

Riscaldamento locale o teleriscaldamento

di Renato Lazzarin e Marco Noro, Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali, Università di Padova – Sede di Vicenza

Per concessione di [Aicarr](#) (Associazione italiana condizionamento dell'aria, riscaldamento e refrigerazione), da "Le moderne tecnologie negli impianti e nei componenti per il riscaldamento", Padova 19 giugno, Bari 26 settembre, Catania 6 ottobre 2003.

Riassunto

Il teleriscaldamento si è ampiamente diffuso soprattutto nei paesi a clima più freddo e storicamente più attenti ai problemi ambientali (paesi del Nord Europa); anche in Italia comunque la tecnologia ha conosciuto un incremento notevole negli ultimi anni, anche in conseguenza delle leggi di incentivazione della cogenerazione (CIP 6/92).

Nelle valutazioni che si fanno del teleriscaldamento si dà per acquisita la sua superiorità rispetto ai sistemi tradizionali di riscaldamento, sia sotto l'aspetto del risparmio energetico che dal punto di vista ambientale, mentre si discute (quando se ne discute) solo della parte economica.

Tenuto conto degli importanti sviluppi intervenuti in questi anni sia sul fronte dei generatori di calore (bruciatori premiscelati e modulanti, caldaie a condensazione eccetera) che degli impianti di teleriscaldamento, vale la pena riprendere in considerazione l'intera questione realizzando un confronto complessivo che tenga conto di vantaggi e svantaggi di entrambe le possibili alternative (che fra l'altro vedono al loro interno un'ampia differenziazione).

1. Introduzione

L'analisi qui proposta intende valutare dal punto di vista energetico, ambientale ed economico alcune tecnologie di riscaldamento civile, partendo dall'utilizzazione di gas naturale come combustibile. Di queste alcune prevedono la trasformazione locale di energia chimica o elettrica in energia termica. Si considerano qui:

- le caldaie a condensazione
- le pompe di calore elettriche
- le pompe di calore a gas

Altre tecnologie prevedono la trasformazione in cogenerazione a livello centralizzato con teleriscaldamento. Fra queste vengono considerate:

- gli impianti a vapore
- i motori alternativi a combustione interna
- i turbogas
- i cicli combinati

I valori caratteristici di rendimento di questi impianti sono elencati in Tabella I: come si vede, l'intervallo di variazione è ampio e richiederà quindi uno studio parametrico.

Va subito osservato che per alcuni di questi impianti (tutti quelli che hanno a che fare con il vapore)

l'aumento della quota termica implica una riduzione del rendimento elettrico e viceversa.

Con gli impianti cogenerativi si pone sempre il problema di come valutare in modo appropriato le due quote di energia ottenuta dalla trasformazione: l'elettrica e la termica.

La metodologia adottata dalla presente analisi considera anzitutto il rendimento elettrico della migliore tecnologia oggi disponibile in sola produzione elettrica, partendo da gas naturale: si tratta del ciclo combinato con un rendimento elettrico che si può stabilire attorno al 55 per cento.

Ogni tecnologia cogenerativa ha rendimenti elettrici più bassi di questo: per produrre la stessa quantità di energia elettrica del sistema considerato essa richiede quindi una maggiore quantità di gas naturale, a fronte della quale vi sarà disponibile una certa quantità di energia termica. Il costo in gas naturale per produrre tale quantità è proprio la differenza nel consumo di gas fra i due sistemi.

Un'esemplificazione permette di chiarire il ragionamento.

Produrre 100 MJ_{el} con un ciclo combinato il cui rendimento sia del 55 per cento richiede $100/0,55=182$ MJ_c di energia chimica del gas. La stessa energia elettrica prodotta in cogenerazione con un rendimento, ad esempio, del 40 per cento richiede invece $100/0,40=250$ MJ_c di energia chimica. È la differenza fra 250 e 182, cioè 68 MJ_c, che va imputata alla produzione in cogenerazione dell'energia termica, prodotta orientativamente nel caso in esame in 100 MJ_t

	E _{el}	E _t	E _t = E _{el} + E _t
Motori a combustione interna	25-40	30-45	70-85
Turbogas	20-38	35-50	70-85
Turbine a vapore	10-35	60-75	75-90
Cicli combinati	35-55	10-45	60-85
tabella I Valori caratteristici dei rendimenti elettrici, termici e totali (di I° principio) per le tecnologie analizzate (valori espressi in percentuale) [10]			

2. Ipotesi considerate

Per la sua correttezza l'analisi richiede alcuni dettagli.

- Il rendimento del ciclo combinato di riferimento è pari al 55 per cento, valore di riferimento per impianti di sola produzione elettrica a ciclo combinato a gas naturale della taglia di circa 400 MW_{el} [2]

- Sia per la centrale di riferimento di sola produzione elettrica che per quelle di cogenerazione si sono tenute in considerazione le cosiddette "perdite di centrale", dovute ad autoconsumi e perdite nei trasformatori (poste al 5 per cento). Occorre inoltre considerare che la grande centrale di pura produzione elettrica soffre in più delle perdite di distribuzione dell'energia, quantificabili con un rendimento di distribuzione del 95,5 per cento (vedi nota 1), mentre la cogenerazione deve tener conto dei consumi di energia elettrica per le pompe di spinta della rete di teleriscaldamento (generalmente intorno all'1 per cento dell'energia elettrica prodotta).

