

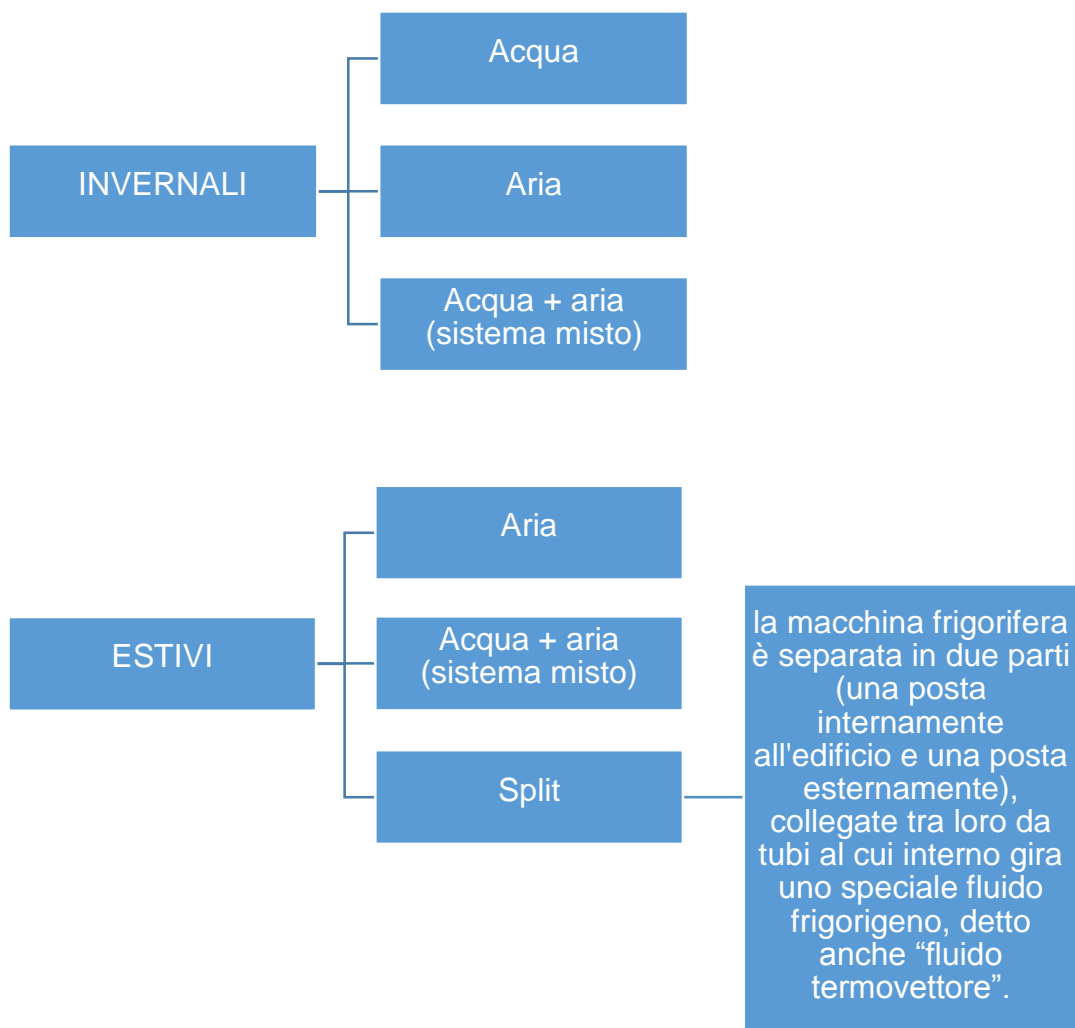
INDICE della lezione del 19/05/2016 – argomento: Impianti di riscaldamento invernale, tipologie e dimensionamento

<i>Impianti di riscaldamento e climatizzazione</i>	2
<i>Composizione di un impianto di climatizzazione</i>	3
<i>Impianti ad acqua calda e/o refrigerata</i>	4
<i>Sistemi di generazione (centrali termiche)</i>	5
<i>Generatori a combustione (caldaie)</i>	6
<i>Generatori elettrici: pompe di calore e macchine frigorifere</i>	7
<i>Il ciclo di Carnot</i>	9
<i>Unità terminali: i corpi scaldanti</i>	11
<i>Sistemi di distribuzione</i>	14

Impianti di riscaldamento e climatizzazione

Parlare di impianti di riscaldamento invernale significa parlare anche di impianti di climatizzazione estiva: un edificio “attivo” è un edificio che assolve alla necessità di climatizzazione durante tutto l’arco dell’anno e quindi deve essere dotato di un impianto dedicato alla climatizzazione sia in inverno che in estate. Stando, inoltre, alle modificazioni climatiche che si sono verificate negli ultimi anni, il carico termico maggiore dell’anno non si ha più in inverno ma in estate.

