



# Trattamento dell'aria compressa

---

“Filtrazione ed essiccamiento”



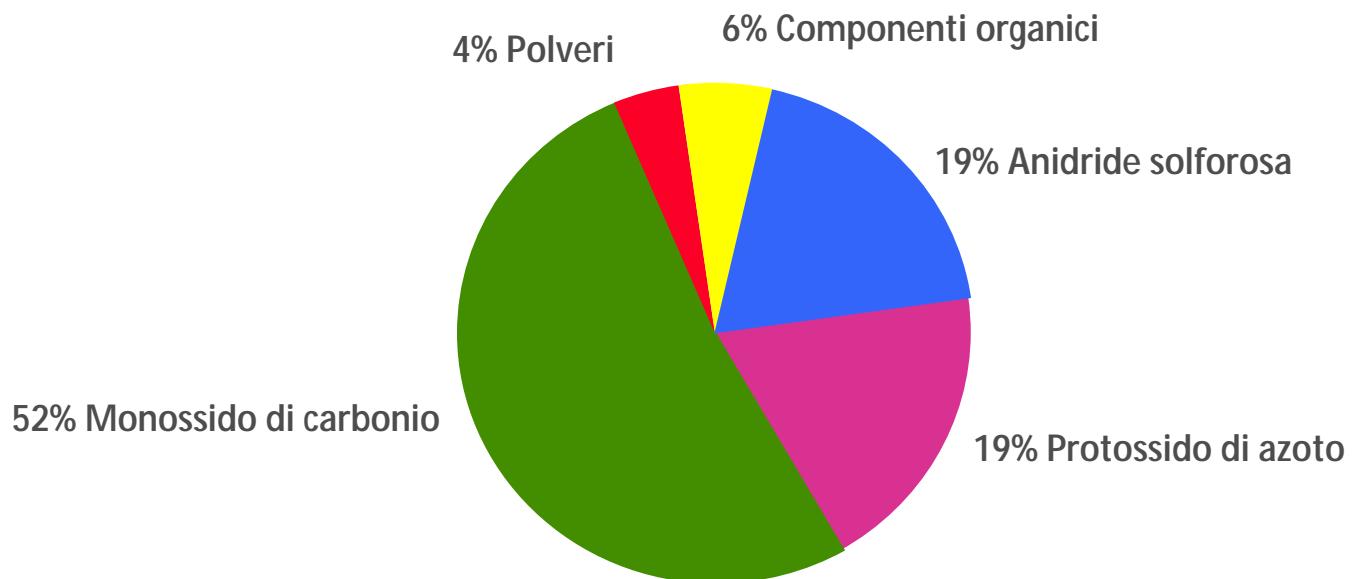
# Purificazione dell'aria compressa

---

- L'aria compressa per poter essere utilizzata deve essere purificata in modo tale da evitare possibili danni agli utensili, alle tubazioni ed al processo produttivo, con inevitabili aumenti dei costi di produzione.

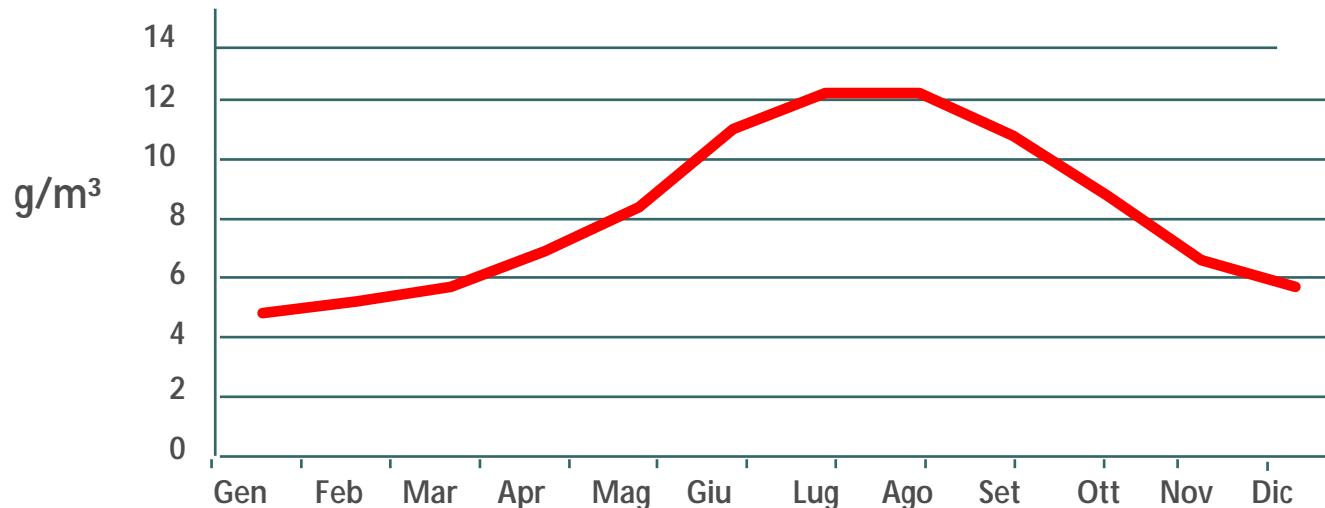
# Componenti inquinanti dell'aria

Percentuale di elementi inquinanti nell'aria



# Contenuto di acqua nell'aria

- L'aria ambiente contiene sempre una quantità di acqua, sotto forma di vapore, che varia in funzione della stagione.



