

IL PROCESSO DI SCELTA DEL REFRIGERANTE PER UN IMPIANTO DI LAVORAZIONE DELLA CARNE, UN CASO DI STUDIO GRECO

Dimitris Tairis – Hellas Union Fgas

La nostra azienda in Grecia ha progettato, fabbricato e sta attualmente installando l'attrezzatura per un impianto di lavorazione della carne a Larissa, in Grecia. L'azienda cliente è attualmente nella terza fase di espansione dell'impianto. Ci è stato richiesto di fornire e installare l'attrezzatura per l'ampliamento della linea di produzione di giroscopi e di altre linee di produzione come carne allo spiedo, hamburger, bistecche, filetti e altro ancora. La società del cliente iniziò le sue attività nel 1995 con i nuovi sistemi di refrigerazione con R404A, che all'epoca era economico e molto meno problematico dell'ammoniaca. Dal momento che i primi due ampliamenti erano sempre avvenuti a piccoli passi e il finanziamento era privato con il minimo aiuto da parte delle banche, l'R404A era sempre stato la scelta più ovvia per i primi 22 anni di attività. Lo studio descritto qui è iniziato all'inizio del 2017, quando la prima carenza di R404A era già un dato di fatto a partire dall'estate 2016 in poi.

Le specifiche del progetto richiedevano un po' più di 600 kW di capacità di raffreddamento distribuiti su una molteplicità di ambienti. La tabella 1 mostra la suddivisione delle necessità di raffreddamento.

Tipo di cella	Numero di celle	Capacità frigorifera totale richiesta kW
Congelatori statici	2	200,0
Congelatori a spirale	1	100,0
Magazzino BT -20°C	3	25,0
Magazzino MT -2/0°C	5	65,0
Sale di produzione HT +10°C condizionate	3	220,0

Tabella 1: Necessità frigorifere per i vari ambienti

Il compito iniziale era quello di individuare un refrigerante che soddisfacesse le esigenze dell'installazione senza compromettere l'affidabilità dei sistemi e di essere il più possibile utilizzabile in futuro. Era ovvio che, a causa del regolamento FGas 517/2014, l'R404A non avrebbe rappresentato un'opzione per lungo tempo e qualsiasi nuovo sistema con R404A, anche se ancora legale, avrebbe avuto problemi di manutenzione nel prossimo futuro. I refrigeranti che erano già stati testati dal mercato e abbastanza affidabili erano R407F, R449A, R717 e R744/R134A in cascata. Una condizione inizialmente richiesta dal cliente era l'uso di un unico refrigerante per tutti i nuovi impianti che sarebbero stati installati. È stata fatta un'eccezione specifica per l'impianto R744/R134A in cascata¹ poiché era estremamente promettente e non vi era alcun rischio di infiammabilità nello specifico.

Era chiaro che le capacità richieste erano ben all'interno del campo di applicazione dell'ammoniaca, quindi essa sarebbe stata sicuramente un candidato serio. Anche la CO₂ era utilizzabile con sistemi in cascata e rappresentava una scelta logica per la fase di ricerca iniziale. Se il cliente avesse scelto di utilizzare i refrigeranti più tradizionali, quindi i sostituti più simili all'R404A, si sarebbero utilizzate le miscele R407F o R449A.

La Tabella 2 mostra alcune proprietà di questi refrigeranti che svolgono un ruolo significativo a seconda dell'applicazione e del prodotto refrigerato.

