

Rubrica

a cura di **Giuseppe Menini**

Condensazione ad aria o ad acqua? Vantaggi e svantaggi a confronto.

In un impianto di refrigerazione, il condensatore è il componente in cui il gas refrigerante passa dalla fase gassosa a quella liquida grazie ad una diminuzione di temperatura che avviene ad opera di un fluido che asporta calore. Solitamente, soprattutto per la facile reperibilità, per questa operazione si utilizzano l'aria o l'acqua. I condensatori ad aria sono costituiti da una batteria alettata racchiusa all'interno di un involucro atto a convogliare il flusso d'aria che viene fatta circolare forzatamente tramite l'utilizzo di ventilatori assiali o centrifughi (**fig. 1**). Il refrigerante entra allo stato di vapore dall'alto, viene distribuito tramite un collettore e scorrendo verso il basso condensa all'interno dei tubi, uscendo dal basso allo stato di liquido.

I condensatori ad acqua utilizzati di solito possono essere di due tipi: uno con acqua a perdere (ormai poco usato per gli ovvi sprechi) e quello evaporativo (**fig. 2**). L'acqua viene spruzzata sulla batteria mentre l'aria viene fatta passare attraverso il serpentino in controcorrente rispetto all'acqua stessa, assorbendo il calore dal refrigerante che si desurriscalda e poi condensa. L'acqua viene circolata tramite una pompa collegata al bacino di raccolta mentre l'aria è messa in circolazione forzata grazie all'utilizzo di uno o più ventilatori (centrifughi o assiali). E' necessario sottolineare che vi è sempre una quota di fluido da reintegrare: essa è identificabile con la quantità evaporata durante il processo di raffreddamento e le perdite per trascinarsi che l'acqua subisce per effetto dello scambio in controcorrente con l'aria. Inoltre, una quota di

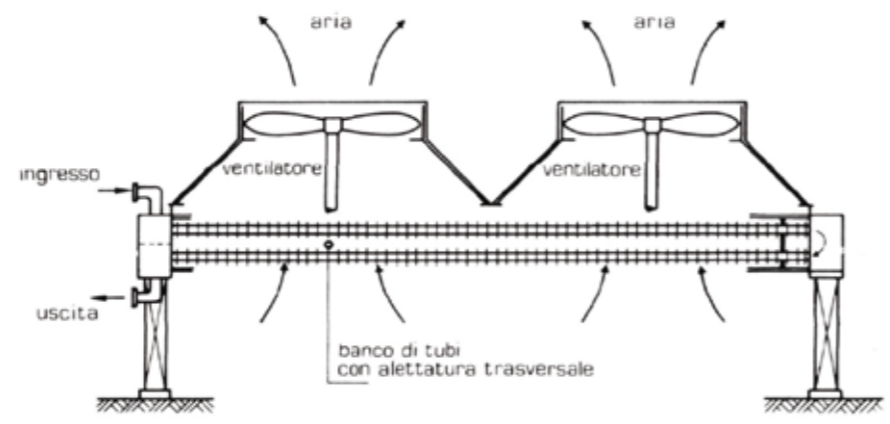


Figura 1
Schema costruttivo di un condensatore ad aria

questo reintegro serve per mantenere la concentrazione di sali all'interno del bacino al di sotto di certi valori, pena il deposito di incrostazioni sulla batteria di scambio con ovvie conseguenze sull'aspetto prestazionale dello scambio termico.

Di seguito, analizzeremo i pro e i contro dei due sistemi di condensazione messi a confronto, dimostrando che l'utilizzo del condensatore evaporativo non è sempre economicamente favorevole poiché a livello pratico intervengono vari fattori (ambientali, di manutenzione, di rumorosità) che fanno aumentare non solo il costo di acquisto, ma anche quello di manutenzione e gestione ordinaria. Tra i vantaggi del condensatore evaporativo rispetto ad un'unità ad aria di pari potenza vengono solitamente citati:

- » consumi energetici inferiori
- » ingombri contenuti
- » temperatura di condensazione generalmente più bassa

Per quanto riguarda i consumi energetici, in linea di massima, nei condensatori evaporativi, a parità di potenza da smaltire, la potenza elet-

