

Confronto termodinamico tra differenti sistemi di generazione di calore

Premessa

Nel presente lavoro intendiamo confrontare le potenzialità di diversi sistemi di generazione di calore, alla luce degli obiettivi di efficienza energetica e di utilizzo di fonti rinnovabili.

Per questo confrontiamo tra loro i seguenti sistemi:

1. caldaia semplice ad alta efficienza;
2. collettore solare con scambiatore e accumulatore;
3. collettore solare a concentrazione con scambiatore ed accumulatore;
4. Sistema combinato pompa di calore - circuito solare in serie;
5. cogeneratore.

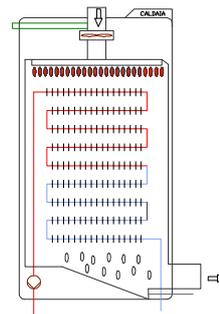
Ipotizziamo per semplificare l'analisi che i sistemi operino in regime stazionario ed abbiano in entrata una potenza unitaria. Per valutare l'exergia della radiazione solare la approssimiamo con il contenuto energetico stesso, sapendo di introdurre un errore di alcuni punti percentuali, accettabile in questo tipo di valutazione semplificata. Per l'exergia dei combustibili ipotizziamo in prima approssimazione che coincida con il potere calorifico degli stessi, come riportato in letteratura.

Analizzeremo alcune condizioni di funzionamento che si possono ritenere rappresentative del comportamento dei sistemi di generazione. Una valutazione completa può essere fatta su una operatività almeno stagionale, tenuto conto delle variazioni orarie, giornaliere, etc delle grandezze in gioco, soprattutto per i sistemi a fonte rinnovabile.

Rendimento di primo e secondo principio

1. CALDAIA SEMPLICE AD ALTA EFFICIENZA

La caldaia semplice domestica o di media potenza può raggiungere una efficienza media stagionale pari a 0,9-1, i valori maggiori per i sistemi a condensazione che alimentano circuiti a bassa



temperatura. Assunto:

$$\eta_1 = 0,9;$$

$$T_a = T_{\text{ambiente}} = 283 \text{ K (10}^\circ\text{C)};$$

$$T_{sc} = T_{\text{media logaritmica dello scambiatore lato utenza}} = 70^\circ\text{C} = 343 \text{ K};$$

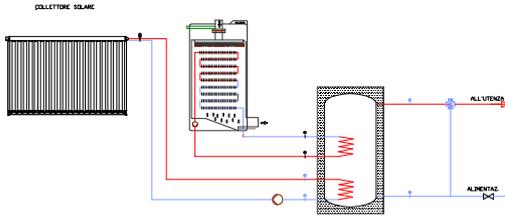
Il rendimento exergetico si ricava dalla relazione:

$$\eta_{ex} = \frac{0,9 * (1 - \frac{T_a}{T_{sc}})}{Ex_{in}} = 0,157$$

Nel caso si utilizzi un circuito a bassa temperatura di tipo radiante, il rendimento può essere pari ad 1, ma si perviene ad un $\eta_{ex} = 0,09$. Si può verificare facilmente che **un miglioramento dell'efficienza di primo principio incrementa ben poco l'efficienza exergetica**. Il valore più realistico per impianti a bassa temperatura vale 0,12.

2. COLLETTORI SOLARI

Utilizziamo collettori solari piani ad alta efficienza; ipotizziamo un rendimento di conversione medio annuo pari a 0,60 (collettori a tubi sottovuoto) sui collettori, trascurando le perdite di distribuzione.



Otteniamo un rendimento di primo principio:

$$\eta_I = \frac{0,6 * 1}{1} = 0,6$$

Il rendimento di secondo principio si determina ipotizzando una uscita media allo scambiatore pari a $50^\circ = 323K$. La potenza radiante in ingresso si assume pari ad 1 e si approssima al suo contenuto exergetico.

$$\eta_{ex} = \frac{0,6 * (1 - \frac{T_a}{T_{sc}})}{1} = 0,074$$

L'efficienza exergetica è metà di quella della caldaia, il vantaggio è che il sistema utilizza energia rinnovabile.

