

Introduzione

È opportuno ricordarsi che non tutta l'energia spesa per far funzionare un impianto è automaticamente uguale all'energia resa dallo stesso, poiché inevitabilmente saranno presenti dispersioni energetiche durante il trasporto: basti pensare a come il calore di un fornello non si trasmetta interamente alla pentola posizionata su di esso, ma invece si disperda parzialmente nell'ambiente circostante.

L'impianto assorbe energia (spesa) e la trasforma (o converte), con una certa resa percentuale minore di 1 dovuta alle perdite di carico (rendimento). L'energia prodotta viene conferita al fluido termovettore, il quale si allontana dal generatore per fluire verso l'ambiente (mandata) ed è eventualmente recuperato in un secondo momento, esausto (ritorno).

La spesa può assumere la forma di energia di combustione oppure di energia elettrica, con le differenze che vedremo a breve; l'energia trasmessa dal fluido di mandata caldo ad un ambiente freddo è energia termica, mentre parliamo di energia frigorifera riferendoci alla capacità del fluido-vettore di assorbire energia termica da un ambiente più caldo.

I generatori a combustione come le caldaie derivano energia termica, appunto, dalla combustione di un gas o di altro materiale infiammabile, e possono essere impiegati solo come generatori di calore. Viceversa, i generatori elettrici e i generatori termici possono essere impiegati sia come generatori di calore sia come gruppi frigoriferi (chiller).

Generatori a gas

Tanto semplici quanto efficaci: il combustibile – gas in questo caso – è erogato nella camera di combustione, nella quale un bruciatore avvia e mantiene attiva la reazione; il calore generato serve a riscaldare l'acqua passante per il circuito idronico all'interno dello scambiatore di calore, la quale entra come acqua fredda di acquedotto (AF) o come acqua di ritorno dall'impianto ed esce come acqua calda sanitaria (ACS) o come acqua di mandata; i residui della combustione sono poi scaricati verso l'esterno tramite la canna fumaria.

Spendiamo quindi due parole sul rendimento dei generatori a combustione.

BILANCIO DI MASSA: entrano aria (\dot{m}_a) e combustibile (\dot{m}_c), escono fumi (\dot{m}_f) e scorie solide (\dot{m}_{ss}).

BILANCIO DI ENERGIA: abbiamo un ingresso di energia potenziale del combustibile e di energia dovuta all'aria con cui esso reagisce, più un trascurabile ingresso di energia elettrica per gli ausiliari (pannelli elettrici per la regolazione della temperatura, display, ecc...); quest'energia è convertita in "grossa" parte in potenza termica utile, mentre la rimanente percentuale è dispersa in varie forme:

- Dispersioni al mantello, ossia energia dispersa a causa del riscaldamento del mantello, il quale scambia calore con l'ambiente esterno;
- Energia potenziale del materiale incombusto, ossia quel gas che, pur non essendosi acceso, viene comunque scaricato verso l'esterno;
- Energia termica dei residui, quali fumi e scorie.

Lo dico a parole, lo scrivo in formule [cit.]:

$$\dot{E} + \dot{m}_c H + \dot{m}_c h_c + \dot{m}_a h_a = \dot{Q}_t + \dot{Q}_d + \dot{m}_f h_f + \dot{m}_{ss} f_{ss} + \dot{m}_I H_I$$

Dove:

- $\dot{m}_c H$ è la potenza al focolaio;
- $\dot{Q}_d = h A (T_{mantello} - T_{esterno})$ è la potenza dispersa al mantello;
- $\dot{m}_f h_f - (\dot{m}_c h_c + \dot{m}_a h_a)$ sono le perdite al camino;
- \dot{E} è l'energia elettrica degli ausiliari, completamente trascurabile.

