

Facoltà di Ingegneria – Università degli Studi di Bologna

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Marco Gentilini

Sistemi di riscaldamento eolici.

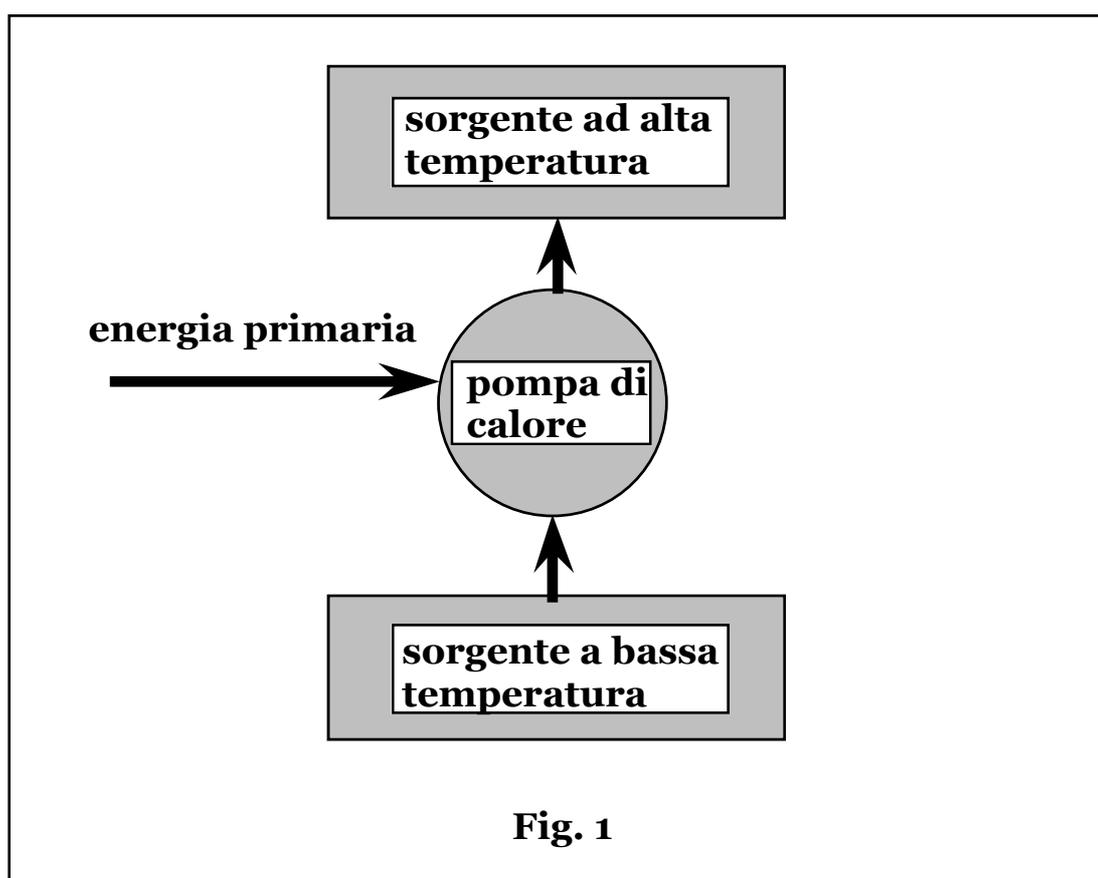
Quaderni del Dipartimento

MARCO GENTILINI

SISTEMI DI RISCALDAMENTO EOLICI

1 - INTRODUZIONE.

Gli impianti di riscaldamento tradizionali che impiegano combustibili fossili, risultano certamente i più semplici, affidabili e attualmente economici, presenti sul mercato.



Tuttavia richiedendo combustibili esauribili e non presenti in quantità significative nel paese, comportano le note perplessità di ordine ecologico, nonché oneri finanziari importanti, mentre le correlate emissioni di inquinanti e gas serra, particolarmente severe data l'ubicazione urbana degli utilizzatori, costituiscono una delle problematiche fondamentali per lo sviluppo delle società industriali.

Per questo è attualmente di crescente interesse l'orientamento verso fonti rinnovabili di energia.

L'impiego di energia solare per riscaldamento ambientale, costituisce certamente la più ovvia soluzione data la natura della fonte energetica e

tuttavia il modesto fattore di carico della sorgente solare e la difficoltà di immagazzinamento dell'energia termica a livello stagionale, ne limitano i vantaggi levitando i costi dell'energia stessa.

