

Fase di installazione di raffreddatori di liquido Dry & Spray presso la Fiera di Francoforte (Germania).



# Dry & Spray: raffreddatori di liquido e condensatori per il risparmio energetico

di Stefano Filippini\*

*Un'alternativa ai raffreddatori secchi, o evaporativi, nei grandi impianti di condizionamento e nei processi industriali*

I PRODOTTI DRY AND SPRAY rappresentano il punto più avanzato dello sviluppo di dissipatori e dry coolers, in grado di scambiare grandi quantità di calore a basse temperature, prossime a quelle di bulbo secco dell'aria. Il loro impiego più naturale è nei grandi impianti di condizionamento e nei processi industriali, dove rappresentano un'importante alternativa ai tradizionali raffreddatori secchi o evaporativi. Rispetto ai primi consentono infatti temperature di lavoro di gran lunga inferiori, rispetto ai secondi hanno un consumo d'acqua molto minore e non soffrono dei noti problemi igienici, in particolare della formazione di legionella.

Il principio di funzionamento è basato sullo scambio con superficie secca, finché le condizioni ambientali lo permettono. All'aumentare della temperatura ambiente viene spruzzata sullo scambiatore una limitata quantità

## ATTIVITÀ DI RICERCA

La nuova gamma di raffreddatori di liquido e di condensatori di grande potenza, basata sul principio di funzionamento Dry and Spray sono il risultato di un'attività di ricerca e sviluppo, svoltasi presso i laboratori del Gruppo LU-VE con la supervisione di consulenti scientifici del Politecnico di Milano.

L'utilizzo dei codici CFD, come mostrato in figura, ha consentito di sviluppare una geometria di scambio particolarmente efficiente sia in caso di funzionamento con superficie secca che durante l'iniezione di acqua. Per poter ottimizzare le prestazioni con superficie bagnata il Politecnico di Milano ha eseguito uno studio focalizzato a determinare le dimensioni delle gocce d'acqua prodotte dagli ugelli, utilizzati sulle macchine D&S, al variare della pressione di nebulizzazione tra 4 e 16 bar. Lo strumento di misura utilizzato è un anemometro laser Doppler, in grado di misurare la velocità e il diametro di particelle sferiche nel campo micrometrico.

L'ugello analizzato è stato posizionato con l'asse dello spray orizzontale, denominato asse X in un sistema di riferimento cartesiano. Le misure sono state svolte su diversi punti collocati lungo diverse traverse diametrali, a distanza dall'ugello X costante.

La quota Z è sempre stata tenuta a zero. Per ogni spray sono state acquisite due traverse diametrali a diverse distanze X dall'ugello: 100 e 200 mm. Per ogni traversa diametrale sono stati acquisiti tra 21 e 31 punti, con passo Y di 10 mm, in modo da coprire l'intera larghezza dello spray.

Per ogni punto di misura sono stati acquisiti dati per un tempo fissato in funzione della pressione, con un massimo di 60000 gocce per punto.

Per ogni goccia misurata sono disponibili i seguenti dati:

- la componente di velocità della goccia in direzione assiale
- il diametro della goccia
- transit time, la durata del segnale analizzato.

Dopo l'acquisizione, una prima elaborazione dei dati rende disponibili per ogni punto i valori medi, usati per tracciare dei profili lungo le traverse diametrali. Tali dati, resi disponibili anche in forma grafica, sono:

- X, Y, Z coordinate del punto
- Count numero di gocce misurate nel punto
- LDA1-Mean velocità media
- D-Mean diametro medio aritmetico

Un'altra elaborazione dei dati delle singole gocce permette di ricavare la distribuzione delle gocce per classi di diametri nell'intero spray ad una determinata distanza dall'ugello. L'elaborazione è stata fatta in due diversi modi:

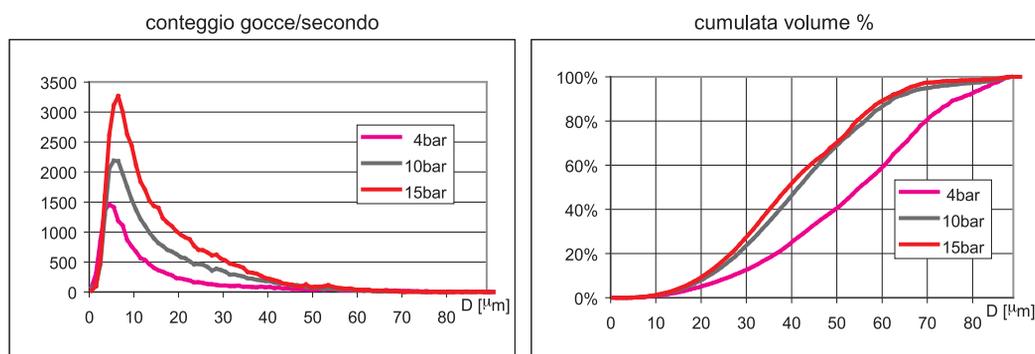
- modo denominato "Malvern": gli istogrammi di distribuzione ottenuti in ciascun punto di misura di una stessa

d'acqua finemente nebulizzata. Il rendimento di evaporazione è molto elevato e non vi è vasca di raccolta d'acqua, eliminando così i rischi di natura sanitaria.

## Principi di funzionamento

L'obiettivo alla base dell'attività di sviluppo era quello di realizzare un prodotto del più basso impatto ambientale possibile, quindi in grado di consentire temperature di scambio termico prossimo all'ambiente (garantendo elevati COP di impianto) abbinate a bassi consumi di ventilazione.

I prodotti della serie Dry and Spray funzionano come tradizionali raffreddatori di liquido (o condensatori) con le alette



X = 200 mm dall'ugello, dati raccolti sull'intera traversa, pesati secondo l'area

Figura 2 – Curve di distribuzione delle gocce (numero) per classi di diametri e le curve cumulative percentuali in volume (ricavate dai diagrammi adiacenti).

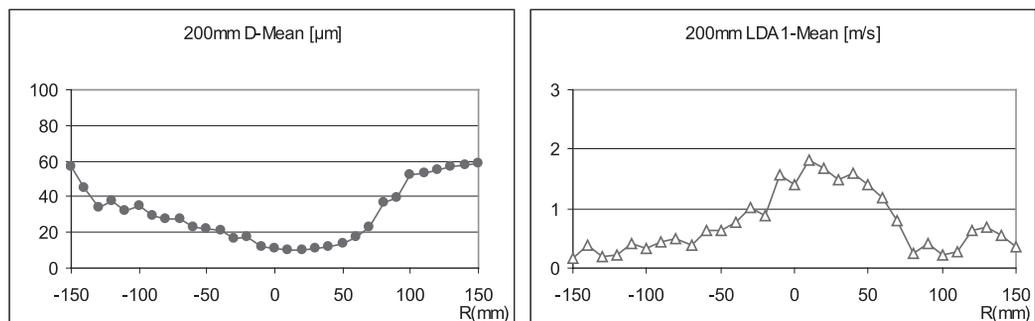


Figura 3 – Curve del profilo del diametro medio delle gocce  $D_{10}$ , lungo la stessa traversa del diagramma a lato (in questo caso si evidenzia che le gocce più piccole si trovano all'interno dello spray) e il profilo di velocità media assiale a distanza 200 mm dall'ugello, lungo una traversa diametrale da -150 mm a +150 mm. Ogni punto rappresenta la media della velocità delle gocce rilevate nello stesso punto di misura.