	R404A	R407F	R449A	R717 (ammoniaca)	R744 (CO ₂) /R134A cascata
GWP (IPCC AR4) ²	3922	1825	1397	0	1 / 1430
Classificazione EN378	A1	A1	A1	B2L	A1 / A1
Glide di temperatura K	0,7	6,4	4,5	0	0 / 0

Tabella 2: Alcune principali proprietà dei refrigeranti presi in considerazione

Si possono considerare anche altri fattori oltre alle consuete proprietà dei refrigeranti. Ci sono molti fattori che dipendono dal tipo di impianto in questione, ma alcuni si distinguono più di altri. Senza alcun ordine particolare questi sono:

- 1) Familiarità. Tutti gli utenti degli impianti di refrigerazione preferiscono proseguire con il refrigerante che hanno già imparato a conoscere. Non è facile cambiare, ragionevolmente, poiché la sicurezza degli impianti richiede sempre un certo grado di familiarità per evitare guasti o incidenti.
- 2) Investimento iniziale. I costi iniziali sono un fattore determinante per qualsiasi nuovo investimento. Non esiste margine di discussione nel proporre soluzioni alternative se i costi sono proibitivi per l'utente finale.
- 3) Costi operativi. Sono un fattore determinante per l'investitore serio. Non ha senso investire con costi iniziali bassi e perdere denaro per i successivi 15-25 anni spreco energia a causa di impianti economici ma energivori. È stato necessario trovare un equilibrio tra investimento iniziale e costi di gestione.
- 4) Impatto ambientale diretto. Si doveva rispettare EUR517 / 2014. I refrigeranti con GWP superiore a 2500 sarebbero stati presto eliminati e quindi è stata scelta una soluzione più rispettosa dell'ambiente. Poiché l'impianto era un'installazione non commerciale, la maggior parte delle restrizioni per le nuove installazioni non sarebbero state un problema. Un modo era quello di diventare "verdi" e optare per un GWP ultra basso come quello che si ottiene con l'ammoniaca o la CO₂ in cascata. L'altro soluzione era optare per un refrigerante come l'R407F o l'R449A con un GWP più alto ma una durata prevista sul mercato di circa 5-7 anni ed in seguito passare a un refrigerante nuovo, di più recente uscita, con proprietà simili, ma con un GWP inferiore, nel momento in cui si fosse presentata la necessità. Le emissioni dirette potevano essere ridotte al minimo non solo progettando un impianto sicuro o utilizzando un refrigerante con GWP basso, ma anche con interventi tempestivi e perdite minime nel caso in cui si fossero verificate delle perdite. Si sarebbe dovuto predisporre un piano per gestire le emissioni indipendentemente dal GWP del refrigerante.
- 5) Impatto ambientale indiretto. Non ha senso progettare nuovi impianti che presentano meno emissioni dirette se quelle indirette aumentano in modo sproporzionato a causa dell'aumento del consumo di elettricità. Il TEWI, sebbene

¹ Sebbene la cascata R744/R134A significhi cose completamente diverse in base a EUR517 / 2014, qui il termine indica il sistema a cascata tradizionale dove l'R134a condensa la CO₂ mentre allo stesso tempo viene evaporato in refrigeratori per le celle a media ed alta temperatura.

non menzionato in EUR517 / 2014, a nostro avviso dovrebbe essere sempre considerato in ogni nuovo progetto.

- 6) Legislazione nazionale e locale. La maggior parte dei Paesi ha leggi che autorizzano o impediscono l'utilizzo di determinati fluidi / gas in determinate aree come aree industriali, aree residenziali, aree di straordinaria bellezza naturale e altro ancora. Un sacco di volte l'uso di determinati fluidi è completamente vietato. In alcuni casi si deve ottemperare con molta attenzione a queste leggi. L'infiammabilità, la tossicità, le massime cariche di refrigerante, il consumo di terreno e ulteriori altri elementi costituivano fattori da considerare bene a fondo.
- 7) Condensazione e condizioni ambientali. Non ha senso realizzare un impianto che funziona in modo inefficiente o in condizioni operative prossime ai suoi limiti a causa di condizioni ambientali poco favorevoli. Un esempio potrebbe essere la CO₂ transcritica in climi molto caldi senza l'uso di caratteristiche progettuali molto specifiche come gli eiettori che sono comparsi sul mercato in seguito. Non solo le condizioni ambientali sono importanti, ma anche il tipo di condensazione. Ci sono sempre aree in Grecia con una ridotta disponibilità di acqua per torri di raffreddamento o acque sotterranee di elevata durezza che costano troppo per essere trattate e quindi queste dovrebbero essere sempre analizzate sin dall'inizio.