Inoltre la termodinamica mostra che qualunque utilizzo di energia raggianti, (o chimica, o nucleare), in forma di energia termica a bassa temperatura come richiesto dai sistemi di riscaldamento ambientale, costituisce un significativo degrado della potenzialità della fonte primaria, mentre assai più efficienti risultano i sistemi che non convertono energia primaria in energia termica, ma che impiegano l'energia primaria come effetto compensatore per il trasferimento di energia termica da sorgenti a bassa temperatura all'utilizzatore ad alta temperatura, (detti pertanto cicli a pompa di calore), ottenendo prestazioni nettamente superiori, (**Fig. 1**).

In tale ottica è pertanto possibile prevedere sistemi di riscaldamento misti a fonti rinnovabili e cicli a pompa di calore.

2- SISTEMI DI RISCALDAMENTO A ENERGIA EOLICA.

Un impianto di riscaldamento a energia eolica si compone di un aeromotore per la generazione di energia meccanica/elettrica e di un sistema di generazione termica a pompa di calore tradizionale, (a ciclo di vapore), o a gas, (a semplice compressione ed espansione di un gas, tipicamente aria).

3 - SISTEMA EOLICO A POMPA DI CALORE A VAPORE.

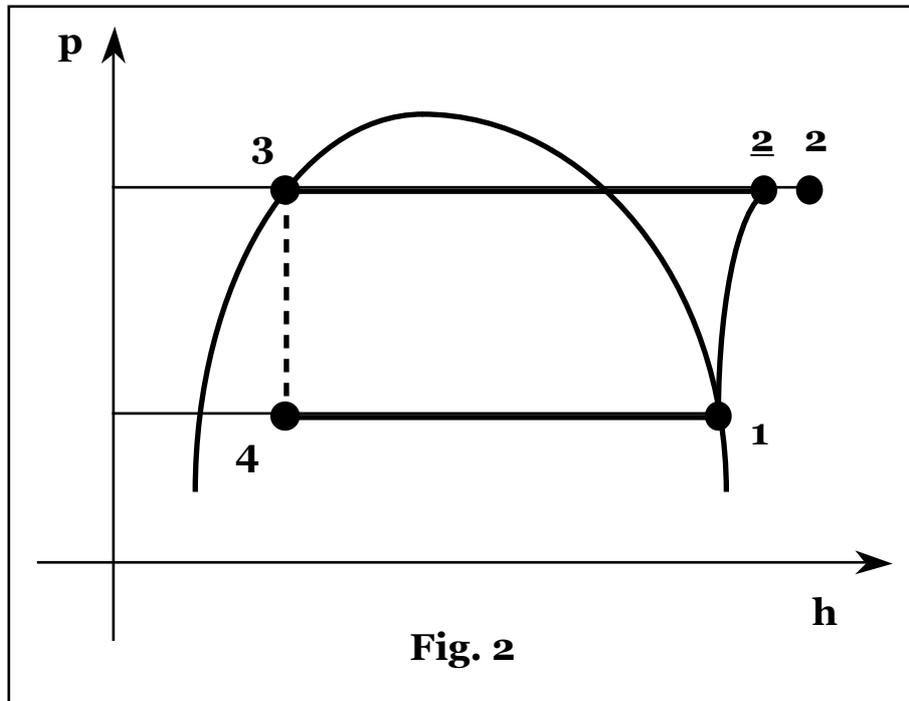
Un sistema a pompa di calore a vapore è costituito da un ciclo frigorifero inverso in cui, (**Fig. 2**), l'effetto utile risulta l'energia termica ceduta all'esterno: $(h_2 - h_3)$, per unità di massa di fluido, mentre la sottrazione di energia termica a bassa temperatura: $(h_1 - h_4)$, ne diviene il sottoprodotto e il relativo impianto è quindi in grado di trasferire potenza termica da una sorgente a bassa temperatura a una a temperatura maggiore insieme alla potenza meccanica fornita dalle macchine operatrici di compressione: $(h_2 - h_1)$.