# Punto di rugiada

---

- Il punto di rugiada è la temperatura alla quale, raffreddando l'aria a pressione costante, questa diventa satura di vapore acqueo.



# Quantità di acqua aspirata

---

L'aria aspirata dal compressore contiene acqua sotto forma di vapore.

$$V = Q \times p \times W \times RH$$

- V = volume di acqua (l/h) sotto forma di vapore aspirato dal compressore
- P = pressione assoluta di aspirazione (bar)
- Q = quantità ( $m^3/h$ ) di aria aspirata dal compressore riferita ad un'unità di tempo
- W = massa volumica del vapore d'acqua (vedere tabella pagina seguente)
- T = temperatura di aspirazione
- RH = % umidità relativa

# Quantità di acqua aspirata

Massa volumica vapore acqueo alle diverse temperature

T °C	W g/m³	T °C	W g/m³	T °C	W g/m³	T °C	W g/m³
-10	2,14	9	8,82	28	27,23	47	72,05
-9	2,33	10	9,4	29	28,76	48	75,57
-8	2,53	11	10,01	30	30,37	49	79,24
-7	2,75	12	10,66	31	32,05	50	83,06
-6	2,99	13	11,34	32	33,82	51	86,96
-5	3,25	14	12,06	33	35,66	52	91,07
-4	3,52	15	12,82	34	37,59	53	95,33
-3	3,82	16	13,63	35	39,62	54	99,8
-2	4,14	17	14,47	36	41,72	55	104,4
-1	4,48	18	15,36	37	43,93	56	109,2
0	4,85	19	16,3	38	46,23	57	114,2
1	5,19	20	17,29	39	48,64	58	119,3
2	5,56	21	18,33	40	51,15	59	124,7
3	5,95	22	19,42	41	53,79	60	130,2
4	6,36	23	20,57	42	56,53	61	136
5	6,79	24	21,77	43	59,38	62	142
6	7,26	25	23,04	44	62,34	63	148,8
7	7,75	26	27,37	45	65,44	64	154,6
8	8,26	27	25,76	46	68,68	65	161,3

# Quantità di condensa

---

Il raffreddamento dell'aria provoca la condensazione del vapore acqueo in essa contenuto.

$$V2 = V - (W \times Q)$$

V2 = volume di acqua condensata (l/h)

V = volume di acqua sotto forma di vapore aspirato dal compressore (l/h)

p = pressione assoluta di mandata (bar)

DPD = punto di rugiada in pressione

W = massa volumica del vapore d'acqua alla temperatura del punto di rugiada (g/m<sup>3</sup>)  
(vedere tabella pagina seguente)

Q = quantità (m<sup>3</sup>/h) di aria aspirata dal compressore riferita ad un'unità di tempo

# Quantità di condensa

PDP °C	W (m³)			
	p (a) = 1 bar	p (a) = 5 bar	p (a) = 8 bar	p (a) = 11 bar
70	192,484	38,496	24,06	17,498
65	156,62	31,324	19,577	14,238
60	126,568	25,313	15,821	11,506
55	101,487	20,297	12,685	9,226
50	80,694	16,138	10,086	7,335
45	63,615	12,723	7,951	5,783
40	49,709	9,941	6,213	4,519
35	38,539	7,707	4,817	3,503
30	29,506	5,901	3,688	2,682
25	22,396	4,479	2,799	2,036
20	16,822	3,364	2,102	1,529
15	12,496	2,499	1,562	1,136
10	9,178	1,835	1,147	0,834
5	6,66	1,332	0,832	0,605
0	4,775	0,955	0,596	0,434
-5	3,176	0,635	0,397	0,288
-10	2,115	0,423	0,264	0,192
-15	1,353	0,27	0,169	0,123
-20	0,836	0,172	0,107	0,078
-25	0,539	0,107	0,067	0,049
-30	0,323	0,064	0,04	0,029
-35	0,194	0,038	0,024	0,017
-40	0,114	0,022	0,016	0,01
-45	0,065	0,013	0,008	0,005
-50	0,037	0,007	0,004	0,003
-55	0,02	0,004	0,002	0,001
-60	0,01	0,002	0,001	0,0009



# Olio

---

Nei compressori rotativi lubrificati l'olio assolve più funzioni:

- Lubrificazione, creando un velo che impedisce il contatto diretto
- Raffreddamento, asportando il calore generato nella compressione
- Tenuta, limitando al minimo le fughe interne
- Azionamento dei sistemi di regolazione
- Protezione, preservando le parti interne da corrosione
- Filtrazione e lavaggio, aggregando le particelle contenute nell'aria aspirata.

# Separazione dell'olio

---



In una macchina lubrificata l'olio iniettato nella camera di compressione prima di uscire dal compressore viene separato dall'aria compressa attraverso un sistema di disoleazione a più stadi.

La separazione più consistente avviene meccanicamente nel serbatoio dell'olio attraverso un percorso con continue variazioni di direzione del flusso. L'ultima separazione avviene attraverso il filtro coalescente.

Generalmente la quantità residua di olio nell'aria compressa può variare tra 1 e 3 p.p.m. (parti per milione), in funzione del tipo di compressore e del suo funzionamento. Pressione di esercizio, marcia carico-vuoto, e temperatura sono variabili che possono incidere sull'efficienza della separazione.