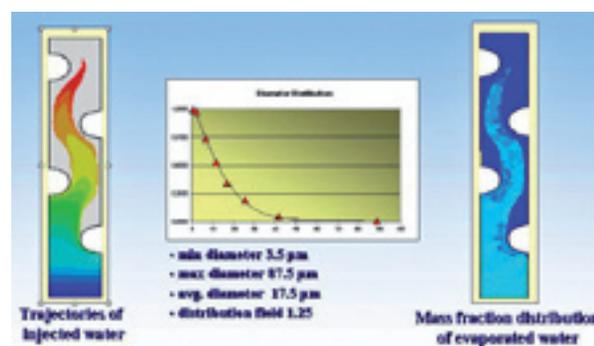


Figura 4 – Traiettorie dell'acqua iniettata e frazione in massa dell'acqua evaporata

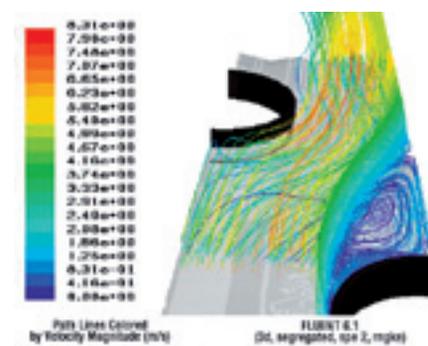


Figura 5 – Linee di flusso attorno al terzo rango dello scambiatore

traversa sono stati sommati tra di loro. Questa operazione è resa possibile perché la durata di acquisizione è la stessa sui vari punti. Il risultato è la distribuzione misurata su una linea che attraversa lo spray in direzione diametrale, come si ottiene con uno strumento di diffrazione del tipo "Malvern".

- modo denominato "PDA": i valori degli istogrammi ottenuti sui diversi punti sono stati moltiplicati per la coordinata radiale del punto stesso, in modo da tenere conto che ogni punto è in realtà indicativo di una semi corona circolare. Il risultato è la distribuzione misurata sull'intera sezione circolare dello spray, nell'ipotesi che lo spray abbia simmetria assiale. Il peso applicato è pari a  $D^{-0.25}$  ( $D > 1$  micron).

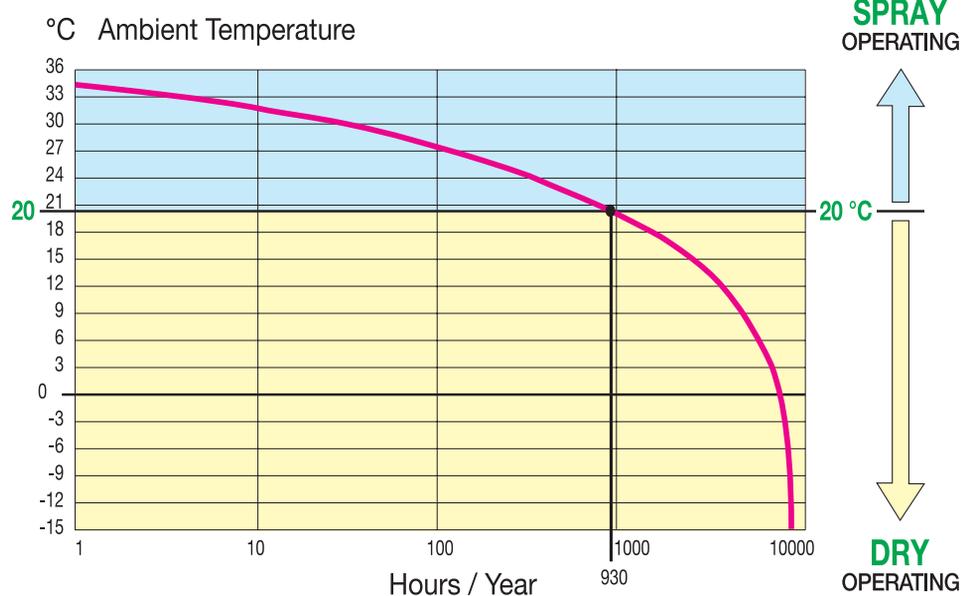


Figura 1 – Diagramma cumulativo della distribuzione di temperatura per una generica località dell'Europa centrale.

## DESCRIZIONE DEL PRODOTTO

Dry and Spray è composto da sei elementi principali: raffreddatore di liquido, rampe con ugelli atomizzatori speciali, elettrovalvole per l'apertura e la chiusura delle rampe, sistema di controllo elettronico, apparecchiatura per il trattamento dell'acqua e pompa speciale ad alta pressione.

