



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

I compressori volumetrici

Corso di Macchine 1

Agenda

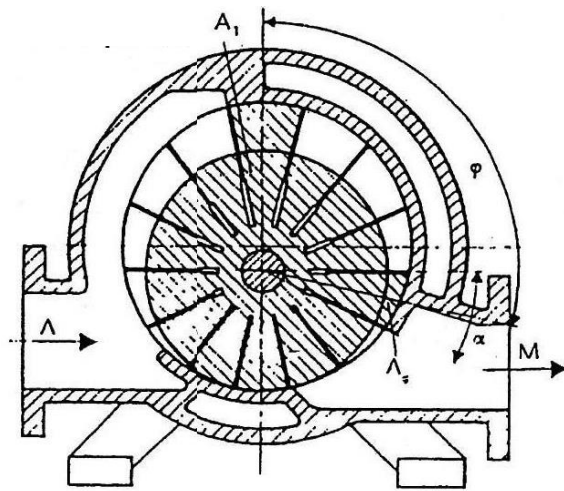
- ▶ Compressori volumetrici rotativi
- ▶ Compressori volumetrici alternativi
 - ▶ Caratteristiche
 - ▶ Il ciclo limite
 - ▶ La capacità di aspirazione
 - ▶ Lo scambio energetico
 - ▶ Il ciclo reale
 - ▶ Le perdite di carico
 - ▶ Scambi termici
 - ▶ Il lavoro reale
 - ▶ Potenza e perdite di trafilamento
- ▶ Esercizio



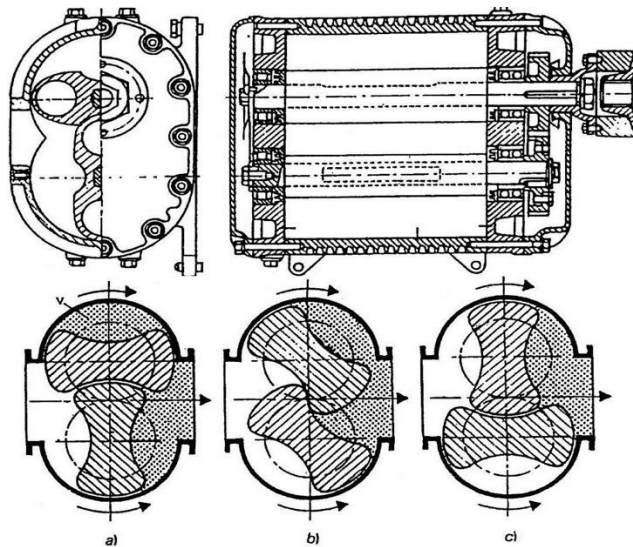
Compressori volumetrici rotativi

I compressori volumetrici rotativi

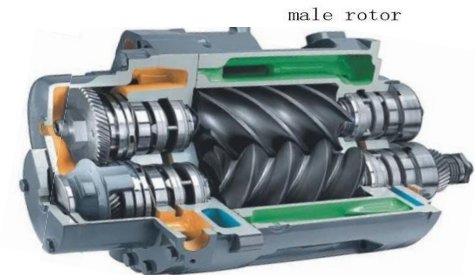
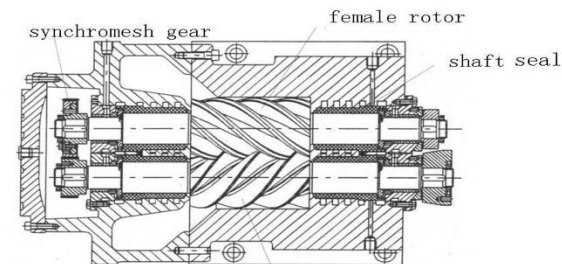
- I tipi più diffusi di compressori rotativi sono quelli a palette, a lobi e a vite
- I compressori a palette e quelli a vite realizzano un **rapporto di compressione interno (ruolo attivo)**
- I compressori a lobi si limitano a trasferire una massa di gas dalla aspirazione allo scarico senza variarne il volume e, quindi, senza alcuna compressione interna (**ruolo passivo**)