- Il teleriscaldamento soffre inoltre delle perdite di calore lungo le reti di distribuzione: queste sono ovviamente funzione delle temperature di mandata e ritorno e dell'estensione della rete; in questa analisi si è fissato un valore pari all'11 per cento dell'energia termica prodotta dalla centrale, valore registrato in Italia nel 2000 (486 GWht di perdite su una produzione lorda di 4340 GWht) [15].

Occorre precisare inoltre che nelle centrali di teleriscaldamento, proprio a causa della peculiarità

dell'utenza termica servita (tipicamente riscaldamento ambientale residenziale o del terziario), la curva di carico è fortemente variabile nel tempo (sia stagionalmente, sia, a meno di utenze particolari come gli ospedali, nell'arco della giornata); ciò obbliga a prevedere caldaie integrative per coprire le punte dei fabbisogni, la cui produzione è tutt'altro che trascurabile: in Italia nel 2000 l'energia termica prodotta con caldaie è stata circa il 22 per cento dell'energia totale immessa in rete [15]. Ciò induce un abbassamento dell'efficienza globale della centrale di teleriscaldamento (ed una ancor maggiore diminuzione dell'efficienza exergetica).

Nell'analisi si è fissata una produzione da caldaie integrative pari al 25 per cento dell'energia termica prodotta in cogenerazione, con un rendimento stagionale delle stesse dell'80 per cento (di solito si tratta di caldaie non ad elevato rendimento stagionale).

Come noto, il rendimento stagionale di una caldaia è un indice che meglio esprime l'efficienza nel tempo degli impianti rispetto al rendimento utile (o rendimento istantaneo), determinato quest'ultimo dalle perdite a bruciatore acceso. Infatti, il rendimento stagionale delle caldaie è pari al prodotto tra quello utile e quello di preparazione (o di regolazione) [16].

Il rendimento di preparazione tiene conto delle perdite a vuoto (o di stand-by) (vedi nota 2), essendo definito come il rapporto tra le ore in cui il bruciatore è acceso per fornire calore utile e le ore totali di accensione.

Con svariate tecniche si sono ottenute negli ultimi anni caldaie ad elevato rendimento stagionale [9]. Le caldaie a condensazione, oltre a questo, consentono di aumentare ulteriormente il rendimento utile (di circa il 10 per cento) attraverso il recupero di calore sensibile e latente dei fumi. Le ipotesi dell'analisi sono le seguenti:

- Per le caldaie tradizionali di integrazione, quindi non ad elevato rendimento medio stagionale, una perdita per irraggiamento del 3 per cento e perdite ai fumi del 5 per cento, cifre che possono dare un rendimento di regolazione dell'87 per cento [16]; si ottiene un rendimento medio stagionale pari a $(1 - (0,03 + 0,05)) \cdot 0,87 = 0,8$;
- Per la caldaia a condensazione si è ipotizzata una perdita per irraggiamento dell'1 per cento ed ai fumi del 2 per cento, con un rendimento di regolazione del 96 per cento (rendimento medio stagionale pari a $(1,1 - (0,01 + 0,02)) \cdot 0,96 = 1,03$) (vedi nota 3).

Nel caso delle pompe di calore invece occorre precisare che:

- L'indice che definisce l'efficienza delle macchine è il Coefficiente di effetto utile (COP, Coefficient of performance); esso è definito come il rapporto fra la totale potenza termica utile (non solo quindi quella ceduta nel condensatore dal fluido frigorifero, ma anche quella che è possibile recuperare dal raffreddamento del motore) e la totale potenza consumata (comprendente quella elettrica o del combustibile assorbita dal motore primo che trascina il compressore, ma anche quella consumata dagli ausiliari della macchina, come apparecchiature di controllo e regolazione, ventilatori o pompe per l'afflusso della sorgente termica al primario).
- Il COP è però un indice di efficienza istantanea relativo a stati di funzionamento a regime e non tiene conto dei consumi d'energia nei periodi di stand-by (o degli eventuali sbrinamenti dell'evaporatore) e delle inefficienze che si verificano nei transitori, ad esempio durante le accensioni. Infatti, durante le soste, alcuni ausiliari delle pompe di calore (riscaldamento dell'olio nel carter del compressore, circuiti di regolazione e controllo) sono accesi, consumando energia elettrica. Inoltre, al momento dell'accensione ci sono delle inefficienze dovute al non istantaneo funzionamento a regime delle pompe di calore. Inoltre il COP varia a seconda delle condizioni operative in cui le macchine si trovano a funzionare (temperature di condensazione ed evaporazione, umidità dell'aria alla batteria evaporante nelle pompe di calore aria-acqua o aria-aria).