Ne risulta un coefficiente di effetto utile, (COP_v), inteso come rapporto fra l'energia termica utilmente trasferita all'ambiente da riscaldare rispetto all'energia primaria utilizzata, pari a:

$$COP_v = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \eta_m \eta_e \eta_a = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \eta_i \eta_m \eta_e \eta_a,$$

essendo: η_m , η_m , η_e , η_a , i rendimenti rispetto all'isoentropica e meccanico di compressione, elettrico e relativo agli ausiliari,

rispettivamente, fortemente dipendente dalle temperature di utilizzo, ma comunque dell'ordine di $2,5 \div 3$, per tipiche condizioni di funzionamento e quindi dello stesso fattore superiore ai sistemi di conversione nei quali, pure in assenza di perdite, non può superarsi un coefficiente unitario, (conversione integrale di energia primaria in energia termica).



Dimensionamento del sistema.

Si consideri un modulo abitativo, (o industriale), di superficie di frontiera **S** e volume **V**, sito in una zona climatica di assegnato numero di gradi giorno, (**GG**), e per la quale si indichi con **FEN** il fabbisogno energetico normalizzato, (**J/GGV**), imposto dalla normativa legale sul riscaldamento degli edifici.

In un periodo annuo di riscaldamento il fabbisogno termico, (**Q_a**), risulta quindi pari a: **Q_a = FEN GG V**.

Supponendo che tale fabbisogno termico sia fornito da un sistema eolico-pompa di calore, essendo la potenza meccanica nominale, (**P_n**), dell'aeromotore: **P_n = 1/2 c_{pn}d_s(πD²/4) v_n³**, l'energia meccanica utile, (**E_n**), durante il periodo di riscaldamento, vale: **E_n = P_nuT**, avendo indicato rispettivamente con **u** e **T**, il fattore di carico

dell'aeromotore e il numero di unità di tempo a periodo di riscaldamento.

Per una pompa di calore di coefficiente di effetto utile pari a COP_v , si ottiene quindi un'energia termica utile pari a: $E_n COP_v h_d$, avendo indicato con h_d il rendimento rispetto alle dispersioni termiche dell'intero impianto.

Eguagliando il fabbisogno termico con l'energia termica sviluppata dal sistema, si ottiene: $E_n COP_v h_d = Q_a$, ovvero: $P_n u T COP_v h_d = FEN GG V$, da cui: $P_n = FEN GG V / (u T COP_v h_d)$, per una potenza termica istantanea pari a: $FEN GG V / (u T h_d)$.

Isolamento della struttura.

Supponendo un periodo sufficiente di funzionamento dell'aeromotore a potenza nominale, ($v \geq v_n$), tipicamente coincidente con i periodi più freddi, in modo da poter assumere i valori medi in grado di soddisfare le richieste dell'utenza, indicando con DT e R_t , il salto termico massimo di progetto e la resistenza termica media della struttura, deve risultare:

$$\frac{FEN GG V}{u T h_d} \geq \frac{S}{R_t} DT, \text{ da cui il valore dell'isolamento medio:}$$

$$R_t \geq \frac{S DT u T h_d}{FEN GG V}.$$

Costo dell'energia termica generata.

Il costo dell'intero sistema, (I_o), pari alla somma di quello relativo alla sezione eolica e di quello della pompa di calore, supponendo entrambi gli oneri proporzionali alla potenza meccanica o termica impiegata, risulta comunque proporzionale alla potenza eolica:

$$I_o = q_v P_n = q_v FEN GG V / (u T COP_v h_d).$$

Pensando l'energia termica come l'utile prodotto dal sistema, il relativo VAN , risulta quindi pari a: $VAN = Q_a c_q / t_{eq} - (1 + a / t_{em}) I_o$, ovvero:

$$VAN = \frac{FEN GG V c_q}{t_{eq}} - \left(1 + \frac{a}{t_{em}}\right) \frac{q_v FEN GG V}{u T COP_v h_d},$$

avendo indicato con c_q e t_{eq} , il costo specifico dell'energia termica e il relativo tasso di ammortamento effettivo e con a e t_{em} la frazione

annua di costo impianto per oneri di gestione e manutenzione del sistema e il relativo tasso di ammortamento effettivo.

Annullando il **VAN** in funzione del costo specifico dell'energia termica

generata, si ottiene: $c_q = \left(1 + \frac{a}{t_{em}}\right) \frac{q_v t_{eq}}{u T COP_v h_d}$.

Tale costo risulta naturalmente indipendente dalla quantità di energia prodotta, essendo sia gli utili che gli oneri lineari con detta quantità.