3. COLLETTORI SOLARI A CONCENTRAZIONE

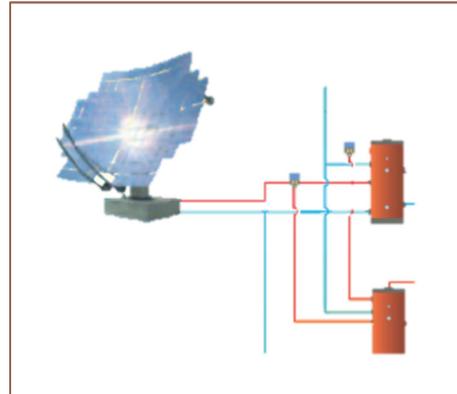
Utilizzando i dati di una società del settore, (www.ghibli.biz), che dedica una scheda tecnica al confronto del rendimento di conversione con i pannelli solari piani, ricaviamo (tenendo conto che questo tipo di collettore si presta per climi in cui prevale la componente diretta della radiazione) che il rendimento medio del collettore è 0,7.

Ipotizziamo di usare il sistema per produrre calore a temperatura di $80^\circ C$ per integrazione del riscaldamento.

$$\eta_{ex} = \frac{0,7 * (1 - \frac{T_a}{T_{sc}})}{1} = 0,14$$

Per migliorare tali risultati è necessario incrementare l'efficienza dei collettori e utilizzare il

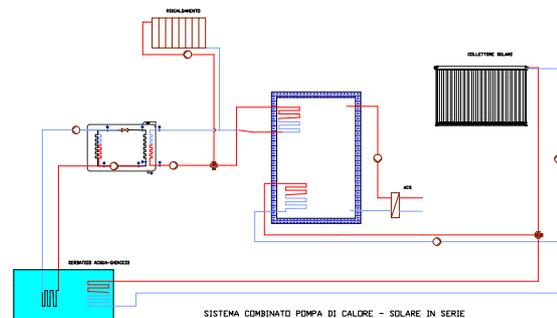
calore a più alta temperatura, con sistemi lineari



parabolici e simili. Solo aumentando la temperatura del calore prodotto a $150^\circ C$ si potrebbe ottenere un rendimento 0,20-0,25.

4. POMPA DI CALORE + SOLARE IN SERIE

Questo caso rientra negli schemi combinati di più recente proposta. Il circuito si differenzia in quanto la fonte di calore in ingresso alla pompa di calore è un serbatoio di acqua a bassa temperatura. Il campo collettori solari riscalda in parallelo tale dispositivo e il serbatoio che fornisce l'ACS.



Si fanno le seguenti ipotesi:

Potenza in ingresso al campo collettori = 1 kW;

T_m circuito di riscaldamento = $40^\circ C$;

rendimento medio di conversione allo scambiatore solare = 0,6 (tubi sottovuoto);

T_m all'ingresso dello scambiatore solare = $50^\circ C$

COP_m medio della PdC= 5.

In entrata all'evaporatore della PdC la potenza termica si assume pari a 0,6, la potenza elettrica richiesta dalla macchina è 0,15, la potenza termica in uscita al condensatore è 0,75.

Rendimento exergetico del circuito solare – PdC fino all'ingresso al circuito di riscaldamento:

$$\eta_{ex} = \frac{0,75 * (1 - \frac{283}{313})}{0,15 + 1 * (1 - \frac{283}{323})} = 0,26$$

Nell'ipotesi di fare lavorare il campo collettori solari a $T_m=30^\circ\text{C}=303\text{K}$:

$$\eta_{ex} = \frac{0,75 * (1 - \frac{283}{313})}{0,15 + 1 * (1 - \frac{283}{303})} = 0,33$$

Se si utilizza la fonte solare come “pre-riscaldatore” della sorgente della PdC, si possono conseguire efficienze di secondo principio interessanti.

