

12.1) Impianti di Riscaldamento:

IMPIANTI di RISCALDAMENTO

- ▲ ASPETTI GENERALI.
- i PROGETTAZIONE
- 🔧 UTENZE TERMICHE.
- 🌡️ DIMENSIONAMENTO.

Aspetti generali:

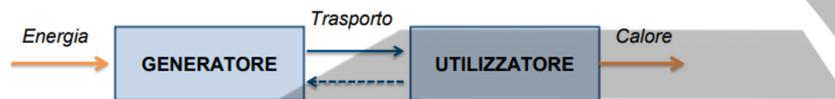
-> DEF IMPIANTO DI RISCALDAMENTO:

un impianto di riscaldamento è un impianto termico utilizzato per il riscaldamento di un ambiente.

-> Un impianto termico è utilizzato per:

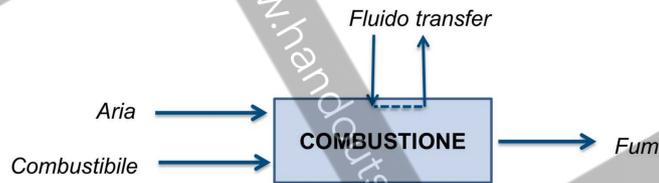
- Riscaldamento/ raffreddamento ambienti;
- Produzione calore/ freddo necessario per determinati processi tecnologici;
- Fornitura d'energia richiesta per funzionamento motori termici.

Componenti:



- GENERATORE DI CALORE: rende disponibile l'energia termica alle condizioni tecniche/ fisiche cui è destinata.
- TRASPORTO (transfer): Fluido interno alle canalizzazioni. Si parla di fluido termovettore allo stato liquido o aeri forme.
 - Scelta su criteri tecnico-economici;
- CANALIZZAZIONI: dipendono da fluido transfer, pressione, temperatura e distanza;
- UTILIZZATORE.

Schema di un generatore di calore:



-> Combustibili:

- Fossili;
- Di recupero;
- Calore di recupero;
- Energia elettrica

Rendimento:

-> DEF: Il rendimento del generatore è il rapporto tra l'energia immessa nel fluido vettore e quella sviluppata dal combustibile.

$$\eta_{\text{generatore}} = \frac{G_{\text{transf.}} \cdot \Delta h}{G_{\text{comb.}} \cdot H_i}$$

G_{transf} portata di fluido transfer [kg/h]
 Δh variazione di entalpia del fluido transfer [kcal/kg]
 G_{comb} portata di combustibile [kg/h]
 H_i potere calorifico inferiore del combustibile [kcal/kg]

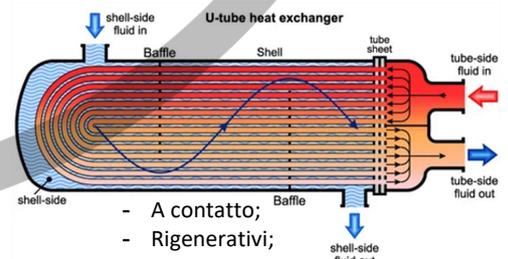
Scambiatore di calore:

-> DEF: Tecnologia che cede all'utenza energia termica contenuta nel transfer.

- Possono essere fatti in maniera diversa;
- Impediscono che il transfer si disperda recuperandolo in ciclo chiuso.

-> Tipologie:

- A fascio tubi ero: è la più efficiente (grande superficie di contatto);
- A piastre;



- A contatto;
- Rigenerativi;

Progettazione di un impianto di riscaldamento:

-> Dividiamo la progettazione di un impianto in parametri di progettazione e procedura di progettazione.

Parametri per la progettazione di un impianto di riscaldamento:

Parametri del generatore:

- PRESTAZIONI RICHIESTE:
 - Condizioni ambientali;
 - Altri argomenti (affidabilità, facilità di manutenzione, sicurezza di esercizio, semplicità di conduzione e flessibilità di funzionamento);

12.2) Impianti di Riscaldamento:

- SPAZIO A DISPOSIZIONE: collocazione riscaldatore + ambiente da scaldare.
- COSTI di IMPIANTO: acquisto componenti + costi installazione;
- COSTI di ESERCIZIO: combustibile, manutenzione e conduzione;
- TEMPI di REALIZZAZIONE.