Per valori indicativi di mercato e di esercizio: $q_v = 1,50 \text{ €/W}$;

$a = 0,01 \text{ anni}^{-1}$; $t_{em} \sim t_{em} = 0,08 \text{ anni}^{-1}$, $u = 0,2$; $h_d = 0,9$;

$T = 15.811.200 \text{ s/anno}$, (6 mesi di riscaldamento legale),

$COP_v = 2,5$, si ottiene: $c_q = 1,8974 \cdot 10^{-8} \text{ €/J}$, cui corrisponde un costo specifico, (c_c a unità di massa o a Nm^3), di un combustibile equivalente, (avente potere calorifico k_i): $c_c = c_q k_i$.

In caso di metano, ($k_i = 8.500 \text{ kcal/Nm}^3$), si ottiene quindi un costo del combustibile equivalente pari a: $c_c = 0,675 \text{ €/Nm}^3$, mentre in caso di gasolio, ($k_i = 9.600 \text{ kcal/kg}$), si ottiene: $c_c = 0,7625 \text{ €/kg}$ e di carbone, ($k_i = 6.700 \text{ kcal/kg}$): $c_c = 0,5322 \text{ €/kg}$.

Pensando di utilizzare, nei mesi esclusi dal riscaldamento, la potenza termica generata per usi sanitari, detti valori possono ridursi anche di un fattore 2 rimanendo tuttavia superiori o comunque paragonabili a quelli di mercato per i diversi combustibili.

Si conclude pertanto che l'utilizzo di sistemi di riscaldamento a energie rinnovabili si traduce più in termini di vantaggi valutari e occupazionali, (oltre che ecologico-strategici), per il paese interessato, che non economici.

Dimensionamento della sezione eolica.

Posto indicativamente pari a $v_n = 10 \text{ m/s}$, il valore della velocità nominale di progetto e $c_{pn} = 0,3$, quello del coefficiente medio di potenza, si ottiene $P_n \sim 150 D^2$. da cui per valori medi, essendo:

$$P_n = 150 D^2 = FEN GG V / (u T COP_v h_d),$$

si ottiene una dimensione del rotore pari a: $D = 0,08 \sqrt{\frac{FEN GG V}{u T COP_v h_d}}$.

Per una villa a due piani di superficie in pianta dell'ordine di 100 m^2 e quindi di una disperdente dell'ordine di $S = 416 \text{ m}^2$ per un volume

riscaldato: $V = 540 \text{ m}^3$, (da cui: $S/V = 0,77 \text{ m}^{-1}$), per località del norditalia può assumersi:

$FEN = 82.425 \text{ J/GG V}$, ($c_g = 0,954 \text{ W/m}^3\text{K}$); $GG = 2.170$; GG ; $DT = 25 \text{ K}$ si ottiene:

$$P_n = FEN GG V / (u T COP_v h_d) = 13.612 \text{ W}$$

$$D = 0,08 \sqrt{\frac{FEN GG V}{u T COP_v h_d}} = 9,5 \text{ m}$$

$$I_o = q_v P_n = q_v FEN GG V / (u T COP_v h_d) = 20.418 \text{ €}$$

$$R_t \geq \frac{S DT u T h_d}{FEN GG V} = 0,3.$$

4 - SISTEMA EOLICO A POMPA DI CALORE A GAS.

Un sistema a pompa di calore a gas è costituito da un ciclo, (**Fig. 3**), di compressione ed espansione di gas, (aria), in cui a fronte di una spesa energetica specifica pari a: $c_p(T_1 - T_a) = c_p(T_1 - T_a)/h_i$, si rende disponibile un'energia termica utile, (a temperatura non inferiore a quella dell'ambiente da riscaldare, T_u): $c_p(T_1 - T_u)$, ovvero con coefficiente di effetto utile:

$$COP_g = \frac{c_p(T_1 - T_u)}{c_p(T_1 - T_a)} = \frac{T_1 - T_u}{T_1 - T_a} h_i h_m h_a h_e \text{ tendente all'unità solo per}$$

$$h_m h_a h_e$$

temperatura di utilizzo, (T_u), coincidente a quella dell'ambiente esterno, (T_a), e perdite nulle, ($h_i = h_m = h_a = h_e = 1$).

Valutazioni tecniche ed economiche del sistema eolico-pompa di calore a gas.