Gli impianti di riscaldamento e climatizzazione si possono suddividere in base al tipo di fluido utilizzato per trasportare il calore dentro o fuori dall’involucro edilizio:



Composizione di un impianto di climatizzazione

1. CALDAIA

Centrale di produzione del caldo e/o freddo; all'interno avviene il fenomeno di combustione e si produce l'acqua calda.

2. SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DEL FLUIDO TERMOVETTORE

Corpi scaldanti costituiti da tubi (uno entrante che porta acqua calda, uno uscente che porta acqua fredda e/o canalizzazioni per l'aria); presentano un sistema di accumulo che consente di immagazzinare aria calda per scaldare gli ambienti anche di notte (spegnere la caldaia di notte comporta un grosso dispendio di energia).

In impianti minimali di piccole dimensioni non esiste un vero e proprio sistema di distribuzione del fluido; dalle caldaie partono i tubi di rame che vanno direttamente ai terminali (detti corpi scaldanti).

In impianti più grandi invece la caldaia che produce l'acqua calda è collegata ad un complesso sistema di distribuzione che coinvolge vari elementi, tra i quali a volte si possono trovare sistemi di accumulo (grandi serbatoi, al cui interno viene conservata l'acqua calda prodotta durante il giorno e che può così essere utilizzata anche nelle ore notturne).

Nel caso di pannelli radianti a pavimento o a soffitto, il sistema di distribuzione diventa anche sistema di erogazione del caldo/freddo perché non sono previsti corpi scaldanti.

3. TERMINALI DI AMBIENTE PER EROGAZIONE DEL CALDO E/O DEL FREDDO.

Impianti ad acqua calda e/o refrigerata

Caratteristiche:

- a) Possono controllare la temperatura di un ambiente;
- b) Non sono in grado di controllare l'umidità di un ambiente;
- c) Sono poco costosi.

Tipologie:

- **Impianti a radiatori** → sono gli impianti più tradizionali, almeno in Italia; producono solo riscaldamento e quindi si utilizzano solo in inverno perché l'acqua refrigerata, se fatta girare dentro ai corpi scaldanti, genererebbe condensa.
- **Impianti aerotermi** → molto usati per officine e magazzini; producono solo riscaldamento, sono poco costosi ma generano un comfort scadente.
- **Impianti a *fancoil*** → possono essere utilizzati anche per il raffrescamento estivo, si utilizzano per lo più nell'edilizia direzionale e non residenziale perché, nonostante costino poco, sono piuttosto rumorosi e hanno un controllo solo indiretto dell'umidità.

Gli impianti aerotermi e a *fancoil* rientrano nella tipologia "UTA" (unità terminali): si tratta di sistemi in cui l'acqua cede calore all'aria tramite una batteria alettata (come avviene nel radiatore dell'automobile). Funzionano attraverso un dispositivo dentro al quale sono inseriti dei tubicini in cui corre l'acqua e fuori dai quali è installato un sistema alettato, generalmente di alluminio; da qui l'aria passa ricevendo calore dall'acqua o cedendolo in caso di raffrescamento (sono infatti dotati, specialmente gli impianti a *fancoil* di una vaschetta e di un tubicino adibiti rispettivamente alla raccolta e all'espulsione dell'acqua di condensa).

- **Impianti a pannelli radianti a pavimento e a soffitto** → utilizzati sia per il riscaldamento invernale sia per il raffrescamento estivo (in questo caso vanno associati a un sistema di deumidificazione per evitare condense di umidità); sono molto costosi ma comportano il grande vantaggio di abbattere il tasso di umidità all'interno dell'ambiente, aumentando il grado di comfort.

Sistemi di generazione (centrali termiche)

Tipologie più diffuse o in sviluppo:

- **Generatori a combustione (caldaie)** → funzionano attraverso l'uso di un combustibile fossile; comportano notevoli rischi, sia per le persone, per l'elevato grado di infiammabilità di tali sostanze, che per l'ambiente, a causa della nocività dei prodotti di scarto della combustione.

Ne esistono di vari tipi:

- Caldaie atmosferiche;
 - Caldaie a condensazione;
 - Pompe di calore ad assorbimento.
- **Teleriscaldamento** → funziona solo attraverso uno scambiatore di calore, che fa parte del sistema di distribuzione (manca il sistema di produzione di calore); comporta notevoli vantaggi dal punto di vista della sicurezza, dell'inquinamento, dei costi di manutenzione (non c'è la caldaia) e della bolletta.
 - **Generatori elettrici (pompe di calore e macchine frigorifere)** → molto usati all'interno di scuole, uffici, fabbriche ed edifici pubblici.

Si tratta di macchine dotate di un motore elettrico che aziona una macchina termoelettrica producendo calore/fresco a partire dall'elettricità; quando producono calore le chiamiamo pompe di calore, quando producono aria fredda le chiamiamo chiller, condizionatori o refrigeratori.

Sono più convenienti dal punto di vista economico, grazie alle nuove tariffazioni D1, che incentivano l'uso dell'energia elettrica a scapito del gas.

Funzionano meglio se associati ad un impianto ad aerotermi, a *fancoil* o a pannelli radianti a pavimento, ma non su corpi scaldanti tradizionali.

