

Scheda tecnica n. 35E - Installazione di refrigeratori condensati ad aria e ad acqua per applicazioni in ambito industriale

1. ELEMENTI PRINCIPALI

1.1 Descrizione dell'intervento

Categoria di intervento ¹ :	IND-T) Processi industriali: generazione o recupero di calore per raffreddamento, essiccazione, cottura, fusione, ecc.
Vita Utile ² :	U= 5 anni
Vita Tecnica ² :	T= 20 anni
Settore di intervento:	Industriale
Tipo di utilizzo:	Produzione di acqua refrigerata
Condizioni di applicabilità della procedura	
La presente procedura si applica:	
<ul style="list-style-type: none"> - per la produzione di energia frigorifera nei processi industriali, ad eccezione della fase di climatizzazione degli ambienti - sia agli impianti ad assorbimento con generatore alimentato da energia termica recuperata o prodotta da biomassa/fonte alternativa, sia a quelli alimentati a gas metano o GPL. 	

1.2 Calcolo del risparmio di energia primaria

Metodo di valutazione ³	Valutazione analitica																													
Coefficiente di addizionalità ²	a=100%																													
<p>- Chiller a compressione di vapore</p> <p>Risparmio Netto di energia primaria</p> $RN = a \cdot RL = a \cdot (1/EER_{rif} - 1/EER) \cdot E_{frig} \cdot f_E \quad (tep)$ <p>dove:</p> <p>EER_{rif}: (Energy Efficiency Ratio, rapporto tra energia frigorifera fornita e energia elettrica assorbita dal compressore) valore nominale dell'efficienza individuato come riferimento, riportato in tabella in relazione alla potenza frigorifera nominale ed al tipo di raffreddamento (aria o acqua);</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tipo di raffreddamento</th> <th colspan="5">EER_{rif}</th> </tr> <tr> <th colspan="5">Intervalli di potenza (kW_{frig})</th> </tr> <tr> <th></th> <th>20-50</th> <th>51-250</th> <th>251-500</th> <th>501-1000</th> <th>>1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aria</td> <td>2,8</td> <td>2,7</td> <td>2,9</td> <td>3,0</td> <td>3,2</td> </tr> <tr> <td>Acqua</td> <td>3,6</td> <td>4,0</td> <td>4,1</td> <td>4,3</td> <td>4,4</td> </tr> </tbody> </table> <p>- EER: efficienza dell'impianto installato, misurato tramite idonea strumentazione; è dato da:</p> $EER = \frac{E_{frig}}{E_{el}}$		Tipo di raffreddamento	EER _{rif}					Intervalli di potenza (kW _{frig})						20-50	51-250	251-500	501-1000	>1000	Aria	2,8	2,7	2,9	3,0	3,2	Acqua	3,6	4,0	4,1	4,3	4,4
Tipo di raffreddamento	EER _{rif}																													
	Intervalli di potenza (kW _{frig})																													
	20-50	51-250	251-500	501-1000	>1000																									
Aria	2,8	2,7	2,9	3,0	3,2																									
Acqua	3,6	4,0	4,1	4,3	4,4																									



dove:

E_{frig} (kWh_{frig}) è l'energia frigorifera utile erogata nel periodo di riferimento, misurata con idonea strumentazione.

E_{el} (kWh_{el}) è l'energia elettrica assorbita dal compressore nel periodo di riferimento, misurata con idonea strumentazione.

f_E : fattore di conversione pari a $0,187 \cdot 10^{-3}$ (tep/kWh)

– **Chiller ad assorbimento alimentato da energia termica recuperata o prodotta da biomassa/fonte alternativa**

$$RN = a \cdot RL = a \cdot (1/EER_{\text{rif}} - P_{\text{spec,ass}}) \cdot E_{\text{frig}} \cdot f_E \quad (\text{tep})$$

dove:

- EER_{rif} indicato come sopra, nel raffreddamento ad aria;

- $P_{\text{spec,ass}}$ rapporto tra la potenza elettrica utilizzata dall'assorbitore e la potenza frigorifera nominale, riportato in tabella in relazione alla potenza frigorifera:

Intervallo di potenza (nominale)	< 1000 kW _{frig}	≥ 1000 kW _{frig}
$P_{\text{spec,ass}}$	0,03	0,02

- E_{frig} ed f_E come per i chiller a compressione di vapore.

