

Laboratorio di Progettazione 3M
prof. Giovanni Longobardi

**DIMENSIONAMENTO DEGLI
IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE**
prof. Marco Frascarolo

Università degli Studi di Roma Tre
Facoltà di Architettura
A.A. 2010- 2011

PARAMETRI DA CONTROLLARE PER IL COMFORT TERMOIGROMETRICO

Temperatura dell'aria

Inverno 20-22°C

Estate 24-26°C

Umidità relativa

Inverno 35-65%

Estate 45-55%

Temperatura media radiante

Velocità dell'aria

10-20 cm/sec a livello degli occupanti

Purezza dell'aria

Sono dati dalla normativa i requisiti di ricambi di volume di aria necessari al variare della destinazione d'uso dell'ambiente, o il numero di mc di aria di rinnovo da fornire per ogni occupante (per ogni ambiente si deve fornire una portata di aria di rinnovo pari al massimo tra i due valori)

Impianti di climatizzazione

Le tipologie impiantistiche si possono classificare sulla base dei parametri che possono controllare, e delle modalità adottate per controllarli.

Esistono infatti tipologie impiantistiche che consentono di controllare solo la temperatura da mantenere in ambiente, altre che permettono di controllare anche la umidità relativa e la purezza dell'aria.

Queste ultime sono le tipologie che prevedono di trattare aria (prelevata dall'esterno e/o parzialmente ricircolata) e successivamente immetterla in ambiente in modo da ottenere i valori desiderati dei parametri termofisici dell'ambiente interno.

Gli impianti che prevedono il trattamento di aria (esterna e/o parzialmente ricircolata), e pertanto consentono il controllo dell'umidità relativa e della purezza, sono:

- Sistemi a tutt'aria

Aria primaria (controlla T, UR e purezza dell'aria)

- Sistemi misti aria-acqua

Ventilconvettori + aria primaria (controlla UR e purezza dell'aria)

Pannelli radianti + aria primaria (controlla UR e purezza dell'aria)

Le tipologie impiantistiche che invece non prevedono il trattamento dell'aria (esterna o parzialmente ricircolata), e attraverso le quali non si può controllare l'umidità relativa, sono:

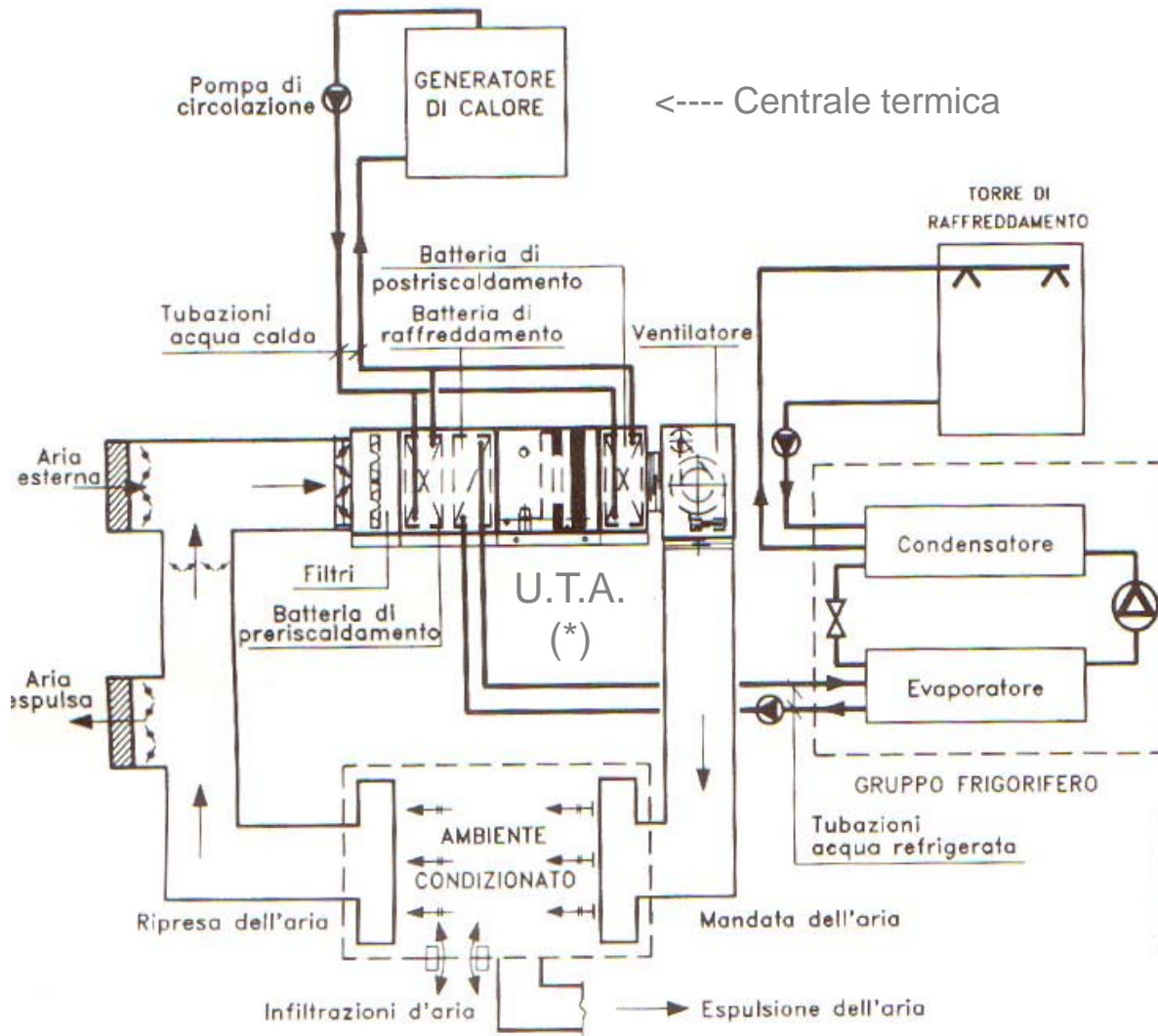
- Sistemi ad acqua (controllano solo T)

Radiatori

Pannelli radianti

Ventilconvettori

Sistemi autonomi (split-multisplit)



Impianto a tutt'aria.