Potendo trascurare \dot{E} e assumendo quindi che la spesa sia composta interamente dalla potenza al focolaio, possiamo definire un rendimento η come segue:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{m}_c H}$$

Caldaie a condensazione

Per calcolare il rendimento di una caldaia è sufficiente conoscere il consumo orario di gas della stessa e la potenza termica effettivamente erogata alla rete idronica. È altresì interessante studiare come possiamo aumentare il valore di \dot{Q}_t agendo sulle dispersioni energetiche: si è quindi arrivati alla possibilità di recuperare energia termica sfruttando il calore dei fumi di scarico. Ovviamente, poiché la temperatura di rugiada dei gas di scarico è tipicamente molto simile alla temperatura dell'acqua di mandata, si avrebbe uno scambio termico molto blando tra i due; è ben maggiore lo scambio termico che si ha invece riscaldando l'acqua di ritorno con i suddetti fumi.

Una caldaia a condensazione sfrutta proprio questo principio. Facendo passare l'acqua di ritorno per uno scambiatore di calore posto all'interno della canna fumaria, è possibile recuperare energia termica dai gas di scarico (parliamo quindi di preriscaldamento dell'acqua); se il fluido passa alla camera di combustione a una temperatura d'ingresso maggiore, a parità di temperatura d'uscita richiesta, sarà minore la spesa energetica.

Tuttavia, proprio a causa del preriscaldamento, all'interno della canna fumaria si verifica un fenomeno di condensazione dei fumi di scarico. Dipendentemente dalla natura del combustibile utilizzato, avremo una differente temperatura di rugiada: variando in base alla percentuale di miscelazione tra combustibile e comburente ("eccesso"), ad esempio, la temperatura di rugiada del gas naturale si aggira intorno ai 50 ~ 60°C.

Il fenomeno della condensazione si verifica quando la temperatura del fumo va al di sotto della T_R ; in base alle osservazioni fatte finora è possibile intuire per quale motivo è necessario che la temperatura di mandata sia bassa – in genere non superiore a 55°C – affinché questo tipo di generatore funzioni efficientemente: in generale, prevediamo una temperatura del fluido di ritorno di circa 45°C, ben al di sotto della T_R del gas di scarico; tanto minore è la temperatura del fluido di ritorno e tanto maggiore sarà lo scambio termico durante il preriscaldamento. Viceversa, se la temperatura del fluido di ritorno è particolarmente alta, può accadere che la caldaia a condensazione riporti un'efficienza addirittura minore rispetto alle caldaie tradizionali di nuova generazione.

Per questo motivo, impianti – ad esempio – radianti che lavorano a temperature di 65, 70 o più °C subiscono un'assurda perdita di efficienza se alimentati da una caldaia a condensazione piuttosto che da una tradizionale. Impiegare questo tipo di caldaia in questo contesto è una mossa dispendiosa, a meno che non abbiamo la fortuna di avere un impianto notevolmente sovradimensionato da chiunque l'abbia progettato in passato (in modo da diminuire la temperatura dell'acqua di ritorno fino a valori accettabili).

Nonostante queste considerazioni, esiste una normativa europea che impone che tutte le caldaie a uso domestico devono appartenere a questa tipologia. Chi ha pensato tali normative è sicuramente stato miope nel considerare questo sistema come "il più efficiente" a priori, ma potrebbe anche esserci dietro un interesse nel far avviare una nuova economia di nuove tecnologie

Vi è infine da considerare la natura della sopracitata condensa, ed è necessario un accenno sulla sua pericolosità: la sostanza in questione è un liquido altamente tossico e particolarmente corrosivo, pieno di ossidi di azoto (NOx) e di carbonio (CO), il cui accumulo all'interno della canna fumaria può causare danni irreversibili alla caldaia, nonostante la canna sia generalmente in materiali chimicamente resilienti come PPS, acciaio inox o alluminio speciale. È per questo motivo che la canna non è verticale come un camino ma è invece inclinata verso il basso, cioè per permettere lo scorrere della condensa in un unico punto di raccolta.

L'elevata acidità di tale sostanza è il motivo dell'esistenza della norma UNI 11071, la quale prevede due sistemi di smaltimento, uno per la condensa proveniente dalla caldaia e uno per la condensa

proveniente dal sistema di scarico dei fumi, oltre a trattamenti addizionali sulla neutralizzazione della stessa negli impianti di potenza superiore ai 35 kW.