– **Chiller ad assorbimento alimentato a metano o GPL**

$$RN = a \cdot RL = a \cdot (1/GUE_{\text{rif}} - 1/GUE) \cdot E_{\text{frig}} \cdot f_T \quad (\text{tep})$$

dove:

- GUE_{rif} (Gas Utilization Efficiency, rapporto tra energia frigorifera fornita e energia termica del combustibile): valore nominale dell'efficienza individuato come riferimento, assunto pari a 0,60;

- GUE : efficienza dell'impianto installato, misurato tramite idonea strumentazione; è dato da:

$$GUE = \frac{E_{\text{frig}}}{E_{\text{comb}}}$$

in cui:

E_{frig} (kWh_{frig}) come per i chiller a compressione di vapore.

E_{comb} (kWh_t) è l'energia termica del combustibile utilizzato nel periodo di riferimento, misurata con idonea strumentazione.

f_T : fattore di conversione pari a 0,086 tep/MWh.

Coefficiente di durabilità²:

$$\tau = 3,36$$

Quote dei risparmi di energia primaria [tep/a]²:

Risparmio netto contestuale (RNc)

$$RNc = RN$$

Risparmio netto anticipato (RNa)

$$RNa = (\tau - 1) \cdot RN$$

Risparmio netto integrale (RNI)

$$RNI = RNc + RNa = \tau \cdot RN$$



Titoli di Efficienza Energetica riconosciuti all'intervento⁴:

Tipo I per i chiller a compressione o ad assorbimento alimentato da calore di recupero o prodotto da biomassa/energia alternativa

Tipo II per i chiller ad assorbimento alimentati a metano

Tipo III per i chiller ad assorbimento alimentati a GPL

2. NORME TECNICHE DA RISPETTARE

Le prestazioni delle macchine oggetto della richiesta di riconoscimento dei TEE, devono:

- essere riferite alle condizioni nominali specificate nella EN 14511
- rispettare i valori minimi stabiliti dal D.M. 19 febbraio 2007
- Articolo 6, decreti ministeriali 20 luglio 2004 (requisiti prestazionali dei sistemi oggetto di intervento)
- Norma UNI EN 1434 “Contatori di calore” (per le misure di energia termica e frigorifera)
- Circolare del Ministero delle finanze, Direzione Generale Dogane, Ufficio Tecnico Centrale delle Imposte di Fabbricazione, prot. N. 3455/U.T.C.I.F. del 9 dicembre 1982 recante "Energia Elettrica - Utilizzazione di contatori elettrici trifase negli accertamenti fiscali" e successive modificazioni (per le misure di energia elettrica)
- Per impianti alimentati a biomasse: Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 marzo 2002, così come modificato e integrato dal Decreto Legislativo n. 152/06 e s.m.i.
- Decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 e s.m.i. (per la qualificazione delle fonti rinnovabili)

3. DOCUMENTAZIONE DA TRASMETTERE⁵

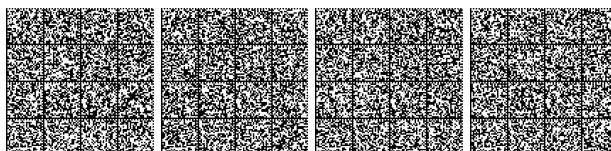
- Nome, indirizzo e recapito telefonico di ogni cliente partecipante.
- Schemi tecnici semplificati degli impianti e della strumentazione.
- Descrizione del sistema di misura adottato per le grandezze rendicontate: tipo di strumento, classe di misura, eventuale metodo di calcolo (nel caso si adottino misure indirette).