Possono essere:

- Pompe di calore aria-acqua;
 - Pompe di calore acqua-acqua;
 - Pompe di calore aria-aria.
- **Sistemi solari** → sono dotati di un sistema di accumulo che previene alla mancanza di sole nei giorni di maltempo; sono costituiti da una grossa cisterna in cui si accumula l'acqua calda e da pannelli, generalmente posti sui tetti degli edifici, che catturano i raggi solari.

Il grosso vantaggio è che non richiedono una fonte di energia primaria, perché la traggono dal sole, mentre uno svantaggio è che hanno ancora costi piuttosto elevati (sono convenienti se ci sono delle incentivazioni, soprattutto nel Nord Italia).

Generatori a combustione (caldaie)

Hanno avuto un'evoluzione notevole negli ultimi vent'anni.

Sono molto pericolosi e in Italia sono oggi vietati: il rischio principale è comportato dal fatto che, quando la combustione non avviene in maniera perfetta, l'ossigeno non si combina con il carbonio e si genera CO (monossido di carbonio).

Possono essere di due tipi:

1. **Caldaie atmosferiche:** aspirano aria dall'ambiente in cui è situata (e non dall'esterno) e scarica i fumi in un condotto di evacuazione o in un camino (in Italia è illegale);
2. **Caldaie con bruciatore pressurizzato** (la camera di combustione è stagna): sono anch'esse vietate perché aspirano aria dall'ambiente interno, anche se sono un po' meno pericolose di quelle atmosferiche e hanno un rendimento maggiore rispetto a quelle atmosferiche; se non associate a un sistema impiantistico adeguato generano condensa all'interno della caldaia.

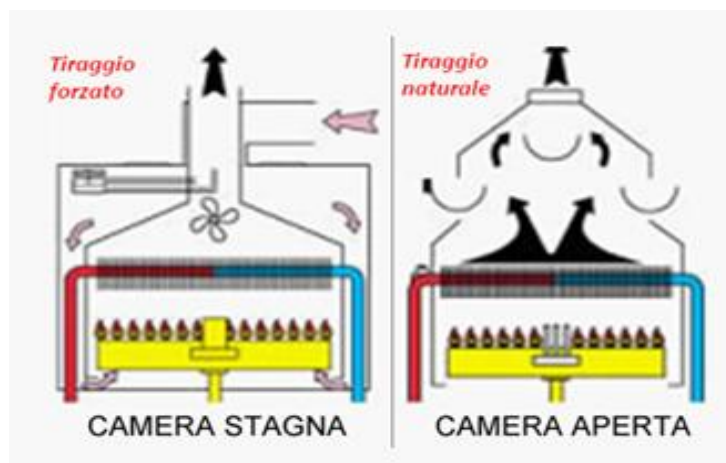


Fig. 1 – Schema funzionale di caldaia atmosferica e caldaia a camera stagna

Temperature di ritorno dell'acqua nei generatori a combustione

Nei tradizionali generatori a combustione l'acqua fredda che torna dai corpi scaldanti non deve essere mai troppo fredda perché altrimenti genererebbe condensa all'interno della caldaia che si corroderebbe, guastandosi; per questo devono essere associati a un sistema impiantistico adeguato.

Caldaie a condensazione

Sono caldaie in grado di resistere al fenomeno della condensazione, sfruttando il passaggio di fase da vapore a liquido e aumentando la resa termica del 20%: in questo modo si recupera il calore latente dai fumi di condensa che altrimenti verrebbero scaricati nell'ambiente esterno, comportando uno spreco di energia e un aumento del tasso di umidità nell'ambiente esterno (facilitando la formazione di nebbia invernale). Queste sono le caldaie obbligatorie oggi in Italia.

Il valore del calore latente di vaporizzazione dell'acqua "r" corrisponde circa a **2400 kJ/kg**; ciò significa che ogni volta che la caldaia a condensazione espelle 1 litro d'acqua, recupera **2400 kJ** di calore dai fumi di condensa, comportando un grande risparmio sia economico che ecologico.

Se si considera infatti che bruciando **1 m³** di metano si generano fino a 1,6 litri di condensa, vuol dire che 1,6 litri di metano recuperano circa **1 kWh**, che costando circa **0,15 €**, assicurano (considerando un consumo di metano annuale di centinaia di litri), grazie agli incentivi statali elargiti per l'installazione della caldaia a condensazione (pari circa al 65%), una notevole riduzione del costo della bolletta.