Compressore a palette



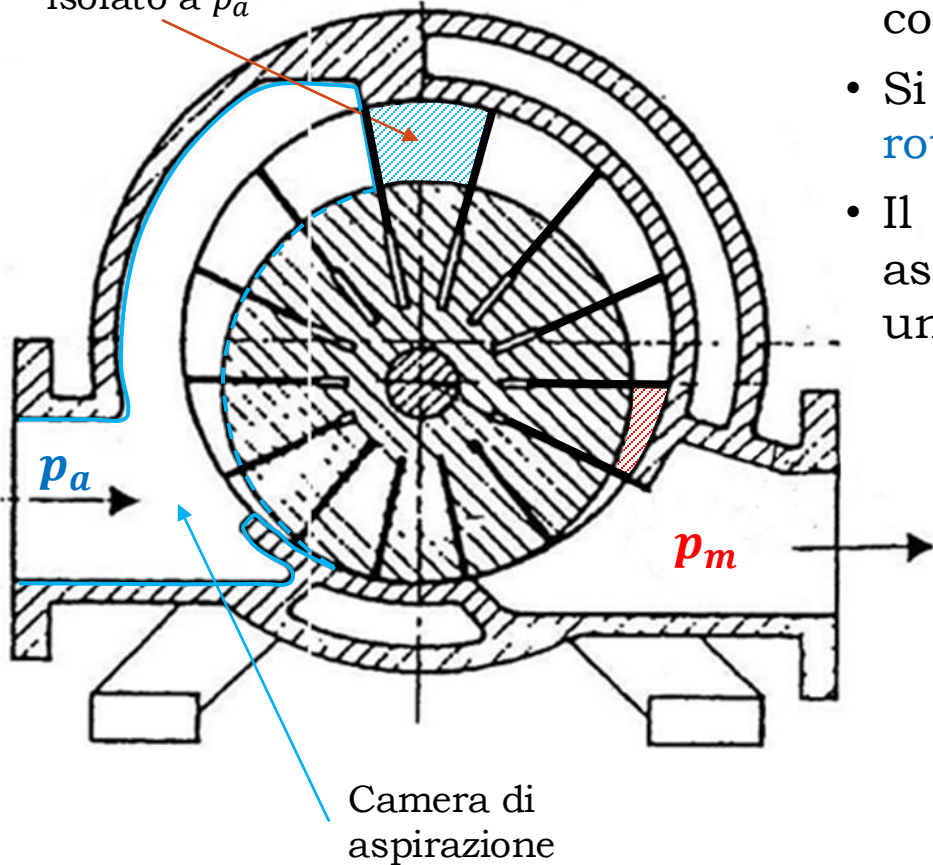
Compressore a lobi



Compressore a vite

I compressori volumetrici rotativi

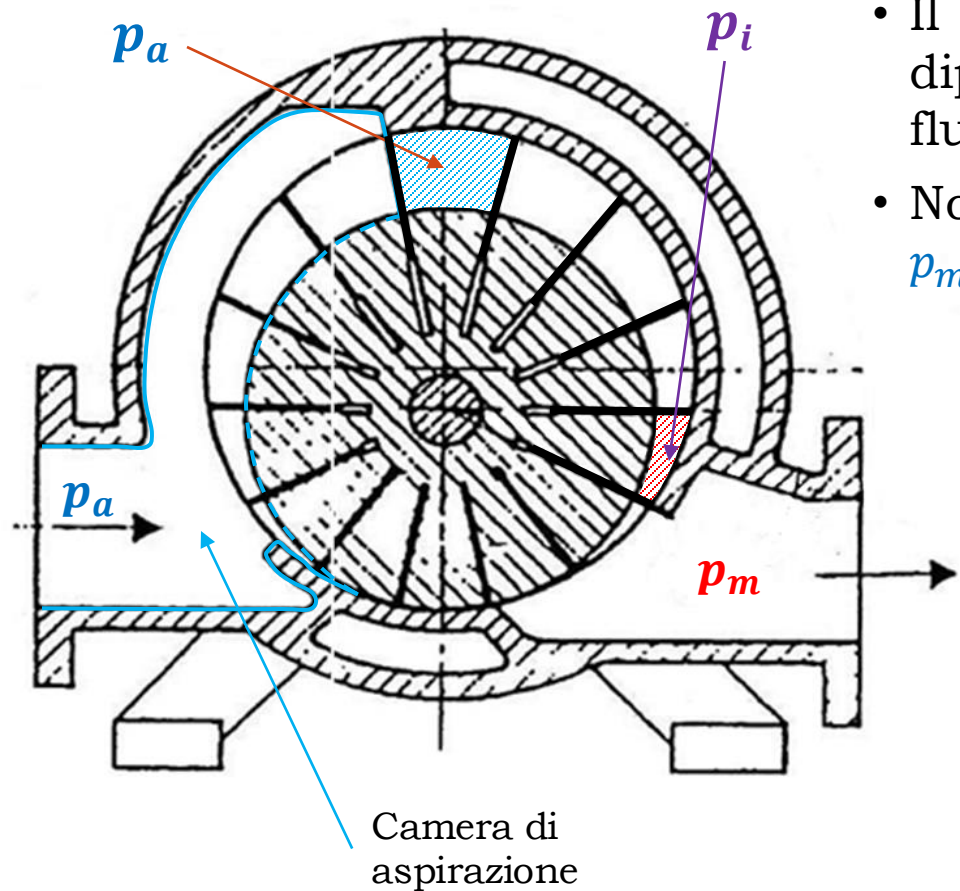
Volume
isolato a p_a



- Il **ruolo attivo** ha un'influenza sul lavoro compressivo svolto dal compressore
- Si prenda ad esempio un compressore **rotativo** a palette
- Il compressore aspira ad una pressione di aspirazione p_a e deve scaricare il fluido in un ambiente a pressione p_m
- Il **volume** intercettato all'aspirazione nel vano tra due palette è progressivamente **ridotto** durante la rotazione del rotore, generando in tal modo una compressione interna

A che pressione si trova appena prima di trovarsi in contatto con l'ambiente alla mandata?

I compressori volumetrici rotativi



- Il processo di compressione interna dipende dalla variazione di volume del fluido
- Non dipende dalla pressione di mandata p_m

- Sia p_i la pressione del fluido alla fine del processo di compressione interna
- La pressione p_i che può essere uguale, maggiore o minore rispetto alla pressione di mandata p_m richiesta dall'impianto in cui il compressore è inserito

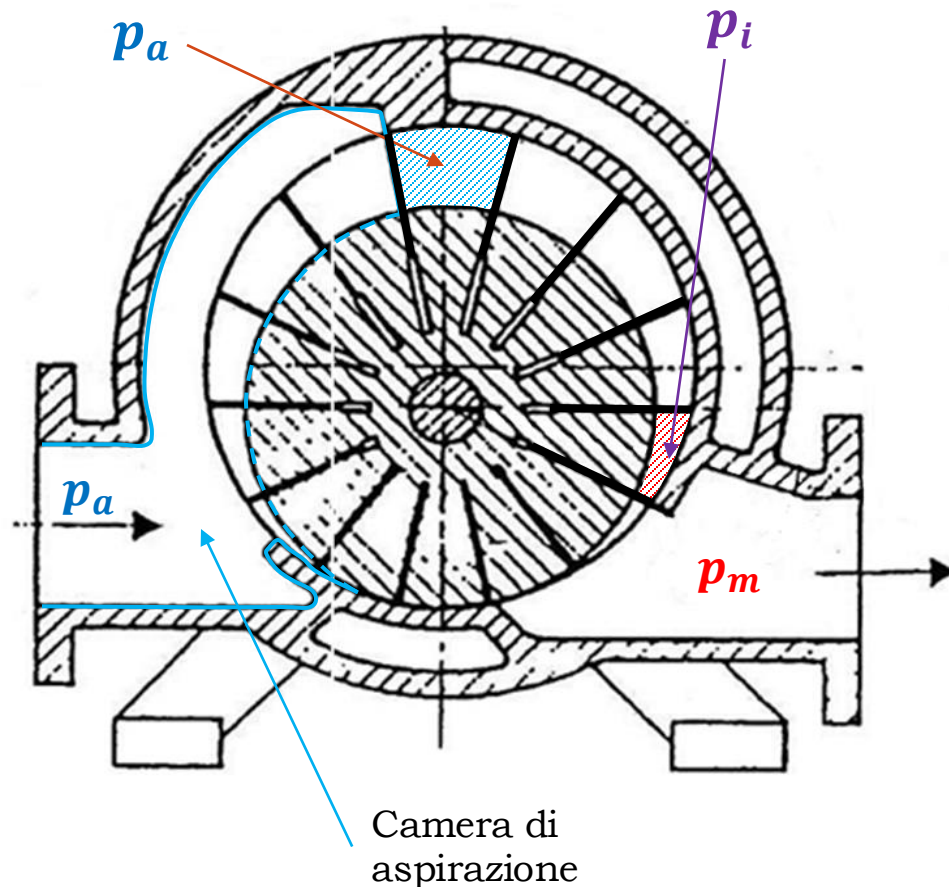
$$p_i = p_m$$

$$p_i > p_m$$

$$p_i < p_m$$

Cosa cambia in termini di lavoro speso dal compressore?

I compressori volumetrici rotativi



$$p_i = p_m$$

- Il compressore comprime il fluido **esattamente** fino alla pressione di mandata
- Nel momento in cui il volume entra in contatto con l'ambiente di mandata c'è un semplice trasferimento di massa senza lavoro
- In ipotesi di processo ideale:

$$L_{id} = L_{compr.interna}$$

Come si valuta?