4. DOCUMENTAZIONE SUPPLEMENTARE DA CONSERVARE⁶

- Fatture di acquisto dei principali apparecchi.
- Copie dei verbali di collaudo, dei risultati delle prove fumi, delle prove di taratura eseguite sulla strumentazione utilizzata, ecc.
- Attestati di conformità e ogni altra documentazione idonea ad attestare il rispetto della normativa tecnica indicata al precedente paragrafo 2.
- Nel caso di utilizzo di biomasse: certificazione attestante che queste rientrino tra quelle ammesse dall'allegato III dello stesso decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 marzo 2002, così come modificato e integrato dal Decreto Legislativo n. 152/06 e s.m.i.
- Scheda tecnica delle apparecchiature installate (marca, modello, potenze di targa, etc.).

Note:

1. Tra quelle elencate nella Tabella 2 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
2. Di cui all'articolo 1, comma 1, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, ENN 9/11.
3. Di cui all'articolo 3, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, ENN 9/11.
4. Di cui all'articolo 17, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, ENN 9/11.
5. Eventualmente in aggiunta a quella specificata all'articolo 13 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, ENN 9/11.
6. Eventualmente in aggiunta a quella specificata all'articolo 14 dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, ENN 9/11.



Allegato alla scheda tecnica n. 35E: procedura per il calcolo del risparmio di energia primaria

Premessa

Disporre di una centrale frigorifera per la produzione di acqua refrigerata è un'esigenza molto diffusa in un gran numero di settori industriali.

Le tecniche di produzione del "freddo" in campo industriale si basano su macchine (chiller) anche molto diverse tra un'applicazione e l'altra; le temperature a cui è richiesto il fluido freddo vanno da qualche centinaio di gradi al di sotto dello zero (liquefazione di aeriformi quali azoto, aria, gas naturale) a qualche decina di gradi sotto zero per il congelamento degli alimenti, per arrivare a qualche grado sopra lo zero nei comuni frigoriferi.

La temperatura a cui deve essere reso il fluido freddo influisce sulla scelta del fluido frigorifero e sulla tipologia costruttiva della macchina, spaziando dagli apparati basati sui cicli termodinamici (Linde) alle macchine ad assorbimento, fino alle macchine a compressione di vapore, in pratica le più comuni.

Tralasciando le prime, destinate ad applicazioni speciali, con questa scheda tecnica si propone uno schema standard di valutazione dei risparmi energetici nella produzione di acqua refrigerata con chiller a compressione di vapore e ad assorbimento; di seguito si riporta un elenco (non esaustivo) delle lavorazioni che richiedono la sottrazione di calore in alcune fasi del processo produttivo.

- Plastiche e gomme: presse, iniezioni, formature, estrusioni, formatura a soffiaggio, formatura a caldo, PET.
- Laser: taglio, saldatura, sagomatura, ottica, applicazioni mediche, incisioni.
- Alimentari: confezionamento, forni, distillerie, birrerie, aziende vinicole, aziende casearie, imbottigliamento, carbonatazione, lavorazione di carne e pesce, lavorazione di ortaggi, immagazzinamento.
- Chimica e farmaceutica: rivestimenti, serbatoi, miscelatori di schiume poliuretaniche, trattamento di gas naturale, pulizia industriale, laboratori, sanitari, solventi, vernici, sviluppo di foto, raffreddamento di petrolio.
- Lavorazione dei metalli: trattamento e trasformazione di metalli preziosi, lavorazione e trattamento di alluminio.
- Tecnologie meccaniche: macchine utensili, saldatrici, laminatoi, presse, estrusori, macchine da taglio, macchine sagomatrici, lucidatrici, macchine ad accensione comandata, lubrificatrici, trasporto pneumatico, trattamento del calore.
- Carta e relative applicazioni: stampanti, cartoni, etichette, film di plastica, ecc.