$$1,6 \text{ litri} \times 0,63 \text{ kWh/litro} = 1,01 \text{ kWh}$$

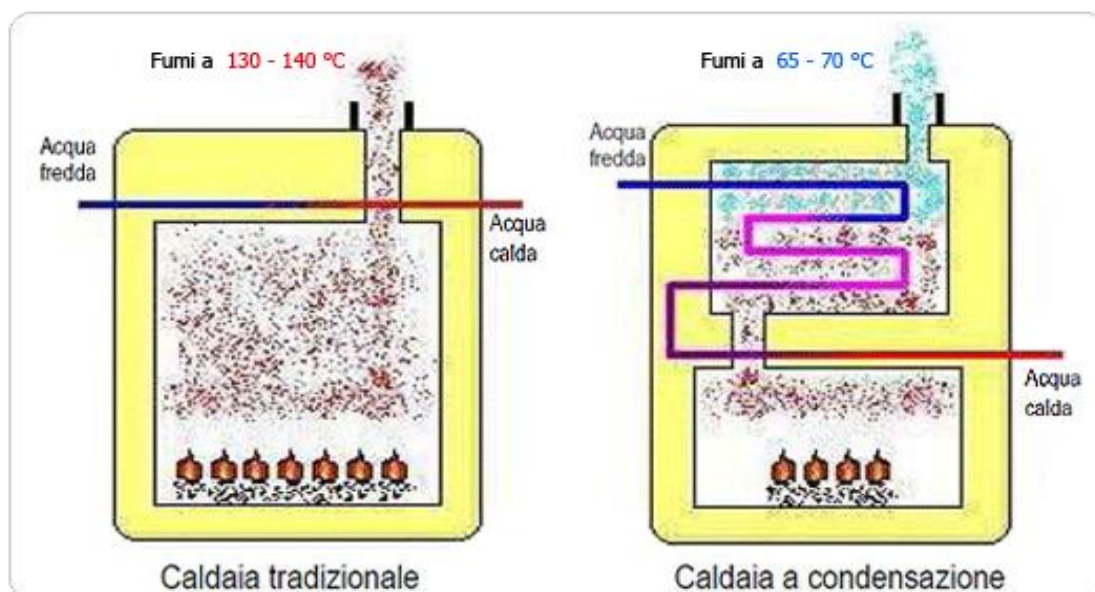


Fig. 2 – Schemi funzionali di caldaia tradizionale e caldaia a condensazione

Generatori elettrici: pompe di calore e macchine frigorifere

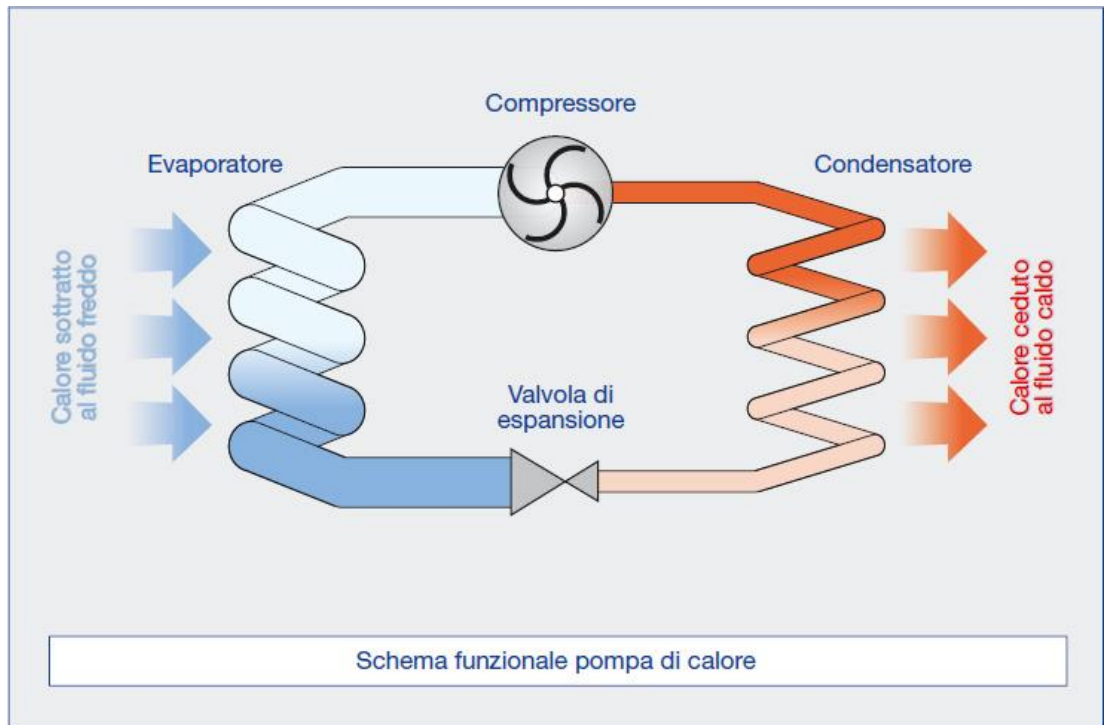


Fig. 3 – Schema funzionale pompa di calore

Dall'immagine si comprende il funzionamento di queste macchine: sono formate da due serpentine, una calda e una fredda, al cui interno viene fatto scorrere un liquido attraverso una pompa che comprime il liquido freddo e lo rende più caldo (un fluido compresso produce riscaldamento: principio di "compressione adiabatica"); una volta ceduto, il calore passa attraverso una valvola di laminazione che serve a far cadere bruscamente il valore della pressione, facendo sì che la temperatura scenda e il liquido si raffreddi; a questo punto il liquido, passando attraverso la seconda serpentina, è in grado, essendo più freddo, di assorbire calore dall'ambiente con cui è a contatto.

