



SCUOLA FUSPA

CALCOLO CARICHI ESTIVI

Nozioni preliminari

Abbiamo visto come calcolare le dispersioni invernali di un determinato locale.

Ipotizziamo che:

- **la temperatura esterna sia la minima.**
- **non intervenga irraggiamento solare**
- **Non ci siano gli apporti gratuiti dovuti alle luci, persone, apparecchiature, ecc**

La stima dei carichi termici estivi **non** può essere effettuata in regime stazionario (come il calcolo delle dispersioni termiche invernali) poiché:

- Le oscillazioni termiche esterne influiscono significativamente sulle condizioni interne essendo la temperatura esterna più vicina a quella interna di quanto non avvenga in inverno;
- Gli apporti interni (persone, macchine, impianto di illuminazione...), che sono a carattere fortemente transitorio, hanno un peso significativo nel computo globale dei carichi termici.

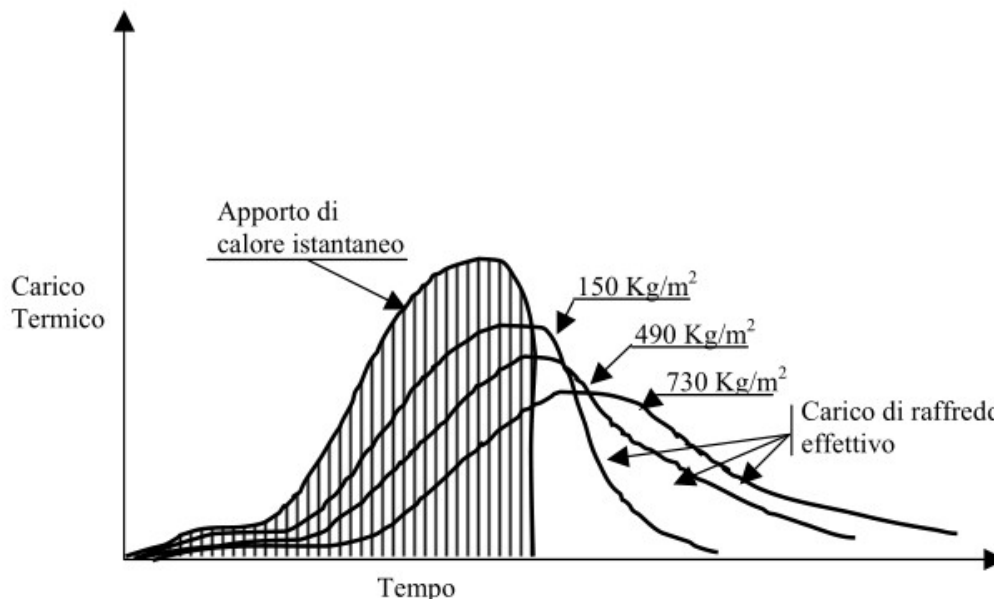
Nel calcolo dei carichi estivi per la climatizzazione estiva bisogna tener conto di tutto onde evitare di sovradimensionare l'impianto.

Il calcolo delle rientrate di calore estive, rispetto a quello delle dispersioni invernali, richiede una più difficile valutazione vista la molteplicità dei fattori da considerare per la stima dei carichi ambiente.

Nozioni preliminari

In particolare, mentre per il calcolo delle dispersioni invernali si fa riferimento a condizioni stazionarie (si assume cioè che la temperatura dell'aria esterna rimanga costante nel corso della giornata e pari al valore di progetto) nel caso delle rientrate estive tale discorso viene a mancare a seguito dell'estrema variabilità dei flussi termici legati alla radiazione solare.

Si parla, infatti, di **carichi termici estremamente variabili nel corso della giornata** e strettamente influenzati dalle **caratteristiche inerziali delle strutture**, responsabili di fenomeni di attenuazione e sfasamento temporale del carico termico effettivo rispetto all'apporto di calore istantaneo.



Guardando il grafico. La curva superiore rappresenta l'apporto di calore istantaneo per radiazione su una parete esposta ad ovest. Tale apporto istantaneo è definibile come la quantità di calore che entra all'interno dello spazio occupato in un dato istante.

La curva inferiore rappresenta, invece, il carico di raffreddamento effettivo e cioè la quantità di calore che deve essere rimosso dallo spazio al fine di mantenere costante la temperatura dell'aria.

