

# Tecnica del Processo PSA

**Autoproduzione di ossigeno medicinale:  
Un'opportunità per l'efficienza**

Alessandria - 23 ottobre 2018



**Azienda Sanitaria Locale  
Alessandria**  
Settore Comunicazione e Formazione



# Aria atmosferica

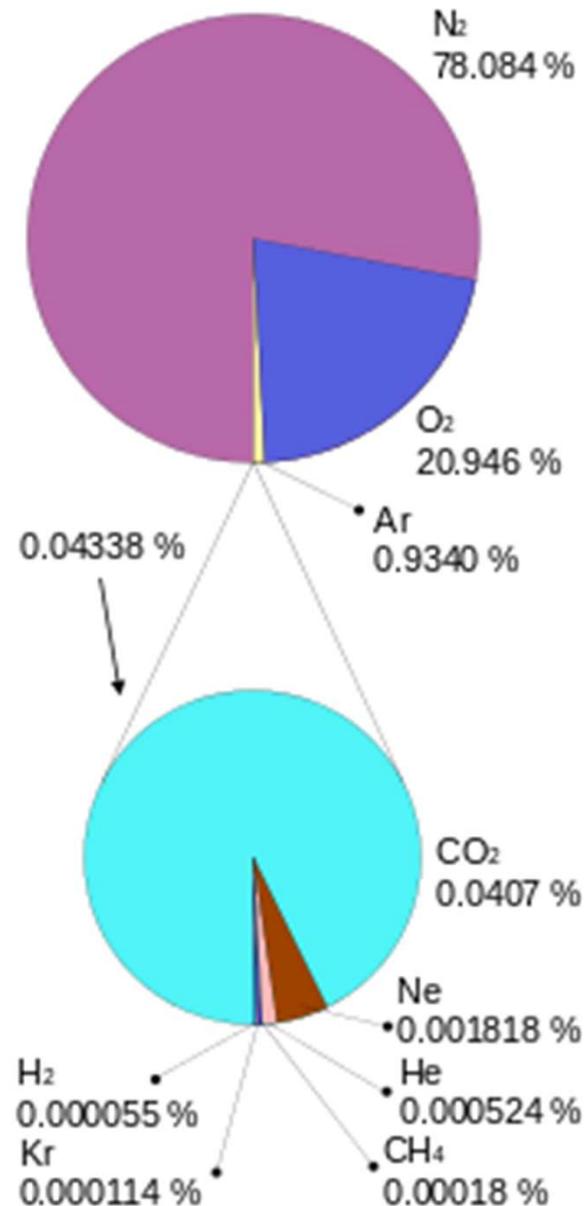
L'aria atmosferica secca contiene approssimativamente (per volume):

- 78,09% azoto,
- 20,95% ossigeno,
- 0,93% argon,
- 0,039% di anidride carbonica,
- e piccole quantità di altri gas (idrogeno, neon, elio, krypton, xenon, etc.)

L'aria contiene anche una quantità variabile di vapore acqueo, in media circa l'1%

## Performance PSA:

In rapporto all'aria in ingresso ha una elevata efficienza per  $O_2$  e  $N_2$



# Aria atmosferica

## **Altre tracce di gas:**

**gas a effetto serra** - vapore acqueo, anidride carbonica, metano, monossido di azoto, ozono e altri

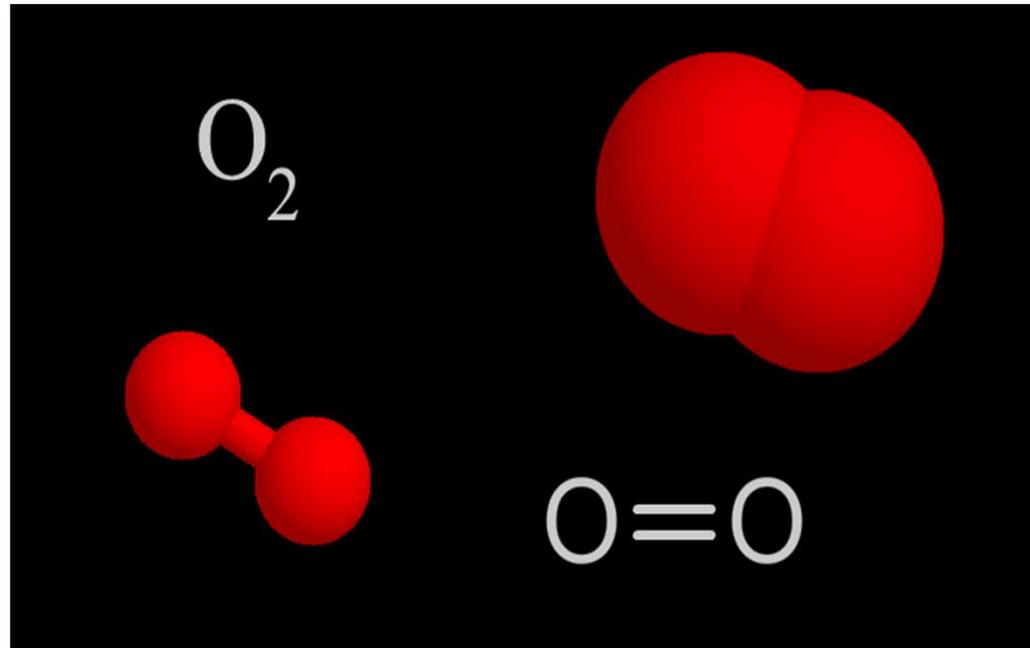
**composti chimici** - idrocarburi, benzene e molti altri

**sostanze naturali** - polvere, pollini e spore, cenere vulcanica

**Inquinanti industriali** - ad esempio cloro (elementare o in composti), composti di fluoro, mercurio e zolfo, composti quali l'anidride solforosa [SO<sub>2</sub>].

# Ossigeno

L'**ossigeno** è un elemento chimico della tavola periodica degli elementi, ha come simbolo **O**, come numero atomico 8, è un agente non metallico altamente reattivo e ossidante che facilmente forma ossidi con la maggior parte degli elementi, così come altri composti. Per massa, l'ossigeno è il terzo elemento più abbondante dell'universo, dopo l'idrogeno e l'elio. A temperatura e pressione standard due atomi dell'elemento si legano per formare un diossido, un gas diatomico incolore e inodore con formula chimica  $O_2$  che costituisce il 20,9% dell'atmosfera terrestre. È, inoltre, l'elemento chimico più comune della crosta terrestre rappresentandone circa il 47% della massa (legato ad altri elementi).