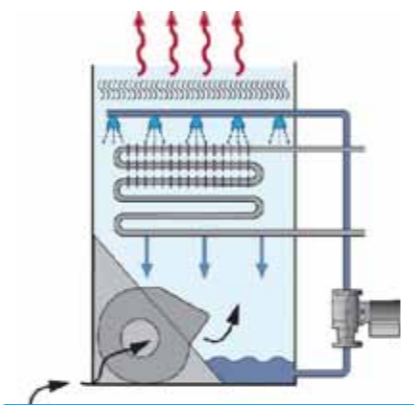


Figura 2
Schema costruttivo di un condensatore evaporativo

trica installata relativa ai ventilatori è inferiore a quella del condensatore ad aria. A questa va comunque aggiunta la quota di potenza relativa alla pompa, facendo però un doveroso distinguo. Se la vasca da cui la pompa attinge è in integrata nel condensatore, solitamente la potenza complessiva (ventilatori e pompa) è inferiore a quella del condensatore ad aria. Però, se la vasca è remota, la potenza di pompaggio diventa considerevole e quindi la somma complessiva dei ventilatori e della pompa può superare il valore relativo alle ventole del condensatore ad aria. Se

in più, in inverno, vengono utilizzate le resistenze elettriche nel bacino di raccolta per evitare che l'acqua ghiacci, allora inequivocabilmente il consumo elettrico dei dispositivi associati al condensatore evaporativo (ventilatori, pompa, resistenze bacino) è superiore a quello del condensatore ad aria (ventilatori).

Parlando di ingombri, il condensatore evaporativo, a parità di potenza da smaltire, solitamente ha dimensioni più contenute anche se, dal punto di vista della rumorosità, risulta essere caratterizzato da valori generalmente più alti.

Per quanto riguarda la temperatura di condensazione, è opinione diffusa che il condensatore evaporativo consenta di ottenere valori inferiori rispetto a quello ad aria. Dai dati e dai confronti che seguiranno, si vedrà che il vantaggio del condensatore evaporativo è massimo nelle **ore calde del giorno dei mesi caldi** per poi ridursi in alcune situazioni, arrivando in altre a perdere (di notte, nei mesi freddi e in tutte quelle situazioni in cui l'umidità è tale che la temperatura a bulbo umido è quasi uguale alla temperatura ambiente dell'aria).

Per spiegare al meglio questo concetto dobbiamo partire dalla progettazione dell'impianto frigorifero: ai fini del suo dimensionamento conta la temperatura massima giornaliera raggiungibile (evento che si verifica in estate e che può essere di 35÷38 °C) poiché l'impianto deve essere in grado di far fronte al carico frigorifero nelle condizioni di esercizio più sfavorevoli. Però, **per quanto riguarda il consumo, conta la temperatura media**, poiché il consumo è un va-

Stagione	Umidità relativa (%)	Temperatura esterna (°C)	Temperatura di bulbo umido (°C)	Temperatura di condensazione (°C)
Inverno	90 %	+4	+3,9	+18
Estate	50 %	+35	+26	+35

Tabella 1. Esempio delle temperature che regolano il processo di condensazione per un condensatore evaporativo.

Stagione	Umidità relativa (%)	Temperatura esterna (°C)	Temperatura di bulbo umido (°C)	Temperatura di condensazione (°C)
Inverno	90 %	+4	+3,9	+14
Estate	50 %	+35	+26	+45

Tabella 2. Esempio delle temperature che regolano il processo di condensazione per un condensatore ad aria.

lore che viene caratterizzato non da un massimo ad una certa ora, ma dalla somma delle singole ore dei singoli giorni nell'arco dei mesi. Nel condensatore evaporativo, il fattore che determina a quale temperatura di condensazione si può operare è la temperatura di bulbo umido (Tbu) dell'aria che, a sua volta, è funzione della temperatura dell'aria e dell'umidità presente. Valori tipici nella pratica frigorifera indicano una temperatura dell'acqua che si raffredda a contatto con l'aria di 3÷4 °C superiore a quella di bulbo umido per poter poi condensare il gas refrigerante all'interno del condensatore ad una temperatura Tc di 5 °C superiore. Per esempio, se Tbu = 26 °C, la Tacqua sarà circa pari a 30 °C, mentre Tcond si assesterà su valori prossimi ai 35 °C.

