
 superficie: 8,6 m²
 trasmittanza K 1,5 W/m²K

Dalla tabella 8 si ricava il valore della DTE che è pari a 10,0 °C

La tabella, tuttavia, si riferisce a condizioni di progetto differenti da quelle ipotizzate. E' necessario perciò modificare il valore del DTE applicando la relazione:

$$DTE' = DTE + (\Delta T - 8,3)$$

da cui risulta che $DTE' = 10,0 + ((32-27)-8,3) = 6,7$ °C.

Si hanno tutti gli elementi per calcolare l'entrata di calore.

Denominazione	Orientamento	Superficie (m ²)	Rad. (W/m ²) o Dt (°C)	Coeff. fatt. rid.	Potenza (W)
2 - Radiazioni e trasmissioni - pareti esterne e tetto					
Pareti esterne	Est	8,6	6,7	1,5	86
Pareti esterne					
Pareti esterne					
Pareti esterne					
Tetti soleggiati					
Tetti in ombra					
tot. 2					86

3.3 Trasmissioni – escluse pareti esterne e tetto

In questa sezione vanno calcolate le entrate di calore dovute soltanto alla differenza tra la temperatura dell'ambiente esterno e quello interno.

Applicando la relazione:

$$Q = K S \Delta t$$

dove:

- K è la trasmittanza unitaria della parete;
S è la superficie della parete;
 Δt è la differenza della temperatura dell'aria tra l'ambiente esterno e quello interno.

si calcolano quindi le entrate di calore:

- attraverso i serramenti esterni;
- attraverso pareti che confinano con locali non condizionati che si trovano quindi ad una temperatura diversa rispetto a quella ambiente di progetto.

▮ Esempio 8:

Calcolare le entrate di calore per trasmissione, considerando una temperatura interna di progetto di 27 °C, attraverso le seguenti pareti:

Parete 1

Tipo di parete:	serramenti esterni
superficie:	11,9 m ²
trasmittanza K	3,5 W/m ² K
temperatura esterna:	33,8 °C

Parete 2

Tipo di parete:	tamponamento verso locale non condizionato
superficie:	12 m ²
trasmittanza K	1,2 W/m ² K
temperatura esterna:	30 °C

Parete 3

Tipo di parete:	soletta pavimento verso locale non condizionato
superficie:	32 m ²
trasmittanza K	0,8 W/m ² K
temperatura esterna:	30 °C

Lo schema di calcolo viene di seguito riportato.

Denominazione	Orientamento	Superficie (m ²)	Rad. (W/m ²) o Δt (°C)	Coeff. fatt. rid.	Potenza (W)
3 - Trasmissioni - escluse pareti esterne e tetto					
Finestre esterne (totale)		11,9	33,8-27	3,5	282
Pareti interne		12	30-27	1,2	43
Pareti interne					
Soffitti					
Pavimenti		32	30-27	0,8	77
tot. 3					402

3.4 Aria esterna e infiltrazioni

Le infiltrazioni d'aria esterna negli ambienti condizionati provoca in estate un aumento del carico sensibile e di quello latente degli ambienti stessi.

L'infiltrazione dell'aria esterna in estate è causata essenzialmente dal vento che crea una sovrappressione sul lato dell'edificio investito dal vento stesso.

Il calcolo delle infiltrazioni può risultare complesso. Quando è presente un sistema di ventilazione in grado garantire i ricambi dell'aria in modo meccanico, ed i serramenti garantiscono una buona tenuta, le infiltrazioni naturali possono essere trascurate.

▮ Esempio 9:

Calcolare i carichi termici sensibili dovuti all'aria esterna in un locale nelle seguenti condizioni:

Portata aria esterna: 240 m³/h
 Differenza tra la temperatura esterna e quella interna: 6,8 °C

Lo schema di calcolo è il seguente:

4 - Aria esterna e infiltrazioni

Infiltrazioni	(m ³ /h)	0	x Δt (°C)		x 0,35	
Aria esterna	(m ³ /h)	240	x Δt (°C)	6,8	x 0,35x(1-BF)	514
					tot. 4	514

Nota: Significato del fattore di by-pass (BF)

Nelle batterie di riscaldamento (ma questo vale anche per quelle di raffreddamento), la cessione (o la sottrazione) del calore avviene attraverso lo scambio termico per convezione forzata tra l'aria e le superfici alettate delle batterie. Non tutta l'aria che attraversa frontalmente la batteria riesce a lambire la superficie delle alette; a valle della batteria, pertanto, si avrà una miscela d'aria tra il quantitativo di aria trattato dalla batteria e quello che invece, bypassando la batteria, mantiene le sue condizioni iniziali. Si definisce fattore di by-pass (BF) il rapporto fra la quantità in peso di aria bypassata, ossia che non riesce a lambire la superficie delle alette, e la quantità di aria che attraversa la batteria. Il fattore di by-pass dipende dalle caratteristiche della batteria e, più precisamente,

- dalla superficie di scambio (numero di ranghi e spaziatura tra le alette);
- dalla velocità di passaggio dell'aria.