Caldaie a modulazione di fiamma

Il funzionamento di una caldaia è dettato dal funzionamento del suo bruciatore. Esso può essere di vari tipi in funzione del combustibile utilizzato e del regime di funzionamento. In questa tipologia di caldaia, si agisce direttamente sul bruciatore, modulandone la potenza in funzione dell'intensità della fiamma.

A tal proposito, in base al grado di modulazione della potenza erogata, distinguiamo:

- Modulazione in regime monostadio (on-off), quando la potenza non può essere cambiata ma il bruciatore viene semplicemente spento al raggiungimento della temperatura massima dell'acqua e acceso nuovamente quando la temperatura tocca un valore minimo prefissato;
- Regime bistadio (50% – 100%), quando il bruciatore può funzionare a due regimi a seconda della temperatura dell'acqua in caldaia (a massima potenza o a regime attenuato);
- Regime modulante fra 50% e 100%, quando la potenza del bruciatore può variare con “continuità”, per garantire un'efficienza massima e ridurre gli sprechi energetici; è bene notare che non si tratta di una continuità vera e propria, in quanto la modulazione avviene “per step”, ossia percentuali di potenza intermedie ma finite e invariabili.

Caldaie a temperatura scorrevole

Questo tipo di caldaia è caratterizzato da una temperatura variabile del bruciatore, proporzionale alla temperatura di mandata, che è in funzione del carico dell'impianto e del carico climatico. La regolazione a temperatura scorrevole si ottiene adeguando la temperatura di caldaia in funzione del carico termico richiesto (legato a sua volta alla temperatura esterna).

Caldaie a più tubi di fumo

In questo tipo di caldaia, i fumi della combustione sono fatti passare più volte attraverso le superfici di scambio termico (ossia sono incanalati in più tubi che cedono quanta più energia possibile all'acqua in cui sono immersi). Dopo aver ceduto il calore all'acqua, i gas caldi possono essere incanalati nel vano circostante – in muratura negli impianti fissi – al fine di cedere ulteriormente il calore residuo e sono infine scaricati all'atmosfera attraverso un alto camino. Questo sistema permette di avere maggiori concentrazioni di NOx in uscita grazie all'uniformità della temperatura e ai livelli di temperatura più bassi.

Caldaie a biomassa

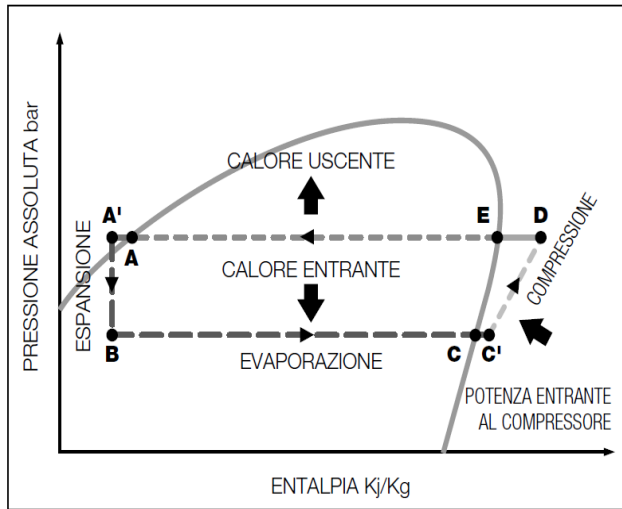
Alcune caldaie utilizzano come combustibile pellet, legno, segatura et similia, che costituiscono parte di quella fonte energetica rinnovabile che sono le biomasse. Questi generatori funzionano in maniera identica alle caldaie di cui sopra, cioè generano calore dalla combustione di materiale infiammabile per riscaldare una massa d'acqua.

Se tale sistema può sembrare una valida “alternativa green” alle caldaie sopracitate, vi sono alcune precisazioni da fare:

- Non è propriamente corretto dire che si ottiene un ciclo virtuoso della CO₂: le biomasse sono certamente una fonte di energia rinnovabile perché morto un albero se ne può sempre far crescere un altro, ma l'energia e il tempo necessari per far crescere un albero sono ben superiori all'energia derivata dalla combustione di un albero e al tempo in cui un albero può essere completamente bruciato;
- Le efficienze sono particolarmente basse, intorno al 75%;
- Necessitano di frequenti manutenzioni per pulizia;
- Sono in generale caldaie costose da mantenere e da far funzionare.