# Le applicazioni dell'ossigeno

Nella fusione di minerali di ferro per la produzione di acciaio si consuma il 55% di ossigeno prodotto

saldatura ossiacetilenica      fonderia



L'industria chimica consuma circa il 25% dell'ossigeno prodotto

poliestere      tessuti      etilene  
materiali plastici

Il restante 20% dell'ossigeno prodotto è usato in applicazioni medicali, taglio del metallo, trattamento delle acque

ospedali      razzi spaziali      allevamenti ittici



# Tecnologie di produzione non criogeniche

## Due distinte tecnologie di separazione dell'aria:

- (PSA) Pressure swing adsorption
- Membrana

Entrambe le tecnologie separano le molecole dell'aria (azoto / ossigeno)

# Tecnologie di produzione non criogeniche

Due metodi per separare meccanicamente molecole di  $N_2$  e  $O_2$ :

**1- Membrana** - l'atto di separazione che utilizza un setaccio (membrana permeabile)

**2 - Adsorbimento (PSA)** - l'atto di attrarre o isolare le molecole le une dalle altre usando un materiale (Zeolite)

# Tecnologie di produzione non criogeniche

**Perché si può separare l'azoto / ossigeno dall'aria?**

Relazione dimensionale delle molecole:

Le molecole di azoto ( $N_2$ ) hanno un diametro molecolare di 0,315 nanometri

Le molecole di ossigeno ( $O_2$ ) hanno un diametro molecolare di 0,292 nanometri

# Tecnologie di produzione non criogeniche

## Quali le differenze?

### Membrana

Utilizza più aria compressa  
Pressione dell'aria massima di ingresso 15 bar  
Minore caduta di pressione (1,7 bar)  
Purezza più bassa disponibile (max 99,5%)  
La membrana dura 8/15 anni  
Meno parti mobili

### PSA

Utilizza meno aria compressa  
Pressione massima di ingresso 10 bar  
Maggiore caduta di pressione (2,7 bar)  
Maggiore purezza disponibile (max 99,999%)  
Il letto adsorbente dura per sempre  
Più parti in movimento (valvole di commutazione)

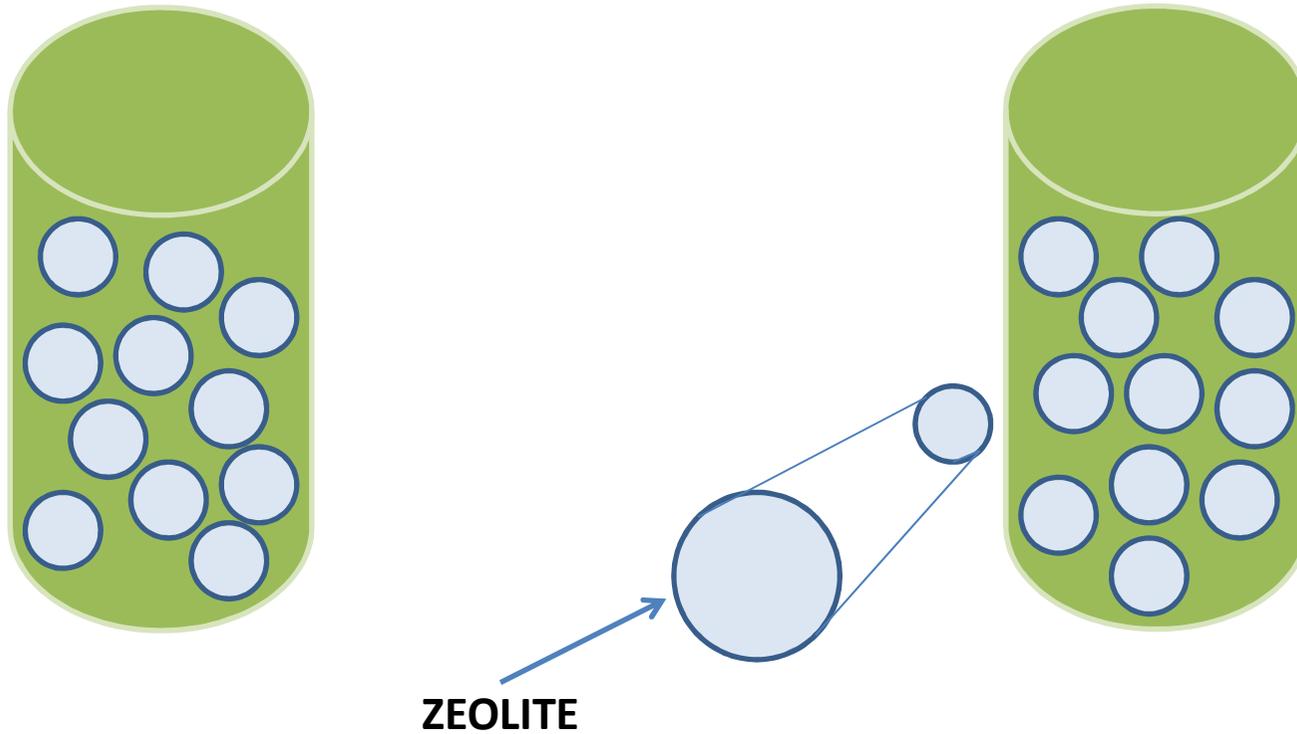
# Tecnologie di produzione non criogeniche

## Che cosa è Pressure Swing Adsorption (PSA)?

- E' la tecnologia non criogenica utilizzata per produrre azoto / ossigeno on-site

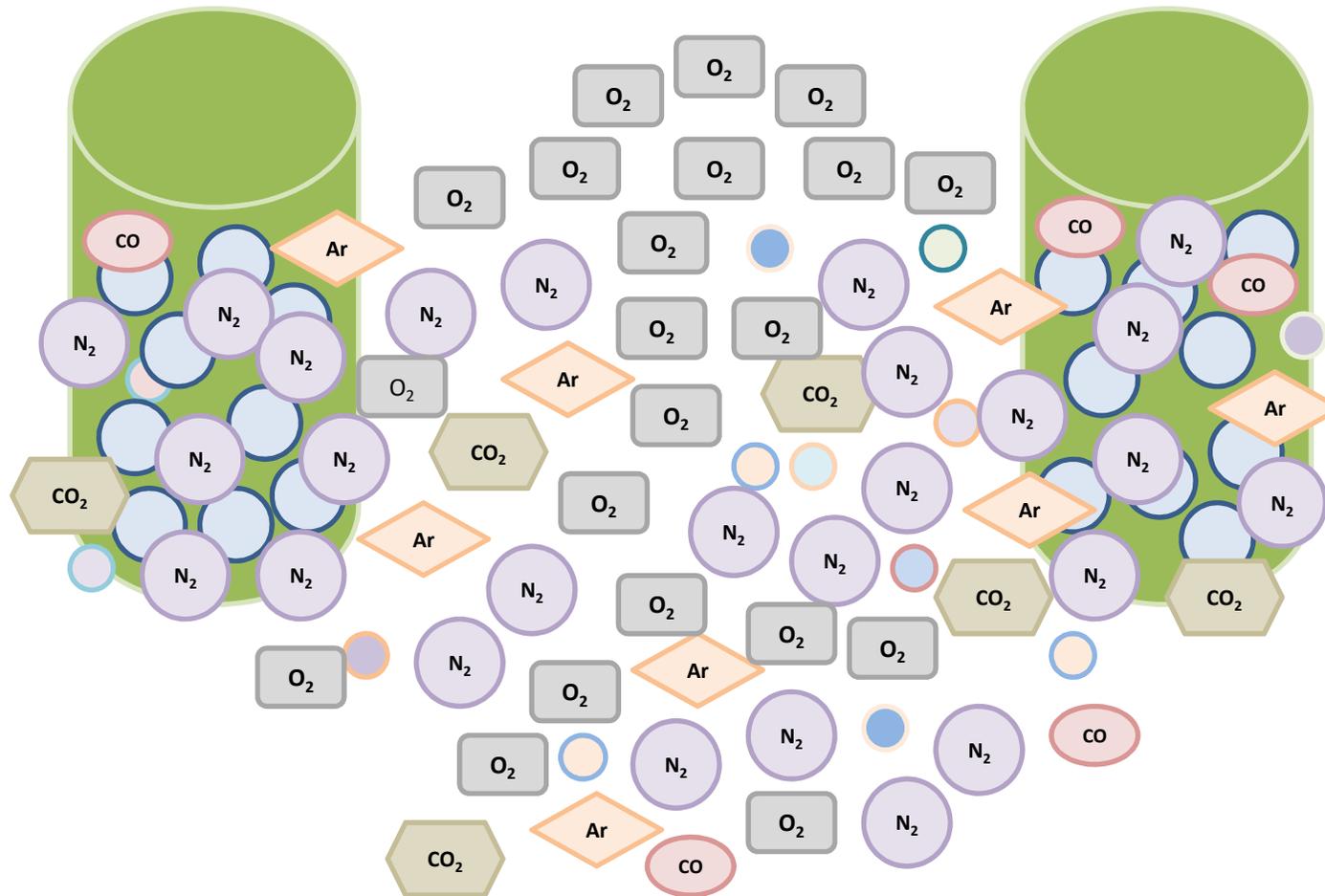
# Tecnologie di produzione non criogeniche