Tipologia di impianto di climatizzazione utilizzata per le aree comuni (grandi volumi d'aria da trattare grandi affollamenti: atri, spazi aperti al pubblico, etc.):

Impianto a tutt'aria a portata costante monocondotto

<---- Centrale frigorifera



(*) Unità di Trattamento dell'Aria

UNITA' DI TRATTAMENTO DELL'ARIA

I trattamenti cui si può sottoporre l'aria umida nella **UTA** sono:

Filtrazione

Riscaldamento

Raffreddamento (con eventuale deumidificazione)

Umidificazione

Post-riscaldamento

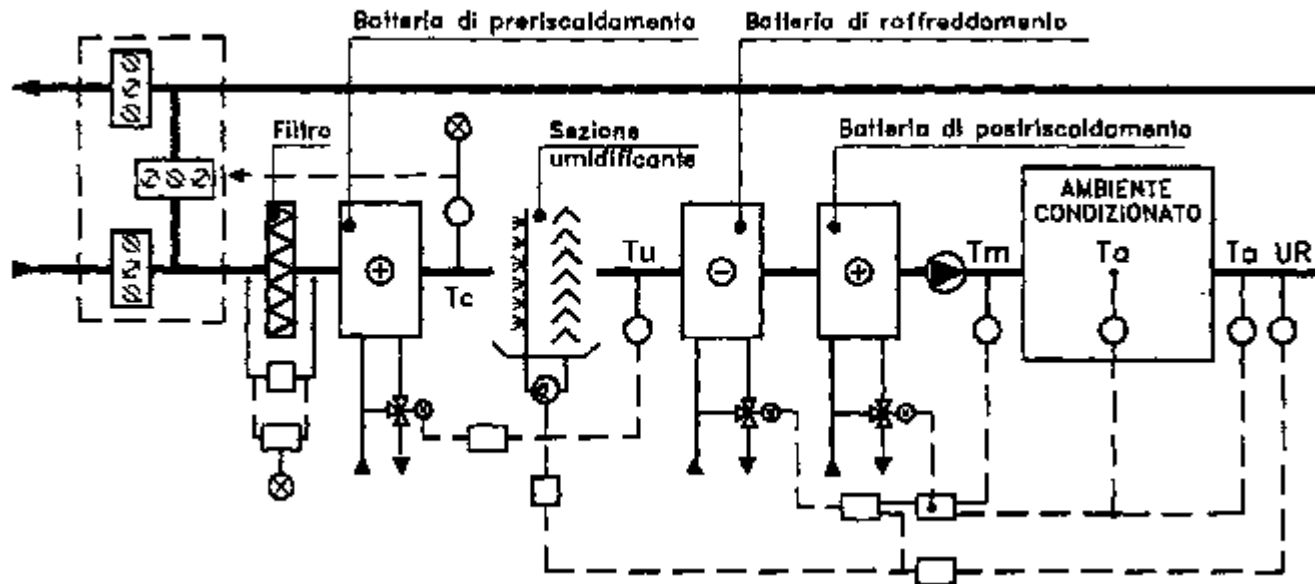


DIAGRAMMA PSICROMETRICO
 (p = 101,325 kPa)