A parità di modulo da riscaldare e condizioni climatico-ambientali, i valori che si ottengono per tutte le grandezze relative al sistema a pompa di calore a gas differiscono da quelli relativi al sistema con pompa di calore a vapore, solo per il coefficiente di effetto utile della pompa di calore, (COP_g) e la costante di proporzionalità fra il costo impianto e la potenza installata, (q_g).

L'energia termica utile risulta quindi pari a: $P_n u T = E_n COP_g h_d = Q_a$, da cui: $P_n = FEN GG V / (u T COP_g h_d)$ e il costo di investimento:

$I_o = q_g P_n = q_v FEN GG V/(uT COP_g h_d)$, da cui il costo specifico dell'energia termica generata: $c_q = \left(1 + \frac{a}{t_{em}}\right) \frac{q_g t_{eq}}{uT COP_g h_d}$, nel quale a fronte di una riduzione della costante di proporzionalità fra costo impianto e potenza installata per sostituzione della pompa di calore con un semplice scambiatore di calore e una valvola di laminazione ed espulsione dell'aria compressa, ($q_g < q_v$), si ha una sensibile riduzione del coefficiente di effetto utile della pompa di calore, ($COP_g < COP_v$), con effetto globale certamente svantaggioso: $\frac{q_g}{COP_g} > \frac{q_v}{COP_v}$.

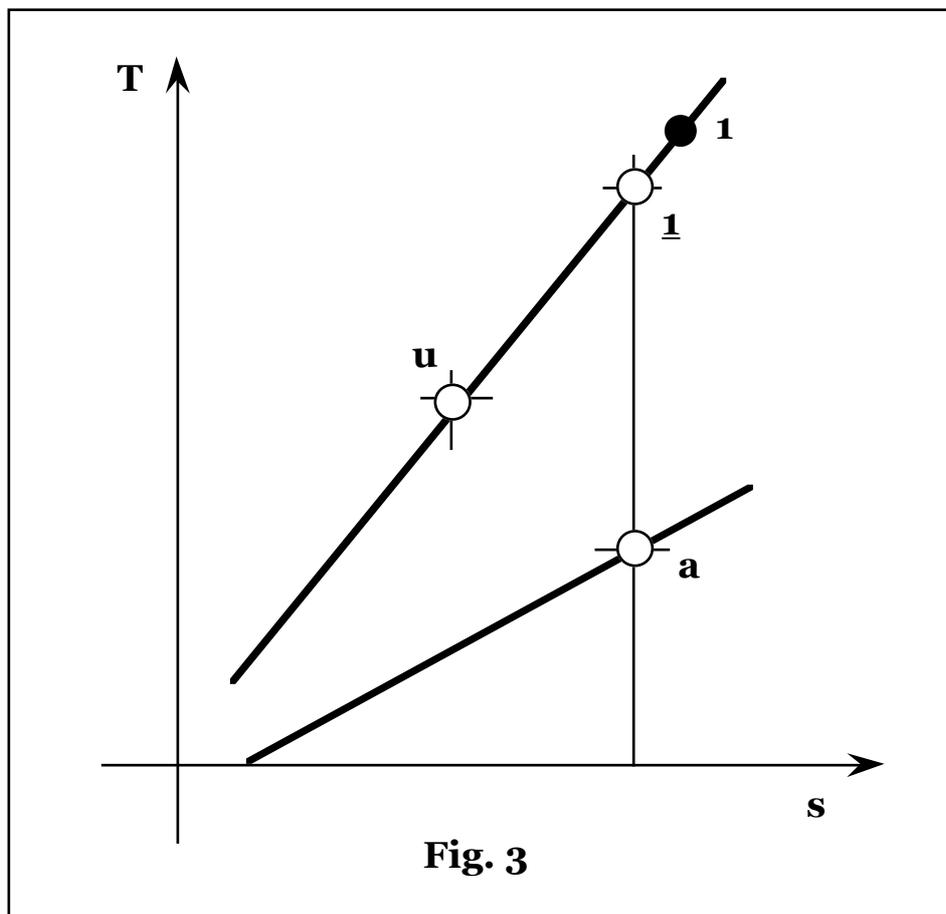


Fig. 3

Quantitativamente per valori indicativi: $q_g = 1,00 \text{ €/W}$ e $COP_g = 0,7$, i valori vengono aumentati del fattore: $\frac{q_g COP_v}{q_v COP_g}$, comunque superiore a 2, da cui la non convenienza economica alla scelta di pompe di calore a gas.