I compressori volumetrici rotativi

- In ipotesi di processo **ideale**, il processo di compressione è esprimibile tramite una **trasformazione adiabatica reversibile**:

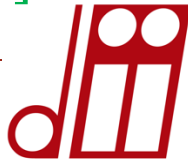
$$pV^k = \text{cost} \quad \text{dove} \quad \left(k = \frac{c_p}{c_v}\right)$$

$$L_{id} = \boxed{\rho_a V_a} \boxed{\Delta H_{is}} = \rho_a V_a c_p T_a \left[\left(\frac{p_m}{p_a} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad \left[\frac{J}{\text{giro}} \right]$$

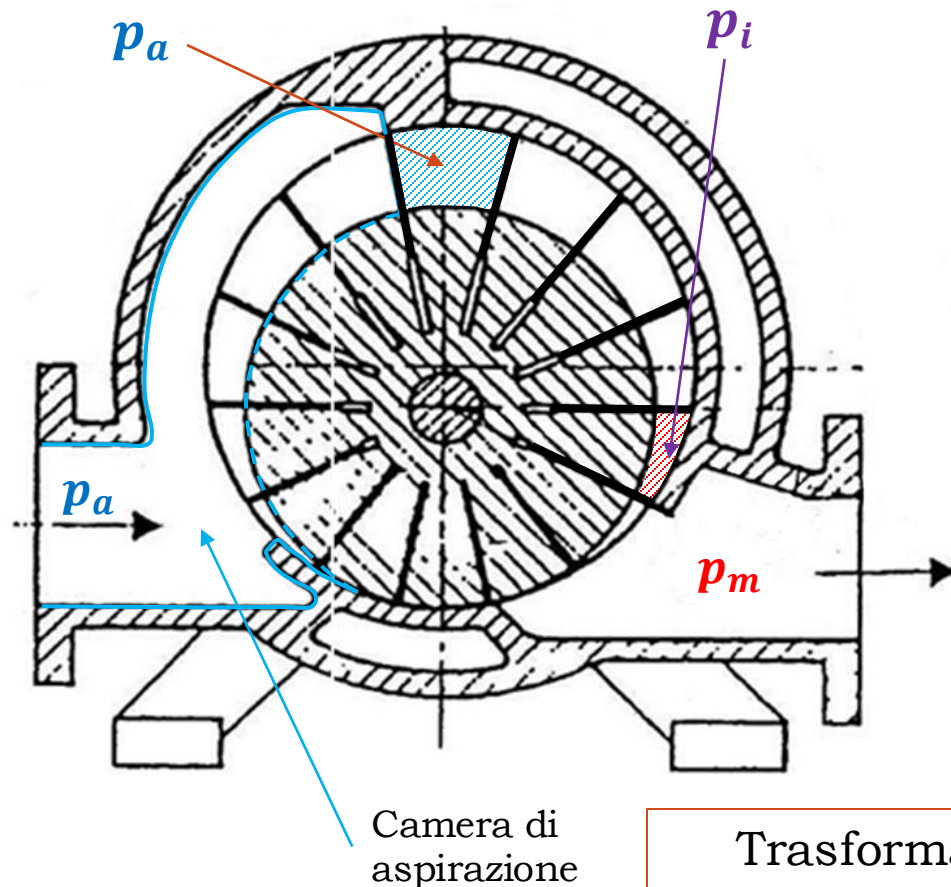
Massa di fluido aspirata M_a [kg/giro]

Salto entalpico isoentropico [J/kg]

$$L_{id} = \rho_a V_a \Delta H_{is} = \rho_a V_a c_p T_a \left[\left(\frac{p_m}{p_a} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \rho_a V_a \frac{k}{k-1} R T_a \left[\left(\frac{p_m}{p_a} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$



I compressori volumetrici rotativi



$$p_i < p_m$$

- Lo stesso compressore comprime il fluido fino alla pressione p_i inferiore a quella di mandata
- Nel momento in cui il volume entra in contatto con l'ambiente di mandata c'è un **secondo** processo di compressione ad opera dell'**ambiente esterno**
- In ipotesi di processo ideale:

$$L_{id} = L_{compr.interna} + L_{compr.esterna}$$

Trasformazione
adiabatica reversibile

E' uguale a prima?

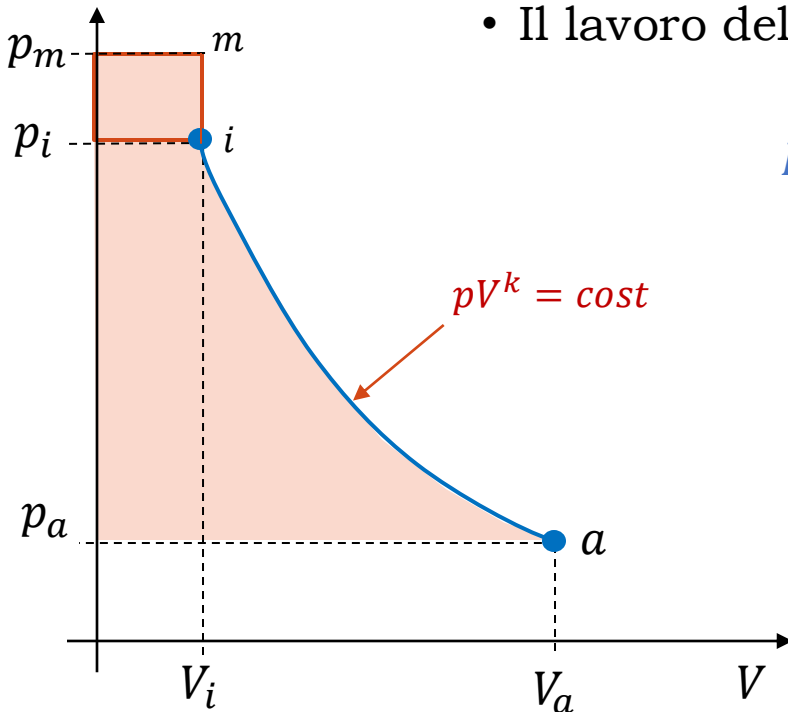
Come si valuta?