Nei mesi freddi comunque, la temperatura dell'acqua del bacino deve essere mantenuta ad un valore di circa 7÷8 °C superiore a quella di bulbo umido per evitare che ci sia for-

mazione di ghiaccio. Quanto detto implica che durante il periodo estivo la temperatura massima di condensazione sia di 35 °C, mentre in inverno essa non può scendere mai al di sotto dei 18÷20 °C. Infatti, **come riportato dai costruttori**, i dati dimostrano che al diminuire della temperatura di bulbo umido non c'è un proporzionale calo della temperatura di condensazione. La situazione è riportata in tabella (**tab. 1**).

Nel condensatore ad aria, valori caratteristici di funzionamento sono temperature di condensazione maggiori di 10 °C di quelle a bulbo asciutto dell'aria entrante. Partendo dalle stesse condizioni riportate nella tabella 1, la situazione per la condensazione ad aria è riportata nello specchio 2 (**tab. 2**).

Per meglio esplicitare il concetto, faremo un esempio concreto. Di seguito riportiamo i dati relativi ad alcuni giorni del 2010, facendo riferimento alla temperatura ed umidità nel comune di Faenza (RA). Tali rilevazioni

Giorno	Periodo	Umidità relativa (%)	T esterna (°C)	T bulbo umido (°C)	T cond. evaporativo (°C)	T cond. aria (°C)
10 Gennaio	Giorno	58	11.6	7.7	18	21
	Notte	90	2.1	1.5	18	12
19 Gennaio	Giorno	92	0.3	0	18	10
	Notte	100	-5.9	-5.9	18	4
26 Febbraio	Giorno	68	16.5	13	22	26
	Notte	98	6.2	6	18	16
01 Febbraio	Giorno	46	6.5	2.3	18	16
	Notte	95	-5.6	-5.8	18	4
29 Marzo	Giorno	41	21.6	14	25	31
	Notte	75	11.8	10	19	21
10 Marzo	Giorno	96	2	2	18	12
	Notte	100	-0.4	-0.4	18	9
30 Aprile	Giorno	32	28.7	17.5	27	38
	Notte	84	12.4	11	20	22
13 Aprile	Giorno	67	12.2	9.1	19	22
	Notte	100	5.6	5.6	18	16
25 Maggio	Giorno	31	29.6	17.9	27	40
	Notte	57	19.1	14	23	29
15 Maggio	Giorno	78	14	11.8	21	24
	Notte	100	11.2	11.2	20	21
16 Settembre	Giorno	51	27.8	20.4	30	38
	Notte	93	15.1	14.4	23	25
28 Settembre	Giorno	53	22	15.9	25	32
	Notte	96	9.2	8.9	18	19
05 Ottobre	Giorno	51	26.2	19	28	36
	Notte	100	16.3	16.3	25	26
26 Ottobre	Giorno	76	10.7	8.6	18	20
	Notte	100	6.4	6.4	18	16
02 Novembre	Giorno	75	19.7	16.8	26	29
	Notte	100	12.7	12.7	22	23
28 Novembre	Giorno	85	3.9	2.9	18	14
	Notte	100	1.7	1.7	18	11
25 Dicembre	Giorno	95	9.5	9	18	19
	Notte	100	5.2	5.2	18	15
16 Dicembre	Giorno	87	-1.2	-2	18	9
	Notte	100	-6.2	-6.2	18	3

Tabella 3. Dati giornalieri di temperatura ed umidità per i mesi invernali e primaverili a Faenza (RA).

sono state rese disponibili dall'archivio dell'Osservatorio Meteorologico "E. Torricelli" di Faenza (meteofa.it). Faremo riferimento, per l'analisi, al giorno più caldo e a quello più freddo relativamente ai mesi invernali e a quelli primaverili (tab. 3), mentre esamineremo a parte i mesi estivi (Giugno, Luglio, Agosto).

Dai valori riportati (tab. 3), si può vedere che con temperature basse e umidità relative alte, il vantaggio del condensatore evaporativo viene completamente annullato. Infatti abbiamo temperature a bulbo umido molto basse che implicano una temperatura di condensazione minima ottenibile di 18 °C. Il che

significa che, condensando ad aria, riusciremo ad avere temperature di condensazione minime inferiori (nel caso specifico, parliamo di valori compresi tra i +4 °C e +14 °C). In queste condizioni poi il processo avverrà in condizioni statiche, senza sia necessario accendere i ventilatori per smaltire il calore.