Differenze dispersioni invernali – carichi estivi

Calcolo Invernale: regime stazionario	Calcolo Estivo: regime variabile
La temperatura media esterna è molto diversa dalla temperatura interna e, poiché le sue oscillazioni intorno al valore medio sono contenute, si assume costante e pari al valore minimo	La temperatura dell'aria esterna varia nell'arco della giornata ed assume un andamento sinusoidale;
Le condizioni più gravose si hanno in assenza di irraggiamento solare	L'irraggiamento solare è il carico predominante e varia nell'arco della giornata;
Non si considerano gli apporti gratuiti interni	Si considerano i carichi interni
Non si considera l'accumulo delle strutture	La radiazione solare è assorbita dalle strutture, che accumulano calore e lo restituiscono all'ambiente in tempi successivi.

Carichi Sensibili e Latenti

CONTRIBUTI DI CALORE **SENSIBILE**

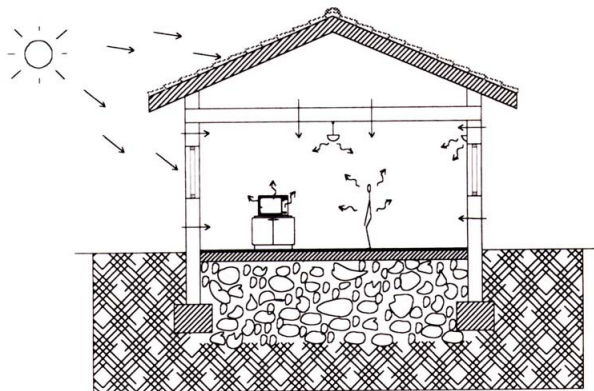
- Radiazione solare attraverso vetri, muri, tetti;
- Trasmissione attraverso vetri, muri e tetti;
- Infiltrazione di aria esterna;
- Apporto interno all'ambiente dovuto a persone, luci, apparecchiature elettriche.

CONTRIBUTI DI CALORE **LATENTE**

Apporto di vapore dovuto a persone presenti in ambiente;

Infiltrazione di aria esterna, avente in genere un'umidità specifica superiore a quella dell'aria ambiente;

Vapore prodotto in ambiente da eventuali processi o apparecchiature presenti.



la potenzialità dell'impianto sarà quindi determinata dal valore del carico massimo concomitante ad una data ora.

Valutazione dei carichi

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

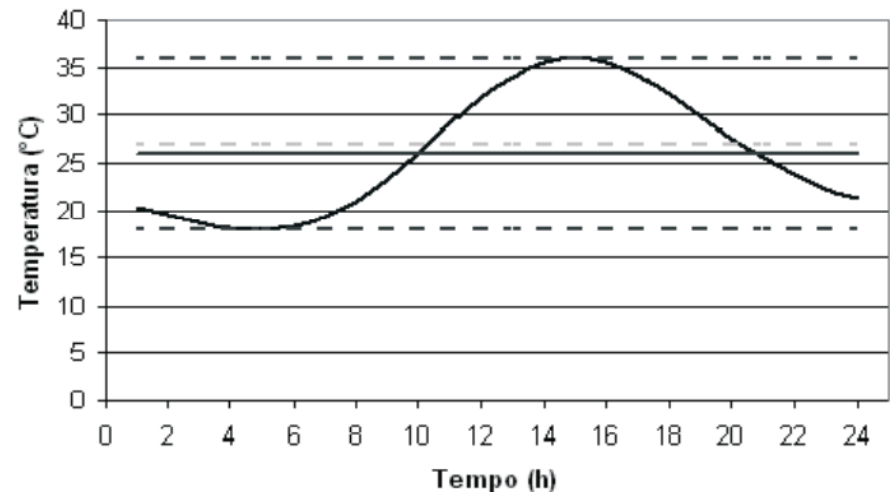
- effetto della radiazione solare attraverso le strutture trasparenti (**sensibile**);
- effetto della trasmissione di calore attraverso le strutture trasparenti ed opache (**sensibile**);
- inerzia termica delle strutture dell'edificio;
- carichi termici interni dovuti alla presenza sia di persone (**sensibile+latente**) che di apparecchiature (**sensibile**) che emettono calore (illuminazione, macchinari vari, ecc.);
- entrate di calore dovute alle infiltrazioni ed ai ricambi d'aria (**sensibile+latente**);
- Processi o attività lavorative con produzione di vapore che hanno luogo all'interno dell'ambiente (cottura di cibi, asciugatura di panni, lavorazioni industriali o artigianali ...) **latente**



