

## Scheda tecnica n. 34E – Riquilificazione termodinamica del vapore acqueo attraverso la ricompressione meccanica (RMV) nella concentrazione di soluzioni.

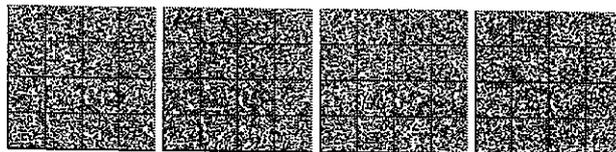
### 1. ELEMENTI PRINCIPALI

#### 1.1 Descrizione dell'intervento

Categoria di intervento <sup>1</sup> :	IND-T ) Processi industriali: generazione o recupero di calore per raffreddamento, essiccazione, cottura, fusione, ecc
Vita Utile <sup>2</sup> :	U = 5 anni
Vita Tecnica <sup>2</sup> :	T = 20 anni
Settore di intervento:	Industriale
Tipo di utilizzo:	Dispositivi per la riquilificazione termodinamica del vapore acqueo attraverso compressione meccanica
<b>Condizioni di applicabilità</b>	
La presente procedura si applica unicamente a quegli interventi in cui il vapore è prodotto con una caldaia alimentata da combustibile fossile.	

#### 1.2 Calcolo del risparmio di energia primaria

Metodo di valutazione <sup>3</sup>	Valutazione analitica
Coefficiente di addizionalità <sup>2</sup>	$a = 100 \%$
<b>Risparmio Lordo (RL) di energia primaria conseguibile</b>	
$RL = Qd \cdot k_1 - f_E \cdot E_{ec} \quad (tep)$	
dove:	
Qd è la quantità di distillato prodotto nel periodo di riferimento (t)	
k <sub>1</sub> è l'energia primaria per l'evaporazione di 1 t di distillato prodotto in condizione di baseline, pari a 0,0203 tep/t	
f <sub>E</sub> è il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria, pari a 0,187 tep/MWh <sub>e</sub>	
E <sub>ec</sub> è l'energia elettrica annua consumata dal compressore di vapore e dagli ausiliari nel periodo di riferimento (MWh)	
<b>Risparmio Netto (RN) è espresso da:</b>	
$RN = a \cdot RL - Cf \cdot PCI \cdot k_2 \quad (tep)$	
dove:	
Cf è la quantità di combustibile fossile utilizzata dalla caldaia per gli avviamenti o durante le avarie del compressore nel periodo di riferimento (um)	
PCI è il potere calorifico del combustibile fossile (delibera AEEG EEN 1/09) (kJ/um)	
um è l'unità di misura prescelta per il combustibile utilizzato (m <sup>3</sup> , kg, etc.)	
k <sub>2</sub> è il fattore di conversione (tep/kJ)	
Le considerazioni sul calcolo sono riportate nella sessione 2.1 allegata (Algoritmo di valutazione per il calcolo del risparmio) e le grandezze Qd, E <sub>ec</sub> , Cf devono essere oggetto di misura.	



Coefficiente di durabilità <sup>2</sup> :	$\tau = 3,36$
Quote dei risparmi di energia primaria [tep] <sup>2</sup> :	
Risparmio netto contestuale (RNc)	$RNc = RN$
Risparmio netto anticipato (RNa)	$RNa = (\tau - 1) \cdot RN$
Risparmio netto integrale (RNI)	$RNI = RNc + RNa = \tau \cdot RN$
Tipi di Titoli di Efficienza Energetica riconosciuti all'intervento <sup>4</sup>	Tipo II/Tipo III

## 2. NORME TECNICHE DA RISPETTARE

- Articolo 6 decreti ministeriali 20 luglio 2004.
- Certificazioni di conformità di tutte le apparecchiature alla normativa tecnica vigente.
- Il motore del compressore deve avere la marcatura indicante l'appartenenza alla classe di efficienza IE3, in conformità al Regolamento della Commissione N. 640/2009
- Norma CEI EN 60034-1: Macchine elettriche rotanti. Parte 1: Caratteristiche nominali e di funzionamento.
- Norma CEI 13-35: Guida all'applicazione delle Norme sulla misura dell'energia elettrica.
- Norma CEI EN 60359: Apparecchi di misura elettrici ed elettronici -- Espressione delle prestazioni.

## 3. DOCUMENTAZIONE SUPPLEMENTARE DA CONSERVARE<sup>5</sup>

- Nome, indirizzo e recapito telefonico di ogni cliente partecipante.
- Documentazione attestante le misure della quantità annua di distillato prodotto, dei consumi di energia elettrica del compressore e degli ausiliari e della quantità di combustibile fossile utilizzata per gli avviamenti o durante le avarie del compressore.