Un aumento della velocità dell'aria, o una diminuzione della superficie di scambio, comportano un aumento del fattore di by-pass

Nel calcolo si è considerato un fattore di by-pass (BF) pari a 0,1.

3.5 Carichi interni

Questi carichi rappresentano gli apporti di calore sensibile agli ambienti condizionati provenienti dall'interno degli ambienti stessi.

Le fonti più comuni sono:

- le persone soggiornanti nell'ambiente;
- l'illuminazione;
- eventuali macchine funzionanti;
- l'introduzione di materiali o prodotti a temperatura superiore a quella ambiente.

Per quanto riguarda i carichi dovuti alle persone, nella tabella 10 sono riportati, in funzione del tipo di attività svolta, i valori relativi alla quantità di calore emesse, suddivise nelle due componenti, calore sensibile e calore latente.

Tipo di attività	Situazioni tipiche	Temperature ambiente a bulbo secco					
		26 °C		27 °C		28 °C	
		Sens. W	Lat. W	Sens. W	Lat. W	Sens. W	Lat. W
Seduto, in riposo	teatro, auditorium	60	40	55	45	50	50
Seduto, lavoro molto leggero	uffici, alberghi, abitazioni, scuole	65	55	60	60	55	65
Seduto, mangiando	ristoranti	75	95	70	100	65	105
Seduto, lavoro leggero	uffici	75	75	70	80	65	85
In piedi, lavoro leggero, camminare lento	grandi magazzini, negozi, banche	90	95	83	102	76	109
Lavoro leggero, al banco	fabbrica, laboratorio	100	130	92	138	85	145
Ballo moderato	sale da ballo	120	255	110	265	100	275
Lavoro pesante	fabbrica, laboratorio	165	300	150	315	138	327
Lavoro molto pesante, atletica	fabbrica, palestra	185	340	170	355	155	370

Tab. 10 Calore emesso dalle persone (W/persona)

Per quanto riguarda i carichi dovuti all'illuminazione, le lampade ad incandescenza trasformano circa il 10% dell'energia elettrica assorbita in energia luminosa, mentre il restante 90% viene trasformato in calore all'interno del bulbo e dissipato per radiazione (circa l'80%), convezione e conduzione (il restante 10%).

Le lampade fluorescenti trasformano circa il 25% della potenza assorbita in energia luminosa, mentre un ulteriore 25% viene dissipato sotto forma radiante sulle superfici circostanti. Il restante 50% viene dissipato per conduzione e convezione.

In aggiunta a ciò, circa il 25% di calore in più viene generato nel reattore della lampada fluorescente.

Per la valutazione degli apporti termici dovuti all'illuminazione, per le lampade ad incandescenza si sommano gli assorbimenti delle singole lampade (quelli indicati sulle lampade stesse) mentre per le lampade ad incandescenza il Watt indicati devono essere moltiplicati per 1,25 per tenere conto dei Watt dissipati dallo starter.

↳ Esempio 10:

Calcolare i carichi termici interni in un locale nelle seguenti condizioni:

Persone presenti:	8
Attività svolta:	Lavoro leggero uffici
Temperatura ambiente:	27 °C
Carico unitario dovuto alla illuminazione	15 /m ² di pavimento
Superficie locale:	32 m ²
Altre apparecchiature:	4 PC con assorbimento unitario di 100 W

Lo schema di calcolo è il seguente:

5 - Carichi interni

Persone	n°	8	x W/pers.	70	560
Illuminazione	W/m ²	15	x m ²	32	480
Altre apparecchiature				W	400
Canali + ventilatore + fattore di sicurezza			%	10	144
				tot. 5	1584

Nel modulo di calcolo è stata prevista una maggiorazione forfetaria del 10% (fattore di sicurezza). Il valore di 70 W/persona della prima riga di calcolo è stato ricavato dalla tabella 10 considerando la sola componente del calore sensibile (quella del calore latente sarà invece computata nella sezione specifica).