I generatori elettrici si possono utilizzare sia in estate che in inverno: in estate si prende calore dall'esterno della casa, si immette nell'ambiente e si espelle all'esterno, mentre in inverno si prende aria fredda, si immette sotto forma di aria riscaldata e si pompa all'interno dell'ambiente.

Gran parte del calore che la macchina dà o toglie è calore che era già presente nell'ambiente; il consumo di energia elettrica quindi è minoritario (per produrre 100 J di calore la macchina consuma circa 200-250 J di energia elettrica). Ciò ne fa un oggetto vantaggioso sia dal punto di vista economico che ecologico.

Il ciclo di Carnot

La macchina utilizza un fluido che cambia fase (come il vapore d'acqua ma si tratta di fluidi speciali che gelano a $-40/50\text{ °C}$ e bollono a $8/10\text{ °C}$).

Il ciclo termodinamico della macchina di Carnot è descritto dal diagramma **PV** (pressione in funzione del volume):

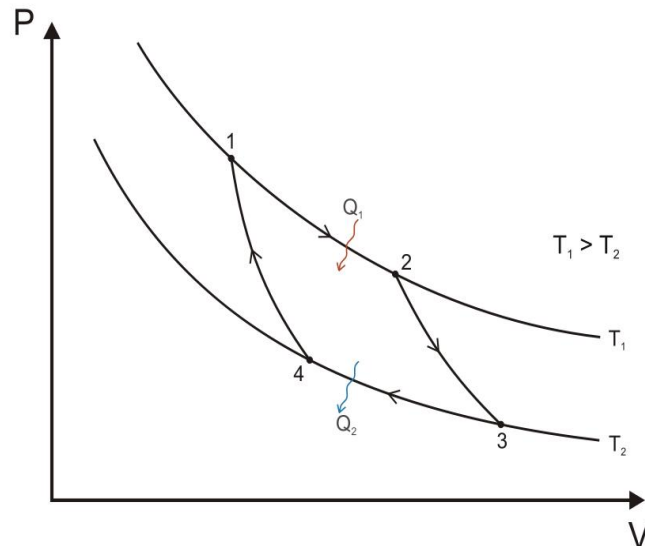


Fig. 4 – Le quattro trasformazioni del ciclo di Carnot

Abbiamo:

- due trasformazioni isoterme (indicate da Q_1 e Q_2), che rappresentano lo scambio di calore che avviene all'interno delle due serpentine;
- due trasformazioni adiabatiche (indicate dalle curve 1-4 e 2-3), causate una (1-4) dalla pompa e l'altra (2-3) dalla valvola di laminazione; queste due trasformazioni, essendo adiabatiche, non comportano scambio di calore (c'è il lavoro che consumo durante la compressione e nessun lavoro che recupero durante l'espansione, perchè c'è la valvola).

Si tratta di una macchina ideale che rappresenta il limite al rendimento di una macchina reale; si usa per stimare il rendimento di una macchina reale.

Si chiama rendimento η di un motore il rapporto tra il lavoro L che esso compie e il calore $Q_c = |Q_c|$ che esso assorbe dalla sorgente calda:

$$\eta = \frac{L}{|Q_c|} = \frac{|Q_c| - |Q_f|}{|Q_c|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|} = 1 - \frac{\text{calore ceduto}}{\text{calore assorbito}}$$

[1]

Il ciclo di Carnot ha un rendimento pari a:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|} = 1 - \frac{|T_f|}{|T_c|} \quad [2]$$

Carnot studiava cicli diretti che producevano lavoro mentre ciò che a noi interessa è il ciclo inverso, in cui si pompa calore e si assorbe lavoro; il rendimento nella sua definizione originale ci interessa relativamente.

Ciò che risulta necessario considerare è il COP (coefficiente di prestazione): il COP di una pompa di calore rappresenta sostanzialmente il calore prodotto in rapporto al calore speso e quindi mi indica quanti **W** termici mi fornisce la macchina in rapporto ai **W** elettrici che sta assorbendo.

I valori di COP di una pompa di calore moderna vanno da 3 a 5 (il valore più tipico è 4).

Il coefficiente di prestazione della macchina può anche essere espresso in funzione delle temperature delle due batterie indicate con i serpentine ed è data da:

$$\text{COP} = \frac{|Q_f|}{|L|} = \frac{|Q_l|}{|Q_c| - |Q_f|} = \frac{T_f}{T_c - T_f} \quad [3]$$

Da ciò si comprende come, in caso di utilizzo della macchina per produrre acqua a temperature non troppo elevate, il rendimento è maggiore (risulta infatti efficiente se associato a pannelli a pavimento o impianti a *fancoil*).