Tenendo conto di tutto ciò abbiamo avviato la fase di valutazione, la fase successiva del processo, al fine di esaminare la possibilità di utilizzare ciascun refrigerante e di considerare tutti gli ostacoli che avrebbero potuto sconsigliarne l'uso. Poiché l'ammoniaca era il candidato favorito, abbiamo iniziato a esaminare i permessi di costruzione dell'edificio, l'area circostante in cui si trovava l'impianto, le norme di costruzione nazionali e locali, le norme dei vigili del fuoco nazionali e locali e altri dati rilevanti che avrebbero potuto limitare l'uso dell'impianto in esame. In base a tali criteri sono state formulate le seguenti conclusioni:

- 1) L'area in cui era situato l'impianto non era un'area industriale e sebbene non vi fossero restrizioni dovute a zone residenziali vicine, era situata all'interno dell'area contrassegnata NATURA 2000 di Tirnavos. Non vi era alcuna restrizione sui processi in atto già intrapresi nell'impianto, ma l'uso di ammoniaca tossica sarebbe diventato un problema in quanto l'area NATURA era un luogo faunistico protetto. Secondo le norme di costruzione greche, l'uso dell'ammoniaca è generalmente accettata nelle aree industriali e in alcune altre aree non residenziali ben al di fuori delle città o dei villaggi, ma c'è sempre una restrizione sulla quantità che è possibile utilizzare a meno che non ci sia un tecnico permanentemente presente a supervisionare l'installazione. Questa sarebbe stata una imposizione che avrebbe sicuramente aumentato i costi di gestione dell'ammoniaca, già di per sé onerosi.
- 2) L'area dove è ubicato l'impianto è situata tra due fiumi nella valle del Larisa. Sebbene siano situati abbastanza lontani (8 e 15 km) cosicché non è possibile utilizzare l'acqua direttamente da essi, le falde acquifere sotterranee soddisfano teoricamente tutte le esigenze delle torri evaporative. Sfortunatamente fu imposta una restrizione per l'estrazione di acqua sotterranea all'interno dell'area, a causa

di estrazioni passate, che diede priorità al settore agricolo della valle. A seguito di ciò non ci sarebbe stata abbastanza acqua proveniente dal sottosuolo per coprire le esigenze delle torri evaporative di raffreddamento.

Tutti i vincoli provenienti dalle restrizioni gravanti sull'area comportavano che l'ammoniaca sarebbe diventata ancora più costosa del normale e il suo uso appariva sempre più remoto. A seguito di ciò si decise di passare alla verifica della possibilità di utilizzare la CO₂ in cascata. La CO₂ ha caratteristiche confrontabili ai refrigeranti tradizionali con l'eccezione delle alte pressioni che devono essere prese in considerazione per l'intero progetto. L'R134a potrebbe essere utilizzato per le medie e alte temperature e, se mai si dovessero avere problemi con l'approvvigionamento di questo refrigerante a causa del graduale abbattimento del GWP, potremmo sempre effettuare il retrofit con R513A senza costi aggiuntivi oltre ai costi del refrigerante. Immediatamente iniziò la progettazione preliminare dei cicli termodinamici e iniziarono i primi dubbi. Era chiaro che la cascata R744A / R134A aveva un COP molto simile a quello dei refrigeranti tradizionali in esame, ma i costi di investimento sarebbero risultati più alti. Non solo i componenti erano più costosi al momento, principalmente i refrigeratori e le pompe a pressione, ma la tecnologia in cascata significava che era necessario ricorrere più o meno al doppio dei compressori per fare lo stesso lavoro svolto dagli HFC, il che significava anche quasi il doppio dello spazio nella sala macchine, un requisito che non poteva essere facilmente soddisfatto per l'impianto.