5. COGENERATORE

Ipotizziamo di ragionare su una macchina di media taglia, con:

$$\eta_{el}=0,3;$$

$$\eta_{th}=0,4;$$

sempre nell'ipotesi che la potenza termica in ingresso dal combustibile sia pari a 1. Questi dati non sono i valori migliori ottenibili, ma quelli registrati in numerosi impianti pubblici italiani.

Il rendimento di primo principio vale 0,7; decisamente molto basso e confrontabile - sulla generazione - con quello degli impianti solari. Ma molto peggiore di quello dei moderni generatori semplici.

Se si ipotizza uno scambiatore con la rete di teleriscaldamento a $T_{sc}=150^\circ\text{C}$, si perviene ad un rendimento exergetico:

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{W} + \dot{Q} (1 - \frac{T_a}{T_{sc}})}{\dot{Q}_{comb}} = 0,41$$

Ci chiediamo se dal punto di vista metodologico il confine dell'impianto sia corretto, e non si debba invece ampliare alla rete stessa fino agli scambiatori di edificio, visto che il fine è la generazione di calore utile.

Se consideriamo rete e scambiatori con le reti di edificio, si ottiene:

$$\eta_I = \eta_{c.le} * \eta_{rete} = 0,59$$

Si osserva che il rendimento, è confrontabile con la generazione elettrica semplice dei gruppi combinati!

Rendimento exergetico:

$$\eta_{ex} = \frac{0,3 + 0,34 * (1 - \frac{300}{343})}{1} = 0,33$$

Il rendimento è abbastanza elevato. E' già noto come anche per la cogenerazione l'efficienza di secondo principio sia decisamente inferiore rispetto a quella di primo principio. Sicuramente si tratta delle macchine termodinamiche tra le più efficienti disponibili.

Considerazioni

Si è sempre affermato che per massimizzare l'efficienza exergetica, e quindi ambientale, si dovesse necessariamente passare per la cogenerazione, ossia dare priorità alla produzione elettrica ed in cascata al calore.

Il principio resta valido, ma il confronto evidenzia la necessità di revisione di strategie, soprattutto in Italia, infatti:

- 1) pompe di calore e cogeneratori si equivalgono, in quanto sistemi che partono dall'utilizzo di combustioni per produrre elettricità e in cascata generano calore. Le prime però hanno il grande vantaggio di decentrare le combustioni e di consentire l'utilizzo di fonti energetiche locali e rinnovabili. Esse riducono le emissioni locali. Le reti di teleriscaldamento, tra reti di edificio e rete comunale registrano sprechi enormi! Si deve prendere atto che è necessario ripartire dalla produzione

decentrata di piccola scala per prevenirli, rivedendo le politiche delle reti faraoniche realizzate in Italia in passato; infine il rendimento dei migliori cogeneratori è inferiore a quello nominale in quanto per parte dell'anno sono utilizzate caldaie semplici di integrazione che abbassano in misura rilevante il rendimento exergetico medio;

- 2) le moderne tecnologie di generazione del calore decentrate delle pompe di calore, associate con fonte solare, consentono sinergie a livello di edificio ma potenzialmente anche di rete cittadina, che possono garantire efficienze confrontabili con la via cogenerativa, senza introdurre combustori nei centri abitati;
- 3) le tecnologie decentrate esistenti consentono di utilizzare in percentuali rilevanti fonti rinnovabili, soprattutto se si lavora sulla riduzione dei consumi;
- 4) la tecnologia delle pompe di calore di piccola taglia è adatta per ora al riscaldamento a bassa temperatura, quindi la priorità deve essere quella del sostegno alle ristrutturazioni energetiche, alle coibentazioni, che possono dare risultati energetici e ambientali ben superiori a quelli ottenibili dal miglioramento dell'efficienza dei generatori.

20/11/2013

Massimo Cerani