Macchine a compressione di vapore

Il ciclo inverso di Carnot [Termodinamica] non può essere utilizzato nelle applicazioni pratiche in quanto ciclo ideale, ma comprenderne il funzionamento è il primo passo verso lo studio del ciclo inverso reale: il ciclo a compressione di vapori saturi.



Ricordiamo che i vapori saturi hanno la caratteristica di subire cambiamenti di fase a temperatura e pressione costante, come visto largamente in Termodinamica.

Durante la fase di condensazione (D-A), il vapore cede calore all'ambiente rimanendo a T e p costanti, mentre sottrae calore durante la fase di evaporazione (B-C), "cedendo" energia frigorifera. Le trasformazioni di compressione ed espansione avvengono rispettivamente nel compressore e nella valvola di laminazione: il primo richiede potenza di alimentazione (che ovviamente è una spesa), mentre la seconda espande senza recuperare energia (per

tale scopo occorrerebbe una turbina, il cui recupero esiguo non varrebbe l'elevato costo di impianto). Ovviamente, le collocazioni di condensatore ed evaporatore devono cambiare nel corso dell'anno, in quanto posizioneremo il primo all'esterno e il secondo all'interno durante l'estate e viceversa durante l'inverno. Per non dover spostare fisicamente unità esterna e interna durante i periodi di transizione, esiste la *valvola a 4 vie*, che permette alle due unità di scambiarsi i ruoli come già illustrato precedentemente.

Altro parametro che ci interessa è l'efficienza (o rendimento) della nostra macchina, espresso in generale come il rapporto tra l'effetto ottenuto e l'energia spesa, sempre minore di 1 a causa del Secondo Principio della Termodinamica. L'effetto ottenuto sarà ovviamente la potenza termica/frigorifera scambiata dall'unità interna con l'ambiente interno. Ciò comporta che parleremo:

- In estate, di coefficiente di effetto utile frigorifero

$$EER = \frac{Q_{ev}}{L}$$

- In inverno, di coefficiente di effetto utile termico (o coefficiente di performance)

$$COP = \frac{Q_{cond}}{L}$$

Il rendimento di una macchina a compressione di vapore non può essere determinato a priori. Supponiamo, infatti, di essere in una giornata estiva particolarmente fresca, ossia tale che T_{est} sia molto minore della temperatura media per quel mese e particolarmente vicina alla temperatura di comfort: poiché si avrà un abbassamento della temperatura di condensazione, assisteremo ad un aumento dell'effetto frigorifero; a parità di compressione, la macchina mantiene una temperatura interna minore. Analoghe considerazioni possono essere fatte anche se consideriamo l'aumento della T_{est} nel caso invernale, per il funzionamento a pompa di calore.

Questa considerazione ci porta a introdurre il prossimo argomento.

I DIECI COMANDAMENTI DEL FUNZIONAMENTO DELLE M.C.V.

- I. Le M.C.V. adattano il loro funzionamento in base alle condizioni esterne.

Il motivo di questa affermazione è già stato spiegato: la temperatura esterna influisce sulla temperatura di condensazione/evaporazione dell'unità esterna. Si potrebbe pensare – ragionando da architetto – di nascondere l'unità esterna alla vista, cioè di porre la suddetta in una nicchia ovvero in un'area non opportunamente ventilata o irraggiata, e non ci sarebbe ragionamento più sbagliato: la macchina infatti

non restituirebbe l'opportuna potenza frigorifera/termica e in generale non lavorerebbe con la stessa efficienza. La posizione migliore per un'unità esterna è in un luogo sufficientemente esposto, anche se è preferibile che esso si trovi all'ombra piuttosto che sotto la luce diretta del Sole.

- II. La potenza resa da una M.C.V. può variare anche grazie al regime di funzionamento del compressore.