Per tali motivi diventa utile definire il Coefficiente di prestazione stagionale (Spf, Seasonal performance factor), che rappresenta l'efficienza energetica reale di funzionamento durante un'intera stagione di riscaldamento. Tale indice può essere definito come il rapporto fra l'energia termica complessivamente fornita all'impianto di climatizzazione e la totale energia consumata dal sistema, sotto forma di elettricità, gas o entrambi.

Per quanto riguarda la pompa di calore elettrica si è assunto un valore di Spf pari a 3, valore medio tipico di macchine aria-acqua per una temperatura esterna di 5°C [3].

Nel caso di pompe di calore con motore endotermico a gas, occorre ricordare la possibilità di recupero termico dal raffreddamento del motore (olio lubrificante ed acqua di raffreddamento delle camicie dei cilindri) e dal raffreddamento dei fumi. Nell'ipotesi che il motore, supposto con rendimento meccanico pari a 0,3 [3, 14], trascini una pompa di calore con caratteristiche termodinamiche simili a quelle prima considerate e che il calore recuperato utilmente dal motore sia l'80 per cento di quello rigettato, ne deriva uno Spf che possiamo fissare nei tre valori 1,27, 1,42 e 1,56, corrispondenti a Cop della macchina pari rispettivamente a 2,5, 3 e 3,5 (vedi nota 4).

Anche per la pompa di calore si deve tener conto che non viene dimensionata sul carico massimo e che quindi una quota che si può stimare attorno al 25 per cento del fabbisogno viene soddisfatta con una caldaia ausiliaria, per la quale si può ipotizzare un alto rendimento stagionale attorno al 90 per cento.

L'indice che però effettivamente rende conto dell'efficienza stagionale di riscaldamento delle pompe di calore è il Per (Primary energy ratio, energia termica utile prodotta con l'unità di energia del combustibile): per le macchine elettriche esso è dato semplicemente dal prodotto tra Spf e rendimenti di generazione e distribuzione dell'energia elettrica (rispettivamente 55 per cento e 95,5 per cento, come scritto in precedenza); per le macchine a gas basta tener conto di tali rendimenti nel convertire l'energia elettrica consumata dagli ausiliari in energia del combustibile. Nelle ipotesi poste i valori risultanti sono rispettivamente 1,58 per la macchina elettrica, 1,24, 1,38 e 1,52 per la pompa di calore a gas (vedi nota 5).

3. Analisi energetica

L'analisi comparativa è stata parametrizzata sul rendimento elettrico del sistema cogenerativo. Per ogni rendimento elettrico si è valutata la quota termica, fissando un rendimento di primo principio fra l'80 e il 90 per cento a seconda della tecnologia (più alto per i sistemi a vapore, più basso per i turbogas). I costi energetici dei sistemi cogenerativi tengono conto altresì delle perdite di distribuzione, degli ausiliari e dell'intervento per la frazione prima precisata di caldaie integrative. Le linee orizzontali in figura 1 identificano la posizione di caldaie a condensazione e di pompe di calore elettriche; le pompe di calore a gas sono indicate con una banda grigia per comprendere i tre diversi valori di COP considerati. Il punto di incontro delle 4 tecnologie con le orizzontali indica il rendimento elettrico di quella tecnologia cogenerativa al di sotto del quale essa non risulta conveniente dal punto di vista energetico.

I valori che derivano dal confronto con la caldaia a condensazione sono:

- 24 per cento per impianti a vapore
- 32 per cento per motori alternativi a combustione interna
- 39 per cento per turbogas

La cogenerazione con ciclo combinato è sempre più conveniente dal punto di vista energetico rispetto alla caldaia a condensazione. Per quanto riguarda invece le pompe di calore, l'unica tecnologia cogenerativa che può entrare in concorrenza è quella del ciclo combinato in cogenerazione con un rendimento elettrico attorno al 45 per cento. Il teleriscaldamento con motori endotermici può

risultare conveniente solo con Cop della pompa di calore inferiori a 2,5 , situazione difficilmente realizzabile con le moderne macchine.

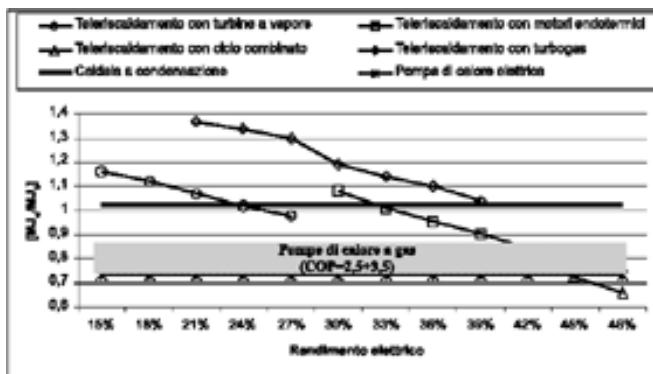


figura 1 - Andamento del rapporto energia consumata / energia termica prodotta (al netto delle perdite di rete di distribuzione del calore e delle perdite di centrale) al variare del rendimento elettrico in cogenerazione delle diverse tecnologie analizzate.