Serbatoio contenente Zeolite



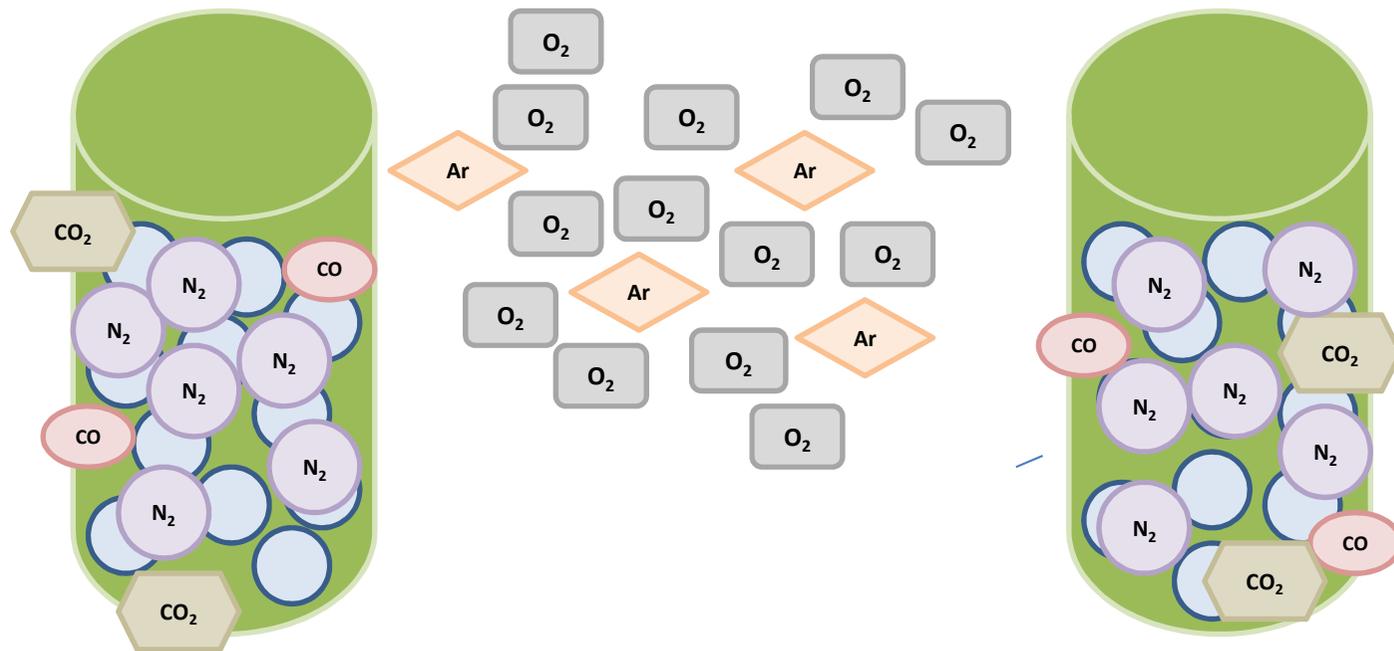
# Tecnologie di produzione non criogeniche

Serbatoio pressurizzato con aria



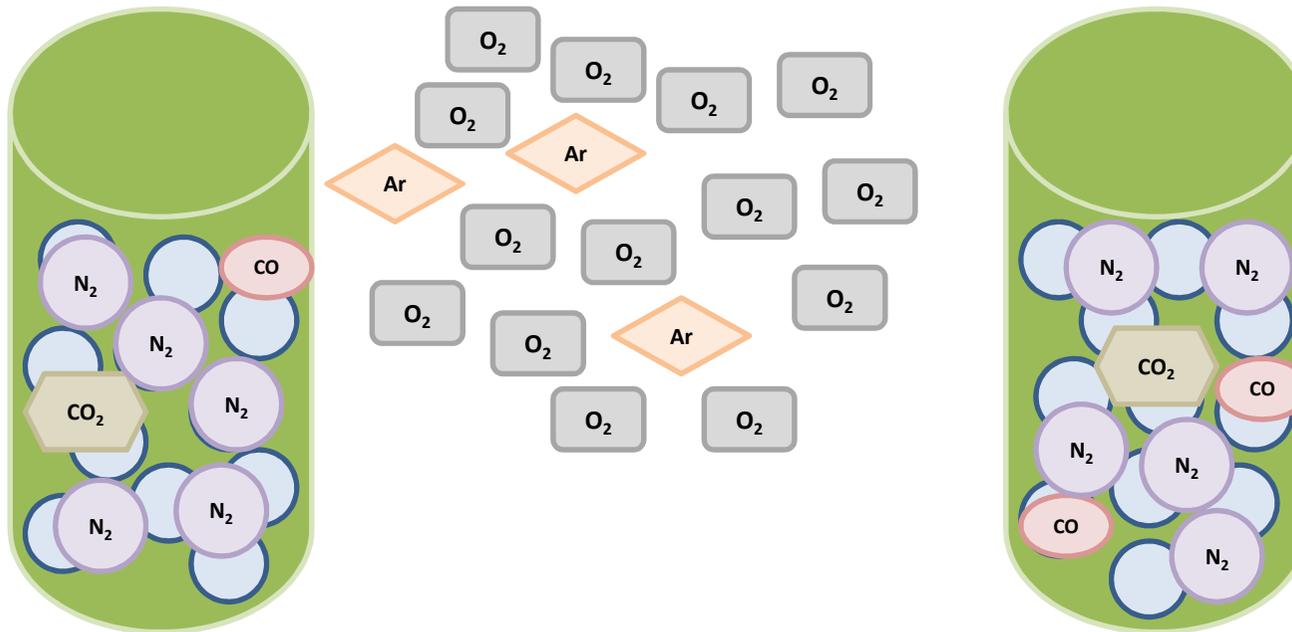
# Tecnologie di produzione non criogeniche