Fattore di accumulo

Le strutture interne (solette, pareti, ecc.) hanno una funzione di volano termico e quindi le entrate di calore dovute alla radiazione solare attraverso i serramenti vengono ridotte.

l'esposizione delle pareti ad irraggiamento solare è la radiazione solare è assorbita dalle **strutture, che accumulano calore e lo restituiscono all'ambiente in tempi successivi;**
la temperatura dell'aria esterna varia nell'arco della giornata ed assume un andamento sinusoidale;



Radiazione solare

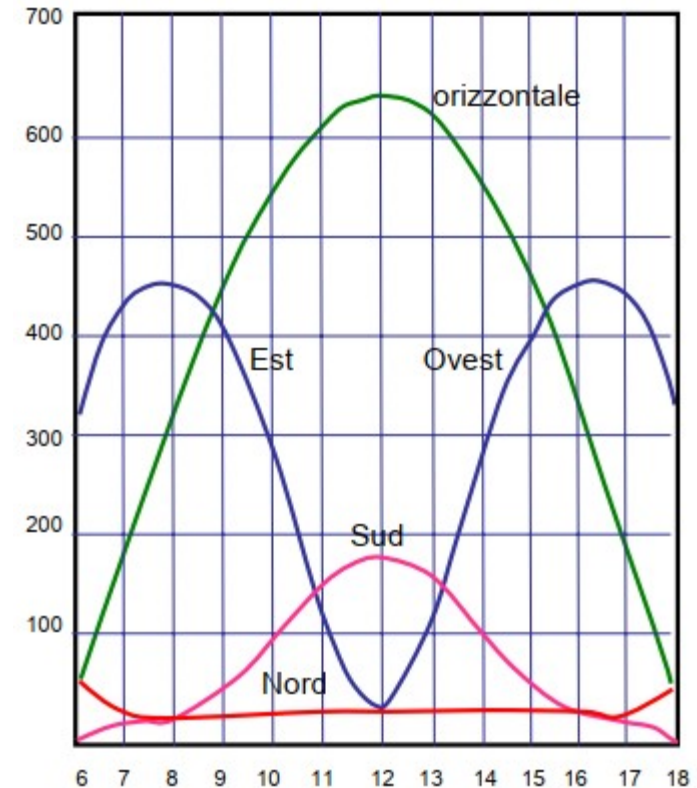
Dipende da:

Latitudine del luogo in cui è ubicato l'edificio

Ora, giorno e mese considerati

Esposizione della superficie irraggiata

La superficie **orizzontale** è quella che risente di più della radiazione entrante in termini di intensità massima e di durata giornaliera della radiazione stessa e comporta per questo il carico energetico massimo entrante rispetto a qualsiasi superficie verticale per la quale l'intensità e la durata della radiazione giornaliera sono di minore entità.



Variazione a seconda
dell'esposizione

Radiazione solare attraverso il vetro

La radiazione solare che attraversa una superficie vetrata è in parte assorbita ed in parte riflessa dalle superfici di delimitazione dell'ambiente e dagli oggetti in esso contenuti;

Quanto appena detto consente di spiegare il problema “**effetto serra**”:

E' ovvio che la trasmittività di una superficie vetrata dipende dalla sua composizione chimica, dallo spessore, dalla presenza di pellicole di rivestimento, dalla lunghezza d'onda della radiazione e dal suo angolo d'incidenza.

Il calcolo delle rientrate di calore attraverso le superfici finestrate richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- 1. La radiazione solare massima mensile per il mese considerato e per l'esposizione in oggetto;**
- 2. Area finestre;**
- 3. Fattori correttivi (fattore tapparelle, fattore foschia, fattore Altitudine, fattore tipologia vetro);**
- 4. Fattori d'accumulo;**

Ad una latitudine pari a 45° e vetro semplice con telaio in legno si ha a luglio [W/m²]:

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Orizz
45	383	513	421	275	421	513	383	697

Radiazione solare attraverso il vetro

In presenza, inoltre, di schermi e/o di vetro ordinario non semplice, occorrerà introdurre un'altra serie di **fattori correttivi**, di cui si riporta in tabella una sintesi abbastanza significativa