Devono quindi coesistere due condizioni:

- i. Produzione di acqua calda a temperatura modesta;
- ii. Temperature esterne non troppo basse; al tipo di fluido frigorifero che si utilizza, infatti, corrisponde un preciso valore di temperatura minima esterna sotto al quale la pompa di calore si spegne (di solito intorno ai -10 °C).

La macchina può essere fatta funzionare alla rovescia per il raffrescamento estivo: definisco il “COP condizionatore”, cioè un coefficiente di prestazione estivo, definito come il calore freddo prodotto in rapporto al calore speso.

Il calore caldo non può che essere dato dalla somma di calore freddo e lavoro (bilancio energetico); semplificando i due lavori, il risultato è -1.

La macchina ha quindi un rendimento maggiore in inverno rispetto che in estate (circa un terzo in più).

$$\text{COP}_{\text{MF}} = \text{COP}_{\text{PC}} - 1 \quad [4]$$

Unità terminali: i corpi scaldanti

- **Termosifoni:** funzionano in regime di convezione naturale (oggi sono azionati da una pompa quindi sono sempre più simili a pannelli radianti);



Fig. 5 – Termosifoni in alluminio

- **Pannelli radianti a pavimento, a soffitto e a parete:** forniscono calore per parte convettiva ma soprattutto per irraggiamento di radiazione infrarossa;
- **Ventilconvettori o fancoil:** funzionano per scambio convettivo forzato attraverso una ventola che spinge l'aria.

Il problema dei radiatori e dei corpi scaldanti all'interno di un ambiente è che concentrano soltanto in una superficie minima l'apporto di calore; inoltre producono moti aria all'interno del locale che vanno tenuti in considerazione per poter stabilire la posizione in cui collocarli per generare comfort: in generale si posizionano sotto alla finestra, in modo da evitare la concentrazione dell'aria calda nelle parti superiori della stanza.

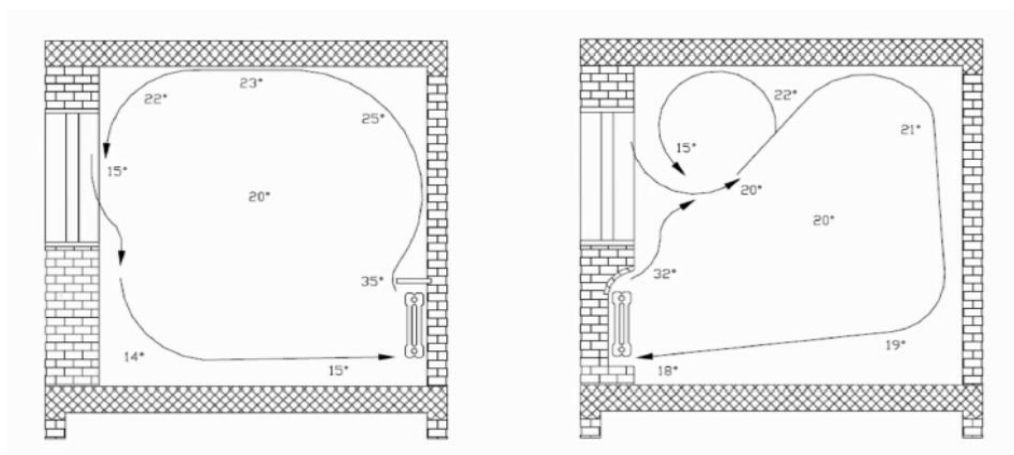


Fig. 6 – Effetti del posizionamento del radiatore sulla temperatura del locale

Vi è poi una questione geometrica: attorno al corpo scaldante bisogna lasciare uno spazio sufficiente perchè l'aria possa circolare; questo perchè lavora principalmente per convezione e perchè, lavorando anche per irraggiamento, è importante non ostacolare l'apporto radiante (si consiglia, infatti, di non chiuderli all'interno di nicchie ma piuttosto di lasciarli "a vista").

Resa termica dei corpi scaldanti

$$qR = C (\theta_{ma} - \theta_a)^n \quad [5]$$

C = costante caratteristica;

n = 1,25 ÷ 1,3;

θ_{ma} = temperatura media dell'acqua calda (70÷80 °C);

θ_a = temperatura dell'aria (~20 °C).

Per sapere quanto calore producono i corpi radianti i produttori, fissata la temperatura dell'aria a 20°C e dell'acqua a 70/80°C, forniscono delle tabelle.

Negli ultimi anni, in realtà, si sono progettati corpi scaldanti che lavorano a una temperatura dell'acqua più bassa (intorno ai 50°C) e che quindi hanno un rendimento maggiore e comportano meno rischi in termini di sicurezza: un corpo scaldante a 50°C risulta tipico e quindi non vi è più il rischio di scottarsi in caso di contatto.