$N_2 - CO - CO_2$  - catturate dalla Zeolite



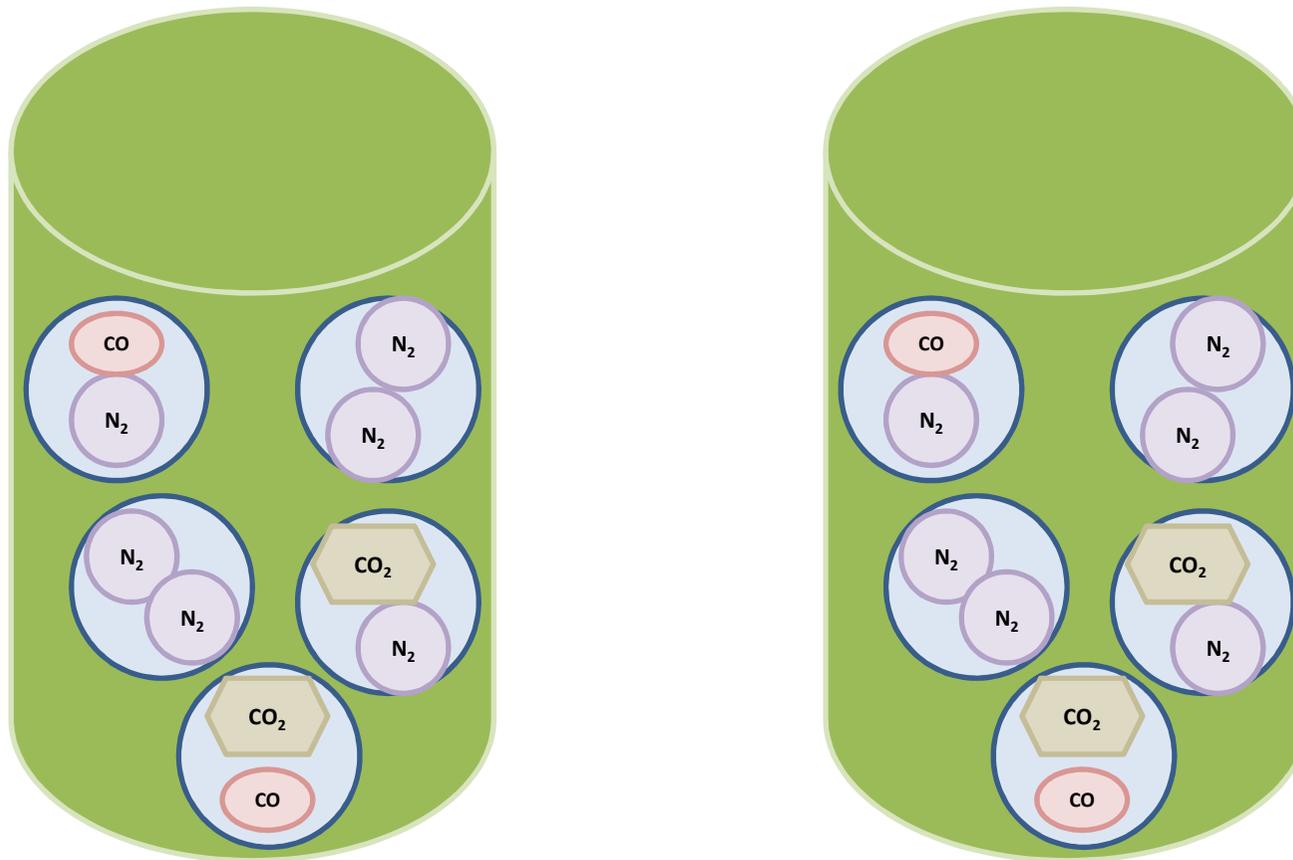
# Tecnologie di produzione non criogeniche

Le molecole di ossigeno proseguono nel serbatoio di accumulo



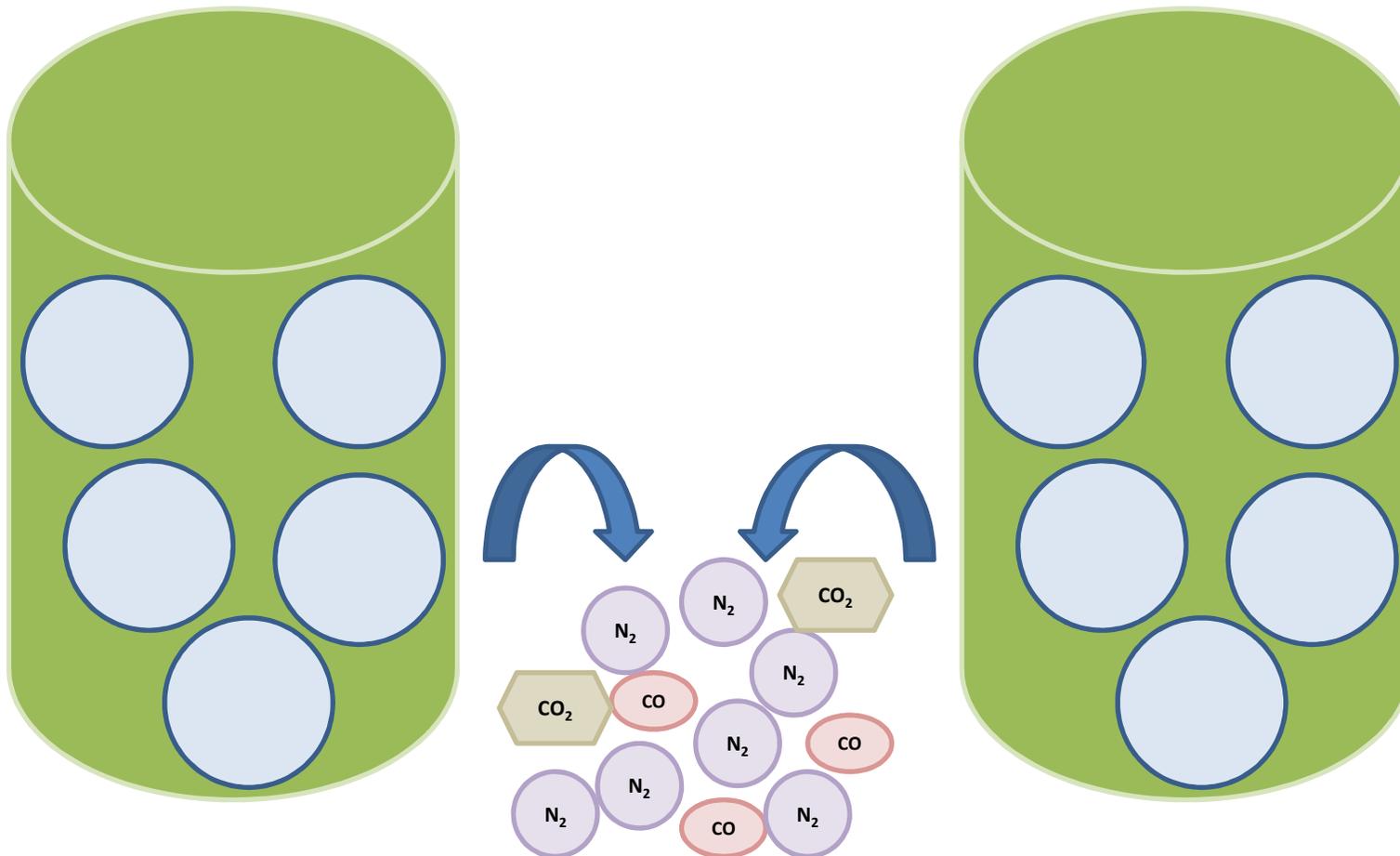
# Tecnologie di produzione non criogeniche