Il valore del 24 per cento richiesto agli impianti a vapore può risultare fuorviante per chi abbia in mente i rendimenti superiori al 40 per cento delle grandi centrali termoelettriche. In realtà, nel momento in cui viene recuperato il calore di condensazione a pressione superiore a quella atmosferica, il rendimento è generalmente inferiore al 25 per cento e si colloca quasi sempre al di sotto del 20 per cento. La conclusione di questa prima analisi di tipo energetico è che se non si riesce a superare i rendimenti limite indicati, è preferibile realizzare impianti in generazione elettrica pura a ciclo combinato, privilegiando l'elevato rendimento elettrico e producendo il calore localmente con caldaie a condensazione.

La pompa di calore dal punto di vista energetico è la soluzione preferibile per produrre calore, affiancandola ad impianti termoelettrici a ciclo combinato non cogenerativi. Per quel che riguarda in particolare le pompe di calore elettriche, risulta interessante anche la figura 2, in cui si evidenzia l'andamento del COP_{lim} in funzione del rendimento elettrico in cogenerazione delle diverse tecnologie di teleriscaldamento.

Il grafico risponde alla domanda: qual è il valore minimo di Cop per una pompa di calore elettrica per cui risulta conveniente scaldarsi mediante il surplus di energia elettrica prodotta da una centrale a ciclo combinato rispetto al calore fornito da una centrale di teleriscaldamento?

In formule:

	1+ (consumi ausiliari)
$(E_{el, cc} - E_{el, teler}) Spf_{lim} = E_{t, teler} >> Cop_{lim} Spf_{lim} .$	_____
	rendimento motore elettrico

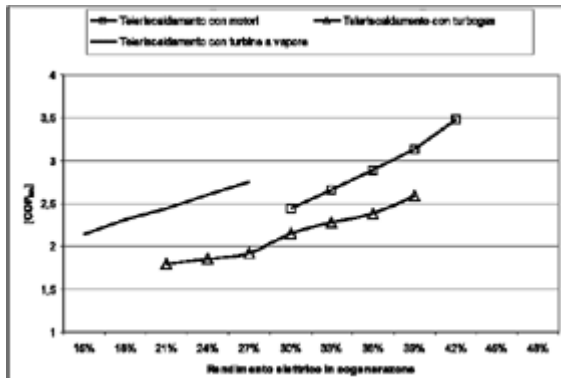


figura 2 - Andamento del Cop_{lim} della pompa di calore elettrica che rende uguali la produzione di energia termica ottenuta dalla particolare tecnologia di teleriscaldamento considerata e quella ottenuta dal surplus di energia elettrica prodotta da una centrale a ciclo combinato a pura produzione elettrica rispetto alla produzione elettrica in cogenerazione. In fondino grigio i range di Cop delle macchine aria/acqua oggi in commercio.

Se si tiene conto dei valori usuali delle macchine elettriche aria/acqua oggi in commercio (Cop variabili fra 2,5 e 3,6 in condizioni nominali, a seconda della taglia e del tipo di refrigerante adottato), se ne evince che, con l'esclusione dei cicli combinati, per cui risulterebbero Cop_{lim} maggiori di 4 (la corrispondente curva non è disegnata in figura 2), la cogenerazione accoppiata al teleriscaldamento non risulta conveniente rispetto alla pompa di calore elettrica: le turbine a gas e quelle a vapore sono quasi sempre penalizzate, mentre gli impianti a motori endotermici risultano competitivi solo nel caso di grandi taglie e logiche di programmazione che ne favoriscono il funzionamento a pieno carico (quindi con rendimenti elettrici elevati).

4. Analisi ambientale

L'analisi delle emissioni inquinanti dei vari sistemi viene condotta sulla base dei valori ottenibili, riportati nella letteratura tecnica per i vari sistemi.

Le sostanze inquinanti prese in considerazione sono l'ossido di carbonio (CO) e gli ossidi di azoto (NOx). Per semplicità tutti i dati sono stati riportati ad un'unica unità di misura, vale a dire mg/kWh_{termico} prodotto, ovvero in mg/MJ_t (Tabella II): ciò consente di evitare precisazioni e confusione di riferimenti a massa di emissione inquinante per unità di volume di fumi che richiede poi di precisare non solo in maniera ovvia temperatura e pressione di questi, ma anche un eguale eccesso d'aria di riferimento.

La Tabella II fornisce il campo di emissioni inquinanti che si incontra per i vari sistemi. Mentre non vi sono problemi interpretativi per i valori relativi alle caldaie e alle pompe di calore a gas, si deve precisare che per i sistemi cogenerativi viene imputata alla parte termica la frazione dell'emissione inquinante complessiva pari alla quota termica sull'energia utile totale. Per quanto riguarda il ciclo combinato in produzione elettrica pura, il valore dell'emissione inquinante per unità di energia elettrica prodotta serve a quantificare le emissioni inquinanti per le pompe di calore elettriche.