Giorno	Periodo	Umidità relativa (%)	T esterna (°C)	T bulbo umido (°C)	T cond. evaporativo (°C)	T cond. aria (°C)
30 Giugno	Giorno	38	32,6	22	31	43
	Notte	75	19,1	16	25	29
20 Giugno	Giorno	82	17,5	15	24	27
	Notte	100	14	14	24	24
04 Giugno	Giorno	41	26,8	18	27	37
	Notte	86	13,6	13	22	24

Tabella 4. Valori delle temperature che regolano il processo di condensazione per un condensatore evaporativo per il mese di **Giugno 2010**.

Giorno	Periodo	Umidità relativa (%)	T esterna (°C)	T bulbo umido (°C)	T cond. evaporativo (°C)	T cond. aria (°C)
17 Luglio	Giorno	38	37,9	26	35	48
	Notte	52	22,8	17	26	33
30 Luglio	Giorno	50	25,7	19	28	36
	Notte	98	14,2	14	23	24
20 Luglio	Giorno	44	31,8	23	33	42
	Notte	81	19	17	27	29

Tabella 5. Valori delle temperature che regolano il processo di condensazione per un condensatore evaporativo per il mese di **Luglio 2010**.

Giorno	Periodo	Umidità relativa (%)	T esterna (°C)	T bulbo umido (°C)	T cond. evaporativo (°C)	T cond. aria (°C)
24 Agosto	Giorno	36	33,9	22	31	43
	Notte	81	19,4	17,2	26	29
30 Agosto	Giorno	26	27	15	24	37
	Notte	93	11,1	10,5	20	21
16 Agosto	Giorno	41	26,9	17,9	27	37
	Notte	82	17,1	15,2	26	27

Tabella 6. Valori delle temperature che regolano il processo di condensazione per un condensatore evaporativo per il mese di **Agosto 2010**.

Per il mese di Giugno invece andiamo a considerare (tab. 4):

- » il giorno più caldo, 30 Giugno
- » il giorno più freddo, 20 Giugno
- » un giorno con condizioni intermedie, 04 Giugno

Facciamo la stessa analisi per il mese di Luglio (tab. 5):

- » il giorno più caldo, 17 Luglio
- » il giorno più freddo, 30 Luglio
- » un giorno con condizioni intermedie, 20 Luglio

Per il mese di Agosto invece andiamo a considerare (tab. 6):

- » il giorno più caldo, 24 Agosto
- » il giorno più freddo, 30 Agosto
- » un giorno con condizioni intermedie, 16 Agosto

Riassumendo tutti i dati, possiamo affermare che il vantaggio del condensatore evaporativo è massimo nelle ore calde del giorno durante i mesi estivi per poi ridursi e addirittura annullarsi la notte, nei mesi freddi e in tutte quelle situazioni in cui l'umidità ha valori tali da comportare temperature di bulbo umido prossime a quelle ambiente dell'aria. Fa-

cendo un calcolo sommario si vede che già in parecchi mesi dell'anno vi è un vantaggio della condensazione ad aria; se poi si considera che il condensatore evaporativo ha bisogno di una manutenzione ben più pesante rispetto a quello ad aria (i vari prodotti legati alle problematiche di incrostazioni e alghe, senza contare i possibili problemi legati alla legionella), l'affermazione, a priori, che la condensazione evaporativa è nettamente vantaggiosa rispetto quella ad aria va quanto meno valutata (e



ridimensionata) riferendosi al fatto, soprattutto, che il consumo per l'utente finale è la somma delle bollette di energia elettrica di un anno intero e non di qualche periodo.

Abbiamo detto che lo svantaggio principale del condensatore evaporativo deriva dagli interventi necessari per mantenere alta la sua efficienza. Infatti, l'acqua tende a creare incrostazioni sulla superficie delle tubazioni della batteria per via dei sali minerali in essa disciolti. Lo sporcamento a cui è sottoposto il serpentino riduce la capacità di trasmissione del calore, facendo diminuire l'efficienza del condensatore. E' pertanto opportuno limitare la durezza dell'acqua utilizzando degli addolcitori, senza peraltro dimenticare la necessaria pulizia periodica. A questo tipo di intervento, si devono aggiungere i trattamenti antialghe a cui va sottoposto il bacino di raccolta.