### 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, EEN 9/11.
- 3 Di cui all'articolo 3 della deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
- 4 Di cui all'articolo 17 della deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.
- 5 Eventualmente in aggiunta a quella specificata all'articolo 14, comma 3, dell'Allegato A alla deliberazione 27 ottobre 2011, EEN 9/11.



## Allegato alla scheda tecnica n. 34E: procedura per il calcolo del risparmio di energia primaria

### Premessa

Questa scheda descrive il metodo per la determinazione del risparmio energetico conseguibile a seguito dell'utilizzo della ricompressione meccanica del vapore (RMV) al posto della produzione di vapore vivo in caldaia mediante combustibili fossili.

Il metodo proposto, di valutazione analitica, prevede che sia effettuata in campo la misura di alcuni parametri.

Nell'ottica di limitare le misurazioni, sono state introdotte, ove possibile, delle ipotesi di lavoro; inoltre, per semplificare l'attività di misura, è stato formulato un algoritmo di calcolo del risparmio in cui le grandezze oggetto di misura rientrano tra quelle effettuate di routine; esse riguardano la quantità di distillato prodotto, l'energia elettrica consumata ed il consumo di combustibile fossile.

### La tecnologia

Molti processi industriali hanno l'esigenza di concentrare soluzioni facendo evaporare il solvente che, nella maggior parte dei casi, è acqua. Questa operazione richiede una grande quantità di energia che di solito viene conferita mediante vapore prodotto in una caldaia alimentata da un combustibile fossile. Gli impianti solitamente utilizzati per ottenere questo scopo sono quelli così detti a multipli effetti, dove il vapore generato da una caldaia viene somministrato al primo effetto, mentre gli altri effetti, in cascata, sono alimentati dal vapore di processo che si libera nell'effetto precedente e che si trova ad operare in ambienti dove la pressione è man mano ridotta con una conseguente riduzione della temperatura di vapore saturo. Esistono però ancora in funzione molti impianti dove per far evaporare la soluzione non si ricorre ai multipli effetti (ambienti con pressioni decrescenti), ma si applica la pressione atmosferica.

In alternativa a queste tecniche si può ricorrere, con il medesimo risultato, alla ricompressione meccanica del vapore (in seguito RVM).

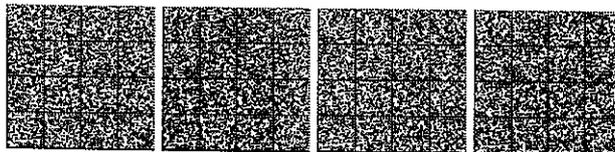
La RMV è un processo ad elevata efficienza energetica che consiste nell'incrementare, mediante un compressore meccanico, la pressione e quindi anche la temperatura del vapore proveniente dalla soluzione in ebollizione.

Il vapore, così valorizzato nel suo contenuto entalpico, viene utilizzato nel processo al posto di quello prodotto in caldaia, con notevole risparmio di combustibile. Questa tecnologia non comporta utilizzo di vapore vivo prodotto da caldaia, a meno di quello necessario all'avviamento del processo e quello occorrente per i reintegri, ed elimina la necessità del raffreddamento e quindi l'utilizzo del condensatore ausiliario ed i relativi costi.

La RMV comporta però un assorbimento di energia elettrica a fronte di una più consistente riduzione di energia termica, con un risparmio finale di energia primaria.

I consumi specifici (elettrici) della RMV sono dell'ordine di  $10 \div 30$  kWh/t acqua prodotta che in termini di energia primaria corrispondono a  $78 \div 235$  kJ/kg contro gli 850 kJ/kg (termico+elettrico) di un impianto a tre effetti.

Un ulteriore impiego della RMV riguarda la essiccazione. Di solito l'essiccazione viene effettuata tramite aria calda e richiede consumi termici piuttosto elevati ( $4 \div 4,5$  MJ/kg di acqua asportata). Essa può essere sostituita dalla RMV, utilizzando vapore leggermente surriscaldato al posto dell'aria calda e con consumi pari alla metà. Gli impianti realizzati però sono pochissimi ed ancora a livello sperimentale per cui si può dedurre che questa applicazione risulta ancora troppo lontana da una sua diffusa applicazione industriale. Per questo motivo si è deciso di non tenerne conto in questa valutazione.