Il confronto mostra l'attuale grande superiorità dell'ultima generazione di caldaie a condensazione con bruciatore a microfiamme e premiscelazione totale, sia nei confronti della CO che degli NOx. Per le caratteristiche sfavorevoli dei motori a c.i., risultano molto penalizzanti sotto il profilo dell'inquinamento ambientale sia il teleriscaldamento con motori alternativi che con turbogas che le pompe di calore a

motore. Perché questi sistemi possano avvicinare il comportamento positivo delle nuove caldaie a condensazione, risulta indispensabile un adatto trattamento dei fumi dopo la combustione con catalizzatore ossidante per la CO ed eventualmente riduttore per gli NOx: in ogni caso non si riesce a raggiungere i valori ormai ridottissimi consentiti dalle nuove tecnologie di combustione negli apparecchi di piccola capacità.

	CO mg/kWh _t (mg/MJ _t)n Valori tipici di emissione		NO _x mg/KWh _t (mg/MJ _t) Valori tipici di emissione	
	da	a	da	a
Teleriscaldamento con turbine a vapore	68 (19)	136 (38)	161(45)	560 (156)
limite	168(47)		367 (102)	
Teleriscaldamento con motori endotermici	872 (242)	1849 (514)	1171 (325)	2330 (647)
limite	297 (83)		731 (203)	
Teleriscaldamento con ciclo combinato	118 (33)	350 (97)	405 (112)	986 (274)
limite	79 (22)		105 (29)	
Teleriscaldamento con turbogas	54 (15)	158 (44)	195 (54)	461 (128)
limite	195 (54)		260 (72)	
Caldaia a condensazione	7 (2)	21 (6)	11 (3)	34 (10)

limite	101 (28)		178 (50)	
Pompa di calore elettrica	280 (8)	68 (19)	170 (47)	308 (86)
Pompa di calore a gas	537 (149)	669 (186)	416 (116)	589 (164)
limite	285 (79)		702 (195)	

tabella II Confronto fra le principali emissioni inquinanti delle tecnologie esaminate. I valori specifici (espressi in mg/MJt e nella più pratica unità mg/kWh_t) si sono ricavati dai dati reperiti in letteratura [5, 8, 11, 12, 16, 17], trasformandoli prima in valori riferiti a 0 per cento O₂ nei fumi, moltiplicandoli poi per le rispettive quantità di combustibile consumato e dividendo quindi il risultato per la quantità di energia termica netta totale prodotta per ogni caso (tali dati si sono ricavati dall'analisi energetica). Vengono riportati anche i valori massimi consentiti dalla normativa attuale, espressi nelle stesse unità di misura (per quel che riguarda il teleriscaldamento ci si è riferiti al Parere della III Sezione del Consiglio Superiore della Sanità 22/01/97 (come pure per la pompa di calore a gas, anche se per questa non esiste una normativa specifica); per le caldaie a condensazione invece ci si è riferiti a quanto trovato in [sito internet www.blauer-engel.de], valori non imposti per legge ma obbligatori per ottenere il marchio "Angelo blu").

Si aggiunga inoltre la considerazione che le centrali di teleriscaldamento sono ormai assorbite all'interno dei nuclei urbani (un po' a causa dell'espansione di questi ultimi, un po' per la necessità di dover avere l'utenza termica vicino al luogo di produzione dell'energia), per cui la produzione di inquinanti va ad aggiungersi al già grave problema delle emissioni degli scarichi degli autoveicoli nelle centri abitati.

5. Analisi economica

È stata condotta anche un'analisi economica sulle alternative considerate, con riferimento al riscaldamento di un edificio ad uso scolastico ed uffici. Le ipotesi sono riassunte nella Tabella III.

	Teleriscaldamento o con motori endotermici	Teleriscaldamento o con cicli combinati	Teleriscaldamento o con turbogas	Caldaia a condensazione	Pompa di calore a gas	Pompa di calore elettrica
Potenza installata	4.66 MW _{el}	31 MW _{el}	21.2 MW _{el}	760 kW _t	380 kW _t (285 kW _t caldaia int.)	140 kW _{el} (285 kW _t caldaia int.)
Costo di investimento macchina o centrale	650 €kW _{el}	1250 €kW _{el}	850 €kW _{el}	75 €kW _t	250 €kW _t (50 €kW _t caldaia int.)	500 €kW _{el} (50 €kW _t caldaia int.)