Per contro, la condensazione ad aria contempla un tipo di impianto di complessità decisamente inferiore caratterizzato da un costo iniziale e di installazione più basso. La manutenzione inoltre risulta essere molto più semplice: la batteria alettata si mantiene pulita lavandola con acqua per eliminare la polvere e gli unici componenti che si possono guastare sono i ventilatori. In più, anche a fronte di guasto di uno di essi (in riferimento a impianti definibili industriali, quindi di potenza medio-alta), l'efficienza del condensatore non viene particolarmente compromessa poiché si parla di installazioni che prevedono dalle sei alle dodici ventole per unità condensante. Non si può fare invece lo stesso discorso per il condensatore evaporativo poiché esso utilizza solitamente uno o due ventilatori centrifughi (ne vengono per realizzazioni particolari utilizzati al massimo tre): il mancato funzionamento di uno di essi pregiu-

dica fortemente la capacità dell'unità di smaltire il calore.

Volendo abbinare i pregi delle due tipologie di condensazione (aria ed evaporativa) in una unica soluzione, senza quindi avere particolari svantaggi, si può prevedere un condensatore ad aria al quale venga posto in serie un condensatore ad acqua. In pratica, si parte dalla constatazione che l'utilizzo del condensatore evaporativo comporta un consumo di acqua tanto più marcato nei mesi estivi e meno sensibile nei periodi freddi. A questo punto sorge spontanea l'idea di utilizzare il condensatore ad aria in tutti quei periodi in cui l'aria è vantaggiosa e aggiungere il funzionamento del condensatore ad acqua in quei periodi in cui la temperatura dell'aria sarebbe elevata. L'utilizzo del condensatore ad acqua verrebbe regolato dalla pressione di condensazione: quando questa supera un certo valore di soglia impostato, viene attivata l'apertura di una valvola che fa affluire l'acqua all'interno dello scambiatore. A questo punto si può riutilizzare questa acqua usata per la condensazione in applicazioni in cui serve del fluido preriscaldato, oppure la si può reimmettere nella falda dalla quale è stata prelevata. Il condensatore ad aria funzionerebbe sempre, poiché il gas refrigerante passerebbe prima attraverso di esso venendo desurriscaldato e parzialmente condensato, attraversando successivamente (e solo se necessario) il condensatore ad acqua per essere completamente condensato alla pressione stabilita.

In questo modo, il fluido primario che viene utilizzato sempre è l'aria che, come accennato in precedenza, non ha problemi di reperibilità. Nei periodi in cui questo fluido si trova a temperature vantaggiose rispetto alla temperatura a bulbo umido della zona (mesi invernali e mezze

stagioni), il condensatore ad aria si rivela conveniente. Nel momento in cui si rende necessario utilizzare anche l'acqua, questa ha il vantaggio di non necessitare di alcun trattamento, pur avendo l'accortezza, una volta all'anno, di effettuare una pulizia chimica dello scambiatore per togliere eventuali sedimenti o calcare. Una variante di questa applicazione è quella dell'utilizzo di ugelli spruzzatori di acqua, posti sulla batteria del condensatore ad aria, che verrebbero alimentati solo quando la pressione di condensazione sale al di sopra un certo valore: l'efficacia del sistema è legata soprattutto all'evaporazione di una certa quantità di acqua (il funzionamento è simile a quello del condensatore evaporativo). Uno svantaggio è legato al fatto che se l'acqua non è trattata per limitare la presenza di sali quali il calcio e il magnesio, nella batteria alettata del condensatore ad aria si formerebbero rapidamente dei depositi con ovvie problematiche di efficienza di scambio termico. Pertanto, non è possibile affermare che condensare ad acqua sia **sempre e a prescindere** vantaggioso rispetto alla condensazione ad aria: sarà opportuno valutare caso per caso quale soluzione sia la migliore, poiché i fattori ambientali influenzano in maniera determinante il funzionamento di entrambi gli impianti. Inoltre non va trascurato l'aspetto ambientale in quanto l'acqua è un bene sempre più prezioso che va usato con parsimonia.