I compressori volumetrici rotativi

- Il lavoro della compressione interna è analogo a prima:

$$L_{\text{compr.interna}} = \rho_a V_a \Delta H_{is} \quad [J/\text{giro}]$$



- La pressione p_i dipende dalla riduzione di volume che, data una certa geometria non cambia e quindi $L_{\text{compr.interna}}$ è lo stesso
- La compressione da p_i a p_m si completa allo scarico a volume pressoché costante
- Questa compressione è assimilabile ad una trasformazione isocora a volume costante

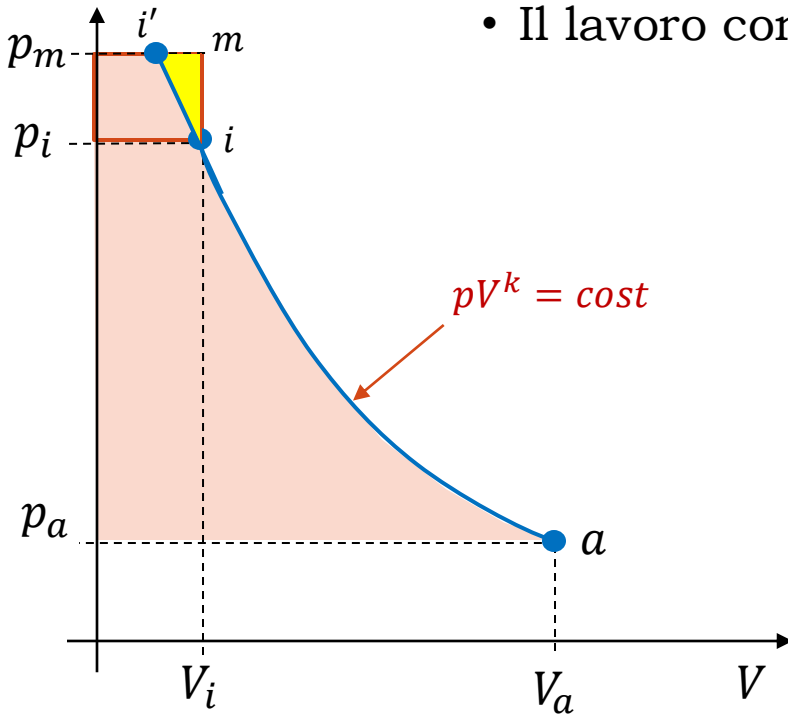
- Il lavoro associato a questa compressione esterna è:

$$L_{\text{compr.esterna}} = V_i(p_m - p_i) \quad [J/\text{giro}]$$

I compressori volumetrici rotativi

- Il lavoro complessivo è:

$$L_{id} = \rho_a V_a \Delta H_{is} + V_i(p_m - p_i) \quad [J/giro]$$



Questo lavoro è uguale o diverso dal lavoro che richiederebbe un compressore volumetrico che esegue la compressione interna fino alla pressione di mandata p_m ?

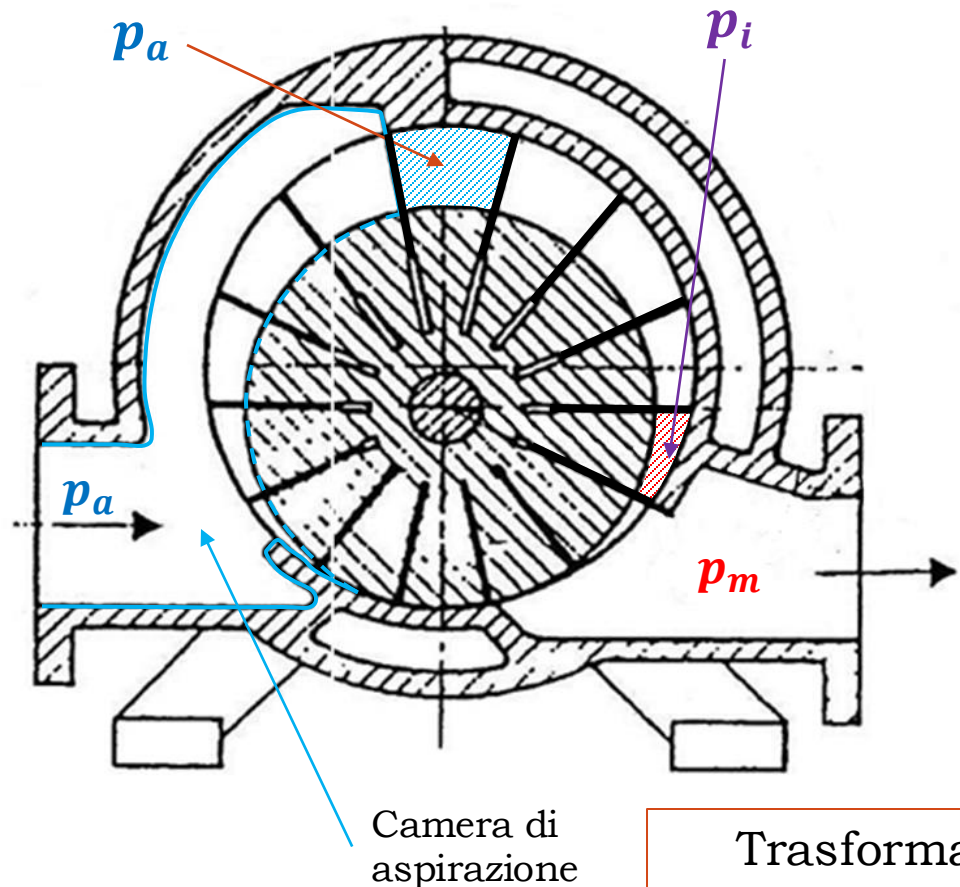
- La compressione in questo caso sarebbe stata adiabatica reversibile fino alla pressione $p'_i = p_m$



Il lavoro richiesto sarebbe stato inferiore. La differenza è rappresentata dall'area in giallo



I compressori volumetrici rotativi



$$p_i > p_m$$

- Lo stesso compressore comprime il fluido fino alla pressione p_i maggiore rispetto a quella di mandata
- Nel momento in cui il volume entra in contatto con l'ambiente di mandata c'è un processo di **espansione**
- In ipotesi di processo ideale:

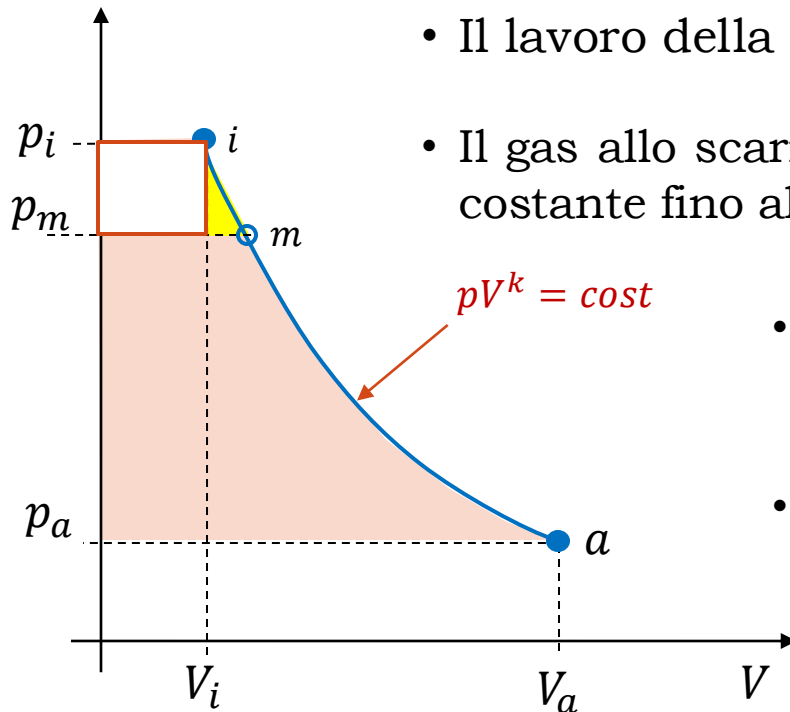
$$L_{id} = L_{compr.interna} + L_{espansione}$$

Trasformazione
adiabatica reversibile

E' uguale a prima?