Nel modulo compare la voce "canali+ventilatore+fattore di sicurezza". Questo valore, calcolato come maggiorazione percentuale sulla somma dei carichi di questa sezione, è da attribuirsi all'aumento di temperatura dell'aria nelle canalizzazioni che attraversano locali non climatizzati, alla non perfetta tenuta dei canali che consente fughe di aria e quindi una diminuzione della potenzialità dell'impianto, all'aumento di temperatura dell'aria dovuto al ventilatore di mandata ed infine ad un coefficiente di sicurezza da adottare per compensare eventuali errori di valutazione dei parametri o dei fattori adottati (nel nostro caso è stata applicata una maggiorazione del 10%).

3.6 Calore latente

Il calore latente da rimuovere con l'impianto di condizionamento estivo è quello presente nei casi in cui l'aria subisce una variazione della sua umidità specifica (quindi si ha un passaggio di stato). Viene calcolato nei seguenti casi:

- presenza di persone;
- entrate di aria esterna che passa da una umidità specifica ad un'altra;
- presenza di apparecchiature che producono vapore.

↳ Esempio 11:

Calcolare i carichi termici dovuti al calore latente in un locale nelle seguenti condizioni:

Persone presenti:	8
Attività svolta:	lavoro leggero, uffici
Temperatura ambiente:	27 °C
Infiltrazioni:	0
Portata aria esterna:	240 m ³ /h
Differenza tra umidità specifica esterna e interna:	1,8 g/kg a.s.

Lo schema di calcolo è il seguente:

6 - Calore latente

Persone		n°	8	x W/pers.	80	640
Infiltrazioni	(m ³ /h)		x g/kg		x 0,84	
Aria esterna	(m ³ /h)	240	x g/kg	1,8	x(1-BF)x0,84	326
Altre apparecchiature			kg/h		x 700	
Fattore di sicurezza				%	10	97
Totale Calore latente					W	1063

Nel modulo di calcolo è stata prevista una maggiorazione del 10% (fattore di sicurezza). Il valore di 80 W/persona della prima riga di calcolo è stato ricavato dalla tabella 10 considerando la sola componente del calore latente.

3.7 Calore totale ambiente effettivo

Il calore totale ambiente effettivo è calcolato sommando il calore totale sensibile al calore totale latente calcolati precedentemente.

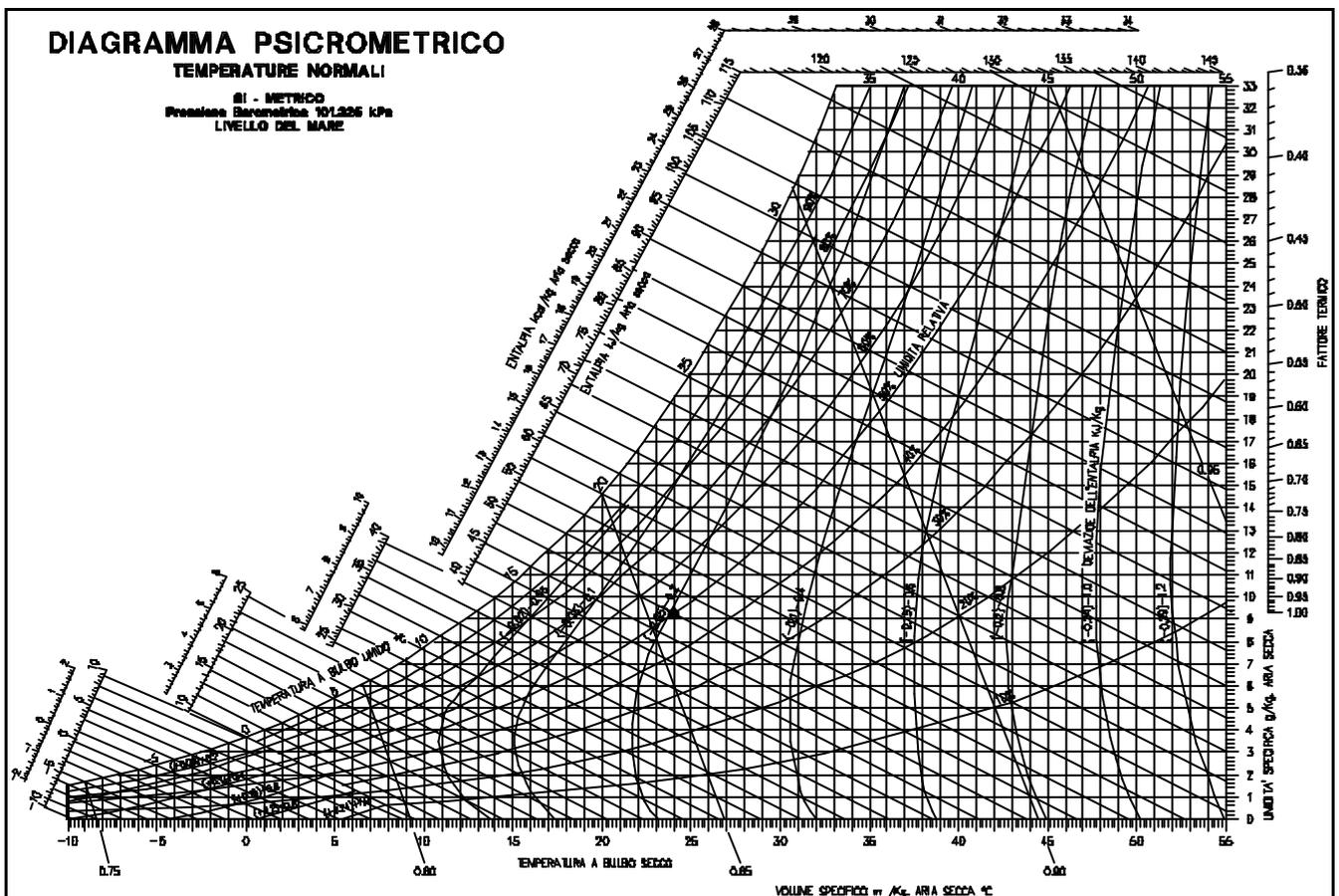
MODULO DI CALCOLO DEI CARICHI TERMICI ESTIVI - 1