### Raffreddatore di liquido

Il raffreddatore di liquido (o condensatore) è realizzato con scambiatori di calore ad alta efficienza, dotato di alette di alluminio rivestite con materiale speciale, idoneo per un funzionamento ottimale con superficie bagnata.

### Rampe con ugelli atomizzatori

Le rampe sono dotate di ugelli atomizzatori speciali per la distribuzione dell'acqua sull'intera superficie delle batterie.

### Elettrovalvole

Le elettrovalvole servono per l'apertura e la chiusura delle rampe di distribuzione dell'acqua e operano in funzione del carico termico, della temperatura e dell'umidità dell'aria ambiente.

### Sistema di controllo elettronico

Un sofisticato sistema di controllo elettronico ottimizza il funzionamento del sistema Dry and Spray al variare del carico termico del raffreddatore di liquido (o del condensatore) e della temperatura dell'aria ambiente. Il sistema è in grado di gestire completamente l'iniezione dell'acqua e i ventilatori.

Nella fase di funzionamento DRY, il controllo è essenzialmente dedicato a regolare la velocità di rotazione dei ventilatori, con la conseguente riduzione sia del consumo di energia che del livello delle emissioni sonore.

Nella fase di funzionamento SPRAY, il sistema regola invece la quantità dell'acqua da spruzzare sulle batterie, permettendo il risparmio dei consumi di acqua. Questa regolazione opera in parallelo con la regolazione della velocità dell'aria, consentendo di minimizzare contemporaneamente sia i consumi di acqua e che quelli di elettricità.

### Componenti aggiuntivi

L'apparecchio Dry and Spray è poi dotato di ulteriori due componenti aggiuntivi:

- un'apparecchiatura per il trattamento dell'acqua da spruzzare sulle alette delle batterie, durante il funzionamento SPRAY;
- una pompa speciale ad alta pressione, per alimentare le rampe di distribuzione dell'acqua sulla superficie delle batterie.

Questi ultimi due componenti devono essere installati in un ambiente chiuso, con una temperatura superiore a 5°C.

delle batterie asciutte fino a quando la temperatura dell'aria ambiente è sufficientemente bassa per mantenere la potenza di raffreddamento e la temperatura del liquido raffreddato (o la pressione di condensazione) alle condizioni di progetto (funzionamento DRY). Quando però la temperatura ambiente dell'aria diventa troppo elevata per poter ottenere la potenza di raffreddamento (e la temperatura del liquido, raffreddato alle condizioni di progetto), entra in funzione automaticamente il sistema per spruzzare l'acqua sulle alette delle batterie (funzionamento SPRAY). L'evaporazione dell'acqua

spruzzata sulle alette della batteria aumenta drasticamente la potenza dell'apparecchio, consentendo di mantenere la temperatura del liquido raffreddato alle condizioni di progetto, in presenza di qualsiasi valore della temperatura dell'aria ambiente. Inoltre, questa innovativa tecnologia consente di ottenere (in funzione della temperatura del bulbo umido dell'aria ambiente) una temperatura del liquido raffreddato uguale o inferiore, alla temperatura del bulbo secco dell'aria ambiente, con importanti vantaggi energetici (COP).

La temperatura ambiente di passaggio da

funzionamento DRY a funzionamento SPRAY è una scelta progettuale e si colloca generalmente attorno a 20°C. A riguardo è importante evidenziare che la gran parte dell'acqua spruzzata sulle alette viene evaporata, escludendo di conseguenza la necessità di realizzare sotto l'apparecchio una bacinella per raccogliere e ricircolare l'acqua spruzzata, con importanti benefici igienici.

Figura 6 – Raffreddatore di liquido Dry & Spray.



Figura 7 – Ugello atomizzatore speciale per la distribuzione dell'acqua sulla batteria.