Tipo di vetro	Senza schermi	Veneziana interna o avvolgibile interno (45°)			Veneziana esterna (45°)		Tenda esterna	
		Chiara	media	Scura	chiara	Chiara all'esterno scura all'interno	Chiara	Media o scura
Vetro semplice	1	0.56	0.65	0.75	0.15	0.13	0.20	0.25
Vetro doppio	0.9	0.54	0.61	0.67	0.14	0.12	0.18	0.22
Vetro triplo	0.83	0.48	0.56	0.64	0.12	0.11	0.16	0.2
Vetro da 6 mm	0.94	0.56	0.65	0.74	0.12	0.12	0.19	0.24
Vetro assorbente (40% - 70%)	0.8 + 0.62	0.51 + 0.56	0.62 + 0.64	0.72 + 0.56	0.12 + 0.10	0.1 + 0.10	0.16 + 0.12	0.20 + 0.16

Se la radiazione solare a latitudine 45° e finestra vetro semplice a Ovest è pari a 513 W/m²

Utilizzando vetro doppio con veneziana chiara avremo → 513 x 0,54 = 277 W/m²

Utilizzando vetro doppio con frangisole esterno chiaro avremo → 513 x 0,14 = 72 W/m²

Radiazione solare attraverso il vetro con accumulo

Riduzione dell'irraggiamento per il **fattore di accumulo**

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

Trasmissione del calore attraverso il vetro

Il calcolo delle rientrate di calore per trasmissione attraverso le superfici vetrate si effettua in maniera analoga a quanto si fa per il calcolo delle dispersioni invernali.

La formula da utilizzare è infatti:

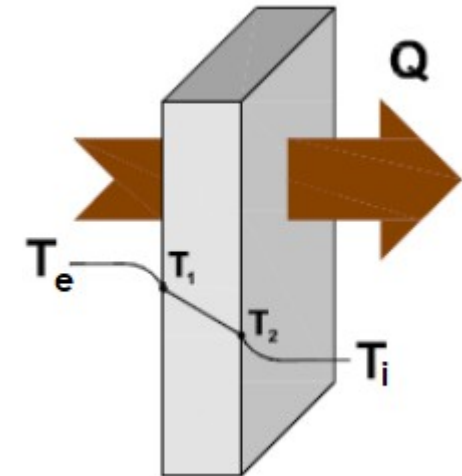
$$Q = U \times S \times \Delta T$$

Dove

U è la trasmittanza della superficie finestrata (5 vetro semplice, 2,5 vetro doppio, 1,4 vetro basso emissivo);

S è la superficie finestrata;

ΔT è la differenza di temperatura tra interno ed esterno.



Trasmissione del calore attraverso strutture opache

Il calcolo delle rientrate di calore per trasmissione attraverso le superfici opache (tetti, muri) **richiede un'attenta analisi** dei contributi di carico legati all'effetto congiunto:

- **Differenza di temperatura tra aria esterna ed aria interna;**
- **Radiazione solare.**

La radiazione solare è di fatto responsabile di un'azione amplificatrice dello scambio termico legato al salto termico esistente fra aria esterna ed aria interna.

Tale radiazione, assorbita dalle superfici esterne, produce un effetto riscaldante che occorre computare ai fini di una corretta valutazione delle rientrate estive relativamente ai componenti in oggetto.

La relazione utilizzata per il calcolo di tale tipologia di carichi è la seguente:

$$Q = U \times S \times \Delta T_{\text{equiv}}$$

dove ΔT_{equiv} è una differenza di temperatura equivalente che porta in conto l'apporto solare variabile ciclicamente durante la giornata, l'escursione termica giornaliera dell'aria esterna e le **caratteristiche inerziali delle strutture** di delimitazione del volume condizionato riferite al peso per m^2 di superficie.

I valori di ΔT_{equiv} sono tabellati in funzione della latitudine ed al colore (chiaro, medio o scuro) del muro.

Carichi interni

Un contributo non trascurabile per la definizione del carico termico totale a carico dell'impianto di raffreddamento è rappresentato inoltre dai contributi di calore sensibile e latente, generato all'interno dell'ambiente, da parte di:

- Persone;
- Illuminazione;
- Apparecchiature/macchine presenti in ambiente



Carichi interni: Persone

Tutti noi scambiamo calore sensibile e latente con l'ambiente che ci circonda.