Parametri dell'ambiente:

-> Per ogni ambiente occorre specificare il valore medio e l'intervallo di variabilità tollerato/ richiesto per:

- Temperatura;
- Purezza dell'aria;
- Umidità relativa (effetto collaterale di riscaldare l'aria);
- Velocità dell'aria (collegata al rumore);
- Livello di rumore;
- Periodo di funzionamento (Quanto funziona durante l'anno).

Progettazione di un impianto di riscaldamento:

-> il progettista deve:

- Dimensionare i componenti principali (dobbiamo conoscere il rendimento e potenzialità dell'impianto).
- Stimare i costi di realizzazione e di esercizio —> NPC;
- Valutare i tempi di messa in funzione;
- Evidenziare i vantaggi e gli svantaggi;

UtENZE termiche:

-> Abbiamo due tipi di utenze:

- Tecnologiche;
- Di acclimazione;

UtENZE tecnologiche:

-> **DEF:** utenze direttamente legate al ciclo tecnologico di produzione

-> **Tipologie:**

- **COSTANTI:** indipendenti dalla temperatura atmosferica (l'influenzamento è irrilevante);
- **METEROLOGICHE:** l'impiego di potenza dipende anche dalle condizioni dell'ambiente esterno;

-> **Caratteristica:**

- Consumo da poche decine di kW a molti MW;
- È importante conoscere l'andamento della potenza assorbita nel tempo (giornata, settimane, mesi, anni);
- Programma di avviamento;

UtENZE di acclimazione:

-> **DEF:** utenze legate all'influenzamento dell'ambiente umano.

- P termica dev'essere tale da compensare:
 - **Dispersioni** verso l'esterno;
 - **Rinnovo naturale** dell'aria nell'ambiente;
 - **Rinnovo forzato** (o controllato) nell'aria dell'ambiente;
 - **Altri componenti**;

1. Dispersioni:

-> **DEF:** dispersioni che si verificano quanto la temperatura esterna è più bassa di quella interna;

✚ La parte che da verso l'esterno tende ad avere la stessa temperatura che c'è all'esterno;

- La potenza termica scambiata è proporzionale alla differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno e inversamente proporzionale alla resistenza termica R.

Potenza termica:

-> Viene dissipata attraverso pareti laterali/soffitto/pavimenti:

$$W_s = K \cdot S \cdot (T_a - T_e)$$

S = estensione della parete [m²]

K = trasmittanza della parete [W/(m²K)]

T_a - T_e = differenza tra la temperatura interna ed esterna

Trasmittanza:

-> Nel caso di pareti piane costituite da uno o più strati omogenei vale:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_j \frac{s_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_i} + R}$$

h_{e,i} = coefficienti convettivi verso esterno ed interno [W/m²K];

dipendono da molti fattori e assumono i seguenti valori

indicativi: *h_i* = 8-10 (UNI 7,7); *h_e* = 23-30 (UNI 25)

j = strati omogenei presenti

s_j = spessore dello strato *j*-esimo [m]

λ_j = conducibilità termica del materiale dello strato *j* [W/mK]

R = resistenza termica dell'aria in eventuali intercapedini [m²K/W]

✚ La maggioranza delle pareti fatte bene hanno intercapedini d'aria: conduce male il calore.

12.3) Impianti di Riscaldamento:

Muro di mattoni pieni intonacato su 2 lati

(K in kcal/h m ² °C)	Spessore muro cm			
	12	25	38	50
Muro esterno K =	2,4	1,7	1,3	1,1
Muro interno K =	2,2	1,5	1,2	1,0

Muro esterno di cemento

(K in kcal/h m ² °C)	Spessore muro cm			
	20	30	40	50
Muro esterno K =	2,3	2,1	1,9	1,7

Muro di mattoni forati intonacato su 2 lati

(K in kcal/h m ² °C)	Spessore muro cm		
	8	12	25
Muro esterno K =	-	2,0	1,3
Muro interno K =	2,4	1,9	1,2

Muro esterno di mattoni forati con camera d'aria di 5 cm intonacato su 2 lati

(K in kcal/h m ² °C)	Spessore muro cm		
	25	38	50
Muro esterno K =	1,40	1,10	0,90

Serramenti esterni in legno	K (kcal/h·m ² ·°C)
Finestra con telaio in legno con vetro semplice	5
Finestra con telaio in legno con vetro doppio (*)	4,5
Finestra con telaio in legno con doppio vetro	2,5
Porta con vetro semplice	5
Porta con vetro doppio (*)	4,5
Porta con doppio vetro	2,5
Finestra con telaio in acciaio e vetro semplice	6
Finestra con telaio in acciaio e vetro doppio (*)	5
Doppia finestra	2

(*) Cioè di spessore circa doppio del vetro semplice.