La potenza utile è data dal prodotto tra la variazione di entalpia utile del vapore e la portata massica dello stesso. Se da una parte Δh_{utile} dipende dalle condizioni esterne, è possibile invece agire sulla portata massica, dipendente dal regime di funzionamento del compressore: ogni tipo di compressore ha al suo interno un organo in rotazione che servirà da azionamento, e in base alla velocità di rotazione del motore aumenterà anche la quantità di aria processata nell'unità di tempo – e dunque la \dot{m} dell'impianto.

III. Le performance energetiche di una M.C.V. possono variare in base alle condizioni esterne. E qui nulla di nuovo. Abbiamo detto che i coefficienti di rendimento sono dati dal rapporto tra energia utile e spesa effettiva, e per quello che ci riguarda la prima è Q_{ev} – oppure Q_{cond} nel progetto invernale – mentre la seconda è la somma di potenza assorbita dal compressore (\dot{W}_C), potenza di alimentazione del ventilatore (\dot{W}_{fan}) e potenza richiesta dalla pompa (\dot{W}_{pump}). Generalmente, le potenze spese \dot{W} sono tabellate e non variano significativamente, mentre come abbiamo visto Q_{ev} e Q_{cond} variano in base alle condizioni dell'ambiente esterno. Per estensione, anche le prestazioni possono aumentare e/o diminuire in base alle condizioni esterne, c.v.d.

- IV. Il funzionamento di una pompa di calore è fortemente limitato a causa del brinamento dell'evaporatore.

Caso invernale, temperatura esterna molto bassa ($T_{est} < -15^\circ C$): in queste condizioni, dovremo inevitabilmente fare i conti con il fenomeno del brinamento, ossia il passaggio dell'acqua contenuta nell'aria dalla fase gassosa a quella solida (formazione di ghiaccio).

Mantenere la macchina sbrinata richiede un surplus di energia, e possiamo calcolare la potenza d'impianto corretta moltiplicando la capacità dell'impianto per un coefficiente correttivo dipendente dalla temperatura. Dopo i $7^\circ C$ questo coefficiente vale 1. Il suo minimo è a $0^\circ C$. Sotto i $-10^\circ C$, l'impianto a compressione cessa di funzionare.

- V. Una pompa di calore comporta l'obbligo di adottare terminali di emissione a basse temperature.

La temperatura massima raggiungibile da una pompa di calore è limitata, come possiamo osservare dalla curva dell'isoterma sul diagramma p-h. Vi è inoltre il problema del compressore che va sotto sforzo poiché deve produrre più calore di quello per cui è progettato. Se la potenza utile necessaria dipende da una certa Δh_{utile} , abbiamo un limite alla temperatura di alimentazione dei terminali di emissione, che si aggira generalmente intorno ai $45^\circ C$.

- VI. Una macchina a compressione di vapore può produrre ACS con un recupero di energia nei mesi estivi – che per noi significa energia gratuita.

Nel caso estivo è possibile recuperare energia (gratuitamente) dal raffreddamento del vapore nel condensatore per la produzione di acqua calda sanitaria. Resta però il problema del caso invernale, durante il quale non è possibile recuperare calore perché la potenza termica viene spesa per riscaldare l'ambiente. Va inoltre denotato che con questo sistema si può produrre acqua a $45^\circ C$ massimo, temperatura insufficiente per annientare organismi patogeni come ad esempio la legionella ($60\sim 75^\circ C$, più è alta più rapidamente muore il batterio), e quindi non può essere immagazzinata come acqua

stagnante. Ovviamente, esistono alcune soluzioni, come incorporare al sistema un boiler (generalmente elettrico) oppure adoperare la stessa potenza per ottenere un salto termico maggiore su portate ridotte.

VII. Per innalzare la temperatura dell'ACS prodotta da una M.C.V. si può introdurre un desurriscaldatore.

Ricordiamo sempre che $\dot{Q} = \dot{m} \Delta h = \dot{m} c_p \Delta T$ per i liquidi incomprimibili. Si può optare in primis per trattare una portata d'acqua minore con salti termici maggiori, ma si potrebbe anche includere la spesa energetica per un desurriscaldatore ad acqua che permetta di riscaldare una portata maggiore con un salto termico maggiore. Il condensatore dovrà sempre essere dimensionato come se il desurriscaldatore non ci fosse.