La tecnologia

La funzione primaria di un chiller è quella di raffreddare e mantenere la temperatura di un liquido ad un appropriato livello di temperatura, per raffreddare un ambiente, un processo o un prodotto.

I chiller comprendono un sistema refrigerante e sono collegati a un circuito ad acqua (o miscela di acqua e glicol) azionato da una pompa. I dati di mercato indicano che i chiller per processi industriali sono soprattutto pre-assemblati (90%, mentre la parte restante è del tipo installato in situ.

Vi sono due tipi di chiller: con ciclo a compressione di vapore e con ciclo ad assorbimento.



Il ciclo a compressione di vapore

Il ciclo a compressione di vapore è la tecnologia più diffusa nel campo della refrigerazione. È un processo in cui un refrigerante, che circola in un circuito chiuso, è utilizzato per rimuovere calore da un prodotto o un'area e cederlo altrove.

La classificazione, in campo industriale, è fatta in base al tipo di compressore:

- compressori swing: utilizzati per lo più per basse capacità (<15 kW) e raffreddati ad aria;
- a spirale: utilizzati per capacità medie (15-250 kW), raffreddati ad acqua e aria e senza condensatore;
- a vite: utilizzati per capacità medie e alte (150-200 kW), raffreddati ad acqua e ad aria e senza condensatore;
- centrifughi: utilizzati per alte capacità di raffreddamento (300-900 kW) e raffreddati ad acqua;
- alternativi: utilizzati per potenza da 0.5 a 181 kW e raffreddati ad aria.

Le taglie di potenza impiegate variano da decine di kW fino a decine di MW; spesso si ricorre alla modularità, nel senso che per raggiungere una certa potenza frigorifera si opta per macchine a potenza minore ma in numero maggiore, operanti in serie o in parallelo gestendo così al meglio l'impianto a carico parziale e ottimizzando la spesa energetica.

Il parametro di prestazione dei chiller a compressione di vapore è espresso usando l'*Energy Efficiency Ratio* (EER), che è il rapporto tra la potenza frigorifera (capacità di raffreddamento) e la potenza richiesta dall'unità, misurata a pieno carico.

Nelle macchine a compressione di vapore il rendimento è fortemente dipendente, a parità di raffreddamento dell'acqua, dal tipo di condensazione del fluido frigorifero; il valore di EER è sensibilmente maggiore per le macchine condensate ad acqua.

A rendere più basso l'EER dei gruppi frigo aria/acqua rispetto a quelli acqua/acqua, oltre alla temperatura della sorgente calda, in genere più bassa nel caso dell'acqua, è anche l'elevato assorbimento elettrico dei ventilatori e dei dispositivi necessari al loro silenziamento, spesso obbligato da problemi di inquinamento acustico.

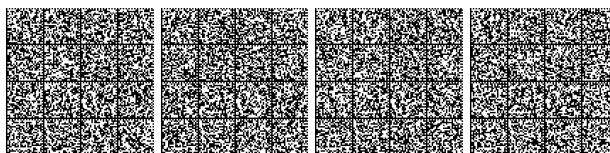
Il ciclo ad assorbimento

Il ciclo ad assorbimento è composto da due anelli a circuito chiuso in cui circolano i due fluidi di lavoro: il refrigerante e il mezzo di assorbimento. Il sistema ad assorbimento è simile al sistema a compressione del vapore e comprende un condensatore, un dispositivo di espansione e un evaporatore, tuttavia a differenza del sistema a compressione di vapore al posto del compressore meccanico, c'è una unità termica comprendente un assorbitore e un generatore.