# Quantità di olio residuo

---

$$1 \text{ p.p.m.} = 1,2 \text{ mg/m}^3$$

Ciò significa che se un compressore ha un residuo massimo di olio nell'aria di 3 p.p.m. (alla pressione di esercizio di 7 bar), in ogni  $\text{m}^3$  di aria (aspirata) si possono trovare fino a 3,6 mg di olio.

$$1 \text{ p.p.m.} = (\text{portata m}^3/\text{h} \times \text{densità aria}) / 1000$$

Nota: 1 p.p.m. = 1,189 mg/m<sup>3</sup> con aria a 20°C, UR 0%.

# Quantità di olio trascinato

Esempio: determinare la quantità di olio trascinata nell'aria compressa, alle seguenti condizioni:

- Portata: 17 m<sup>3</sup>/min
- Contenuto residuo: ≤ 3,6 mg/m<sup>3</sup>
- Ore di lavoro anno: 4000
- Coefficiente di utilizzo: 100%
- Peso specifico lubrificante 0,959 Kg/litro (Rotoroil 8000 F2)

$$(17 \times 60) \times 3,6 = 3672 \text{ mg/h} \sim$$

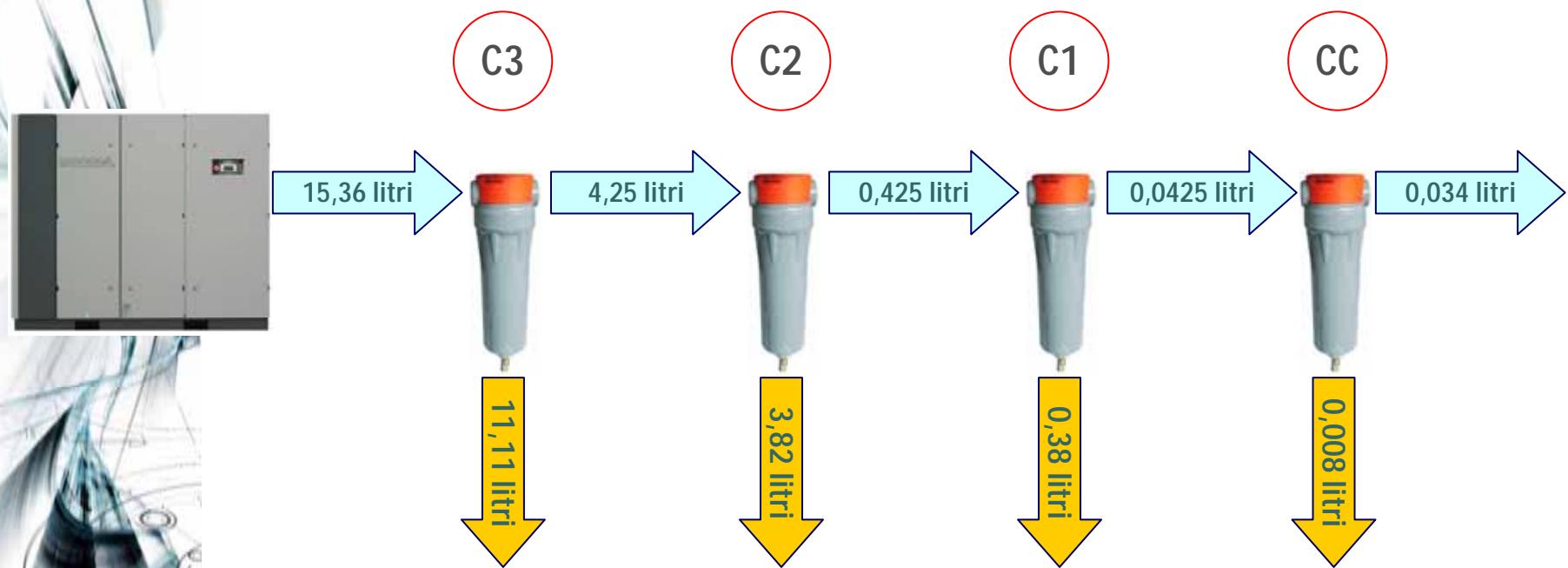
$$3672 \text{ mg/h} = 0,003672 \text{ Kg/h}$$

$$0,003672 \times 4.000 = 14,69 \text{ Kg/anno}$$

$$14,69 / 0,956 = 15,36 \text{ litri/anno}$$

# Quantità di olio residuo

Schema flusso filtri, da esempio pagina precedente.



# Normative di riferimento

---



Le norme ISO 8573-1 hanno classificato la purezza dell'aria compressa in funzione dell'utilizzo, identificandola con sei classi di purezza.

Con classe di purezza dell'aria compressa si intende un'informazione, nell'ordine sotto elencato, relativa a:

- contaminanti solidi
- contenuto in acqua
- contenuto totale di olio (goccioline, vapori ed aerosol).