E' tuttavia noto che ciò che scambiamo ed il modo stesso in cui lo facciamo è strettamente **legato al tipo di attività svolta**, alle condizioni termoigrometriche dell'aria. Infatti, un lavoro "sedentario leggero" comporta uno scambio termico sensibile e latente di minore entità rispetto a quello di un lavoro di tipo "pesante",

così come a parità di condizioni,

il calore totale emesso da un soggetto maschio è sensibilmente maggiore di quello emesso da un soggetto donna ($\cong 15\%$ in più).

Nella pratica impiantistica si suole spesso introdurre un fattore di contemporaneità per affollamento.

L'introduzione di tale fattore trova la sua motivazione nel fatto che è comunque difficile che il numero max di persone previste sia effettivamente presente.

Ufficio → 65 W sensibile + 55 W 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

Carichi interni: Persone

Ufficio:

65 W sensibile + 55 W latente

Totale 120 W



Palestra:

185 W sensibile + 340 W latente

Tot 525 W



Carichi interni: Illuminazione

Occorre precisare che ciò che viene assorbito dalle lampade in termini di potenza elettrica non si traduce interamente in carico termico;

Nelle **lampade incandescenti** una parte della potenza assorbita (10% circa) è trasformata in energia luminosa, mentre la rimanente porzione (**90%**) la ritroviamo sotto forma di calore dissipato nell'ambiente per radiazione (80%), convezione e conduzione (10%).

Tale calore assorbito dalle strutture di delimitazione viene successivamente rilasciato da porte, muri, pavimento etc....

Tale energia assorbita contribuisce, dunque, alla definizione del carico di raffreddamento anche dopo la chiusura delle luci, visto lo sfasamento temporale indotto dai fenomeni di accumulo termico nelle strutture.

Le lampade fluorescenti come quelle a **LED** trasformano in energia luminosa circa il 25% di ciò che assorbono, un altro 25% lo scambiano per irraggiamento ed il rimanente 50 % per convezione e conduzione (tot **75%**).

Un valore abbastanza utilizzato per la stima dei **carichi dovuti all'illuminazione è 15 W/m²**, valore che può salire anche a 20-25 W/m² in assenza di dati precisi. E in alcuni casi (gioiellerie) arrivare fino a 50-70 W/m².

Carichi da illuminazione LED 15-20 W/m²

Carichi interni: Apparecchiature

Le apparecchiature che possono essere presenti in ambiente dissipano in esso parte dell'energia elettrica assorbita.

Stiamo parlando in particolare di macchine fotocopiatrici, computer, stampanti etc., per i quali si può considerare dei valori unitari:

PC con monitor LED: ~ 250 W

Fotocopiatrice: ~ 200 W

Stampante: ~ 200 W



Infiltrazioni d'aria

Il calcolo delle rientrate di calore dovute ad infiltrazioni di aria esterna attraverso finestre, porte etc... richiede la conoscenza delle portate d'aria effettivamente introdotte in ambiente e le condizioni termogrometriche sia interne che esterne.

L'infiltrazione di aria esterna vale:

$$QL = \rho * V * 0.60 * \Delta X \text{ [kcal/h];} \quad \rightarrow \text{LATENTE}$$

$$QS = \rho * V * 0.24 * \Delta T \text{ [kcal/h];} \quad \rightarrow \text{SENSIBILE}$$

dove

ρ = densità dell'aria alla temperatura considerata ($p = 1 \text{ atm}$) [kg/m^3]; circa 1,2

0.60 = calore latente di vaporizzazione dell'acqua [kcal/g];

0.24 = calore specifico dell'aria [$\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$];

ΔT = differenza di temperatura tra aria esterna ed aria ambiente;

ΔX = differenza di umidità specifica tra aria esterna ed aria ambiente [$\text{gH}_2\text{O/kg}_{\text{aria secca}}$];

V = portata volumetrica aria [m^3/h]

Calcolo carichi estivi

Abbiamo visto che il calcolo dei carichi estivi sia molto più complicato rispetto al calcolo delle dispersioni invernali.

Nella pratica si utilizzano programmi di calcolo certificati che tengono conto di tutte le variabili precedentemente esposte.

Esiste poi la possibilità di calcolare i carichi estivi con un foglio di calcolo che permette delle approssimazioni accettabili ed un errore minimo.

Va però specificato che il calcolo viene effettuato nel solo giorno più assolato