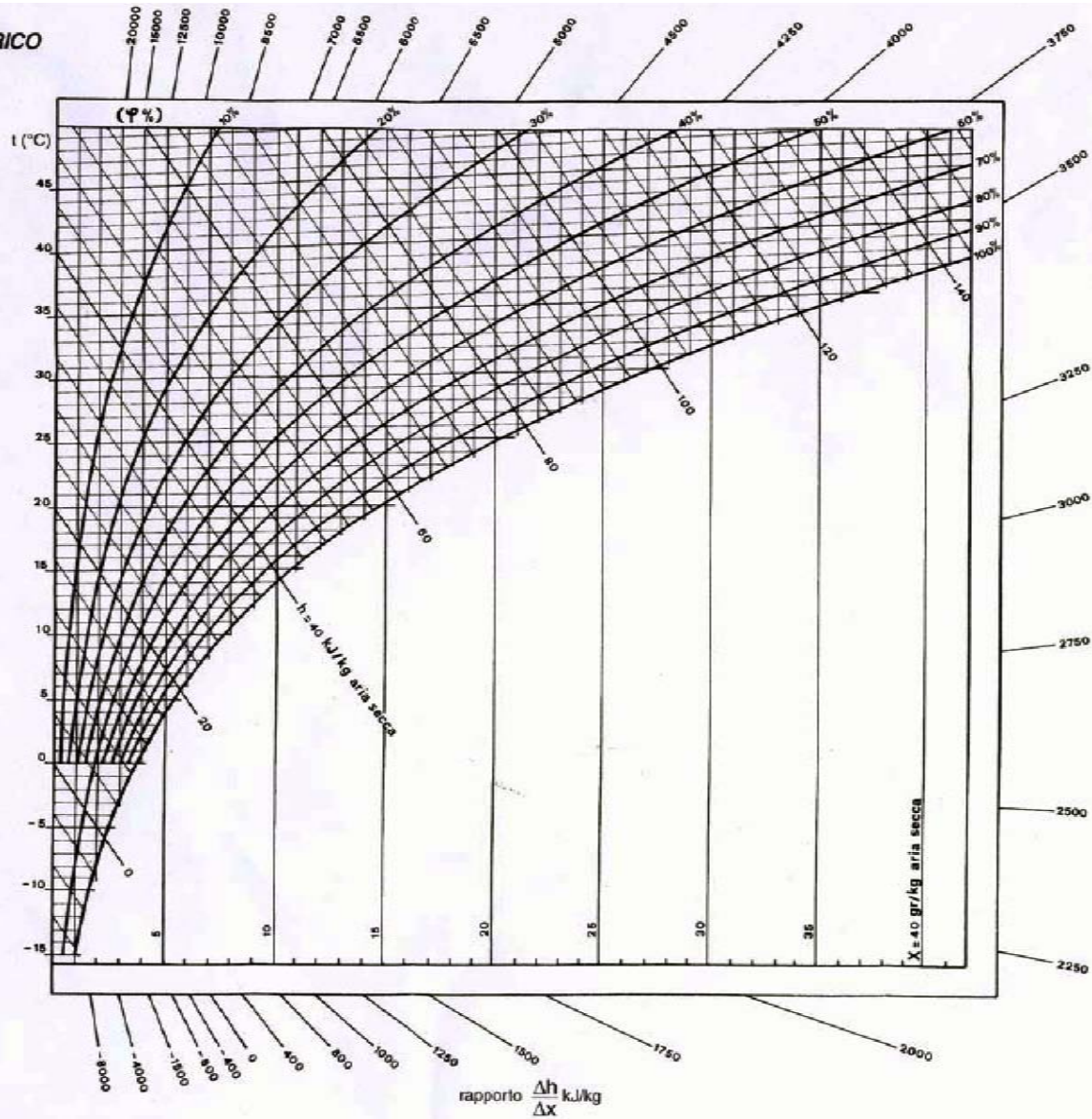


Diagramma 1

Laboratorio di Progettazione 3M - prof. Giovanni Longobardi
 Modulo di Fisica Tecnica - prof. Marco Frascarolo

Diagramma psicrometrico

Umidità associata x

rapporto tra la massa di vapor d'acqua m_w contenuta in un miscuglio e la restante massa di aria secca m_a

Umidità relativa φ

rapporto tra la massa di vapore m_w presente in un certo volume di miscuglio di aria umida e la massa di vapore m_s che sarebbe stato presente nello stesso volume in condizioni di saturazione

Trasformazioni dell'aria umida

Riscaldamento

Raffreddamento (con eventuale deumidificazione)

Umidificazione

Calcolo dei carichi termici

finalizzato al dimensionamento degli impianti di riscaldamento e climatizzazione

Caso invernale

Si approssima come regime stazionario: ΔT costante pari a 20°C ($T_{\text{esterna}} = 0^{\circ}\text{C} - T_{\text{interna}} = 20^{\circ}\text{C}$)

Il calore non viene immagazzinato e restituito dalle masse (muri, solai, etc.)

La massa delle pareti e dei solai non influenza il fenomeno dello scambio termico: l'unico fattore da considerare è la trasmittanza

L'irraggiamento solare non viene inserito nel bilancio termico e quindi non deve essere considerata l'esposizione delle superfici che delimitano l'edificio

Caso estivo

Regime variabile: ΔT variabile

Il calore viene immagazzinato e restituito con un certo ritardo dalle masse (muri, solai, etc.)

La massa delle pareti e dei solai influenza il fenomeno dello scambio termico tramite l'accumulo, lo smorzamento ed il tempo di ritardo

L'irraggiamento solare viene inserito e quindi deve essere considerata l'esposizione delle superfici che delimitano l'edificio

CASO INVERNALE - Calcolo approssimativo dei carichi termici

(finalizzato al dimensionamento della centrale termica e della centrale di trattamento dell'aria)

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{involucro}} + Q_{\text{ventilazione}} (+ Q_{\text{carichi interni}} + Q_{\text{irraggiamento vetrate}})$$

$Q_{\text{involucro}} = \sum_i H_i \times S_i \times \Delta T$ (trascuriamo per semplicità il contributo dei ponti termici e della dispersione verso il terreno e gli eventuali locali non riscaldati)

dove $H_i = 1 / (1/h_j + 1/h_e + \sum_j s_j / \lambda_j)$ è la trasmittanza della superficie i-esima

$1/h_i + 1/h_e$ è la resistenza termica sulle superfici limite della parete e vale 0,22 con vento normale e schermatura dall'irraggiamento solare diretto

S_i è l'area della superficie disperdente (i-esima)

$\Delta T = 20^\circ\text{C}$ è la differenza di temperatura interno-esterno invernale a Roma

s_j è lo spessore dello strato di materiale j

λ è la conduttività del materiale j e rappresenta la potenza termica trasmessa da un'unità di area di un materiale dello spessore di 1 metro per una differenza di T pari a 1° .

$Q_{\text{ventilazione}}$ è l'energia necessaria per portare l'aria esterna (in quantità necessaria a garantire lo standard di purezza dell'aria previsto) dalla temperatura esterna (a Roma 0°C) alla temperatura di progetto interna (20°C). Il ΔT tra 20° e la temperatura di immissione ($28\text{-}30^\circ$) serve per compensare le dispersioni e quindi è implicitamente contenuto nel termine $Q_{\text{involucro}}$

$Q_{\text{carichi interni}}$ (persone, lampade, macchinari) e $Q_{\text{irraggiamento vetrate}}$ nel caso invernale normalmente non vengono computati, perché di segno contrario rispetto a $Q_{\text{involucro}}$ (la caldaia deve essere dimensionata sulle condizioni più critiche e quindi in assenza di apporti gratuiti di calore)

Densità e Conduttività dei Materiali Isolanti.

Tabella per il calcolo delle dispersioni termiche dall'involucro attraverso le superfici opache (segue)

Materiali	Tipo	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]
Lana di vetro	feltri	19	0,050
		22	0,046
	pannelli	55	0,041
		22	0,046
		60	0,040
Lana di roccia	coppelle	60	0,039
		80	0,047
	pannelli	120	0,044
		60	0,044
		120	0,041
		100	0,041

Polietilene PEF	tubi	30	0,040
Poliuretano PUR espanso rigido	coppelle	15	0,040
		20	0,039
		40	0,038
Poliuretano PUR espanso flessibile	coppelle	15	0,040
		30	0,039
Poliuretano PUR espanso in situ		30	0,045
Esastomeri espansi FEF		55	0,040
		70	0,040
Resine fenoliche FF espanse	coppelle	30	0,038
Polistirene PSE espanso	coppelle	20	0,045
		30	0,045
Sughero		100	0,065
Vetro cellulare CG		130	0,060
Cotone			0,080
Calcio silicato CS		250	0,065