VIII. In inverno la pompa di calore dovrà rendere una potenza pari alla somma di $P_{t,richiesta}$ e P_{ACS} .

Questo vale come diretta conseguenza di quanto detto sopra. In inverno l'impianto richiede energia termica, alla quale va sommata quindi una spesa addizionale: la potenza richiesta per produrre l'ACS.

IX. La temperatura dell'ACS prodotta da una M.C.V. è bassa.

Il punto di scarico del compressore non può essere innalzato a piacere: questo innanzitutto perché non possiamo rischiare di toccare il punto critico del vapore, al di sopra del quale esso inizia a comportarsi come un fluido gassoso oppure supercritico; secondariamente, temperature particolarmente elevate possono danneggiare irreversibilmente il compressore, ad esempio interferendo con il funzionamento degli organi meccanici, oppure più comunemente facendo consumare l'olio lubrificante all'interno. Anche l'efficienza della macchina risente di alte temperature dell'ACS, andando ad accostarsi ai motivi sopra elencati.

X. Una M.C.V. può necessitare di un accumulo inerziale.

Una M.C.V. non può essere soggetta a qualsiasi frequenza di ON/OFF, come se fosse un'autovettura dotata di sistema Start & Stop, ed esistono alcuni "delay" che devono avere luogo necessariamente per il corretto funzionamento della stessa:

- Il periodo di spegnimento minimo è legato all'esigenza di bilanciare alta e bassa pressione, al fine di contenere l'intensità di corrente dello spunto*; in tale ambito, l'intensità della corrente di spunto genera un picco di energia termica, la quale necessita di essere smaltita (dispersa) sufficientemente affinché non causi danni all'apparato elettrico; naturalmente, se si generano picchi di calore frequenti e intensi, l'energia non è più smaltita sufficientemente e danneggia l'apparato elettrico;
- Il tempo minimo di funzionamento è legato alla necessità di assicurare il ritorno dell'olio nel compressore dopo l'avviamento; l'olio si allontana insieme al fluido refrigerante all'accensione, abbassando il suo livello.

Se i cicli di termostatazione, soprattutto in condizioni di carico parziale, non rispettano le frequenze limite, si adotta un volume di accumulo inerziale. Ogni refrigeratore di acqua, pertanto, ha un suo tempo minimo di funzionamento per ogni compressore, ed in linea di massima, questo tempo minimo cade fra i 3 ed i 5 minuti per macchine di potenza medio/alta. Il tempo minimo di accensione per garantire il ritorno dell'olio è parte della seguente uguaglianza, volta al calcolo del volume inerziale:

$$\frac{\Delta P}{n} = \frac{V \Delta T \cdot 60}{\Delta t_{min} \cdot 860}$$

Dove:

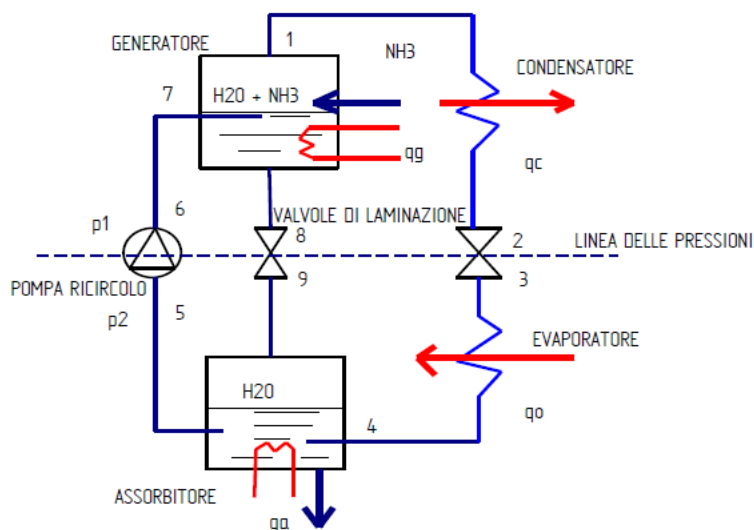
- ΔP è la potenza frigorifera per ciascun stadio di regolazione, suddivisa in n parti;
- ΔT è l'incremento di temperatura per il settaggio dello stadio intermedio;