Le molecole di N<sub>2</sub> – CO – CO<sub>2</sub> sono trattenute dalla Zeolite



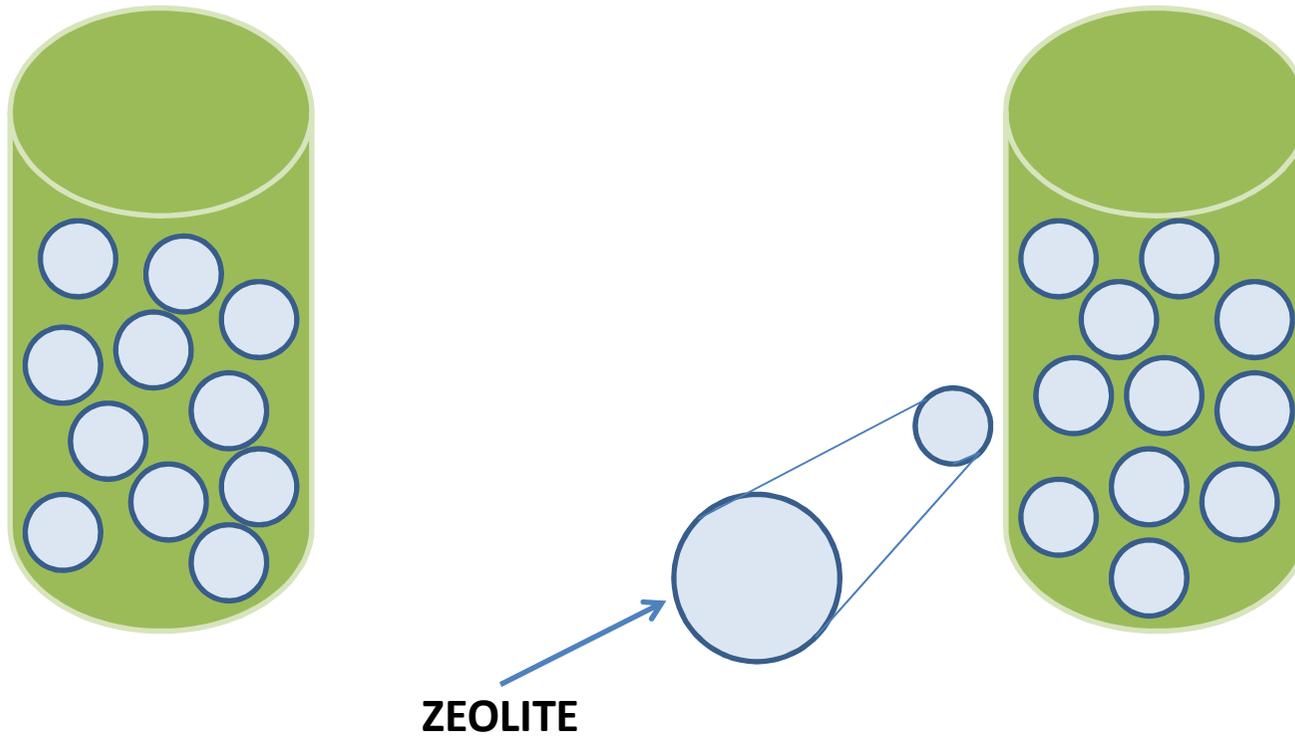
# Tecnologie di produzione non criogeniche

Le molecole di  $N_2$  – CO –  $CO_2$  sono flussate all'esterno depressurizzando il serbatoio



# Tecnologie di produzione non criogeniche

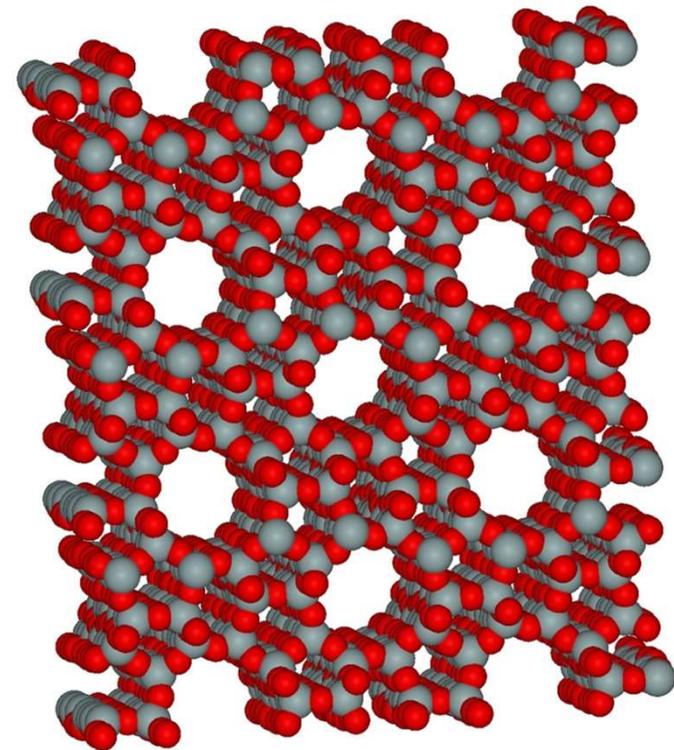
Il serbatoio di Zeolite è flussato e libero, pronto per ricevere nuova aria



# Zeolite

sono minerali di alluminosilicato  
(La composizione chimica è  
 $\text{Na}_{12} [(\text{AlO}_2)_{12} (\text{SiO}_2)_{12}] 27\text{H}_2\text{O}$ )

- hanno una struttura porosa che può ospitare un'ampia varietà di cationi, come  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$  e altri.
- può separare le molecole in base alle differenze di dimensione, forma e polarità.
- sono conosciute più di 40 strutture di zeolite naturalmente presenti.



# Materiali adsorbenti e cinetica di adsorbimento

La separazione di miscele gassose mediante processi di adsorbimento è divenuta negli ultimi anni una delle tecniche di separazione più promettenti

Requisito fondamentale per un suo sempre più esteso utilizzo industriale è il reperimento di materiali adsorbenti che presentino elevate capacità di adsorbimento selettivo e che mantengano tali caratteristiche inalterate nel tempo.

Materiali ampiamente utilizzati che mostrino tali proprietà sono i materiali adsorbenti microporosi come il gel di silice, allumina attivata - ossido dell'alluminio, carbone attivo e le zeoliti sia naturali che artificiali.

Una differenza sostanziale tra questi materiali, che ne viene poi ad esaltare la capacità selettiva di adsorbimento, è la distribuzione delle dimensioni dei micropori.

# Materiali adsorbenti e cinetica di adsorbimento

Nei materiali microporosi adsorbenti "tradizionali" come i gel di silicio, l'allumina attivata o il carbone attivo esiste una minore o maggiore distribuzione delle dimensioni dei pori per un ampio intervallo di diametri dei micropori e la suddivisione tra micropori e macropori non risulta chiaramente definita

Nel caso degli adsorbenti zeolitici il diametro dei micropori è fissato dalla struttura del cristallo e non risulta virtualmente nessuna distribuzione dei macropori.

Questo fatto determina notevoli differenze nelle proprietà di adsorbimento delle zeoliti rispetto agli altri materiali microporosi per cui esse vengono considerate come una classe separata di adsorbenti.

# Materiali adsorbenti e cinetica di adsorbimento

Le zeoliti infatti possono agire come adsorbenti selettivi attraverso i seguenti due meccanismi:

**- Per totale azione di setaccio molecolare (interazione meccanica).**

Alcuni componenti della miscela gassosa possono penetrare nel cristallo mentre altri di dimensioni superiori al diametro dei micropori ne sono esclusi.