Materiale	Densità ρ [kg/m ³]	Permeabilità $\delta \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	Conduktività λ [W/mK]
Laterizi: mattoni pieni, forati, leggeri	600	18-36	0,25
	800		0,30
	1.000		0,36
	1.200		0,43
	1.400		0,50
	1.600		0,59
	1.800		0,72
	2.000		0,90
Legno di abete	450	4,5	0,12
Legno di pino	550	4,5	0,15
Legno di acero	715	4,5	0,18
Legno di quercia	850	4,5	0,22
Mastici per tenute	1.000-1.650	-	0,04
Asfalto	2.100	0	0,70
Asfalto con sabbia	2.300		1,15
Bitumi	1.200	0	0,17
Bitumi con sabbia	1.300	0	0,26
Cartone catramato	1.600		0,50
Fogli di materiale sintetico	1.100	0,01-0,14	0,23
Argille espanse in granuli da 3 a 25 mm	280	-	0,09
	330		0,10
	450		0,12
Fibre di cellulosa	32	-	0,058
Perliti espanse in granuli da 0,1 a 2,3 mm	100	-	0,066
Polistiroli espanse in granuli	15	-	0,054
Pomici naturali	400	-	0,08
Scorie espanse	600	-	0,13
Vermiculiti espanse in granuli da 0,1 a 12 mm	80	-	0,077
	120		0,082
Ciottoli e pietre frantumate	1.500	-	0,7
	1.700	-	1,20
	1.700	-	0,6
Cloruro di polivinile espanso rigido in lastre	30	0,5-1	0,039
	40		0,041
Polietilene espanso non reticolato	30	0,5-1	0,050
	50		0,060
Polietilene espanso reticolato	33	0,5-1	0,048
	50		0,058
Polistirene espanso sinterizzato	10	3,6-9	0,056
	15	2,5-6	0,047
	20	1,8-4,5	0,044
	25	1,8-4,5	0,042
Polistirene espanso per termocompressione	20	-	0,040
	25		0,039
	30		0,039
Polistirene espanso estruso con pelle	30	-	0,036
	35		0,035

Materiale	Densità ρ [kg/m ³]	Permeabilità $\delta \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	Conduktività λ [W/mK]
Calcestruzzi a struttura aperta di argilla espansa	500	18-36	0,16
	600		0,18
	700		0,21
	800		0,24
	900		0,27
	1.000		0,31
Calcestruzzi cellulare da autoclave	400	18-36	0,15
	500		0,17
	600		0,19
	700		0,22
Calcestruzzi di inerti espanse di origine vulcanica	1.000	18-36	0,38
	1.200		0,47
	1.400		0,58
Calcestruzzi di perlite o vermiculite	250	18-36	0,13
	400		0,15
Carta e cartone	1.000	1-2	0,16
Cartone bitumato	1.100	0,06-0,09	0,23
Cartongesso in lastre	900	23	0,21
Cartone ondulato	100	-	0,065
Fibre di vetro, pannelli rigidi	100	150	0,038
Fibre minerali, feltri resinati	30	150	0,045
	35		0,044
	40		0,042
Fibre minerali, pannelli semi rigidi	55	150	0,040
	80		0,039
	100		0,038
Fibre minerali, pannelli rigidi	125	150	0,038
	80		0,048
	100		0,044
Fibre minerali, pannelli a fibre orientate Fibre minerali, feltri trapuntati	80	150	0,044
	100		0,045
	60		0,044
	80		0,044
Fibre minerali, feltri da loppe di altoforno	40	150	0,054
	100		0,054
Fibre minerali, pannelli da loppe di altoforno	40	150	0,054
	60		0,048
	80		0,046
	100		0,046
	150		0,048
Malte di gesso per intonaci	600	18	0,29
	750		0,35
	900		0,41
	1.000		0,47
Intonaci di gesso puro	1.200	18	0,58
	1.200		0,35
Intonaci di calce e gesso	1.400	18	0,70
Malte di calce o di calce e cemento	1.800	5-12	0,90
Malte di cemento	2.000	5-12	1,40

Densità e conduttività dei materiali da costruzione (segue)

Laboratorio di Progettazione 3M
 prof. Giovanni Longobardi
 Modulo di Fisica Tecnica prof. Marco Frascarolo

Materiale	Densità ρ [kg/m ³]	Permeabilità $\delta \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	Conduttività λ [W/mK]
Polistirene espanso estruso senza pelle	30	0,6-2,2	0,041
	50		0,034
Poliuretani in lastre da blocchi	25	1-2	0,034
	32		0,032
	40		0,032
	50		0,032
Polisocianurati in lastre da blocchi	32	1-2	0,032
	40		0,032
Poliuretani espansi in situ	37	1,8-6	0,035
Resine fenoliche in lastre	35	3,6-6	0,041
	60		0,044
	80		0,046
Resine ureiche espanso in situ	8	30-140	0,057
	12		0,054
	15		0,051
	30		0,048
Piastrelle di porcellana	2.300	-	1,0
Vetro cellulare espanso	130	0	0,055
	150		0,060
	180		0,066
Vetro da finestre	2.500	0	1,0
Celluloide	1.350	-	0,35
Policarbonato PC	1.150	-	0,23
Politetrafluoroetilene PTFE	2.200	-	0,24
Polietilene PE	950	-	0,35
Policloruro di vinile PVC	1.400	-	0,16
Polistirene PS	1.100	-	0,17
Resine epossidiche	1.200	-	0,20
Resine poliestere	2.000	-	0,50
Acciaio	7.800	-	52
Acciaio inox	8.000	-	17
Argento	10.500	-	420
Alluminio	2.700	-	220
Leghe di alluminio	2.800	-	160
Bronzo	8.700	-	65
Ferro	7.870	-	80
Ghisa	7.200	-	50
Nichel	8.800	-	65
Ottone	8.400	-	110
Piombo	11.300	-	35
Rame	8.900	-	380
Zinco	7.100	-	110
Pannelli a base di perlite espansa	190	26	0,071
Pannelli di fibre di legno	800	2,6	0,14
	900		0,16
	1.000		0,18