## WATER INJECTION TECHNOLOGY

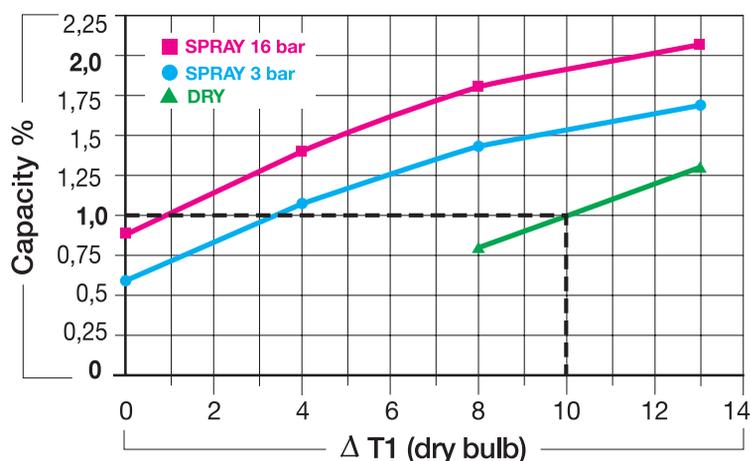


Figura 8 – Confronto tra potenza con superficie secca e bagnata

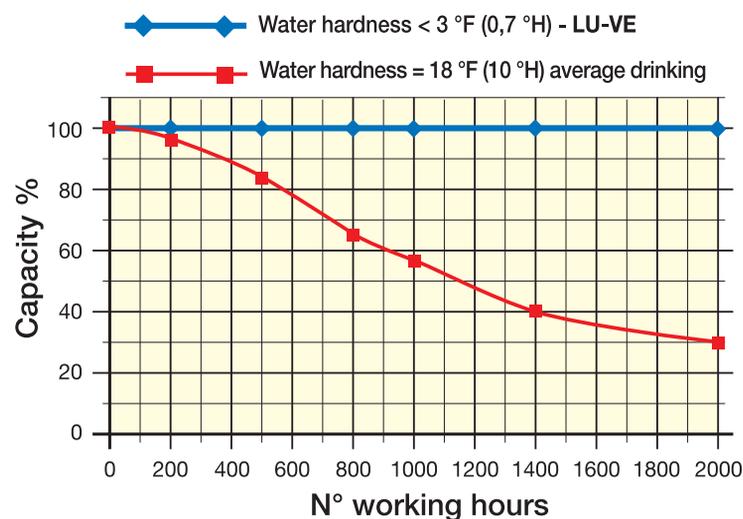


Figura 9 – Diagramma della durezza dell'acqua.

### Prestazioni

La nuova tecnologia Dry and Spray consente di realizzare apparecchi di grande potenza unitaria. A titolo indicativo nella figura sottostante si può notare un diagramma qualitativo con le prestazioni di un apparecchio dotato di ventilatore diametro 800 mm, a 6 poli.

Rispetto alla tradizionale configurazione DRY, le prestazioni crescono in modo esponenziale al ridursi del  $\Delta T1$  e dipendono grandemente dalla scelta della pressione di nebulizzazione. Tale pressione, in funzione delle condizioni di esercizio, è compresa tra 2,5 e 16 bar, fermo restando il vincolo del rispetto delle condizioni di impiego dell'acqua.

### Aspetti igienici

La ricerca e sviluppo ha dedicato grandissima attenzione agli aspetti igienici del prodotto, proprio per garantirne l'assoluta affidabilità.

L'assenza di ricircolo dell'acqua nebulizzata significa consentire la mancanza della vasca di raccolta. Infatti, l'acqua una volta spruzzata sulle alette evapora (in larga parte), oppure scende lungo le alette e cade al suolo, ove sarà smaltita come l'acqua piovana.

Poiché l'acqua che viene nebulizzata sulle alette è un liquido accuratamente trattato e depurato, è esclusa la possibilità di formazione di depositi e di biofilm, tipica causa di formazione di colonie batteriche.