Tipo	Dimensioni				Filettatura giunzioni	q _n (W)	q (ΔT=50 °C) (W)	n	c (l)
	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)					
2-566	567	500	60	60	1"	71,3	56,2	1,31	0,57
2-690	690	623	60	60	1"	87,6	68,9	1,32	0,62
2-880	880	813	60	60	1 1/2"	110	86,3	1,33	0,75
3-566	567	500	60	95	1"	97,5	77,1	1,29	0,69
3-690	690	623	60	95	1"	119	94,2	1,28	0,81
3-880	880	813	60	95	1"	148	117	1,28	0,98
4-690	690	623	60	130	1"	152	119	1,32	0,92
4-880	880	813	60	130	1"	190	150	1,31	1,06
5-566	567	500	60	165	1"	154	122	1,30	0,96
5-690	690	623	60	165	1"	184	144	1,34	1,09
5-880	880	813	60	165	1"	229	179	1,34	1,32

Fig. 7 – Esempio di tabella caratteristica

Pannelli radianti

- **A pavimento** → prima di gettare la soletta e posizionare la rete metallica si inseriscono le serpentine di tubi che verranno poi annegati all'interno del massetto.
- **A soffitto** → comportano diversi vantaggi rispetto ai pannelli radianti a pavimento:
 - i. scaldano in tempi più brevi rispetto ai pannelli a pavimento perché i tubi sono a diretto contatto con i pannelli; hanno quindi meno inerzia rispetto a quelli a pavimento e possono essere accesi a zone;
 - ii. durante il raffrescamento estivo non generano condensa sul pavimento poiché il freddo scende dall'alto verso il basso;
 - iii. hanno costi inferiori;
 - iv. distribuiscono la temperatura in maniera più uniforme all'interno del locale.
- **A parete**: soluzione moderna utilizzata nell'edilizia a secco.

Ventilconvettori o *fancoil*

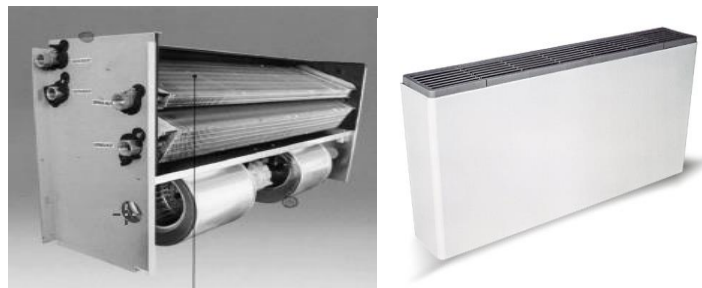


Fig. 8 – Impianti a *fancoil*

Funzionano attraverso un sistema di batterie alettate (simili a quelle del radiatore dell'automobile), azionate da ventole; generalmente si usano le ventole cilindriche perché sono meno rumorose di quelle a elica.

Comportano meno vincoli dal punto di vista del posizionamento poiché non funzionano tramite convezione naturale ma forzata: l'aria, rimescolandosi con quella naturale della stanza, genera una temperatura uniforme all'interno dell'intero ambiente.

Se associati a un sistema di deumidificazione dotato di vaschetta di raccolta della condensa possono risultare molto efficienti, specialmente durante il periodo estivo.

La potenza termica dipende dalle dimensioni della batteria alettata:

- In riscaldamento: da 2 **kW** a 15 **kW**;
- In raffrescamento: da 800 **W** a 10 **kW**.

Sistemi di distribuzione

Ne esistono di vari tipi:

- **Sistema con collettori:** uno di mandata da cui parte un tubicino per ogni corpo scaldante/*fancoil*, uno di ritorno (rappresenta la soluzione più moderna ed efficiente).