Costo di invest. linea distrib. calore	550.000 €/km	550.000 €/km	550.000 €/km	-	-	-
Costo del combust. (incl. imposte e defiscal.)	0.25 €/Nm ³ (0.5) €/Nm ³	0.25 €/Nm ³ (0.5) €/Nm ³	0.25 €/Nm ³ (0.5) €/Nm ³	0.5 €/Nm ³	0.5 €/Nm ³	0.5 €/Nm ³
Costo manutenzione ordinaria	0.01033 €/kWh _{el}	0.8 % del costo di investimento della centrale	0.8 % del costo di investimento della centrale	3.5 €/(kW _t anno)	5 €/(kW _t anno)	10 €/(kWh _{el}) anno
Costo del personale	37.000 € (pers. anno)	37.000 € (pers. anno)	37.000 € (pers. anno)	-	-	-
tabella III Dati relativi all'analisi economica di confronto fra le alternative						

Alcuni chiarimenti sono però necessari:

- Le potenze installate servono per il calcolo del costo d'investimento delle macchine per il riscaldamento. Esse sono state ricavate dall'analisi svolta in [6], che riporta anche il fabbisogno per la stagione di riscaldamento dell'edificio, pari a 1432 GJt.
- Il costo d'investimento delle macchine è stato ricavato dall'analisi di alcune offerte di fornitori, mentre quelli delle centrali di teleriscaldamento dai dati forniti da alcuni costruttori. Le taglie delle centrali prese a riferimento per il calcolo del costo d'investimento sono di 4,66 MW_{el} per quella a motori endotermici (centrale di teleriscaldamento AIM di Vicenza), 31 MW_{el} per quella a ciclo combinato e 21,2 MW_{el} per il turbogas (centrale AGSM di Borgo Trento, Verona). Le linee di distribuzione del calore prese a riferimento sono di lunghezza pari a 20 km per il ciclo combinato ed il turbogas e 12 km per i motori endotermici.
- I costi della manutenzione ordinaria e del personale sono voci che incidono sul costo dell'unità di energia termica prodotta dalle centrali di teleriscaldamento. I dati riportati sono stati desunti da colloqui telefonici con alcuni responsabili di centrale e dall'esperienza diretta di chi scrive. In particolare si è supposto un organico di 12 persone con tre turni di lavoro di otto ore, con contemporanea presenza di almeno due operatori.
- Il costo del combustibile è una delle voci principali ed è fortemente variabile per i diversi sistemi non tanto a seconda della zona geografica e del fornitore, quanto del carico fiscale del tutto diverso per la cogenerazione rispetto ai sistemi di riscaldamento locale. Dal momento che la scelta di privilegiare dal punto di vista fiscale i sistemi cogenerativi viene giustificata con la maggiore efficienza energetica e il minore impatto ambientale di questi, nella presente analisi, che ha mostrato in molti casi l'equivalenza quando non la superiorità dei sistemi di riscaldamento locale, sembra giusto effettuare il confronto economico sia in presenza che in assenza di oneri fiscali. Quindi l'analisi verrà condotta sia con i prezzi di mercato dei combustibili che con un costo eguale del gas naturale per tutti i sistemi considerati.

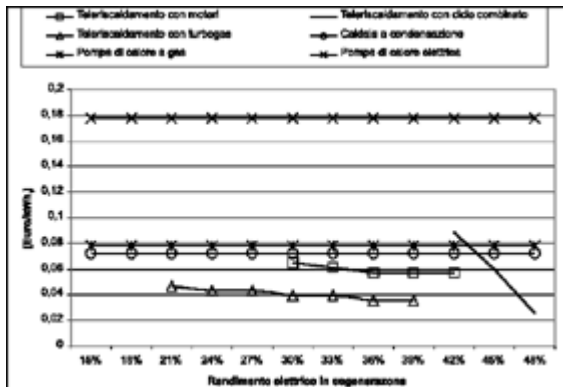


figura 3 - Costo del kWh di riscaldamento per le diverse tecnologie a confronto (analisi effettuata a prezzi di mercato del combustibile). I valori sono stati calcolati sommando le voci di costo di tabella III, spalmandole su una vita utile degli impianti di 15 anni con un tasso di attualizzazione del 5 per cento; in particolare, la spesa per il combustibile per le tecnologie di riscaldamento è stata calcolata sulla base del Per delle stesse, mentre quella per il teleriscaldamento sulla base dei dati di produzione elettrica e termica delle centrali prese a riferimento ([12] [1]) e dei risultati prima descritti in figura 1. Per la pompa di calore a gas si è ipotizzato un Cop medio, pari a 3. Le curve vengono riportate in funzione del rendimento elettrico in cogenerazione delle diverse tecnologie di teleriscaldamento; viene riportata, in fondo grigio, la fascia di prezzo di vendita del kWh di una delle aziende del nord Italia che gestisce una centrale di teleriscaldamento