- V è il volume minimo di accumulo, e rappresenta il volume minimo di acqua da inglobare all'interno del circuito idronico posto tra i terminali di emissione ed il generatore; una volta definita la configurazione idronica delle tubazioni, si lavorerà sulla geometria delle stesse, ricavando il volume dell'acqua nel circuito: se $V > V_{circ}$, ci servirà un'aggiunta di volume, mentre al contrario se $V < V_{circ}$, l'acqua contenuta in esso è sufficiente come volano inerziale;
- Δt_{min} è il tempo minimo di accensione per garantire il ritorno dell'olio (in minuti);
- 60 e 860 sono coefficienti correttivi per le unità di misura impiegate.

*Spunto: in meccanica, superamento della resistenza prodotta dall'inerzia e dall'attrito nella fase di avviamento del motore.

Assorbitori (o refrigeratori ad assorbimento)

È possibile che un generatore termico non a combustione sia impiegato per fornire energia frigorifera. È il caso dei refrigeratori ad assorbimento, che sfruttano reazioni chimiche per produrre tale energia.

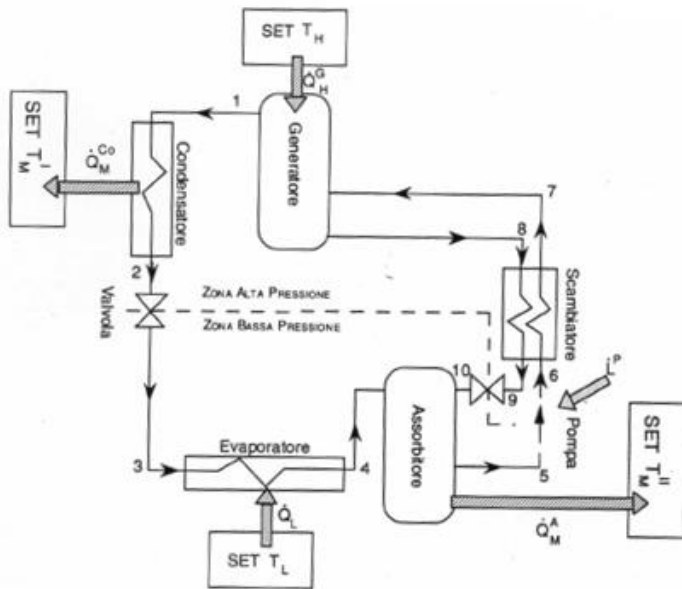


Si riporta di seguito un breve richiamo.

La miscela acqua-ammoniaca si compone di acqua che fa da solvente e di ammoniaca che fa da soluto (ed è quindi più volatile). Per effetto del calore fornito al serbatoio superiore (generatore), si libera ammoniaca allo stato quasi puro e ad alta pressione, che inizia il classico ciclo di condensazione, laminazione ed evaporazione. All'uscita dell'evaporatore, l'ammoniaca si ricombina nel serbatoio inferiore (assorbitore) con la miscela di acqua-ammoniaca, impoverita di quest'ultima, e proveniente dal serbatoio superiore tramite un'apposita valvola di

laminazione (in basso la pressione è inferiore rispetto a quella presente in alto). La reazione è esotermica e cede calore all'esterno; al termine, una pompa provvede a riportare la miscela al generatore, riavviando il ciclo.

Si hanno quindi due cicli: uno interno fra generatore e assorbitore, uno esterno che produce nell'evaporatore l'effetto frigorifero.



Le temperature di utilizzo della macchina ad assorbimento dipendono dal fluido di lavoro: per acqua-ammoniaca si hanno circa $130 \sim 150^{\circ}\text{C}$ al generatore e circa $45 \sim 55^{\circ}\text{C}$ all'assorbitore e al condensatore. La temperatura all'evaporatore è invece funzione della pressione d'esercizio ed è dell'ordine di qualche grado sotto lo zero. Altre miscele sono acqua-bromuro di litio e acqua-fluoruro di litio, e in entrambi i casi è l'acqua il componente più volatile. Queste ultime macchine hanno il pregio di lavorare a temperatura inferiore rispetto ai 130°C minimi della macchina ad ammoniaca: parliamo di circa 80°C . In alcune installazioni si ricorre addirittura all'impiego dell'energia solare per alimentare il generatore.