Come si valuta?

I compressori volumetrici rotativi



- Il lavoro della compressione interna è analogo a prima
- Il gas allo scarico **espande spontaneamente** a volume pressoché costante fino alla pressione p_m della mandata.

- L'espansione isocora a volume V_i comporta una restituzione di lavoro che deve essere quindi sottratto al lavoro della compressione interna
- In assenza di perdite, il lavoro di compressione è quindi pari a:

$$L_{id} = \rho_a V_a \Delta H_{is} - V_i(p_i - p_m) \quad [J/giro]$$

- Anche in questo caso, il lavoro complessivo è maggiore di quello richiesto da un compressore che esegue la compressione internamente fino alla pressione di mandata $p_{i'} = p_m$. La differenza è rappresentata dall'area in giallo

I compressori volumetrici rotativi

- In tutti tre i casi, la potenza ideale assorbita dal compressore è data da:

$$P_{id} = L_{id} \frac{n}{60}$$

- La potenza P_{alb} richiesta dal compressore è esprimibile nella forma:

$$P_{alb} = \frac{L_{id} \frac{n}{60}}{\eta_{is} \eta_m}$$

rendimento
isoentropico

- Si ricorda che la potenza P_{alb} è esprimibile anche in funzione del ΔH_{is} :

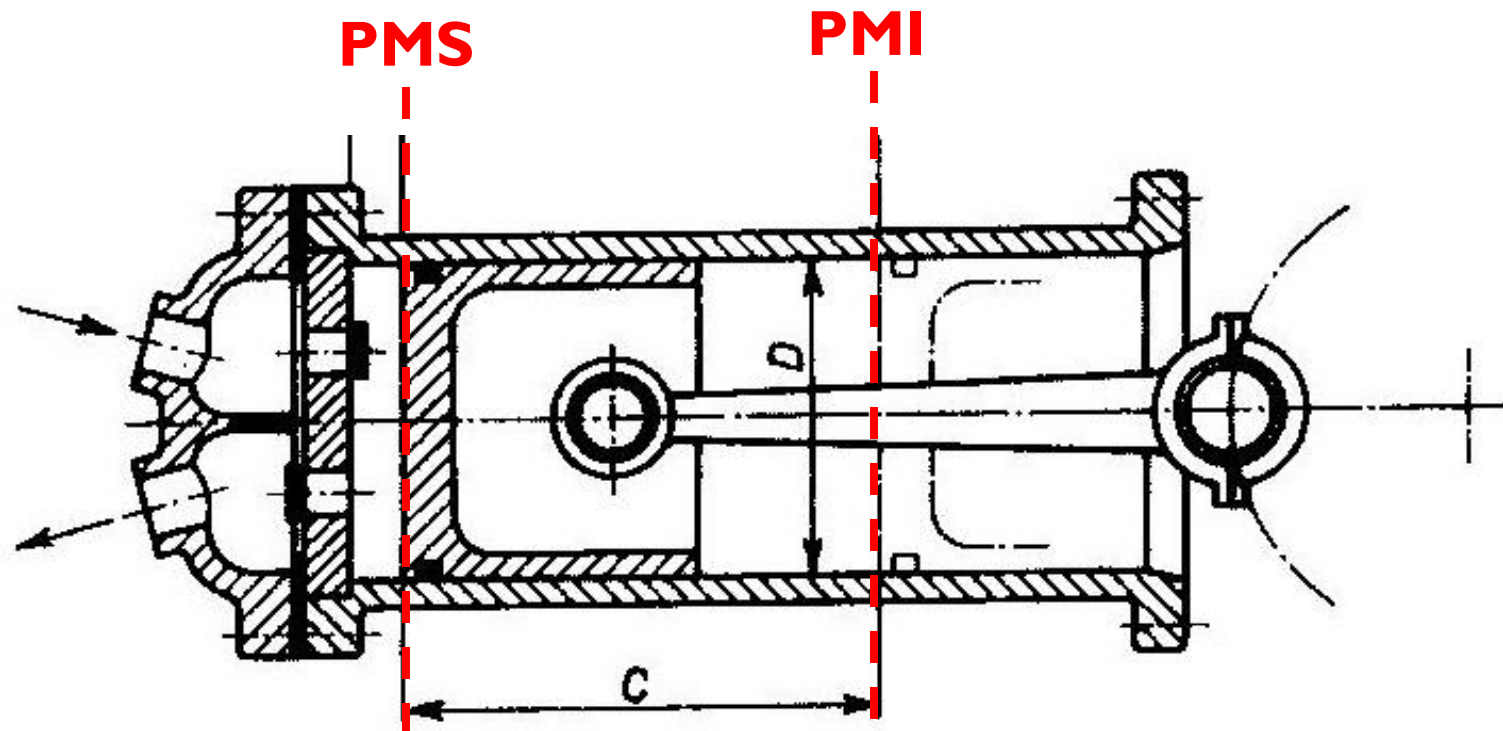
$$P_{alb} = \frac{L_{id} \frac{n}{60}}{\eta_{is} \eta_m} = \frac{Q_m \Delta H_{is}}{\eta_v \eta_{is} \eta_m}$$

Compressori volumetrici alternativi

Compressori volumetrici alternativi

Caratteristiche generali

I compressori volumetrici alternativi



FLUIDO COMPRIMIBILE!!

I compressori volumetrici alternativi

- ▶ Per definire il lavoro della macchina sul fluido si utilizza ancora una volta il **diagramma indicato**
- ▶ Il diagramma indicato descrive l'andamento della **pressione** nel cilindro in funzione della **posizione dello stantuffo**
- ▶ Il diagramma indicato si può **idealizzare** (ciclo limite) con una serie di ipotesi semplificative:

- Fluido aviscoso e quindi perdite di carico nulle
- Inerzie dei sistemi meccanici nulle
- Scambi termici nulli



- Pressioni costanti ed in equilibrio con quelle nei condotti
- Anticipi e ritardi nella chiusura delle valvole nulli
- Compressioni isoentropiche