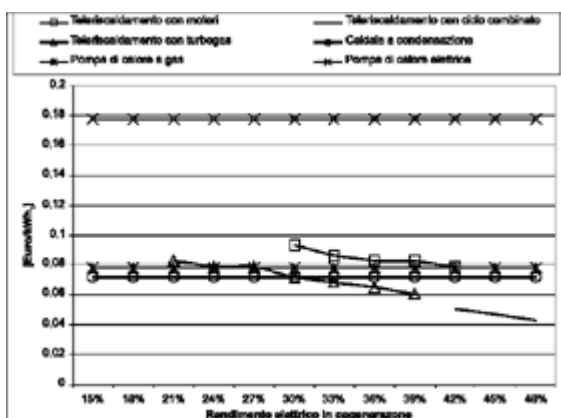


figura 4 - Idem come per la figura 3, con il costo del gas naturale per il teleriscaldamento parificato a quello del riscaldamento locale (0,5 e/Nm³)

Le figure 3 e 4 riportano i risultati ottenuti circa il costo di produzione dell'unità di energia termica. La figura 3 considera i prezzi di mercato del gas naturale al lordo degli oneri fiscali, mentre la figura 4 riporta tutte le tecnologie ad uno stesso prezzo (quello del privato).

Le soluzioni economicamente più convenienti risultano le tecnologie che sfruttano le turbine a gas, in

particolare i cicli combinati. Il teleriscaldamento con motori endotermici risulta conveniente, rispetto alle caldaie a condensazione e le pompe di calore a gas, solamente in forza dei vantaggi fiscali di cui gode il gas naturale consumato nelle centrali di teleriscaldamento (in particolare, diminuzione del 30 per cento dell'accisa per una definita quantità di gas per ogni kWhel prodotto - **vedi nota 7**), come si evince dal confronto delle due figure. Occorre inoltre precisare come le stime sui costi d'investimento delle centrali di teleriscaldamento siano probabilmente in difetto, lasciando quindi ulteriori margini di vantaggio, anche sotto l'aspetto economico, alle tecnologie di riscaldamento locale rispetto al teleriscaldamento.

Il prezzo di vendita del kWhel da parte delle società che gestiscono il teleriscaldamento, variabile a seconda del tipo di utenza servita da valori di circa 0,05 €/kWhel (usi alberghieri ed assimilabili) a 0,1 €/kWhel (usi civili), risulta in piena concorrenza con quello delle caldaie a condensazione e delle pompe di calore a gas e nei confronti degli usi civili la caldaia a condensazione risulta più conveniente anche al lordo degli oneri fiscali rispetto all'acquisto di energia termica dal teleriscaldamento.

La pompa di calore elettrica invece probabilmente paga l'elevato costo dell'energia elettrica (che in Italia è il più elevato d'Europa) ed anche il fatto di non sfruttare appieno il costo fisso del corrispettivo di potenza: un uso anche estivo della macchina permetterebbe sicuramente un recupero in termini di costo della climatizzazione rispetto alle tecnologie più convenienti.

6. Conclusioni

L'analisi svolta ha messo in evidenza che il **teleriscaldamento**, pur consentendo indubbi vantaggi dal punto di vista energetico rispetto alla generazione separata di pari quantità di energia termica ed elettrica, risulta spesso meno efficiente rispetto alle moderne tecnologie per il riscaldamento ambientale; le **caldaie a condensazione** garantiscono efficienze energetiche maggiori rispetto al teleriscaldamento "tradizionale" (turbine a vapore ed a gas), mentre le **pompe di calore** sono superate in efficienza energetica solo da cicli combinati di ultima generazione.

Il **confronto sulle emissioni inquinanti** è forse ancora più sorprendente, dal momento che, grazie ai numerosi miglioramenti tecnologici che le caldaie hanno avuto negli ultimi anni di sviluppo (bruciatori low-NOx, modulanti, premiscelati), il loro impiego produce un impatto ambientale decisamente minore delle tecnologie di teleriscaldamento (cicli combinati compresi). Per superare questo importante *gap* le centrali di cogenerazione dovrebbero (o dovranno) provvedersi di sistemi di abbattimento degli inquinanti assai più efficaci degli attuali prima dello scarico dei fumi.

I vantaggi delle moderne tecnologie di riscaldamento locale non si evidenziano nell'analisi economica, essenzialmente a causa di scelte fiscali che incentivano fortemente il teleriscaldamento. Come si vede dalle argomentazioni qui presentate, discutibili quanto si vuole, è questa una materia appunto da ridiscutere. **Non si**

può più affermare, come fino a qualche anno fa, **che il teleriscaldamento è sempre e comunque preferibile**: lo è certamente quando si tratti di impianti di termodistruzione. Ma quando si ricorra al gas naturale, la sua superiorità si manifesta solo a patto che si faccia ricorso alle tecnologie più efficienti.