Dati di riferimento

Località				
Calcolo eseguito per il giorno	alle ore		Lat.	
Ore di funzionamento impianto				
Calcolo termico	<input type="checkbox"/> senza accumulo		<input type="checkbox"/> con accumulo	
Usò dei locali				
Superficie (larghezza x lunghezza)			(m ²)	
Volume	altezza (m)	sup. x alt =	(m ³)	
Aria esterna				
Persone	vol/h	l/s pers.	x 3,6 (m ³ /h)	
		m ³	(m ³ /h)	
	Portata aria rinnovo (m ³ /h)			

Condizioni di progetto

	temp. b.s. (°C)	temp. b.u. (°C)	U.R. (%)	Xs (g/kg)
Esterne				
Interne				
Differenza				



MODULO DI CALCOLO DEI CARICHI TERMICI ESTIVI - 2

Calcolo calore totale ambiente effettivo

Denominazione	Orientamento	Superficie (m ²)	Rad. (W/m ²) o Dt (°C)	Coeff. fatt. rid.	Potenza (W)
1 - Radiazioni solari - vetri					
Serramenti esterni					
Serramenti esterni					
Serramenti esterni					
Serramenti esterni					
Lucernari					
tot. 1					

2 - Radiazioni e trasmissioni - pareti esterne e tetto

Pareti esterne					
Pareti esterne					
Pareti esterne					
Pareti esterne					
Tetti soleggiati					
Tetti in ombra					
tot. 2					

3 - Trasmissioni - escluse pareti esterne e tetto

Finestre esterne (totale)					
Pareti interne					
Pareti interne					
Soffitti					
Pavimenti					
tot. 3					

4 - Aria esterna e infiltrazioni

Infiltrazioni (m ³ /h)		x Δt (°C)		x 0,35	
Aria esterna (m ³ /h)		x Δt (°C)		x0,35x(1-BF)	
tot. 4					

5 - Carichi interni

Persone	n°		x W/pers.		
Illuminazione	W/m ²		x m ²		
Altre apparecchiature				W	
Canali + ventilatore + fattore di sicurezza			%		
tot. 5					

Totale Calore sensibile (tot.1 + tot. 2 + tot. 3 + tot. 4 + tot. 5)

W

6 - Calore latente

Persone	n°		x W/pers.		
Infiltrazioni (m ³ /h)		x g/kg		x 0,84	
Aria esterna (m ³ /h)		x g/kg		x(1-BF)x0,84	
Altre apparecchiature		kg/h		x 700	
Fattore di sicurezza			%		

Totale Calore latente

W

Calore totale ambiente effettivo (sensibile + latente)

W