Materiale	Densità ρ [kg/m ³]	Permeabilità $\delta \cdot 10^{12}$ [kg/msPa]	Conduttività λ [W/mK]	
Pannelli di lana di legno	300	36-90	0,085	
	400		0,097	
	500		0,11	
Pannelli di spaccato di legno	400	-	0,12	
	500		0,14	
	600		0,16	
Pannelli di trucioli di legno pressati	500	1,8-3,6	0,10	
	700		0,15	
Pannelli di trucioli di legno estrusi	700	9	0,17	
Pannelli di sughero espanso puro	130	6,7-10	0,045	
Pannelli di sughero espanso con leganti	90	6,7-10	0,043	
	130		4-21	0,045
	200		4-21	0,052
Ardesia	2.700	-	2,0	
Basalto	2.800	-	3,5	
Calcere	2.100	-	1,6	
	2.700		2,9	
Dolomite	2.800	-	3,5	
	2.700		1,8	
Granito	2.500	-	3,2	
	3.000		4,1	
Lava	2.200	-	2,9	
Marmo	2.700	-	3,0	
Porfido	2.200	-	2,9	
Tufo	1.500	-	0,63	
	2.300		1,7	

Densità e conduttività dei materiali da costruzione (segue)

Laboratorio di Progettazione 3M
 prof. Giovanni Longobardi
 Modulo di Fisica Tecnica prof. Marco Frascarolo

Tabella per il calcolo delle dispersioni termiche dall'involucro attraverso le superfici vetrate

Trasmittanza delle Superfici Vetrate.

				TELAIO									
				legno o legno-Al spessore del telaio			plastica profili PVC			metallo CON taglio termico distanza tra le sezioni di Al			metallo SENZA taglio t
				130 mm	70 mm	30 mm	3 camere	2 camere	1 camere	14 mm	6 mm	2 mm	
				Uf, W/m ² K									
vetro	tipo	s mm	Ug W/m ² K	1,2	1,7	2,3	1,8	2,0	2,4	2,6	3,2	3,8	7
singolo	chiaro	6	5,7	4,3	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,8	5,0	5,2	6,1
doppio	chiaro+aria	4-6-4	3,3	2,7	2,9	3,0	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6	4,5
		4-12-4	2,9	2,5	2,6	2,8	2,7	2,7	2,8	3,0	3,1	3,3	4,2
	chiaro+argon	4-6-4	3,0	2,6	2,7	2,9	2,8	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	4,3
		4-12-4	2,7	2,3	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	3,0	3,2	4,1
	b.e+aria	4-6-4	2,7	2,4	2,5	2,7	2,6	2,6	2,7	2,9	3,0	3,2	4,1
		4-12-4	2,0	1,9	2,1	2,2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	3,7
	b.e.+argon	4-6-4	2,3	2,1	2,2	2,4	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,9
		4-12-4	1,7	1,7	1,9	2,0	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	3,5
triplo	chiaro+aria	4-6-4-6-4	2,3	2,1	2,2	2,4	2,3	2,3	2,4	2,6	2,7	2,9	3,8
	chiaro+argon	4-6-4-6-4	2,1	1,9	2,0	2,2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	3,7
	b.e.+aria	4-6-4-6-4	1,8	1,7	1,9	2,0	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	3,5
	b.e.+argon	4-6-4-6-4	1,4	1,5	1,6	1,8	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	3,3

Nota: b.e. sta per vetro a bassa emissività, $\epsilon = 0,2$

n.b. la tabella fornisce direttamente H per alcune strutture complesse, senza passare attraverso il contributo dei singoli componenti

Calcolo di $Q_{\text{ventilazione}}$

$Q_{\text{ventilazione}}$ è la somma di due contributi:

$Q_{\text{v raffreddamento}}$: è l'energia necessaria per portare l'aria esterna (in quantità necessaria a garantire lo standard di purezza dell'aria previsto) dalla temperatura esterna (a Roma 34°C) alla temperatura di progetto interna (26°C).

$$Q_{\text{v raffreddamento}} = c_p \delta G_e (T_e - T_i) \text{ (W)}$$

(v. caso invernale per la definizione dei singoli fattori)

$$(T_e - T_i) = 34^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} = 8^\circ\text{C}$$

$Q_{\text{v deumidificazione}}$: In base alle portate determinate, va computato il carico legato all'alto contenuto igrometrico dell'aria esterna in estate: occorre anche deumidificare, oltre che raffreddare, l'aria che si immette in ambiente. La portata di vapore da sottrarre è pari a $G_e(x_e - x_i)$, e il carico termico ad essa associato, cui deve far fronte l'impianto, è pari a

$$Q_{\text{v deumidificazione}} = \delta r G_e (x_e - x_i) + c_p \delta G_e (T_i - T_R) \text{ (W)}$$

$(T_i - T_R)$ si assume pari a 13°C

$x_e - x_i = 0,012$ kg vapore/kg aria

r è il calore di trasformazione (evaporazione) dell'acqua, pari a circa 2500 kJ/kg

CASO ESTIVO - Calcolo approssimativo dei carichi termici

(finalizzato al dimensionamento della centrale frigorifera e della centrale di trattamento dell'aria)

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{involucro}} + Q_{\text{ventilazione}} + Q_{\text{carichi interni}} + Q_{\text{irraggiamento vetrate}}$$

$$Q_{\text{involucro}} = \sum_i H_i \times S_i \times \Delta T_{\text{eq}}$$

dove $H_i = 1 / (1/h_i + 1/h_e + \sum_j s_j / \lambda_j)$ è la trasmittanza della superficie i-esima

$1/h_i + 1/h_e = 0,22$ con vento normale e schermatura dall'irraggiamento solare diretto

S_i è l'area della superficie i-esima

ΔT_{eq} è la differenza di temperatura equivalente: consente di trattare il regime variabile come fosse permanente (vd. diapositive seguenti, con riferimento all'ora più sfavorevole)

s_j è lo spessore dello strato di materiale j

λ è la conduttività del materiale j

Q ventilazione è l'energia necessaria per portare l'aria esterna (in quantità necessaria a garantire lo standard di purezza dell'aria previsto) dalla temperatura esterna (a Roma 34°C) alla temperatura di progetto interna (25°C). Il ΔT tra 25° e la temperatura di immissione (16°) è invece contemplato nella voce Q involucro.