Note

1. Pari al valore del parametro p come definito in [2]. Facciamo l'ipotesi di non imputare tali perdite alla centrale cogenerativa di teleriscaldamento, perché generalmente esse sono ubicate nelle vicinanze dei centri urbani e connesse con la rete locale di distribuzione dell'energia elettrica.
2. Le perdite a bruciatore acceso comprendono quelle per irraggiamento del mantello della caldaia e quelle sensibili e latenti ai fumi; le perdite a vuoto comprendono comunque quelle per irraggiamento e quelle per raffreddamento interno della camera di combustione a causa del tiraggio del camino, che progressivamente si raffredda asportando calore dalla caldaia. Ecco allora che, per mantenerla in temperatura, il bruciatore in alcuni momenti deve funzionare a vuoto, cioè senza cedere calore utile all'impianto di riscaldamento.
3. Ci riferiamo qui al potere calorifico inferiore (H_i) del gas naturale, per cui il rendimento massimo che si può ottenere nella combustione è di circa 1,1.
4. Per le ipotesi complete che consentono il calcolo dei Spf della pompa di calore a gas si veda l'analisi svolta in [3].
5. Nel calcolo del PER dal Spf si è supposto un rendimento di generazione dell'energia elettrica utilizzata dalle pompe di calore pari al 55 per cento.
6. Tipicamente: temperatura dell'aria all'ingresso dell'evaporatore pari a 7°C, temperatura dell'acqua al condensatore (in/out) 40/45°C
7. Si tratta del Consumo Specifico, definito dalla Delibera 16/98 dell'Autorità e pari a 0,25 Nm³/kWh_{el}.

di Renato Lazzarin e Marco Noro, Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali, Università di Padova – Sede di Vicenza

Per concessione di [Aicarr](#) (Associazione italiana condizionamento dell'aria, riscaldamento e refrigerazione), da "Le moderne tecnologie negli impianti e nei componenti per il riscaldamento", Padova 19 giugno, Bari 26 settembre, Catania 6 ottobre 2003.

Riferimenti bibliografici

- [1] AGSM Verona, Descrizione tecnica della centrale cogenerativa di Borgo Trento
- [2] Autorità per l'Energia elettrica e il gas, Relazione tecnica riguardante la Delibera n° 42/02 del 19/3/2002, sito internet dell'Autorità (www.autorità.energia.it)
- [3] Bressanelli R., A.A. 1999-2000, Analisi energetica ed economica d'impianti di climatizzazione a pompa di calore elettrica monitorati dal entro ricerche Enel, Tesi di Laurea in Ingegneria Gestionale, Relatore prof. Renato Lazzarin, Università di Padova
- [4] Department for Environment, Food & Rural Affaire, Documento "A Quality Assurance Programme for Combined Heat and Power. A Consultation Paper", sito internet www.defra.gov.uk/environment/consult/chp
- [5] Di Stefano P., "Approccio energetico-economico e aspetti ambientali del sistema di raffreddamento di un ciclo combinato da 400 MW", X Convegno "Sergio Stecco" Tecnologie e sistemi energetici complessi, Genova, 2001
- [6] Disegna G., A.A. 1998-1999, Analisi dei fabbisogni energetici per la climatizzazione del complesso universitario "S. Nicola": il caso invernale, Tesi di Laurea in Ingegneria Gestionale, Relatore prof. R. Lazzarin,

Università di Padova

- [7] Franco A., Giannini N., 2002, "Impianti a ciclo combinato. Prospettive per incrementare il rendimento", La Termotecnica, n. 12, Dicembre, pp. 89-98
- [8] Jenbacher Energie, 1999, "Moduli di cogenerazione azionati da motori Jenbacher " JMS*** GS-N.L.", Pubblicazione della Jenbacher Energiesysteme, 22 marzo
- [9] Lazzarin R., "I moderni generatori di calore: efficienza energetica ed inquinamento ambientale", Convegno AICARR Le moderne tecnologie negli impianti e nei componenti per il riscaldamento, Padova, 2003
- [10] Macchi E., Consonni S., 1995, Libro bianco sulla cogenerazione (volume secondo), ATIG
- [11] Noro M., Luglio 2002, Considerazioni tecniche ed economiche sull'impianto di climatizzazione di "S. Nicola" (Vicenza), Relazione tecnica
- [12] Onza F. S., A.A. 1998-1999, Analisi tecnico-economica ambientale del sistema di cogenerazione della centrale di teleriscaldamento di Vicenza, Tesi di Laurea in Ingegneria Gestionale, Relatore prof. Renato Lazzarin, Università di Padova
- [13] Rapporto ambientale Enel 2001, sito internet dell'Enel (www.enel.it)
- [14] Riello L., A.A. 1998-1999, Analisi sperimentale dell'impianto HVAC a pompa di calore con motore a gas del complesso "S. Nicola" a Vicenza, Tesi di Laurea in Ingegneria Gestionale, Relatore prof. Renato Lazzarin, Correlatore prof. G. Longo, Università di Padova
- [15] Sacchi E., Magnelli T., "Sviluppo, opportunità e vincoli delle iniziative di teleriscaldamento", Convegno AICARR "Qualità ambientale e soluzioni sostenibili", Milano, 2002
- [16] Zanardi L., Le nuove tecnologie di combustione migliorano la qualità della vita, Schede di aggiornamento tecnico Ecoflam
- [17] Sito internet della IEA Greenhouse Gas R&D Programme, <http://www.ieagreen.org.uk>