In un ciclo ad assorbimento, il vapore refrigerante si forma nell'evaporatore e viene trasferito all'assorbitore dove è trasformato in liquido per l'affinità chimica con il mezzo di assorbimento. La miscela refrigerante/mezzo di assorbimento viene quindi trasferita, tramite una pompa, nel generatore e il refrigerante viene separato dal mezzo di assorbimento per distillazione tramite calore fornito dall'esterno. Il mezzo di assorbimento liquido viene ricircolato all'assorbitore e il vapore refrigerante passa nel condensatore dove si raffredda, ritorna liquido e fluisce nel dispositivo di espansione dove la pressione scende al valore della sua pressione di evaporazione e infine fluisce nell'evaporatore dove evapora e ricomincia il ciclo.

Le miscele di refrigerante e mezzo di assorbimento più utilizzate nel chiller ad assorbimento sono 1) acqua/bromuro di litio e 2) ammoniacale/acqua. Si può utilizzare anche una miscela acqua/glicol come refrigerante quando le temperatura di raffreddamento da raggiungere sono al di sopra di 0°C.

Poiché la principale alimentazione del ciclo ad assorbimento è il calore fornito al generatore, la tecnologia ad assorbimento è utilizzata per lo più quando l'elettricità è inaffidabile o costosa, quando il rumore del compressore è problematico e quando è disponibile un surplus di calore.



Il parametro di prestazione dei chiller ad assorbimento ancora l'EER, inteso, però, come rapporto tra la potenza frigorifera (capacità di raffreddamento) e la potenza termica richiesta (*GUE-Gas Utilization Efficiency*, nelle nuove direttive).

Gli assorbitori, in termini di potenza frigorifera, variano da decine di kW fino a decine di MW nei modelli più grandi, e possono essere di tipo monostadio o bi-stadio; questi ultimi in particolare, per la loro tipologia costruttiva, consentono di raggiungere GUE in teoria doppi rispetto a quelli monostadio, ma richiedono temperature di alimentazione maggiori.

Stima del risparmio energetico atteso

I dati relativi alla situazione italiana sono stati dedotti nell'ipotesi che, per quanto riguarda le vendite, la quota italiana rappresenti circa il 35% del totale europeo, mentre, per quanto riguarda il parco, la quota italiana rappresenti circa il 30%.

La capacità totale installata in EU è 156 GW di raffreddamento. Studi europei stimano che il parco salirà a 265 GW nel 2025 e a 291 nel 2030, aumentando rispettivamente del 70% e 87% rispetto al 2008. Dal momento che i chiller hanno una vita lunga (circa 18 anni), nel 2025 circa il 15% dei chiller pre-2020 saranno sostituiti, il 75% del parco sarà composto da chiller pre-2020 ed il rimanente da nuove installazioni successive al 2020. Le corrispondenti percentuali per il 2030 sono 27%, 55% e 18% rispettivamente.

Una stima dei risparmi raggiungibili per i chiller può essere ricavata dall'analisi dei possibili miglioramenti associati ai singoli componenti. Tuttavia tale analisi corre il rischio di sovrastimare il potenziale risparmio energetico dei chiller, pertanto una stima più corretta va fatta valutando le prestazioni dei chiller nel loro complesso.

I possibili risparmi per l'Italia, ipotizzando un consumo di energia elettrica associato ai chiller pari a circa 12,88 TWh (2.408.560 Tep), sono riportati nella tabella seguente.

Risparmi in tep rispetto al 2008		
Ipotesi del 15% del risparmio	Ipotesi del 65% del risparmio	Ipotesi del 30% del risparmio
361.284	156.564	722.568

Calcolo del risparmio di energia primaria conseguibile per singola unità fisica di riferimento

Chiller a compressione di vapore

L'algoritmo per il calcolo dei risparmi è stato determinato facendo riferimento ad un valore di EER medio di mercato (baseline), distinguendo i tipi con condensazione ad aria e acqua. Il Risparmio Lordo (RL) rappresenta l'energia primaria risparmiata nel periodo di riferimento. Esso si calcola con l'espressione:

$$RL = (1/EER_{rif} - 1/EER) \cdot E_{frig} \cdot f_E \quad (tep)$$

dove:

- EER_{rif} valore nominale dell'efficienza individuato come riferimento, riportato in tabella in relazione alla potenza frigorifera nominale ed al tipo di raffreddamento (aria o acqua);

Tipo di raffreddamento	EER _{rif}				
	Intervalli di potenza (kW _{frig})				
	20-50	51-250	251-500	501-1000	>1000
Aria	2,8	2,7	2,9	3,0	3,2
Acqua	3,6	4,0	4,1	4,3	4,4



- EER: efficienza dell'impianto installato, misurato tramite idonea strumentazione; è dato da:

$$EER = \frac{E_{frig}}{E_{el}}$$

dove:

- E_{frig} (kWh_{frig}) è l'energia frigorifera utile erogata nel periodo di riferimento, misurata con idonea strumentazione.
- E_{el} (kWh_{el}) è l'energia elettrica assorbita dal compressore nel periodo di riferimento, misurata con idonea strumentazione.
- f_E è il fattore di conversione da kWh a tep, pari a $0,187 \cdot 10^{-3}$.

Chiller ad assorbimento alimentati da energia termica recuperata o prodotta da biomassa/fonte alternativa

Considerando le macchine ad assorbimento con generatore alimentato da calore di recupero, i consumi da tenere in conto si riducono all'energia elettrica degli ausiliari. Pertanto, la baseline di riferimento, nell'algoritmo di calcolo dei risparmi, è ancora la macchina a compressione di vapore ed il RL (risparmio lordo) si può calcolare con l'espressione:

$$RL = (1/EER_{rif} - P_{spec,ass}) \cdot E_{frig} \cdot f_E \quad (tep)$$

dove:

- EER_{rif} indicato come sopra, nel raffreddamento ad aria;
- $P_{spec,ass}$ rapporto tra la potenza elettrica utilizzata dall'assorbitore e la potenza frigorifera nominale, riportato in tabella in relazione alla potenza frigorifera:

Intervallo di potenza (nominale)	< 1000 kW _{frig}	≥ 1000 kW _{frig}
$P_{spec,ass}$	0,03	0,02

- E_{frig} ed f_E come per i chiller a compressione di vapore.

Chiller ad assorbimento alimentati a gas metano o GPL

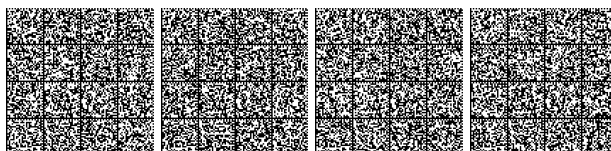
L'algoritmo per il calcolo dei risparmi prende in considerazione un valore di GUE di riferimento (baseline), distinguendo tra i tipi con assorbitore a bromuro di litio o ad acqua ammoniacale. Il Risparmio Lordo (RL) rappresenta l'energia primaria risparmiata. Esso si calcola con l'espressione:

$$RL = (1/GUE_{rif} - 1/GUE) \cdot E_{frig} \cdot f_T \quad (tep)$$

Dove:

- GUE_{rif} (*Gas Utilization Efficiency*, rapporto tra energia frigorifera fornita e energia termica del combustibile): valore nominale dell'efficienza individuato come riferimento, assunto pari a 0,60
- GUE : efficienza dell'impianto installato, misurato tramite idonea strumentazione; è dato da:

$$GUE = \frac{E_{frig}}{E_{comb}}$$



in cui:

- E_{frig} (kWh_{frig}) come per i chiller a compressione di vapore.
- E_{comb} (kWh_t) è l'energia termica del combustibile utilizzato nel periodo di riferimento, misurata con idonea strumentazione.
- f_T : fattore di conversione pari a 0,086 tep/MWh.