BILANCIO DI PRIMA LEGGE

$$\dot{Q}_{Gen} + \dot{Q}_{evap} + \dot{L}_P = \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{Ass}$$

Possiamo trascurare la potenza meccanica da fornire alla pompa.

$$\dot{Q}_G + \dot{Q}_{ev} = \dot{Q}_{co} + \dot{Q}_A$$

BILANCIO DI SECONDA LEGGE

$$\frac{\dot{Q}_G}{T_H} + \frac{\dot{Q}_{ev}}{T_L} + \dot{S}_{gen} = \frac{\dot{Q}_{co} + \dot{Q}_A}{T_M}$$

Dove T_L, T_M, T_H sono le temperature dei SET a temperatura bassa, media e alta rispettivamente.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{Q}_G} = \frac{T_M^{-1} - T_H^{-1}}{T_L^{-1} - T_M^{-1}} \quad [\text{Naturalmente, } T \text{ espresse in } K]$$

Se assumiamo $T_M = 35^{\circ}\text{C}$ e $T_L = 10^{\circ}\text{C}$, abbiamo, per temperature T_H tra gli 80 e i 180°C , COP ideali compresi tra 1.4 e 3.6 . Naturalmente, il COP reale sarà sempre più piccolo.

Selezione dei sistemi di produzione

Un sistema di produzione va selezionato per tipo, taglia, rendimenti e prezzi, in risposta alle nostre esigenze, un po' come si fa con i vestiti.

La scelta comprenderà sicuramente criteri oggettivi – il contrario renderebbe obsoleta metà di quanto detto finora – e, dove fallissero questi ultimi, anche criteri soggettivi. In primo luogo, dobbiamo certamente considerare l'identificazione della taglia dell'impianto per il quale dobbiamo installare il sistema di produzione, la disponibilità economica dello stesso (in termini di costi di acquisto, di installazione e di manutenzione) e, ovviamente, la compatibilità con l'intero impianto. A parità di qualità oggettive tra due o più sistemi, si può passare quindi ai criteri soggettivi, quali tipologia, marca e modello in virtù della nostra esperienza impiantistica.

Un impianto, con i suoi rendimenti, è paragonabile ad una catena, ed ogni componente ne rappresenta un anello: se un componente ha basso rendimento, può fare da collo di bottiglia a tutto il resto dell'impianto, riducendone il rendimento complessivo. Abbiamo, tabellati per tipologia di impianto, i valori generali dei rendimenti di distribuzione, regolazione ed emissione: in tutte e tre le fasi, infatti, vi è sempre una perdita – seppur minima – di energia. Ma allora come possiamo risalire alla potenza minima da erogare all'impianto per ottenere un certo risultato?

Ogni ambiente avrà un suo carico termico estivo o una sua dispersione invernale. L'insieme di tutti gli ambienti serviti da uno stesso generatore è detto Zona Termica, e ci interessa calcolarne la rientrata oppure la dispersione complessiva per ricavarne la potenza minima necessaria. A quel punto, vale che:

$$\dot{Q}_{gen} = \frac{\dot{Q}_{ZT}}{\eta_{dist} \cdot \eta_{reg} \cdot \eta_{emiss}}$$

Naturalmente:

- 1) La potenza generata è sempre maggiore di quella richiesta dall'utenza; matematicamente, questo avviene perché $\eta_{dist} \cdot \eta_{reg} \cdot \eta_{emiss} < 1$, fisicamente perché non possiamo avere un impianto ad efficienza perfetta (detto ideale per un motivo);
- 2) La potenza così ricavata è la minima indispensabile, da catalogo si dovrà quindi selezionare la taglia più prossima in eccesso;
- 3) Noto il modello del generatore, sarà noto il suo rendimento, da cui si potrà ricavare la spesa energetica.