L'apparecchio elimina il trasci-

namento di gocce da parte dell'aria che, dopo aver attraversato le superfici di scambio, viene espulsa in atmosfera dai ventilatori. Per ottenere questo risultato, si è adottata una soluzione che prevede di iniettare l'acqua, finemente nebulizzata, alla temperatura cui è fornita dalla rete, a monte delle batterie di scambio termico. Inoltre, si controlla che (in ogni condizione operativa) il rapporto fra la portata d'aria e quella dell'acqua sia sempre molto superiore ai valori per cui possa verificarsi la saturazione. Di fatto, l'ottimizzazione del sistema ha portato a valori di umidità relativa dell'aria all'uscita delle batterie che non superano mai il 65%. Tali condizioni eliminano ogni possibilità di presenza di acqua allo stato liquido. Il dato progettuale è stato verificato nel corso di numerose prove sperimentali, condotte nelle più svariate condizioni operative. È pertanto fisicamente impossibile la presenza di goccioline di acqua nel flusso d'aria in uscita dai ventilatori.

L'acqua di alimentazione del sistema SPRAY è acqua potabile. Non è contaminata da batteri (come la Legionella e altri) dannosi per la salute. L'acqua che si trova all'interno delle rampe del sistema SPRAY potrebbe (in caso di non utilizzo del sistema stesso) scaldarsi, a causa dell'irraggiamento solare. Dalle specifiche prove effettuate presso l'Istituto Zooprofilattico di Pavia, è emerso con chiarezza che nell'acqua addolcita e trattata secondo le specifiche LUVES non si ha proliferazione di Legionella Pneumophila. Tuttavia, a richiesta e per ulteriore maggiore sicurezza, è disponibile un sistema di svuotamento automatico delle rampe stesse.

Dry and Spray ha ottenuto il "Certificato di sicurezza igienica" rilasciato dal laboratorio tedesco Domatec. Tuttavia, se dovessero sussistere incertezze su eventuali contaminazioni batteriche presenti nell'acqua potabile di alimentazione del sistema, viene fornito, a richiesta, un kit composto da speciali lampade UV, in grado di assicurare la sterilizzazione dell'acqua stessa.

### Qualità dell'acqua da nebulizzare

Attenzione è stata posta all'aspetto relativo alla qualità dell'acqua da nebulizzare sulle alette. A riguardo sono stati condotti sofisticati studi di laboratorio. In particolare è stata analizzata la resistenza alla corrosione e il deposito calcareo, su alette di alluminio con speciale rivestimento protettivo, in funzione di diverse qualità dell'acqua.

Per un corretto funzionamento dei Dry and Spray, l'acqua presente sull'impianto deve avere le seguenti caratteristiche:

- rispettare la Direttiva 98/83/EC – Acque destinate al consumo umano;
- Ph incluso tra 6 e 8;
- conducibilità < 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;
- cloruri < 200 mg/l (200 ppm).

L'acqua di origine – prima di venire nebulizzata – deve subire un processo di addolcimento, onde ridurne la durezza, che deve essere compresa tra 2 e 4 $^{\circ}\text{F}$  (ovvero 1,1 - 1,6 $^{\circ}\text{H}$ ). Inoltre deve essere dosato uno speciale agente protettivo (LU-WET 30), perfettamente biodegradabile, in grado di assicurare un funzionamento affidabile nel tempo, col vincolo di impiegare il sistema SPRAY per un massimo di 900 ore annue. Qualora poi i cloruri siano < 100 mg/l non risulta necessario aggiungere lo speciale agente protettivo LU-WET 30. Resta valido il limite di 900 ore annue all'utilizzo del sistema SPRAY. Infine, se i cloruri sono compresi tra 100 e 200 mg/l si può evitare di aggiungere lo speciale agente protettivo LU-WET 30, ma il limite all'impiego del sistema SPRAY si riduce a 300 ore annue. L'impiego di acqua non trattata anche se di media durezza, provoca in breve tempo il deposito di carbonati sulle alette, con conseguente calo della prestazione, come ben evidenziato dal grafico sottostante che riporta una serie di prove sperimentali da noi condotte con acqua a 3 $^{\circ}\text{F}$  e a 18 $^{\circ}\text{F}$ .

\* Stefano Filippini

R & D Manager LU-VES.p.A., Varese