-> I carichi termici variano a seconda della zona climatica.

2. Rinnovo naturale dell'aria:

-> **DEF:** è il continuo passaggio d'aria dall'interno all'esterno dell'aria.

- o **RICAMBIO ORA:** intero volume d'aria del capannone, ogni ora, esce all'esterno.

-> Mediamente un valore di 0,5-1 volumi/h, con T_{est} = 0°C e T_{int} = 20°C, corrisponde ad un carico termico uscente pari a 4-8 W/m³.

3. Rinnovo forzato (o controllato) dell'aria nell'ambiente:

-> Utilizzata nel caso di emissioni di polveri/vapori/odori/gas l'aria deve essere aspirata e scaricata (previa depurazione).

- o Raggiunge i 30volumi/h;

4. Altri componenti (secondarie) nel calcolo dei carichi termici:

- o Entrata/uscita di materiali;
- o Impianto di illuminazione (meno importante perché il led ha ridotto il dispendio energetico/termico);
- o Immissione di calore delle macchine;
- o Immissioni di calore delle persone.

Bilancio termico:



- **W, Q** = potenza termica (calore) fornita dall'impianto di riscaldamento
- **Ws, Qs** = potenza termica (calore) sensibile ceduta all'esterno dalle pareti
- **Wv, Qv** = potenza termica (calore) ceduta all'esterno per il rinnovo d'aria
- **Wm, Qm** = potenza termica (calore) immessa dalle macchine
- **Wp, Qp** = potenza termica (calore) immessa dalle persone (spesso trascurata)

Dimensionamento degli impianti di riscaldamento:

-> Per valutare il bilancio termico dell'ambiente e la potenza termica che il generatore di potenza termica deve essere in grado di fornire bisogna tenere come riferimento una temperatura esterna pari a quella di progetto.

-> A regime: $\sum Q_{ent} + Q_{usc} = W_{impianto}$;

⚠ La temperatura esterna di progetto non è la temperatura minima registrata nella località (altrimenti sarebbe sovradimensionata).

Temperature:

-> Per il dimensionamento degli impianti distinguiamo in due temperature:

- **INTERNA:** valore di riferimento (20°C per ambienti civili, 28°C industriali);
- **ESTERNA:** temperatura minima che mediamente si riscontra durante il periodo di riscaldamento (in funzione della località).

-> Temperature minime di progetto per alcune città italiane D.P.R. 412/93

Località	Temperatura minima (°C)
Torino	-8
Aosta	-10
Genova	0
Milano	-5
Bologna	-5
Firenze	0
Roma	0
Napoli	2
Bari	0
Palermo	5

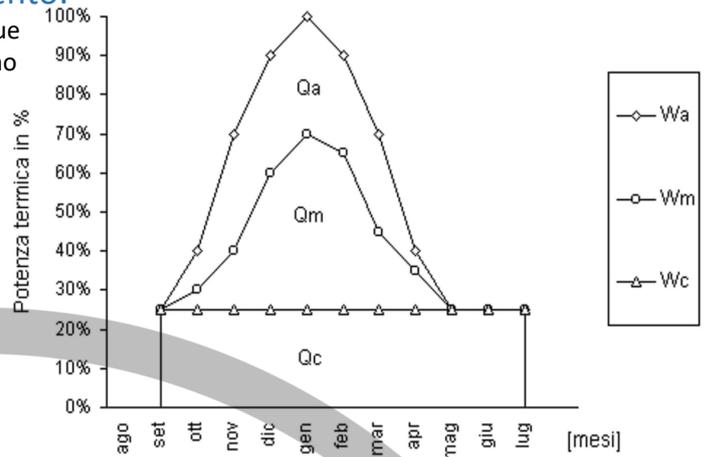
12.4) Impianti di Riscaldamento:

Dimensionamento degli impianti di riscaldamento:

-> Per il dimensionamento degli impianti di riscaldamento si segue l'approccio B di dimensionamento per trovare il fabbisogno globale annuo di calore di un'utenza industriale:

$$Q = Q_c + Q_m + Q_a$$

- Q_c : calore annuo assorbito dalle utenze tecnologiche **costanti**;
- Q_m : calore annuo assorbito dalle utenze tecnologiche **meteorologiche**;
- Q_a : calore annuo assorbito dalle utenze di acclimazione **ambientale** (riscaldamento e ventilazione);



Fattori che determinano la potenza termica richiesta:

- W_{inst} : **Potenza termica installata** richiesta da ogni utenza, direttamente proporzionale al fabbisogno di calore di ogni utenza;
- K_h : **Coefficiente di utilizzazione** nel tempo, considera che il calore richiede è direttamente proporzionale alle ore di utilizzo;
- I : **Intermittenza**, considera il fatto che quando si arresta l'impianto il calore viene dissipato.
- K_e : **Potenza termica endogena**: energia dissipata dalle macchine;
- **Gradi-giorno**°C-giorno:

Gradi giorno:

-> **DEF**: rappresenta l'integrale, nel tempo, delle differenze di temperatura tra ambiente da riscaldare (a 20°C) e l'esterno.

-> **OBJ**: permette di calcolare il fabbisogno termico dovuto alle dissipazioni attraverso l'involucro di un edificio.

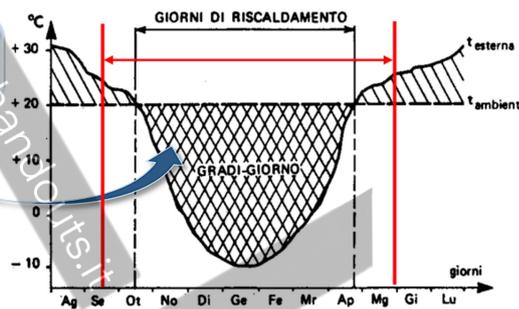
Calcolo per 20°C:

$$GG = \sum_j (T_i - T_{ej}) \quad (^\circ\text{C-giorno})$$

j = giorni di riscaldamento

T_i = temperatura interna

T_{ej} = temperatura media esterna giornaliera



-> **DIM**:

-> Il ΔT dipende dal tempo;

$$W = k * s * \Delta T = k * s * \Delta T(t) \Rightarrow \int W * dt = \int k * s * \Delta T(t) * dt = k * s * \int_1^{\text{ultimo giorno}} \Delta T(t) * dt$$

-> Qualcuno ha già calcolato il valore di $\int_1^{\text{ultimo giorno}} \Delta T(t) * dt$, e a Milano vale: 2340°g

-> Fatto su 20° di obj. Se avessimo bisogno di 18°/giorno => dobbiamo togliere a 2349 2°*180 giorni.

Località	Quota (m s.l.m.)	Durata (giorni)	Gradi giorno (°C-giorno)
Ancona	16	150	1.590
Aosta	583	180	2.750
Bari	5	120	1.100
Bologna	55	180	2.170
Bolzano	262	195	2.580
Firenze	50	180	1.800
Genova	19	120	1.240
Milano	121	180	2.340
Napoli	10	130	880
Palermo	14	120	690
Roma	20	150	1.440

Calcolo per altre temperature:

-> Se la temperatura ambiente è diversa da 20°C=>

$$GG = GG_{\text{tabella}} - (20 - T_{\text{amb}}) \cdot (\text{durata periodo di riscaldamento}) \quad (^\circ\text{C-giorno})$$

Stime del consumo annuo del combustibile:

$$G_{\text{combustibile annuo}} = \frac{Q}{H_i \cdot \eta_c}$$

- Q : fabbisogno termico annuo [J], indica il calore annuo necessario per il mantenimento della temperatura interna voluta a fronte delle varie uscite/entrate di calore rispetto all'ambiente da riscaldare;
- H_i : potere calorifico inferiore del combustibile utilizzato [J/kg].
- η_c : rendimento complessivo di trasmissione del calore e combustione all'interno della centrale termica.

12.5) Impianti di Riscaldamento:

Aria Umida:

-> **DEF:** L'aria presente negli ambienti è una miscela di aria secca (insieme di gas, principalmente ossigeno ed azoto) e di vapor d'acqua: si parla quindi di aria umida.