I rimanenti due refrigeranti da prendere in considerazione erano l'R407F e l'R449A. Essi hanno proprietà abbastanza simili ma, a quanto pare, l'R407F tende ad avere temperature di scarico più elevate: nei compressori alternativi significa dover ricorrere al raffreddamento ad iniezione di liquido con conseguente riduzione del COP. Fortunatamente le dimensioni del nostro impianto giustificavano l'uso di compressori a vite con economizzatori, che sarebbero risultati più idonei alle esigenze, e quindi permettevano di evitare la perdita di COP. I due principali svantaggi di questi refrigeranti sarebbero sicuramente l'aumento del GWP rispetto a quelli naturali e l'elevato glide di temperatura dovuto al fatto che essi risultano essere delle miscele di tipo zeotropico. L'impatto delle miscele zeotropiche influenza sempre gli scambiatori di calore dell'impianto; principalmente il condensatore che richiede superfici più grandi per la stessa potenza di condensazione o che obbliga ad accettare pressioni e temperature di condensazione più elevate. Poiché gli evaporatori ad aria DX di solito beneficiano della presenza del glide poiché aumenta il DT dell'evaporazione, anche gli scambiatori a bassa e bassissima temperatura ne possono trarre vantaggio. Occorre ricordare però che i nostri refrigeratori a media temperatura provocherebbero una deumidificazione dei prodotti in quanto i grandi DT tendono a rimuovere l'umidità dall'ambiente. Fortunatamente la capacità richiesta dai raffreddatori a media temperatura non era grande e il problema poteva essere evitato aumentando la loro superficie. Quindi un aumento dei costi rispetto a R404A era inevitabile anche ricorrendo all'utilizzo dell'R407F e dell'R449A, che pur presentano caratteristiche molto simili all'R404A

Un confronto diretto dei COP è stato effettuato in due condizioni operative ritenute significative, una con una temperatura di condensazione di +35 per l'uso della torre di raffreddamento e una con una temperatura di +45 per l'uso con i condensatori

raffreddati ad aria. I dati per gli HFC e l'ammoniaca sono stati calcolati supponendo l'utilizzo di compressori a vite di tipo aperto mentre per la CO₂ con compressori alternativi semiermetici per il circuito di bassa e a viti di tipo aperto per il circuito di alta. Tutte i compressori a vite sono stati supposti dotati di economizzatori. La tabella 3 mostra il confronto tra i vari valori di COP rispetto all'R404A secondo le due citate condizioni operative.

	R404A	R407F	R449A	R717 (ammoniaca)	R744 (CO ₂) /R134A cascata
COP per il gruppo di compressori funzionanti a -38/+45	1,02	0,98	1,01	N/A	1,11
COP per il gruppo di compressori funzionanti a -38/+35	1,41	1,40	1,36	1,42	1,38

Tabella 3: confronto dei COP (Surriscaldamento=10K e 5K per NH₃, sottoraffreddamento solo per gli economizzatori)

Era chiaro che i COP erano per la maggior parte simili e l'impulso principale per la selezione del refrigerante sarebbe stato quello che di solito viene considerato per ultimo, i costi e la familiarità. Il cliente ha preso una decisione e ha scelto l'R407F o l'R449A, a seconda del quale si potesse prevedere un miglior futuro, in ragione della loro similitudine con l'R404A e dei costi di investimento più contenuti. Inoltre, questa scelta non avrebbe comportato l'utilizzo di torri evaporative ed il rischio di blocco della produzione in caso di regole di utilizzo dell'acqua più severe. Le condizioni nominali di condensazione furono fissate a 45 °C con condensatori raffreddati ad aria. Dal nostro punto di vista è stata una scelta ragionevole optare per l'R449A poiché il suo GWP inferiore lo rende la scelta più sicura per l'immediato futuro. La Tabella 4 mostra i vantaggi e gli svantaggi dei refrigeranti presi in esame per il nuovo impianto.