**- In assenza di qualsiasi azione di setaccio molecolare ma come risultato delle differenti affinità che esistono fra i componenti adsorbibili ed il materiale zeolitico (interazione elettrostatica).**

Le zeoliti sono adsorbenti eteroionici e sono quindi caratterizzate dall'aver sia i cationi che i centri di carica negativa esposti alle molecole dei componenti adsorbibili. Mostrano perciò una alta affinità verso le molecole polari ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ) rispetto a molecole non polari ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) e mostrano anche una pronunciata selettività verso molecole che presentano momenti quadrupoli ( $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) rispetto a molecole che non possiedono momenti significativi ( $\text{O}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{H}_2$ ).

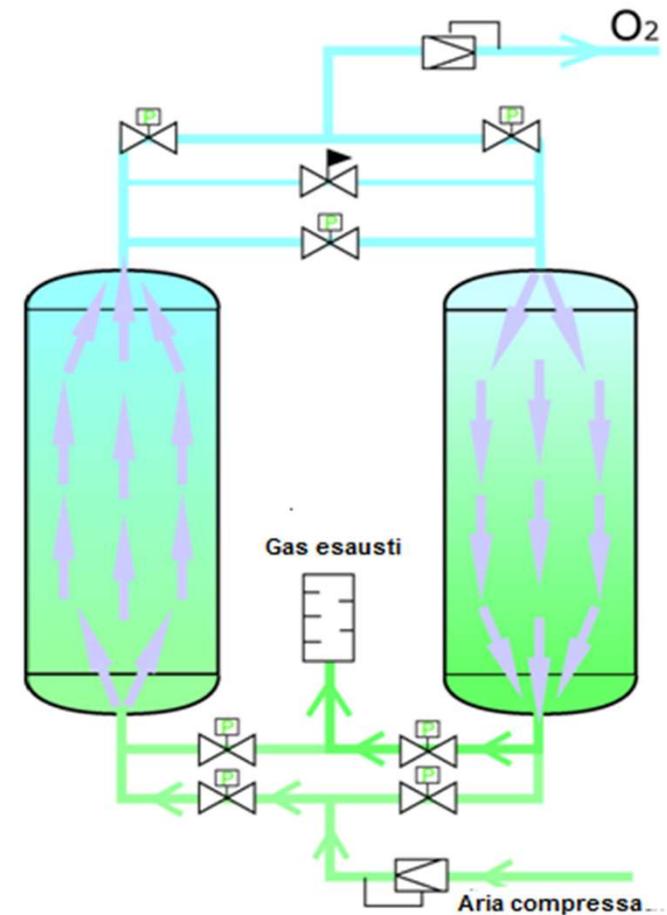
# Che cosa significa PSA?

PSA significa Pressure Swing Adsorption

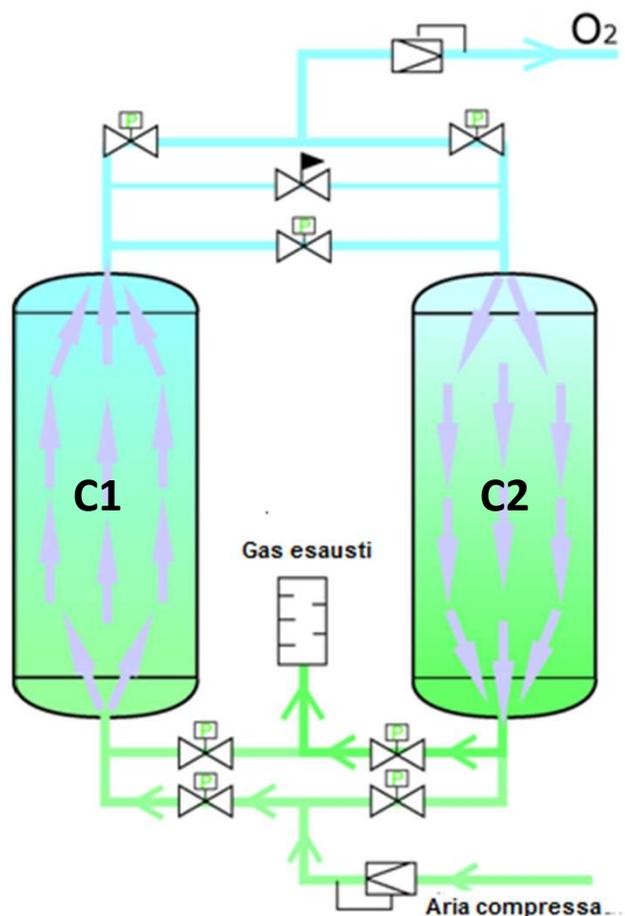
**Pressure** – pressioni elevate, normalmente 5 – 8 Bar sono necessari per il processo.

**Swing** – 2 unità che lavorano in contro-fase, pressurizzazione e depressurizzazione

**Adsorption** - Il principio PSA è utilizzato per la separazione dell'aria atmosferica, dove i gas prodotti sono separati gli uni dagli altri tramite il processo detto di adsorbimento



# Principio PSA: Come funziona?



## Step 1)

Colonna C1 viene pressurizzata per una unità di tempo –  
Produzione di gas

Colonna C2 depressurizzata – rigenerazione adsorbente

## Step 2)

Quando l'adsorbente in C1 è saturo e C2 è rigenerato, vi è  
equilibrio della pressione nelle colonne. Nessuna  
produzione di gas – Nessun consumo di aria compressa

## Step 3)

1° Step invertito – C1 rigenerazione, C2 produzione.....etc.