Compressori volumetrici alternativi

Ciclo Limite

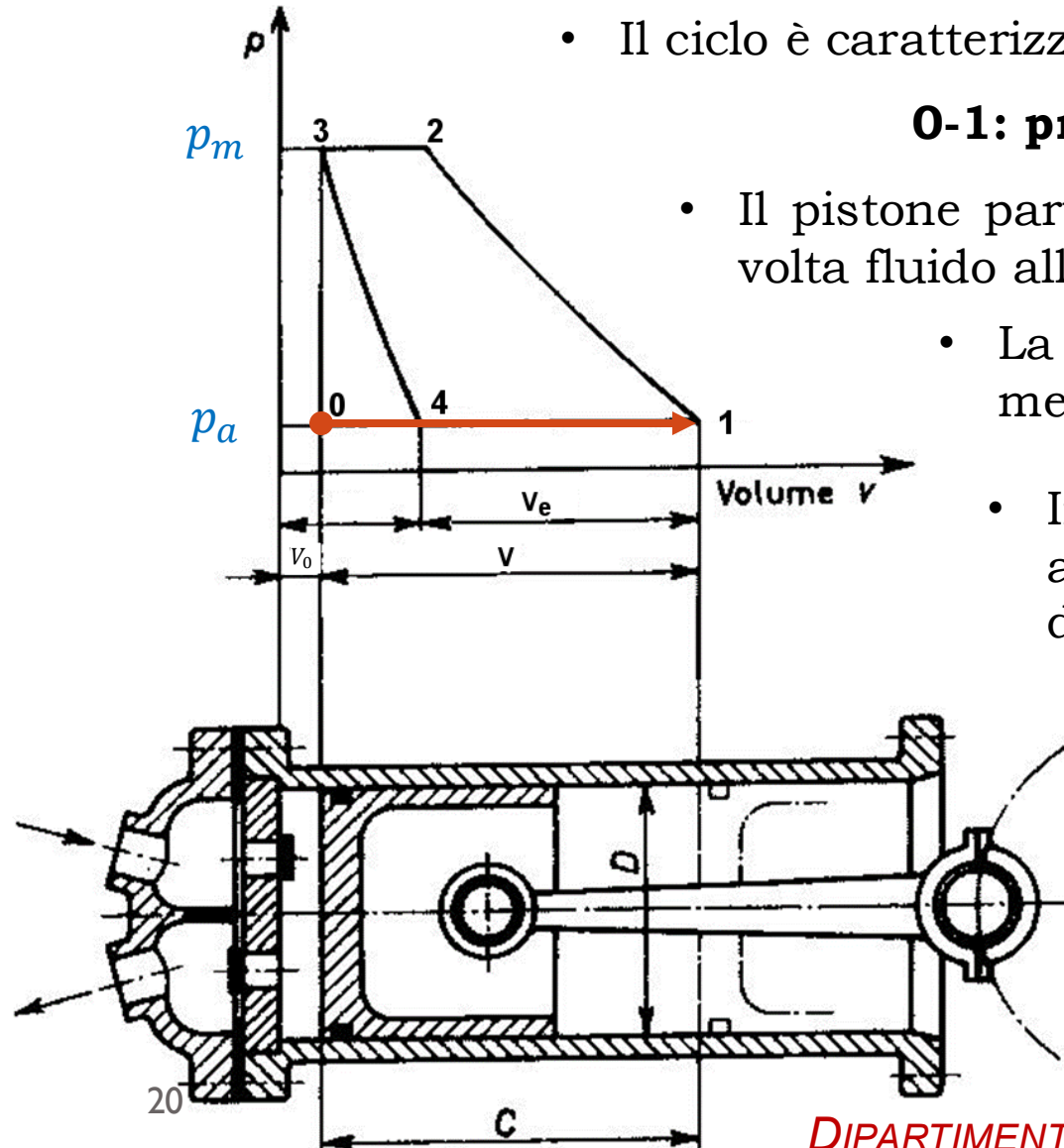
Il ciclo limite

- Il ciclo è caratterizzato dalle seguenti fasi

0-1: prima aspirazione

- Il pistone parte dal PMS e aspira per la prima volta fluido all'interno del cilindro
 - La **valvola** di aspirazione si **apre** mentre quella di scarico è chiusa
 - In **assenza** di **perdite** il fluido viene aspirato a pressione pari a quella della condotta di aspirazione p_a