Proprietà dell'aria umida:

- **PUNTO** o **TEMPERATURA** di **RUGIADA**: temperatura al di sotto della quale un'ulteriore raffreddamento dell'aria umida (a pressione costante) provoca la condensazione del vapore;
 - o Esiste per ogni temperatura;
 - o È il punto in cui abbiamo il massimo di umidità, umidità relativa pari al 100% (o 1);
 - **UMIDITÀ RELATIVA** (φ o UR): rapporto tra la pressione parziale attuale del vapore (p_v) e la pressione parziale del vapore quando l'aria è satura alla stessa temperatura ($p_{v,sat}$). Alla T di rugiada $\varphi = 100\%$
 - o Indica l'umidità assoluta in un dato momento rispetto all'umidità assoluta che abbiamo in assoluto.
- > **DEF2:** è il rapporto percentuale tra la quantità di vapore acqueo che l'aria può contenere a una determinata temperatura//quantità di vapor acqueo presente nell'aria, espresso in percentuale del totale che l'aria può trattenere.
- **UMIDITÀ SPECIFICA** o **TITOLO** o **ASSOLUTA** (x): indica la massa di vapore (m_v) contenuta in 1 kg di aria secca (m_a);
- > **DEF2:** misura la quantità di umidità presente in un ambiente in grammi per metro cubo.

Titolo x (g_{vapore}/k_{aria}) per aria umida:

-> Alla pressione di 101.325 Pa in funzione della temperatura e dell'umidità relativa.

Temp. (°C)	(g_{vapore}/kg_{aria})	Umidità relativa (φ o UR)							
		30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
0	x	1,13	1,50	1,88	2,26	2,64	3,02	3,40	3,78
5	x	1,61	2,15	2,69	3,23	3,77	4,31	4,86	5,40
10	x	2,27	3,03	3,79	4,55	5,32	6,09	6,86	7,63
15	x	3,16	4,22	5,28	6,34	7,41	8,49	9,57	10,65
20	x	4,34	5,80	7,26	8,74	10,22	11,70	13,20	14,70
25	x	5,89	7,88	9,88	11,90	13,92	15,96	18,02	20,08
30	x	7,92	10,60	13,31	16,04	18,80	21,58	24,38	27,20

Entalpia:

-> **DEF:** calore scambiato a pressione costante.

- H_p : miscela ideale:

$$h = h_a + x * h_v;$$

- h_a : entalpia specifica dell'aria secca [J/kg_a];

$$h_a = c_{p_a} * (T - T_0);$$

- o c_{p_a} : calore specifico dell'aria; in prima approssimazione costante e pari a 1,006 kJ/(kg K);

- h_v : entalpia specifica del vapore d'acqua [J/kg];

$$h_v = r_0 + c_{p_v} * (T - T_0)$$

- o r_0 : calore di vaporizzazione dell'acqua a 0 °C, pari a 2501 kJ/kg;

- o c_{p_v} : calore specifico a pressione costante del vapor d'acqua surriscaldato, supposto in prima approssimazione costante e pari a 1,875 kJ/(kg K).

-> è possibile dimostrare che:

- Sostituendo, l'entalpia specifica dell'aria umida può essere determinata con l'espressione:

$$h = c_{p_a} (T - T_0) + x \cdot [r_0 + c_{p_v} \cdot (T - T_0)]$$

- Inserendo i valori numerici ed esprimendo la temperatura in gradi Celsius:

$$h = 1,006 * t + x * (2501 + 1,875 * t) \quad \left[\frac{kJ}{kg_a} \right]$$

-> Di seguito si riporta una tabella di sintesi con i principali coefficienti (densità aria, calore specifico aria secca e aria umida):

$\rho_{aria} = 1,2 \text{ kg/m}^3$	$c_{p \text{ a.s.}} = 1.006 \text{ J/(kg K)}$ $= 0,24 \text{ kcal/(kg } ^\circ\text{C)}$	$c_{p \text{ a.u.}} = 1.030 \text{ J/(kg K)}$ $= 0,245 \text{ kcal/(kg } ^\circ\text{C)}$
------------------------------------	---	--

12.6) Impianti di Riscaldamento:

Diagramma psicrometrico ASHRAE:

-> DEF: rappresenta l'aria umida ed è utile per schematizzare le trasformazioni dell'aria.