	R407F	R449A	R717	R744/R134A cascata
Familiarità	++	++	--	-
Investimento iniziale	++	++	--	-
Costi operativi	+	+	-	+
Impatto ambientale diretto	+	+	++	++
Impatto ambientale indiretto	+	+	+	+
Rispetto future disposizioni EUR517/2014	-	-	++	-
Legislazione (Nazionale e locale)	++	++	--	++
Condensazione e condizioni ambientali	++	++	--	++

Tabella 4: Confronto tra i diversi refrigeranti presi in esame per sostituire l'R404A già in uso

Dopo aver eseguito la scelta del refrigerante non significava che il lavoro fosse stato completato. C'era ancora una cosa da fare per raggiungere gli obiettivi che ci eravamo prefissati. Dovevamo garantire che ci fossero emissioni minime sia dirette che indirette per quel refrigerante specifico, poiché questa è la spinta principale che sta a fondamento di EUR517 / 2014. Ciò ha comportato un'ulteriore ottimizzazione dei circuiti frigoriferi dell'impianto in termini di efficienza energetica e minimizzazione delle perdite. È stato deciso di utilizzare tecnologie di risparmio energetico utili per tutti i refrigeranti.

Convertitori di frequenza, soft-starter, valvole di espansione elettroniche, recupero del calore per la produzione di acqua calda, condensatori adiabatici raffreddati ad aria, ventilatori EC, procedure per la condensazione flottante costituivano tutte tecnologie e tecniche che potevano essere applicate nel nostro impianto al fine di massimizzare il risparmio energetico e quindi ridurre le emissioni indirette dell'installazione.

Infine, è stato fissato l'obiettivo di una totale copertura per il rilevamento delle perdite sia per il nuovo che per i vecchi impianti, con la possibilità di rilevare eventuali perdite in maniera molto rapida. In caso di perdite maggiori di refrigerante la soluzione sarebbe stata mutuata dai controlli di sicurezza degli impianti ad ammoniaca. Abbiamo deciso di suddividere i circuiti frigoriferi in diverse sezioni che potevano essere isolate mediante valvole a solenoide in caso di rilevamento di perdite di elevata entità. A tal fine sono state previste due elettrovalvole, normalmente chiuse, una prima del ricevitore del liquido e una dopo per isolare la maggior parte del refrigerante e tenerlo al sicuro, mentre il compressore si arresta. Sono stati quindi creati quattro compartimenti principali per isolare il refrigerante, uno per la linea di scarico e la linea del liquido prima del ricevitore, uno per il ricevitore del liquido, uno per la tubazione del liquido fino alla valvola di espansione e uno per la linea di aspirazione. Una valvola di sicurezza sulla linea di scarico fornisce protezione in caso di trafilamento e simultaneo aumento della pressione nella linea di scarico, mentre una terza valvola di sicurezza sulla linea del liquido rileva la pressione dopo il ricevitore per verificare se per qualche motivo la pressione in quella sezione aumenta pur con impianto fermo. In questo modo non ci potrebbe mai essere una completa perdita di refrigerante fatta eccezione per la rottura del ricevitore di liquido. Dopo aver compiuto tutte le scelte sopra illustrate per i refrigeranti presi in esame e le sicurezze appositamente progettate contro le perdite di refrigerante, il processo di selezione è stato ritenuto completo.

Bibliografia:

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 4° rapporto di valutazione, 2007
- 2) Regolamento Europeo FGAS 517/2014
- 3) Standard europeo EN378:2016 parti da 1 a 4
- 4) Norme greche di protezione antincendio per gli edifici industriali
- 5) Legislazione greca e requisiti sull'uso del suolo
- 6) Bitzer software (www.bitzer.de)
- 7) European Environment Agency, Natura 2000 network viewer (natura2000.eea.europa.eu)
- 8) Bitzer refrigerant report 20, A-501-20