# Contaminanti solidi

Classe	Grandezza max. particelle mm	Concentrazione max. mg/m <sup>3</sup>	Elemento filtrante grado
Non specificato – più restrittivo di quanto previsto dalla classe 1			
0	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	C1
1	$\leq 1$	$\leq 1$	C2
2	$\leq 5$	$\leq 5$	C3
3	$\leq 15$	$\leq 8$	C3
4	$\leq 40$	$\leq 10$	C4

# Concentrazione di acqua

Classe	Punto di rugiada in pressione °C	Tipo essiccatore
0	Non specificato – più restrittivo di quanto previsto dalla classe 1	
1	- 70	adsorbimento
2	- 40	adsorbimento
3	- 20	adsorbimento
4	3	refrigerazione
5	7	refrigerazione
6	10	refrigerazione

# Concentrazione di olio

Classe	Concentrazione max. mg/m <sup>3</sup>	Elemento filtrante grado
0	Non specificato – più restrittivo di quanto previsto dalla classe 1	
1	$\leq 0,01$	C1 - CC
2	$\leq 0,1$	C2
3	$\leq 1$	C2
4	$\leq 5$	C3
5	$\leq 25$	C4

# Filtri di linea

---

Per eliminare le particelle solide e oleose presenti nell'aria compressa si ricorre ai filtri di linea.

Sono disponibili con diversi gradi di filtrazione.



# Eliminazione contaminanti solidi

L'eliminazione dei solidi avviene con l'ausilio di filtri di superficie.

Il flusso dell'aria compressa avviene dall'esterno verso l'interno dell'elemento filtrante. Vengono usati come pre-filtri prolungando la durata dei filtri successivi.

Separazione particelle fino a 1 micron



# Eliminazione dell'olio

L'eliminazione dell'olio avviene con l'ausilio di filtri a coalescenza.

Il flusso dell'aria compressa avviene dall'interno verso l'esterno dell'elemento filtrante. Vengono usati come pre-filtri ad essiccatore ad adsorbimento.

Garantiscono aria tecnicamente priva di olio.

Filtrazione fino a 0,01 mg/m<sup>3</sup>



# Eliminazione vapori d'olio

L'eliminazione dei vapori e degli odori di olio avviene con l'ausilio di filtri a carboni attivi.

Il flusso dell'aria compressa avviene dall'interno verso l'esterno dell'elemento filtrante.

Garantiscono aria di elevata qualità priva di odori e vapori di olio.

Filtrazione fino a 0,003 mg/m<sup>3</sup>



# Eliminazione dell'acqua

---

L'eliminazione della condensa avviene con il raffreddamento e l'essiccazione dell'aria, attraverso:

- Refrigeranti finali
- Essiccatori a refrigerazione
- Essiccatori ad adsorbimento
- Essiccatori per diffusione



# Refrigerante finale

---

- L'aria prodotta dal compressore è calda e contiene un elevato contenuto di umidità.
- Il raffreddamento nel refrigerante finale consente di eliminare fino al 70% dell'umidità presente nell'aria compressa.
- Lo scambiatore di calore può essere raffreddato ad aria o ad acqua.

# Refrigerante finale ad aria

---



- Il refrigerante ad aria è costituito da un radiatore alettato e da un elettroventilatore.
- Il flusso d'aria prodotto dal ventilatore attraversa il radiatore raffreddando l'aria compressa.
- Da qui l'aria compressa, trascinando l'acqua formatasi per il raffreddamento, raggiunge il separatore di condensa.

# Refrigerante finale ad acqua

---

- Il refrigerante ad acqua è costituito da un fascio tubiero inserito in un mantello.
- Il flusso d'aria compressa calda, passando attraverso i tubi, cede il calore al flusso dell'acqua di raffreddamento che scorre nel mantello in controcorrente.
- Da qui l'aria compressa, trascinando l'acqua formatasi per il raffreddamento, raggiunge il separatore di condensa.



# Separatori di condensa

---

- La condensa formatasi per effetto del raffreddamento dell'aria può essere separata per mezzo di appositi separatori.
- I separatori di condensa di tipo centrifugo non richiedono manutenzione e sono in grado di separare anche particelle solide.
- L'aria compressa che entra nel separatore trascina le gocce d'acqua e per effetto della turbolenza generata da un diaframma alettato avviene la separazione. La condensa depositata sul fondo viene evacuata da appositi scaricatori.



# Scaricatori di condensa

---

La condensa separata dall'aria compressa può essere scaricata attraverso l'utilizzo di appositi scaricatori.

- Questi sono disponibili in diversi tipi:
  - meccanici a galleggiante
  - elettrici temporizzati
  - elettronici a controllo di livello



# Essiccatori a refrigerazione

- Sono i più diffusi. Si basano sul principio della condensazione con raffreddamento dell'aria compressa attraverso un circuito frigorifero.
- Possono essere ad espansione diretta o a massa termica. Necessitano di una pre-filtrazione (filtro Mattei FM grado C3 - 0,1 mg/m<sup>3</sup>).



# Essiccatori a refrigerazione

---

## Caratteristiche principali

- Classe ISO 8573-1: 4
- Pressione di esercizio: 7 bar
- Punto di rugiada in pressione: +3°C
- Temperatura nominale ingresso aria: +35°C
- Temperatura nominale ambiente: +25°C



# Essiccatori a refrigerazione

---

- Espansione diretta – Princípio di funzionamento

## Princípio di funzionamento circuito aria

L'aria compressa in ingresso nell'essiccatore subisce un primo raffreddamento nello scambiatore aria-aria cedendo calore all'aria compressa in uscita, ed una volta raffreddata entra nell'evaporatore dove raggiunge il punto di rugiada prefissato.