Q carichi interni: persone, lampade, macchinari (vedi diapositive seguenti)

Q irraggiamento vetrate: potenza entrante dalle superfici vetrate dovuta all'irraggiamento solare

CASO ESTIVO - Calcolo approssimativo dei carichi termici

(finalizzato al dimensionamento della centrale frigorifera e della centrale di trattamento dell'aria)

Individuazione delle condizioni di progetto – *Condizioni di carico massime nel corso dell'anno tipo su cui dimensionare l'impianto*

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{involucro}} + Q_{\text{ventilazione}} + Q_{\text{carichi interni}} + Q_{\text{irraggiamento vetrate}}$$

Q involucro, **Q ventilazione** dipendono dalla temperatura dell'aria esterna, il cui andamento nel corso della giornata dell'anno più calda è riportato nelle slides successive

Q carichi interni dipende dalla presenza delle persone e dallo stato di accensione degli apparecchi di illuminazione nel corso della giornata

Q irraggiamento vetrate dipende dall'area delle superfici vetrate (computata separatamente per le singole esposizioni), dalle caratteristiche del vetro, dalla posizione del sole, ovvero dalla potenza radiante incidente sulle superfici verticali ed orizzontali dell'involucro, il cui andamento nel corso della giornata tipo estiva ed invernale è riportato nelle slides successive

In base a considerazioni sulla morfologia dell'edificio e sulla contemporaneità dei suddetti fattori si individua l'ora del 21 Giugno (data presa convenzionalmente per rappresentare le condizioni estive) in cui si prevedono i carichi massimi e si effettuano i calcoli in corrispondenza di quella ora.

CASO ESTIVO – Andamento della temperatura dell'aria esterna

(finalizzato al dimensionamento della centrale frigorifera e della centrale di trattamento dell'aria)

Stazione climatica:
Ciampino (Rm)

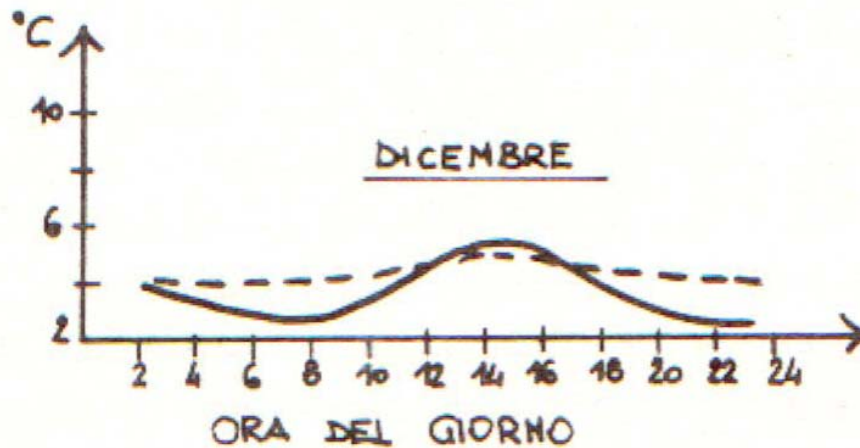
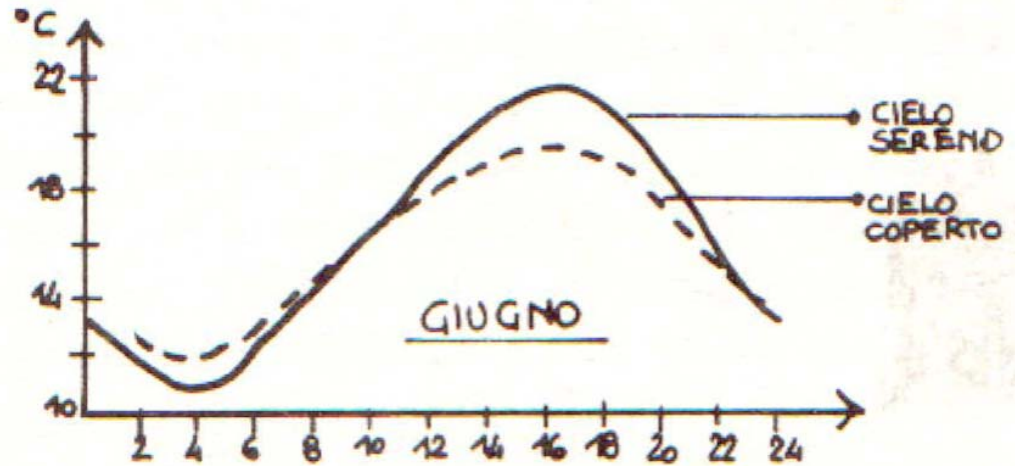


Tabella per il calcolo dei carichi termici estivi attraverso le superfici vetrate per irraggiamento solare

· Radiazione solare attraverso un vetro piano chiaro ($W m^{-2}$ di superficie di finestra compreso l'infisso).

Latitudine di Roma: 41° 9' (interpolare 40/45)

22 Dicembre

Ora solare	Latit	Esposizioni								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Oriz
6	30°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	45°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	30°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	45°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	30°	12	31	290	359	201	12	12	12	59
	40°	6	22	227	277	160	6	6	6	24
	45°	2	10	113	138	80	2	2	2	12
	50°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	30°	28	28	330	494	356	28	28	28	200
	40°	19	19	271	422	312	22	19	19	100
	45°	14	14	178	276	205	15	14	14	57
	50°	9	9	85	129	98	9	9	9	15
10	30°	34	34	252	511	448	87	34	34	306
	40°	28	28	214	466	422	94	28	28	173
	45°	21	21	180	401	366	86	21	21	116
	50°	15	15	148	337	312	78	15	15	59
11	30°	37	37	100	450	501	227	37	37	384
	40°	31	31	98	448	499	230	31	31	240
	45°	24	24	85	406	455	212	24	24	171
	50°	19	19	72	365	413	195	19	19	104
12	30°	37	37	37	340	514	340	37	37	413
	40°	31	31	31	362	520	362	31	31	267
	45°	27	27	27	338	481	338	27	27	197
	50°	22	22	22	315	444	315	22	22	126
13	30°	37	37	37	227	501	450	100	37	384
	40°	31	31	31	230	499	448	98	31	240
	45°	27	24	24	212	455	406	85	24	171
	50°	19	19	19	195	413	365	72	19	104
14	30°	34	34	34	87	448	511	252	34	306
	40°	28	28	28	94	422	466	214	28	173
	45°	21	21	21	86	366	401	180	21	116
	50°	15	15	15	78	312	337	148	15	59