- L'aspirazione termina quando il pistone raggiunge il PMI



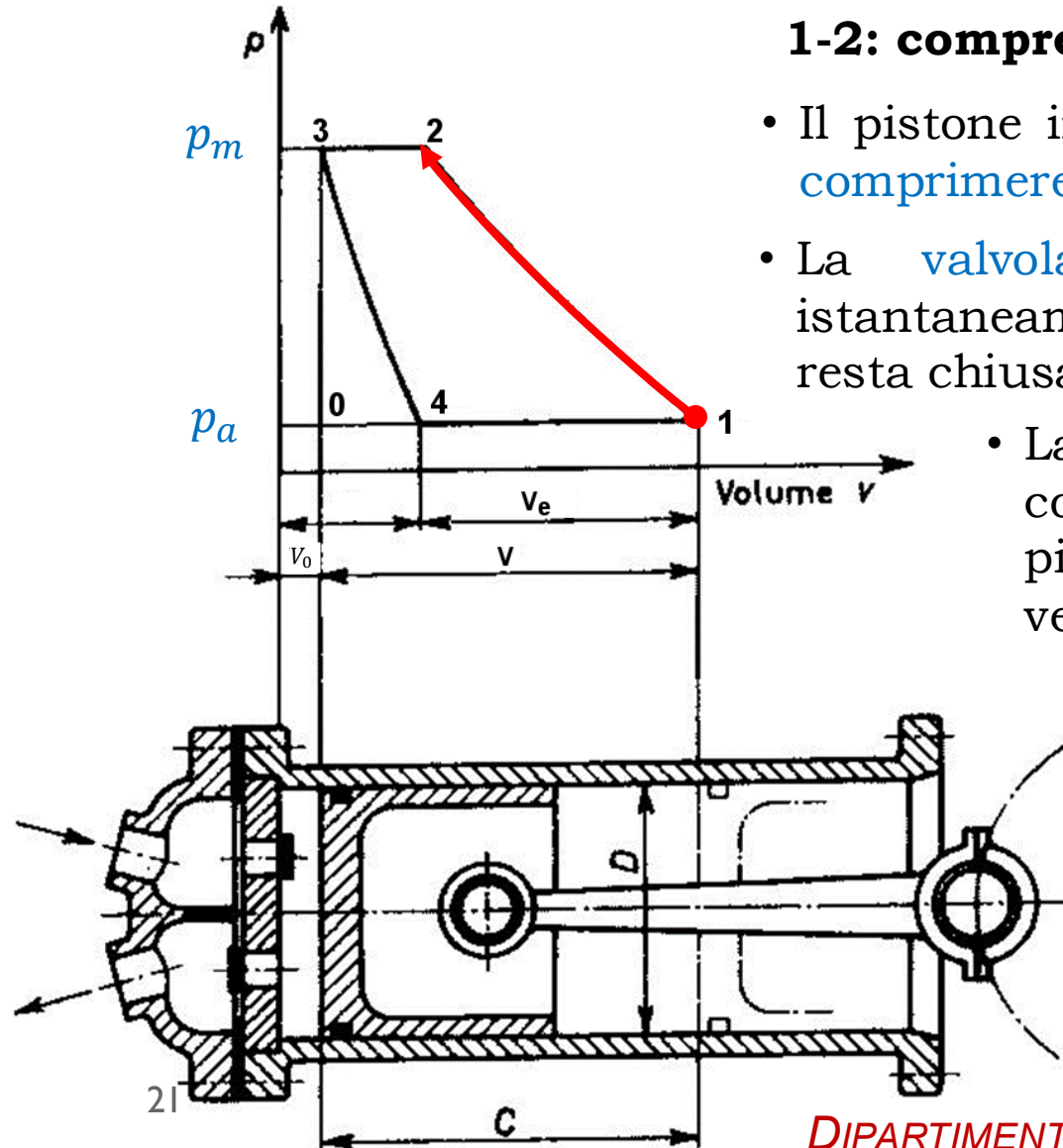
Il ciclo limite

1-2: compressione

- Il pistone inverte la sua corsa e comincia a **comprimere** il fluido
- La **valvola** di aspirazione si **chiude** istantaneamente, mentre la valvola di scarico resta chiusa

- La pressione all'interno del cilindro comincia a salire ($p_{cil} > p_a$) ed il pistone comincia la corsa di ritorno verso il PMS

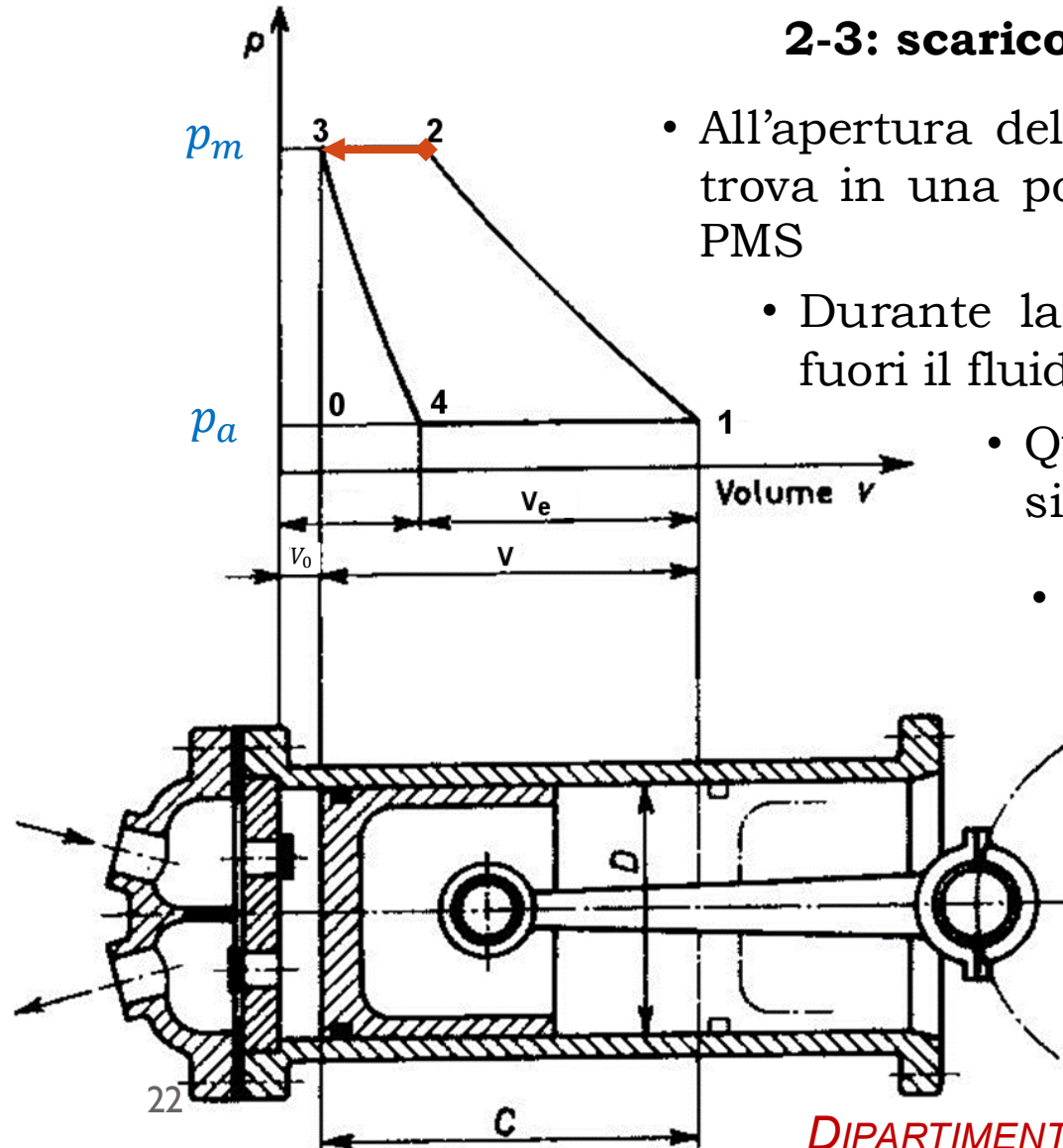
- La compressione termina quando la pressione all'interno del cilindro $p_{cil} = p_m$, con apertura della valvola di scarico