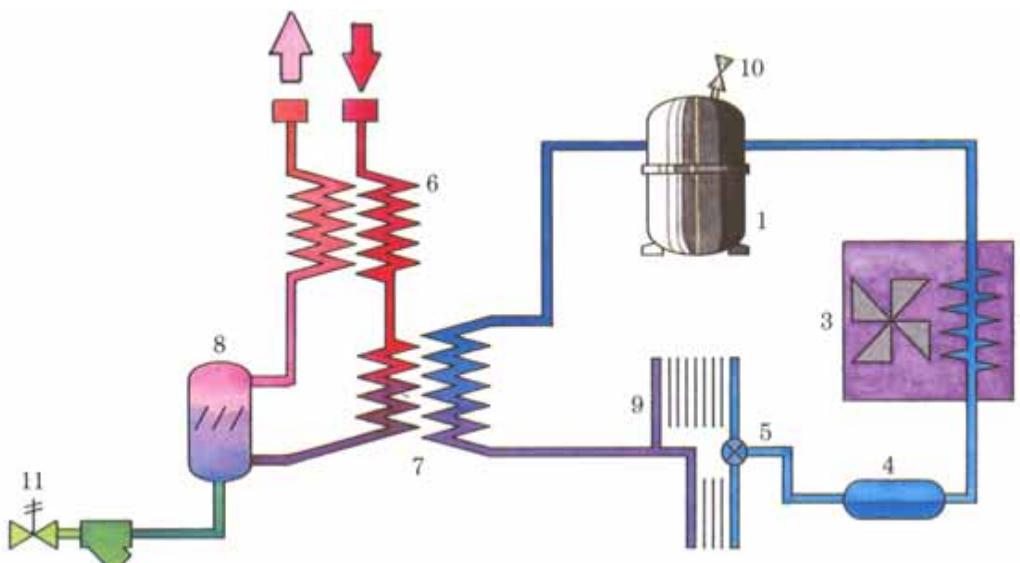
Da qui, l'aria trascinando l'acqua formatasi per il raffreddamento, raggiunge il separatore di condensa dotato di elettrovalvola. L'aria compressa essiccata prima di uscire dall'impianto, si riscalda nello scambiatore aria-aria cedendo il freddo all'aria in ingresso.

## Princípio di funzionamento circuito frigorifero

Il compressore frigorifero aspira il vapore di freon a bassa pressione dall'evaporatore. Il freon viene compresso ed inviato nel condensatore dove si realizza la liquefazione del gas. Il passaggio attraverso il filtro e il capillare (o valvola) determina la laminazione del freon con conseguente raffreddamento dello stesso. Questi assorbe nell'evaporatore ritornando allo stato gassoso per iniziare di nuovo il ciclo. Il sistema di parzializzazione della potenza frigorifera interviene qualora il freddo prodotto sia superiore al calore da smaltire, garantendo un punto di rugiada costante.

# Essiccatore a refrigerazione

- Espansione diretta – Schema di flusso



#### LEGENDA:

- 1 Compressore frigorifero
- 2 Condensatore aria
- 3 Elettroventilatore
- 4 Filtro freon
- 5 Organo di laminazione
- 6 Economizzatore aria/aria
- 7 Evaporatore freon
- 8 Separatore di condensa
- 9 Filtro
- 10 Valvola carica freon
- 11 Elettrovalvola scarico condensa



# Essiccatori a refrigerazione

---

- Massa termica – Principio di funzionamento

## Principio di funzionamento circuito aria

L'aria compressa in ingresso nell'essiccatore subisce un primo raffreddamento nello scambiatore aria-aria cedendo calore all'aria compressa in uscita, ed una volta raffreddata entra nell'evaporatore dove raggiunge il punto di rugiada prefissato.

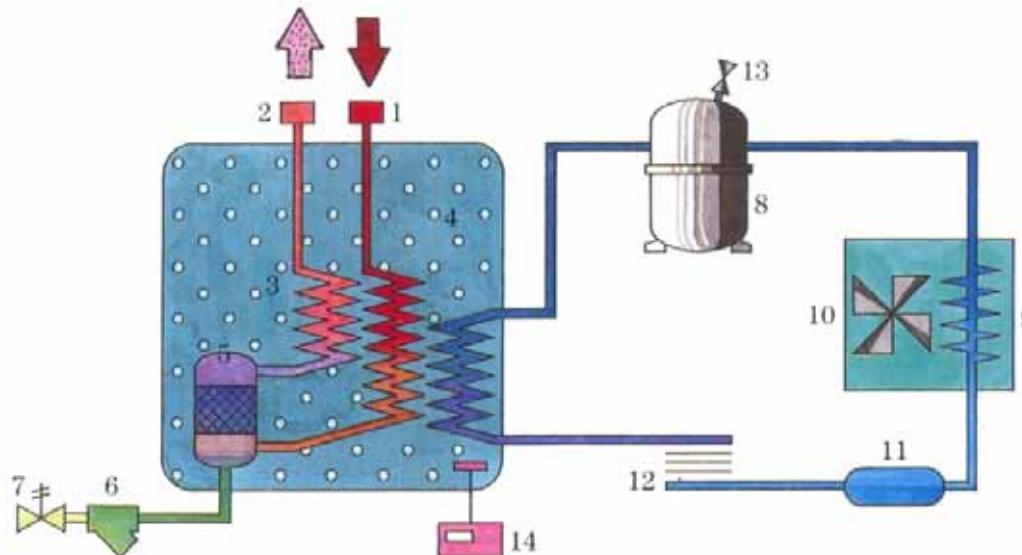
Da qui, l'aria trascinando l'acqua formatasi per il raffreddamento, raggiunge il separatore di condensa dotato di elettrovalvola. L'aria compressa essicidata prima di uscire dall'impianto, si riscalda nello scambiatore aria-aria cedendo il freddo all'aria in ingresso.