**Il processo di saturazione e de-saturazione è  
teoricamente ripetibile all'infinito.**

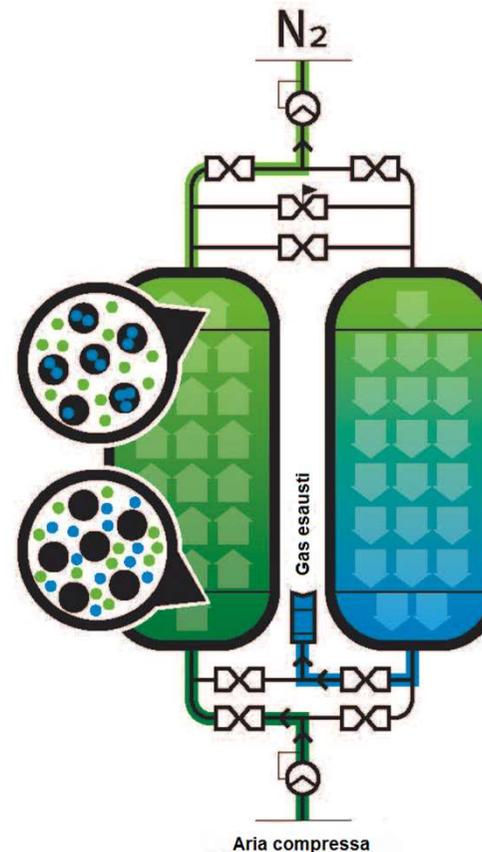
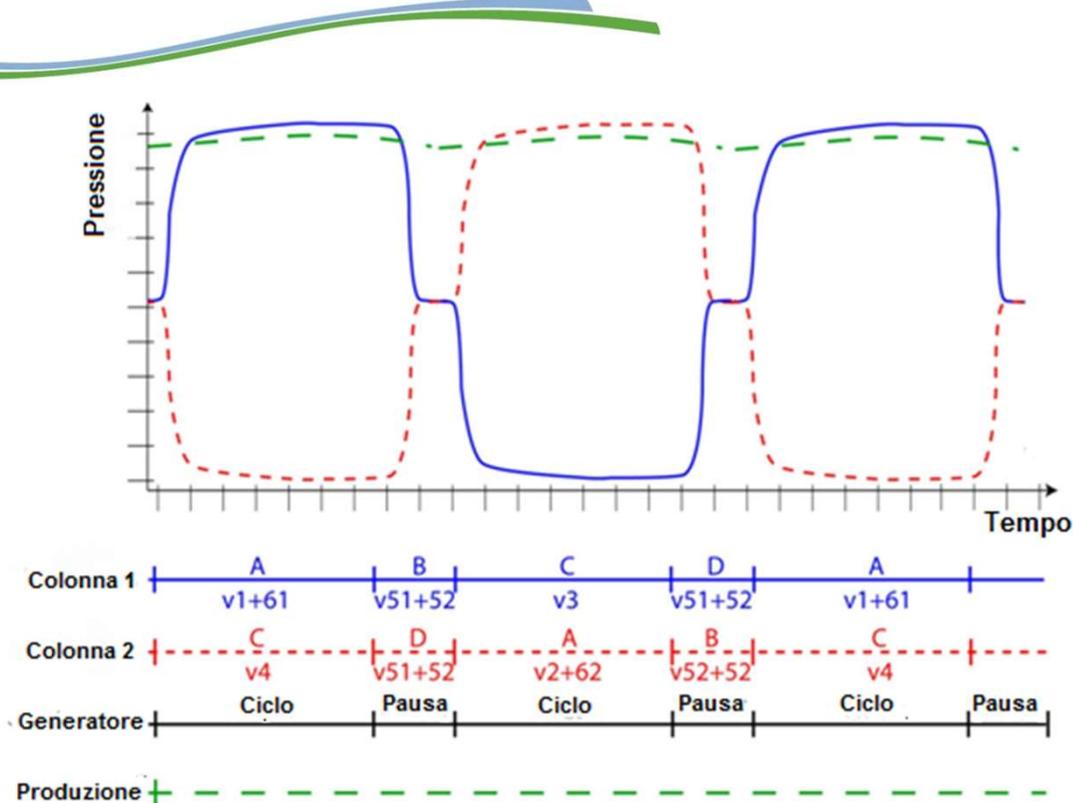
# PSA Ciclo di vita del generatore

Il ciclo di vita del setaccio molecolare in un impianto PSA può essere teoricamente infinita

Il setaccio molecolare non ha impasse di funzionamento (non c'è usura), a meno che non si verificano difetti meccanici o inquinamenti, quali aumento incontrollato delle pressioni, valvole difettose, cattiva qualità dell'aria compressa.

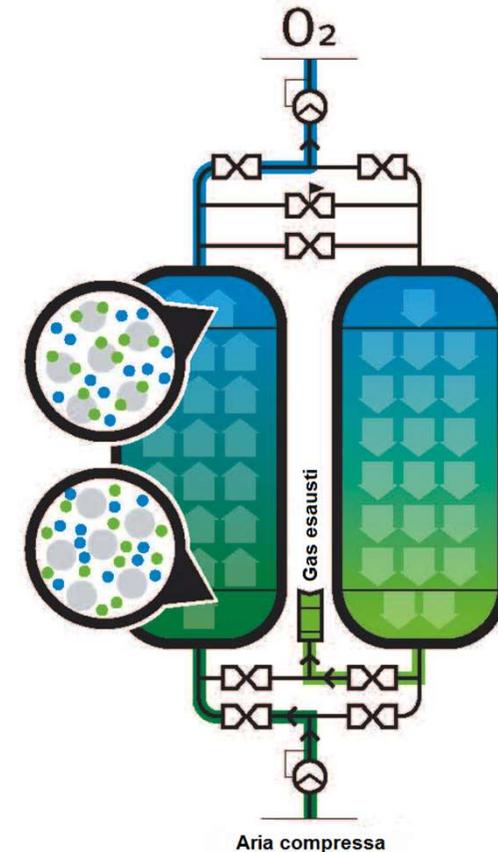
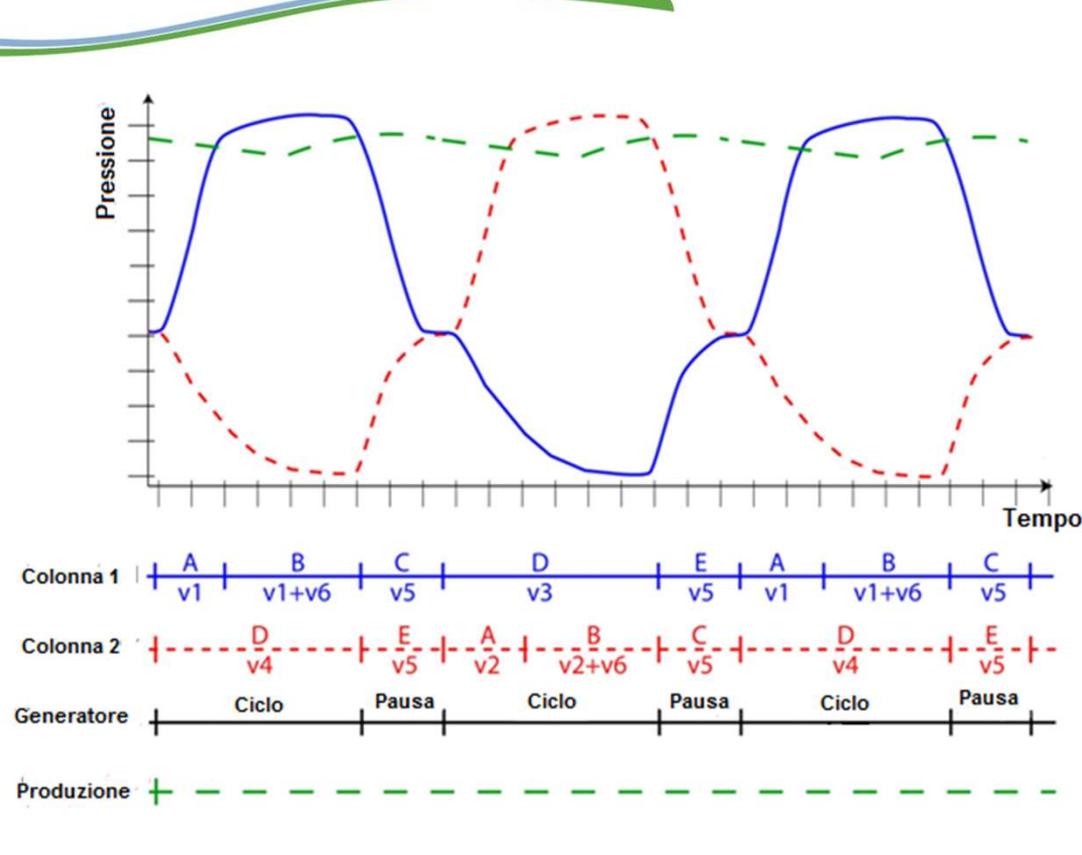


# Principio PSA – Come funziona per l’N<sub>2</sub>?



L'adsorbente usato per la rimozione dell'O<sub>2</sub> è CMS (Carbon Molecular Sieves). La dimensione della molecola di N<sub>2</sub> è 0.32 nanometri, mentre la molecola dell'O<sub>2</sub> è minore (0.29 nm). CMS è un sistema di micro-pori che permette alla molecola di O<sub>2</sub> più piccola di essere adsorbita durante il processo di pressurizzazione.