21 Giugno

Ora solare	Latit	Esposizioni								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Oriz
6	30°	<i>104</i>	330	340	131	15	15	15	15	59
	40°	<i>101</i>	372	397	160	19	19	19	19	98
	45°	98	385	418	180	21	21	21	21	117
	50°	91	<i>397</i>	<i>438</i>	201	24	24	24	24	138
7	30°	91	<i>438</i>	492	236	31	31	31	31	192
	40°	63	<i>419</i>	507	277	31	31	31	31	258
	45°	50	<i>406</i>	512	299	31	31	31	31	264
	50°	37	394	<i>516</i>	321	31	31	31	31	271
8	30°	56	409	507	284	37	37	37	37	413
	40°	37	352	511	343	37	37	37	37	422
	45°	37	324	511	370	43	37	37	37	421
	50°	37	295	511	397	50	37	37	37	419
9	30°	44	306	450	284	44	44	44	44	568
	40°	41	230	448	350	59	41	41	41	564
	45°	41	193	437	387	91	41	41	41	555
	50°	41	157	428	426	122	41	41	41	545
10	30°	44	173	308	230	47	44	44	44	684
	40°	44	94	299	312	109	44	44	44	662
	45°	44	71	297	351	162	44	44	44	641
	50°	44	50	295	391	214	44	44	44	621
11	30°	44	59	138	138	59	44	44	44	756
	40°	44	44	138	223	138	44	44	44	732
	45°	44	44	134	265	206	58	44	44	704
	50°	44	44	129	308	273	72	44	44	675
12	30°	44	44	44	53	66	53	44	44	789
	40°	44	44	44	107	170	107	44	44	<i>747</i>
	45°	44	44	44	149	231	149	44	44	<i>721</i>
	50°	44	44	44	192	293	192	44	44	<i>693</i>
13	30°	44	44	44	44	59	138	138	59	756
	40°	44	44	44	44	138	223	138	44	732
	45°	44	44	44	58	206	266	134	44	704
	50°	44	44	44	72	273	308	129	44	675
14	30°	44	44	44	44	47	230	308	173	684
	40°	44	44	44	44	109	312	299	94	662
	45°	44	44	44	44	162	351	298	71	641
	50°	44	44	44	44	214	391	295	50	621

22 Dicembre

Ora solare	Latit	Esposizioni								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Oriz
15	30°	28	28	28	28	356	494	330	28	200
	40°	19	19	19	22	312	422	271	19	100
	45°	14	14	14	15	205	276	178	14	57
	50°	9	9	9	9	98	129	85	9	15
16	30°	12	12	12	12	201	359	290	31	59
	40°	6	6	6	6	160	277	227	22	24
	45°	2	2	2	2	80	138	113	10	12
	50°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	30°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	45°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	30°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	45°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	50°	0	0	0	0	0	0	0	0	0

21 Giugno

Ora solare	Latit	Esposizioni								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Oriz
15	30°	44	44	44	44	44	284	450	306	568
	40°	41	41	41	41	59	350	448	230	564
	45°	41	41	41	41	91	387	437	193	555
	50°	41	41	41	41	122	426	428	157	545
16	30°	56	37	37	37	37	284	507	409	413
	40°	37	37	37	37	37	343	511	352	422
	45°	37	37	37	37	43	370	511	324	421
	50°	37	37	37	37	50	397	511	295	419
17	30°	91	31	31	31	31	236	492	<i>438</i>	192
	40°	63	31	31	31	31	277	507	<i>419</i>	258
	45°	50	31	31	31	31	299	512	<i>406</i>	264
	50°	37	31	31	31	31	321	<i>516</i>	394	271
18	30°	104	15	15	15	15	131	340	330	59
	40°	100	19	19	19	19	160	397	372	98
	45°	95	21	21	21	21	180	418	385	117
	50°	91	24	24	24	24	201	438	397	138

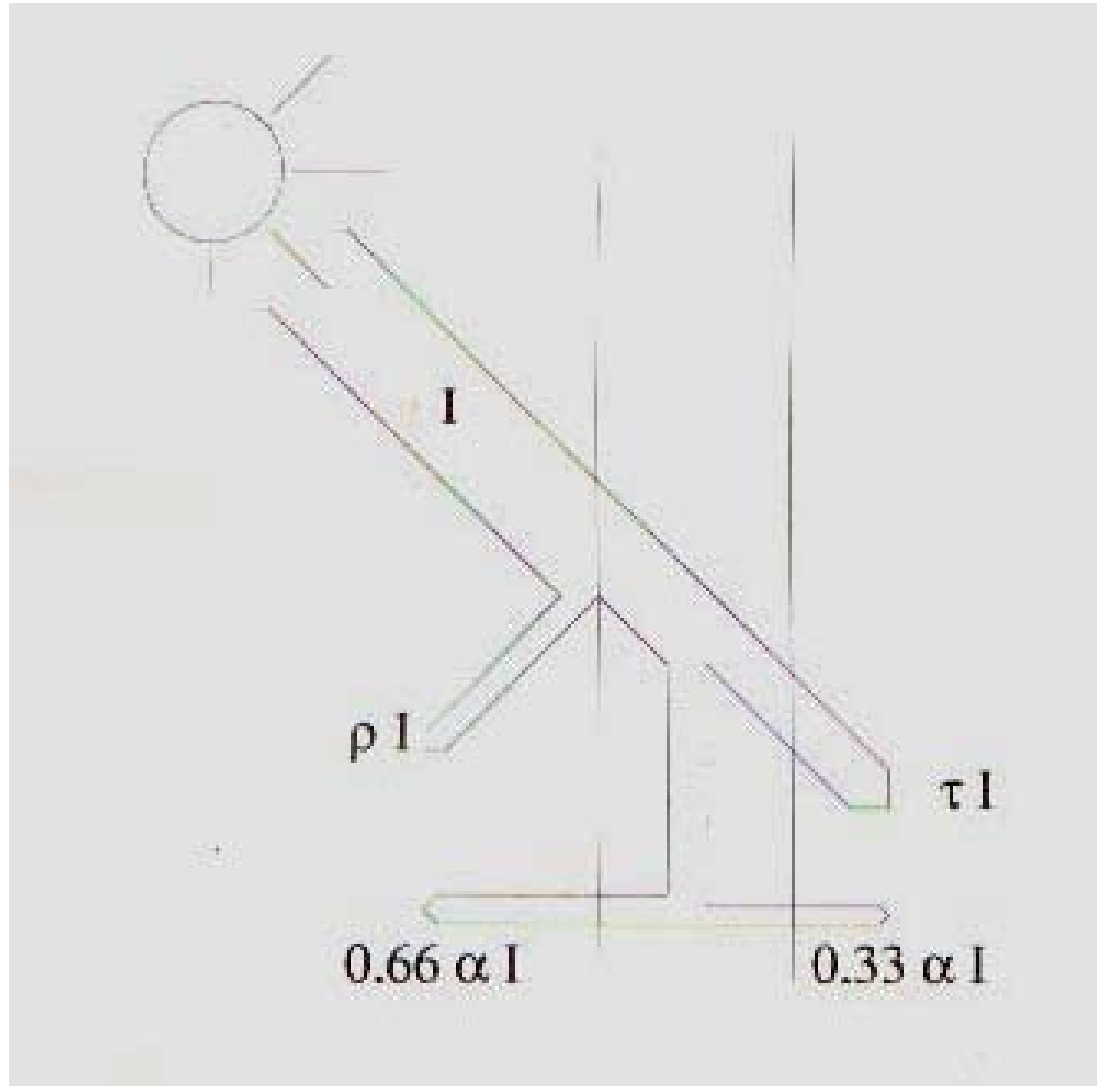
Correzioni: telaio metallico (non a taglio termico): +17%; foschia: -15%; altitudine: +0,7% (ogni 300 m slm.; punto di rugiada dell'aria esterna: + 5% (ogni 4°C + rispetto a 19,5 °C).