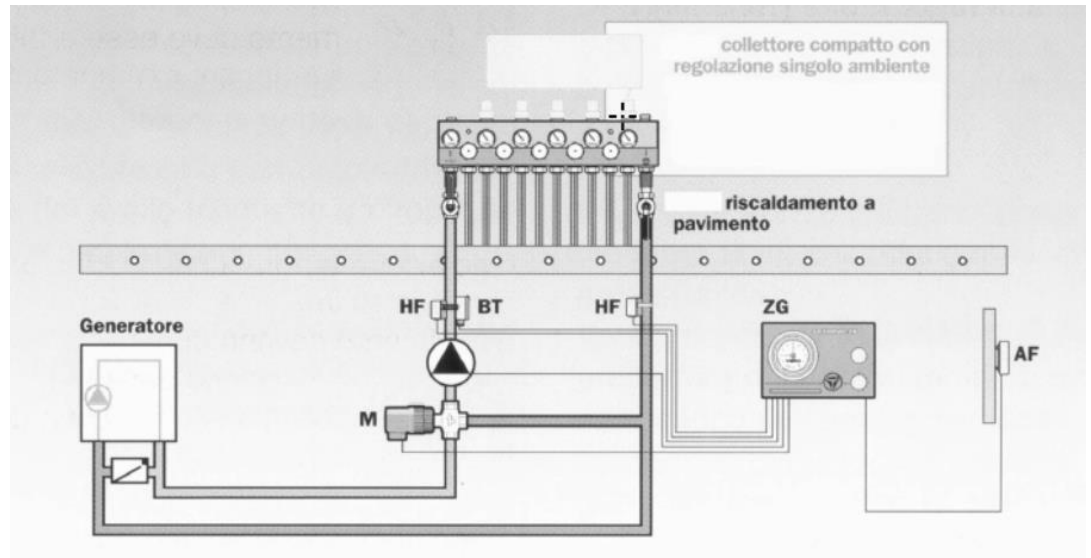


Fig. 9 – Distribuzione con collettori

Possiedono dei regolatori per aggiustare il flusso di acqua e bilanciare l'impianto. Ciò, tuttavia, può rappresentare un difetto in quanto l'utente medio è spesso inesperto: è bene quindi che il collettore sia chiuso in un armadio e non sia accessibile dall'utente finale che deve limitarsi ad agire soltanto sul termostato ambiente che tramite opportuna centralina elettronica controlla le valvole elettriche collocate su ogni ramo del collettore e che regolano il flusso d'acqua).

- **Sistema monotubo:** i corpi scaldanti sono disposti in serie uno rispetto all'altro (non molto efficiente).

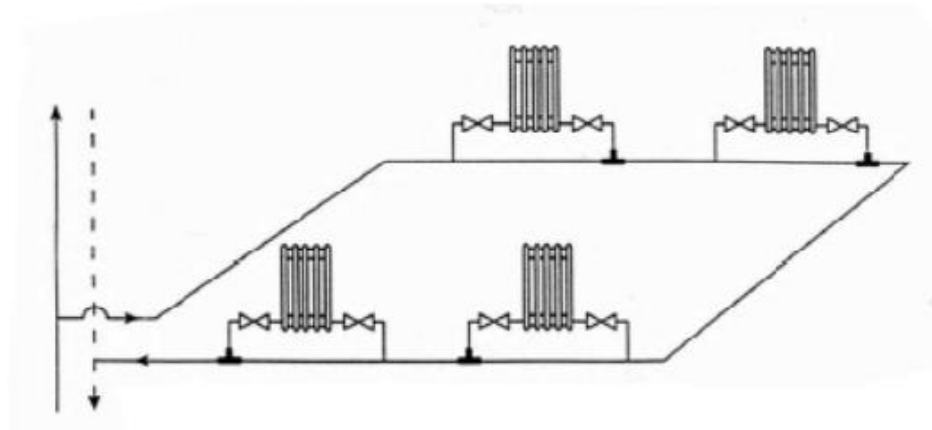


Fig. 10 – Distribuzione monotubo

- **Sistema a due tubi:** dalla centrale termica partono due tubi per ogni corpo scaldante (anche questo sistema risulta inefficiente);

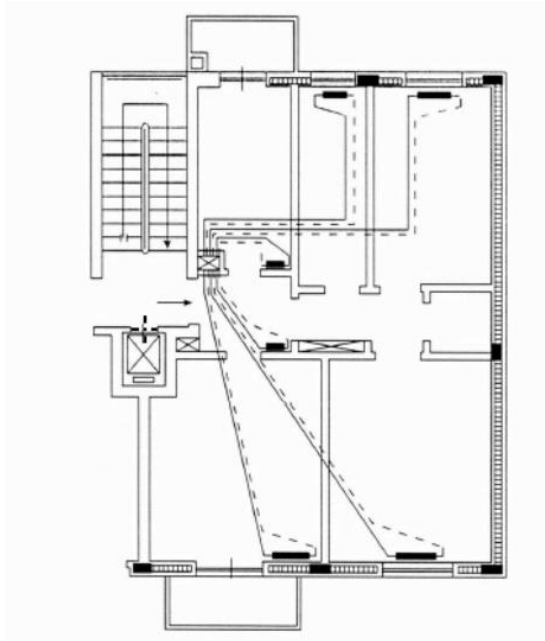
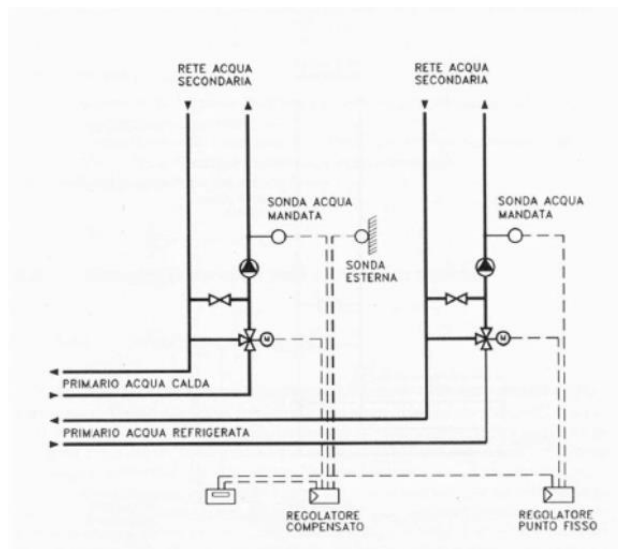


Fig. 11 – Distribuzione a due tubi

- **Sistema a quattro tubi** (raffrescamento e riscaldamento contemporanei).



Fi. 12 – Distribuzione a quattro tubi