# Principio PSA – Come funziona per l'O<sub>2</sub>?



L'adsorbente usato per la rimozione dell' $N_2$  è la Zeolite, che interviene attraverso una interazione elettrostatica. Insieme con il suo sistema di micro-pori, che aumentano la superficie di contatto, la zeolite interagisce con uno scambio ionico nelle fasi di produzione per raggiungere le proprietà di adsorbimento richiesti.

# O<sub>2</sub> vs N<sub>2</sub> – Dove è la differenza?

## Profilo della portata:

La produzione di azoto all'interno del ciclo PSA è aperta durante tutta la fase di pressurizzazione, creando un flusso di azoto più continuo, sarà di conseguenza più stabile anche il consumo di aria compressa. Sono necessari piccoli serbatoi tampone per aria compressa e azoto

Il flusso di ossigeno si attiva dopo il ritardo per la fase di pressurizzazione, ciò richiede maggiori volumi per i serbatoi tampone di aria compressa e ossigeno.

## Pressioni di uscita:

CMS – Il processo di assorbimento è di tipo meccanico. Normalmente, una pressione più elevata migliora il processo di adsorbimento. Pressioni di uscita fino a 8/10 bar sono possibili.

Zeolite – Maggior pressione non significa necessariamente avere maggiore purezza, ma ciò può causare frantumazione. Pressioni di uscita fino a 6/8 bar sono ideali.

## Purezza:

Azoto – La purezza dell'azoto prodotto con sistemi PSA può arrivare a 1ppm del tenore di O<sub>2</sub>

Ossigeno – La purezza dell'ossigeno prodotto con sistemi PSA può raggiungere il 97% di O<sub>2</sub>

# Di cosa necessita un sistema PSA?

## Qualità dell'aria compressa

- La temperatura dell'aria compressa di alimentazione deve essere inferiore a 40°C prima che raggiunga il generatore PSA

*L'alta temperatura dell'aria compressa di alimentazione riduce le prestazioni del generatore e causerà danni al sistema*

- Il punto di rugiada dell'aria compressa di alimentazione deve essere  $\leq +3^{\circ}\text{C}$

*Un punto di rugiada alto indica il rischio di accumulo condensa nel sistema generatore*

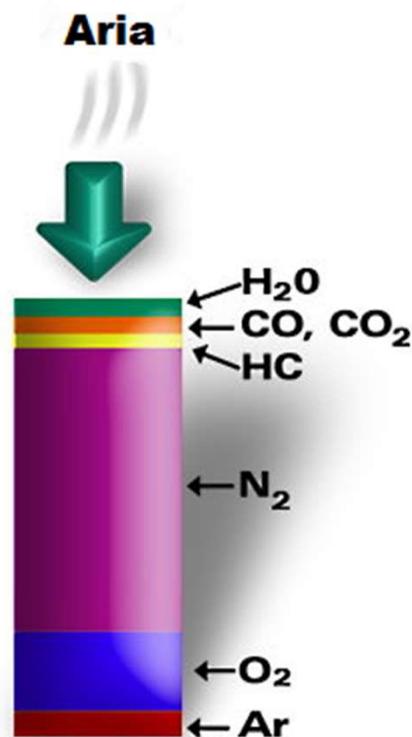
- La qualità dell'aria compressa di alimentazione del sistema deve essere conforme alle ISO 8573-1:2010 class 2.4.1.

# Di cosa necessita un sistema PSA?

Per entrambi i tipi di sistemi ( $N_2$  o  $O_2$ ) la qualità dell'aria di alimentazione ha un impatto critico sull'efficienza dell'impianto e la durata del setaccio molecolare.

Acqua, CO, CO<sub>2</sub> e HC (olio derivante dal compressore) saranno assorbiti prima, questi inquinanti contaminano irreversibilmente il letto adsorbente.

Di conseguenza, l'efficienza e la capacità della Zeolite e CMS vengono diminuiti e nel caso peggiore irreversibilmente danneggiati.

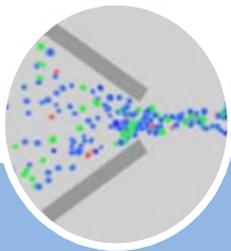


# Di cosa necessita un sistema PSA?

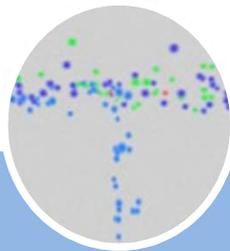
## Ubicazione e condizioni ambientali

- I sistemi PSA sono progettati per l'ubicazione all'interno di locali attrezzati, i requisiti di temperatura sono compresi in un intervallo di 5 - 45 °C
- Altitudine – L'aria atmosferica viene utilizzata per il processo di separazione N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>, la sua densità diminuisce con l'altitudine. È necessario un dimensionamento corretto del compressore per bilanciare la perdita di massa.
- Ventilazione – Il locale ove è installato il sistema PSA, deve essere adeguatamente ventilato per evitare il ricircolo dei gas di scarico riassorbiti dal compressore, inoltre per la sicurezza del personale.
- Alimentazione elettrica – La stabilità dell'alimentazione elettrica è essenziale per le prestazioni del sistema PSA. Imprevisti arresti improvvisi richiedono un certo periodo di tempo per il sistema PSA per tornare alla performance iniziale dopo il riavvio. Inoltre è richiesto dalle Norme, per garantire la continuità di servizio della produzione di ossigeno.

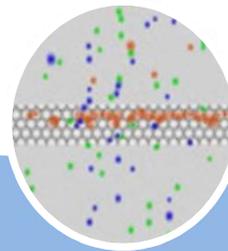
# La tecnologia / descrizione del processo



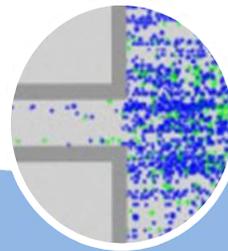
*Il Compressore* comprime l'aria ambiente al livello necessario



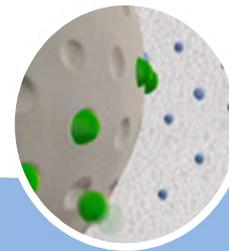
*L'essiccatore* rimuove l'umidità dall'aria attraverso il suo raffreddamento



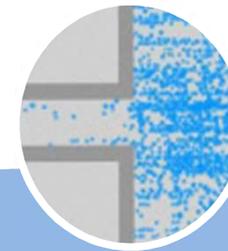
*Il filtro a carboni attivi* assorbe le tracce di olio nebulizzato.



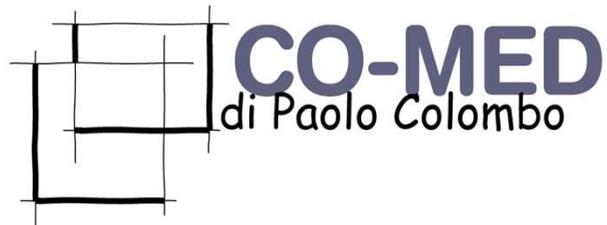
*Il serbatoio* accumula il volume d'aria necessario per il funzionamento del generatore di ossigeno.



*La Zeolite* con il suo sistema di scambio ionico trattiene le molecole di azoto rilasciando quelle di ossigeno nel flusso.



*L'ossigeno* puro proveniente dal generatore viene accumulato nel serbatoio ed è pronto all'uso.



Grazie per l'attenzione

Qualche domanda?

CO-MED di Paolo Colombo