Valori in neretto: massimi mensili. Valori in corsivo: massimi annui.

La superficie vetrata sottoposta ad irraggiamento solare rappresenta una superficie radiante, da computare come fosse una sorgente di calore interna. Data la massa del vetro non c'è ritardo tra l'onda termica interna ed esterna.

Laboratorio di Progettazione 3M
 prof. Giovanni Longobardi
 Modulo di Fisica Tecnica prof. Marco Frascarolo

Bilancio termico su
una superficie vetrata
sottoposta ad irraggiamento
solare
(parete opaca $\tau=0$)

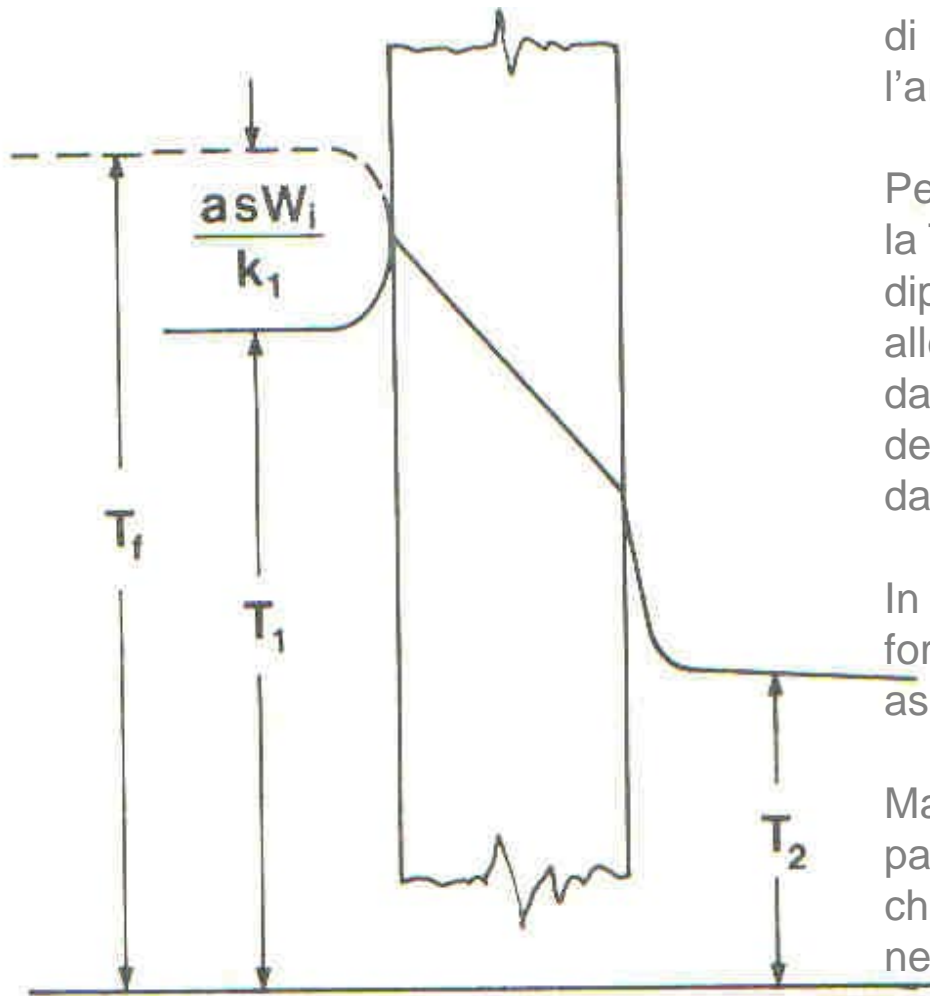


La **radiazione solare incidente** W_i determina un flusso termico attraverso la parete maggiore di quello che avremmo per il solo contatto con l'aria esterna a temperatura T_1 .

Per considerare tale contributo si sostituisce la T_1 con una **temperatura fittizia** T_f che dipende dalle proprietà assorbenti della parete alle lunghezze d'onda della radiazione solare (a_s), dalle modalità di riemissione da parte della parete del calore assorbito (fattore di adduzione K_1), dalla radiazione incidente W_i .

In questo modo si può continuare ad usare la formula per il calcolo di Q introdotta nel caso di assenza di irraggiamento solare

Manca ancora un riferimento alla massa della parete e quindi alla cosiddetta **inerzia termica** che verrà introdotto nella **temperatura equivalente** nelle slides successive (calcolo estivo)



Confronto fra l'andamento reale della temperatura e quello fittizio.