## Principio di funzionamento circuito frigorifero

Il compressore frigorifero aspira il vapore di freon a bassa pressione dall'evaporatore posto nell'accumulo di energia. Il freon viene compresso ed inviato nel condensatore dove si realizza la liquefazione del gas. Il passaggio attraverso il filtro e il capillare (o valvola) determina la laminazione del freon con conseguente raffreddamento dello stesso. Questi assorbe calore nell'accumulo di energia ritornando allo stato gassoso per iniziare di nuovo il ciclo. Quando il freddo prodotto è superiore al calore da smaltire, esso viene accumulato nella massa termica. La temperatura della massa termica è controllata da un termostato che ferma il compressore quando raggiunge la temperatura prefissata.

# Essiccatore a refrigerazione

## ○ Massa termica – Schema di flusso



### LEGENDA:

- 1 Ingresso aria
- 2 Uscita aria
- 3 Scambiatore aria/aria
- 4 Evaporatore
- 5 Separatore condensa
- 6 Filtro
- 7 Elettrovalvola
- 8 Compressore frigorifero
- 9 Condensatore freon
- 10 Motoventilatore
- 11 Filtro freon
- 12 capillare
- 13 Valvola di carica
- 14 Termostato

# Essiccatori ad adsorbimento

- Sono meno diffusi dei precedenti.
- Si basano sul principio dell'assorbimento per mezzo di un materiale inerte che ha il potere di catturare l'umidità contenuta nell'aria compressa.
- Particolarmente apprezzati in impianti di processo, industrie farmaceutiche, alimentari, imbottigliamento, ecc.
- Possono essere con rigenerazione a freddo o con rigenerazione a caldo.
- Necessitano di una buona pre-filtrazione (filtro Mattei FM grado C1 - 0,01 mg/m<sup>3</sup>).





# Essiccatori ad adsorbimento

---

- Caratteristiche principali

- Classe ISO 8573-1: 1 ÷ 3 (in funzione del Dp)
- Pressione di esercizio: 7 bar
- Punto di rugiada in pressione: da -20 a -70°C
- Temperatura nominale ingresso aria: +35°C
- Temperatura nominale ambiente: +25°C



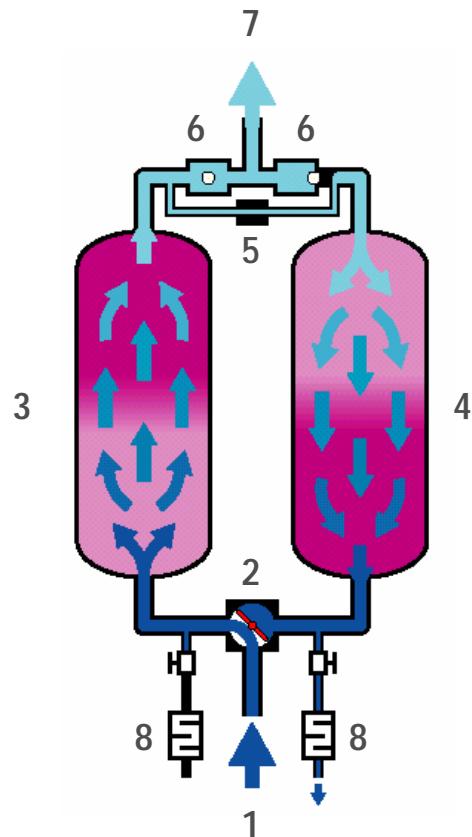
# Essiccatori ad adsorbimento

---

- Rigenerazione a freddo
- Principio di funzionamento
  - L'essiccatore, costituito da due torri gemelle caricate ad allumina attivata o a setacci molecolari (in funzione del punto di rugiada richiesto), è in grado di fornire con continuità aria compressa essiccata, inserendo ciclicamente l'una o l'altra colonna.
  - Quando l'aria compressa attraversa una delle due torri, le molecole di vapore acqueo vengono attratte dal materiale adsorbente fino alla saturazione della colonna. Mentre il letto adsorbente della prima torre è in esercizio ed adsorbe umidità dall'aria in ingresso, il letto della seconda torre è in fase di rigenerazione.
  - La rigenerazione avviene mediante una piccola quantità di aria essiccata che, prelevata dal flusso principale in uscita, rimuove l'umidità dal materiale adsorbente per poi espellerla nell'atmosfera. Questo ciclo alternativo di essiccamiento e rigenerazione garantisce continuità e costanza nella composizione del materiale adsorbente.

# Essiccatori ad adsorbimento

Rigenerazione a freddo - Schema di flusso



**LEGENDA:**

- 1 Ingresso aria compressa
- 2 Valvola
- 3 Colonna adsorbente
- 4 Colonna in rigenerazione
- 5 Orifizio
- 6 Valvola di non ritorno
- 7 Uscita aria compressa
- 8 Silenziatore