### Campi di applicazione

I settori industriali di maggiore interesse per l'applicazione della ricompressione meccanica del vapore (RMV) sono i seguenti:

- industria casearia
- industria saccarifera
- industria birraria
- distillerie
- industria delle conserve
- industria cartaria
- industria chimica
- industria farmaceutica
- industria tessile
- trattamento acque di scarico

Nell'industria casearia i maggiori consumi energetici si verificano nella produzione di latte condensato, latte in polvere e siero di latte.

La concentrazione è solitamente effettuata mediante evaporatori a 5 o 6 effetti.

Nell'industria saccarifera i processi di evaporazione intervengono in due differenti fasi della produzione: la concentrazione dell'estratto delle barbabietole per eliminare circa l'80% del contenuto acquoso e la cristallizzazione sotto vuoto a 65/70 °C del restante 20% per trasformarlo in zucchero. La RMV è applicata più convenientemente in questa seconda fase.

Nell'industria della birra è la fase di cottura del mosto quella interessata dalla RMV. Essa è una delle fasi più energivore. Il mosto entra nella caldaia a 75°C e viene fatto bollire per circa 90 minuti. L'ebollizione avviene a pressione atmosferica per mezzo di vapore prodotto in caldaia.

Ulteriori applicazioni della RMV nell'industria alimentare sono: la preparazione dei succhi di frutta e la concentrazione del pomodoro.

### Calcolo del risparmio di energia primaria

Si può calcolare il risparmio energetico conseguibile con questa tecnologia come differenza tra l'energia primaria totale necessaria per far evaporare la soluzione nella situazione ante (baseline), ivi compresa l'energia consumata dagli ausiliari, e l'energia elettrica, espressa in termini di energia primaria, utilizzata dal compressore di vapore nella situazione post.

L'impianto preso a riferimento per la situazione ante (baseline) è quello a multipli effetti con tre effetti.

L'espressione dell'algoritmo sarà quindi:

$$R = (Csa \cdot Qd) \cdot 0,00002389 - Eec \cdot 0,187 - Cf \cdot PCI \cdot 0,2389/10^7$$

Dove:

R è il risparmio in tep

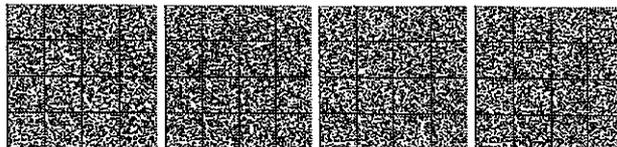
Csa è il consumo specifico di un impianto a tre effetti ivi inclusi i consumi degli ausiliari. Tale valore è fissato in 850 kJ/kg,

Qd è la quantità di distillato prodotto espressa in t,

Eec è l'energia elettrica consumata dal compressore di vapore e dagli ausiliari espressa in MWh,

Cf è la quantità di combustibile fossile, espressa nell'unità di misura di riferimento, utilizzata dal sistema, nella situazione post, per gli avviamenti oppure in caso di avaria del compressore,

PCI è il potere calorifico del combustibile fossile desunto dalla tabella 1 delle linee guida di cui alla delibera dell'AEEG, 11 febbraio 2009, EEN 1/09 (kJ/um).



Il valore di baseline è stato ricavato considerando che dalla letteratura tecnica risulta che nei multipli effetti esiste una relazione tra distillato prodotto, vapore vivo consumato e numero di effetti. Ossia:

$$Q_d = 0,95 \cdot n \cdot Q_v$$

dove:

$n$  = numero di effetti

$Q_d$  = quantità di distillato prodotto

$Q_v$  = quantità di vapore vivo consumato.

Se si esamina un tre effetti,

$$Q_d = 2,85 Q_v$$

Pertanto, per produrre un kg di distillato, è necessario consumare 0,35 kg di vapore; in termini energetici la quantità di energia termica necessaria per produrre un kg di distillato è circa il 35% del calore di vaporizzazione dell'acqua a 100 °C. Questo valore è stato incrementato dell'8% per tenere conto del consumo degli ausiliari. Il valore finale considerato è dunque 850 kJ/kg.

### Stima dei risparmi

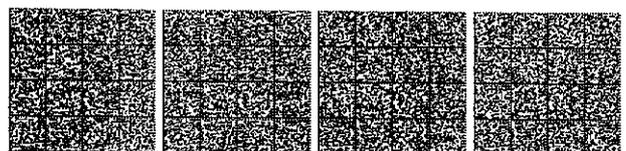
Per valutare i risparmi ottenibili con la RMV è necessario partire dalle quantità di acqua da far evaporare per concentrare le soluzioni nei settori di applicazione della tecnologia più promettenti. Questi quantitativi sono stati ricavati dallo studio del CESI "Stima del potenziale di applicazione della ricompressione meccanica del vapore in Italia" del 30 giugno 2003; partendo da questo studio, i dati sono stati aggiornati a tutto il 2009 tenendo conto dell'incremento della produzione industriale alimentare nel periodo 2000-2009.