# Essiccatori ad adsorbimento

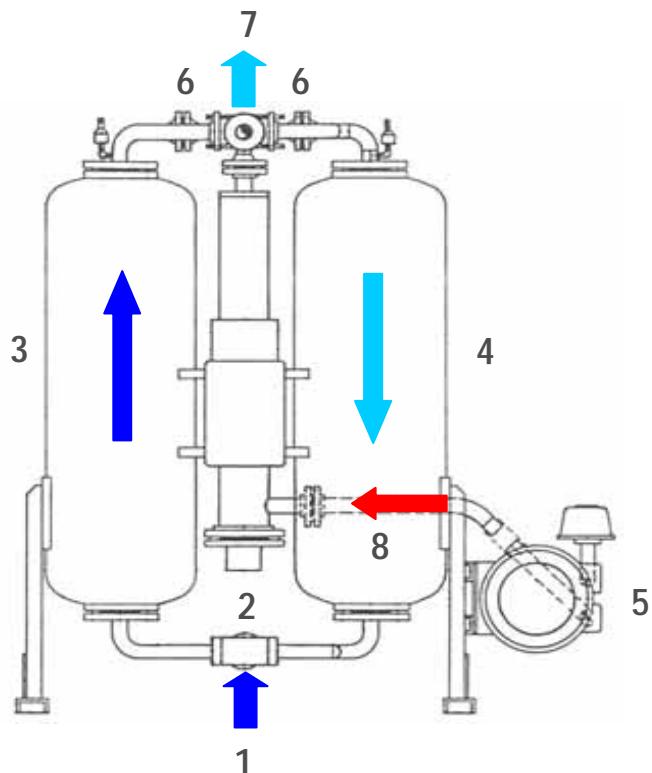
---

## ○ Rigenerazione a caldo – Princípio di funzionamento

- L'essiccatore, costituito da due torri gemelle caricate ad allumina attivata o a setacci molecolari (in funzione del punto di rugiada richiesto), è in grado di fornire con continuità aria compressa essiccata, inserendo ciclicamente l'una o l'altra colonna.
- Quando l'aria compressa attraversa una delle due torri, le molecole di vapore acqueo vengono attratte dal materiale adsorbente fino alla saturazione della colonna. Mentre il letto adsorbente della prima torre è in esercizio ed adsorbe umidità dall'aria in ingresso, il letto della seconda torre è in fase di rigenerazione.
- La rigenerazione avviene mediante una quantità di aria calda prodotta da resistenze elettriche, che soffiata all'interno delle colonne per mezzo di un ventilatore, rimuove l'umidità dal materiale adsorbente per poi espellerla nell'atmosfera. Questo ciclo alternativo di essiccamiento e rigenerazione garantisce continuità e costanza nella composizione del materiale adsorbente.

# Essiccatori ad adsorbimento

Rigenerazione a caldo – Schema di flusso



**LEGENDA:**

- 1 Ingresso aria compressa
- 2 Valvola
- 3 Colonna adsorbente
- 4 Colonna in rigenerazione
- 5 Ventilatore e resistenze
- 6 Valvola di non ritorno
- 7 Uscita aria compressa
- 8 Aria calda rigenerazione

# Essiccatori a membrana

---

- Sono tra i meno diffusi.
- Si basano sul principio fisico della diffusione, ovvero il movimento di molecole attraverso un mezzo solido causato dalla differente concentrazione delle stesse.
- Necessitano di una buona pre-filtrazione (filtro Mattei FM grado C1 - 0,01 mg/m<sup>3</sup>).





# Essiccatori a membrana

---

- Caratteristiche principali

- Classe ISO 8573-1: 2 ÷ 3 (in funzione del Dp)
- Pressione di esercizio: 7 bar
- Punto di rugiada in pressione: da +15 a -40°C
- Temperatura nominale ingresso aria: +35°C
- Temperatura nominale ambiente: +25°C



# Essiccatori a membrana

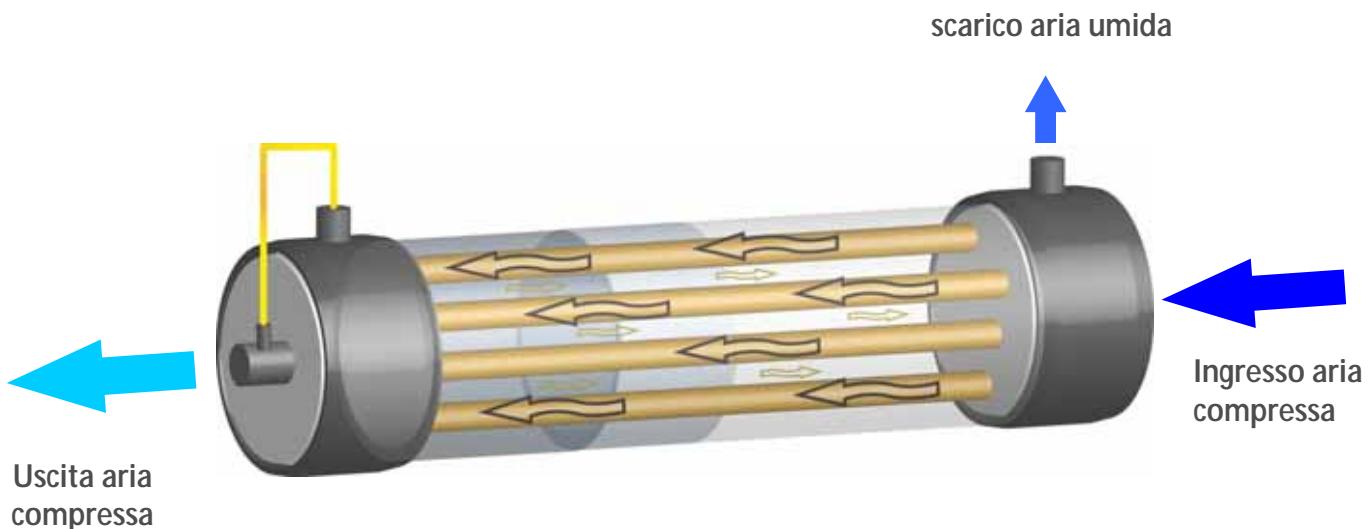
---

## ○ PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

- L'essiccatore è costituito da un fascio di membrane cave altamente selettive dentro le quali scorre l'aria compressa. Poiché le molecole d'acqua si diffondono attraverso i solidi ad una velocità decisamente maggiore rispetto agli altri componenti chimici dell'aria (azoto, ossigeno, anidride carbonica, ecc.), l'aria compressa umida che passa nell'essiccatore si scomponete per differenza di velocità, mentre per effetto della permeazione l'umidità attraversa le membrane e viene successivamente trasportata all'esterno da un flusso di aria secca prelevata all'uscita (aria di purga).

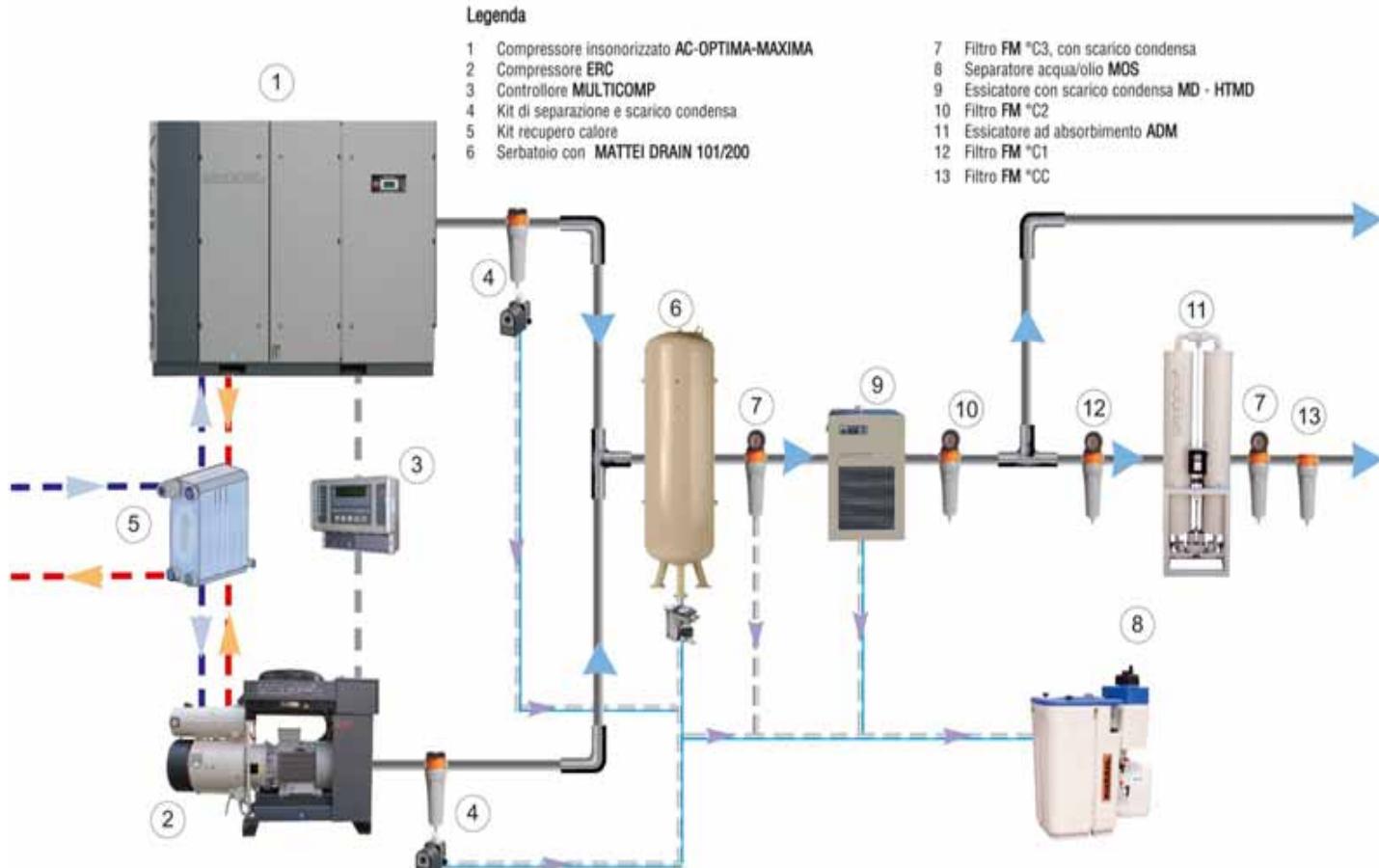
# Essiccatori a membrana

Schema di flusso



# Centrale completa trattamento

Schema Flusso aria compressa



# Per informazioni

---

ING. ENEA MATTEI SPA  
Strada Padana Superiore, 307  
20090 Vimodrone (MI)  
ITALY

Tel. + 39 02 253051  
Fax + 39 02 25305243

[www.mattei.it](http://www.mattei.it)  
[marketing@mattei.it](mailto:marketing@mattei.it)

Rif. Ufficio MARKETING

Dati e immagini possono variare in qualsiasi momento senza preavviso.