Facendo riferimento a quanto fornito da Federalimentare sulla produzione agro-alimentare, si è considerato un incremento medio annuo di circa lo 0,7%, per un totale di 4,8% nel periodo 2003-2009.

La stima dei risparmi aggiornata all'anno 2009 è riportata in tabella n. 1. Il valore totale è di 0,476 Mtep di cui più della metà nel settore alimentare.

	Acqua da evaporare Mm <sup>3</sup> /a	Consumi attuali		Consumi elettrici RMV GWh/a	Risparmio energia primaria tep
		Termici TJ/a	Elettrici GWh/a		
<b>Settore agroalimentare</b>					
<b>Industria alimentare</b>	12.786	13.048	83,84	162,44	282.960
<b>Settore ambientale</b>					
<b>Concentrazione reflui agroalimentare</b>	1.782	2.096	7,34	31,44	42.968
<b>Concentrazione fanghi civili ed industriali</b>	1.483	2.436	27,09	21,22	36.539
<b>Concentrazione reflui industriali liquidi</b>	4.664	7.876	92,22	73,36	113.708
<b>Totale</b>	<b>20,71</b>	<b>25.454,87</b>	<b>210,49</b>	<b>288,46</b>	<b>476.175</b>

Tabella n. 1 Potenzialità tecniche di applicazione della ricompressione meccanica del vapore nel settore industriale all'anno 2009.



### Valutazione del potenziale economico

I dati riportati nel paragrafo precedente riguardano una valutazione dell'applicazione della RMV senza tener conto degli aspetti economici, ovvero dell'effettiva convenienza dal punto di vista economico di questa tecnologia per gli utenti finali.

Per completare lo studio è necessario eseguire una valutazione del potenziale economico di questa tecnologia, ovvero della sua effettiva utilizzazione in base ad un'analisi costi benefici.

Per effettuare ciò si deve partire dai costi d'impianto ed in particolare dai costi del compressore che sono piuttosto elevati, essendo questo un componente non di serie e ad alto contenuto tecnologico.

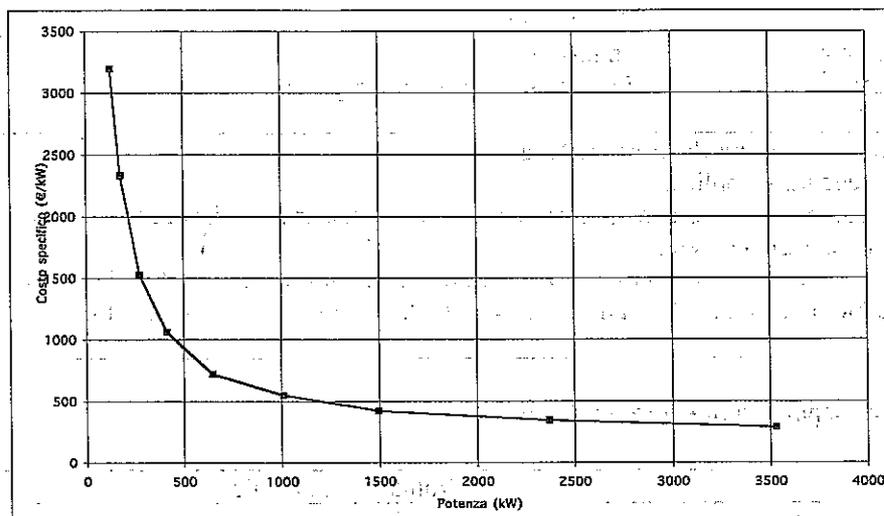


Grafico 1 - Costo specifico (€/kW) di un compressore utilizzabile per la ricompressione meccanica del vapore.

Dal grafico n. 1 è facile osservare che il costo del compressore è molto elevato e i valori per kW installato aumentano sotto i 400 kW. Questo elemento condiziona fortemente i ritorni economici nel caso di potenze medio basse. Per questo motivo si può dire che la RMV risulta meno conveniente se il compressore dovesse avere una potenza sotto i 300 kW. Questa valutazione si ripercuote sulla potenzialità di risparmio riportata in tabella n. 2, per cui ad essa si può applicare un abbattimento di circa il 40%.