Il ciclo limite

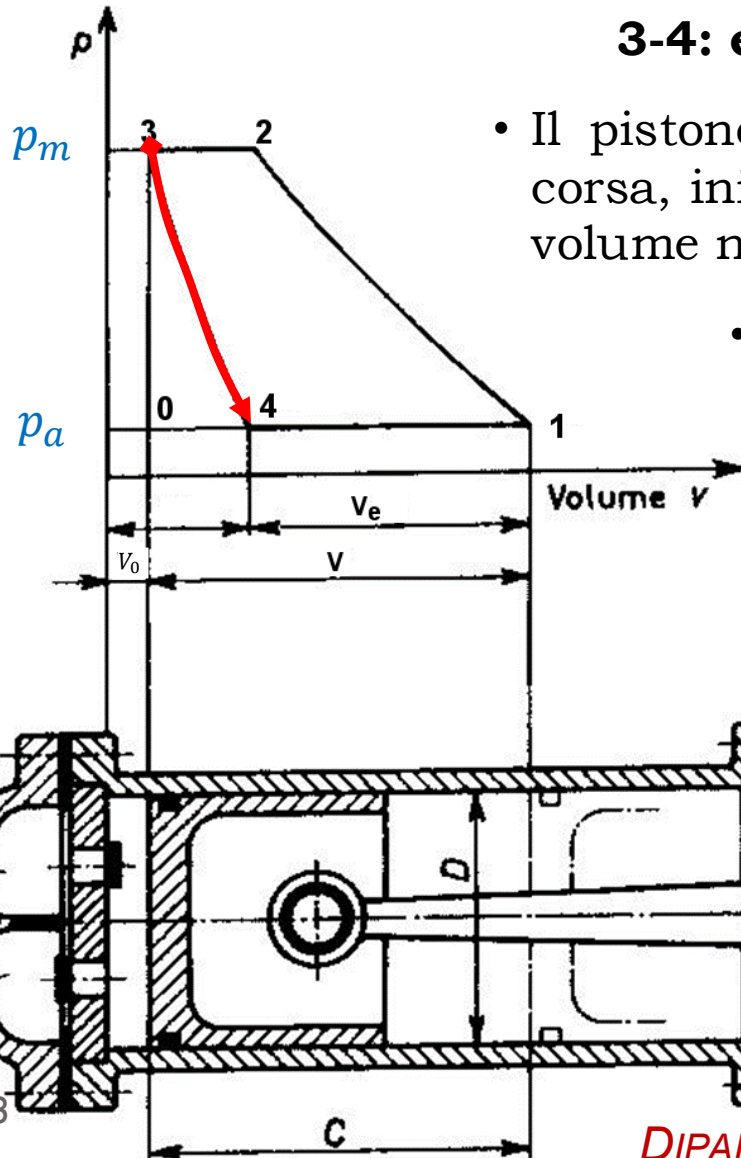
2-3: scarico

- All'apertura della valvola di scarico, il pistone si trova in una posizione compresa tra il PMI ed il PMS
- Durante la **corsa residua**, il pistone spinge fuori il fluido ed effettua quindi lo scarico
- Quando il pistone raggiunge il PMS, si conclude la fase di **scarico**
- In assenza di perdite, la pressione all'interno del cilindro si mantiene costante e pari alla pressione di mandata $p_{cil} = p_m$



Il ciclo limite

3-4: espansione



- Il pistone ha raggiunto il PMS e inverte la sua corsa, iniziando ad **espandere** il fluido residuo nel volume nocivo

- La **valvola** di **scarico** si **chiude** istantaneamente, mentre quella all'aspirazione rimane chiusa

- Durante la prima parte della corsa dal PMS al PMI, la **pressione** all'interno del cilindro **scende** $p_{cil} < p_m$

- L'espansione termina quando la pressione all'interno del cilindro eguaglia la pressione di aspirazione ($p_{cil} = p_a$) con conseguente apertura della valvola di aspirazione

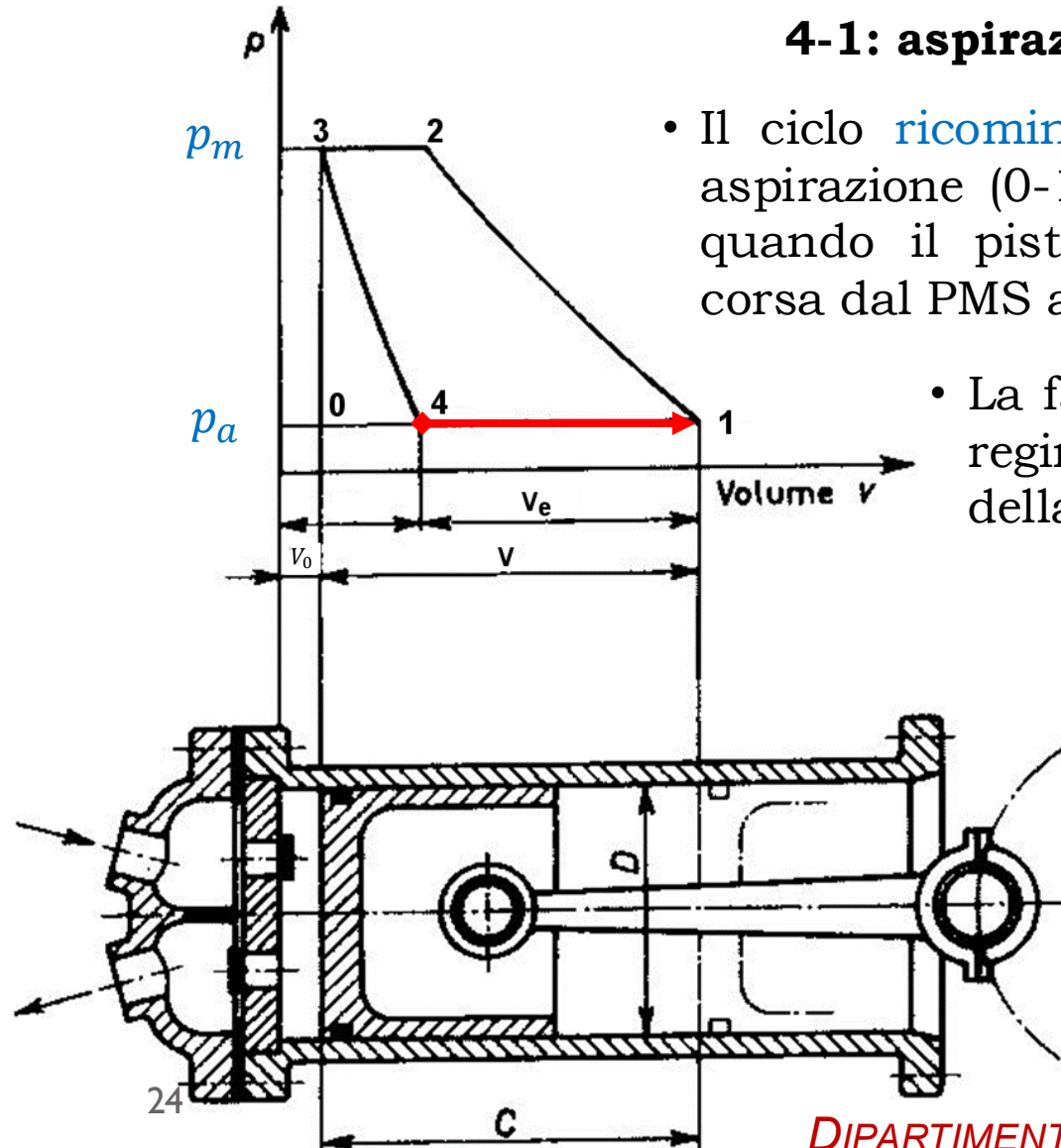
Il ciclo limite

4-1: aspirazione

- Il ciclo **ricomincia** ma, a differenza della prima aspirazione (0-1), la fase di **aspirazione** ha inizio quando il pistone ha già percorso parte della corsa dal PMS al PMI

- La fase di aspirazione in condizione di regime ha luogo solo per una **parte** della **corsa** di **aspirazione** del pistone

- La **capacità** di **aspirazione** a regime è quindi **inferiore** rispetto a quella in prima aspirazione a causa dell'espansione del volume nocivo



Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

PROF. ING. ALBERTO BENATO, PH.D.

ASSOCIATE PROFESSOR

TURBOMACHINERY & ENERGY SYSTEMS GROUP

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING - UNIVERSITY OF PADOVA

VIA VENEZIA 1 - 35131 - PADOVA

BLDG. EX DIM - 5TH FLOOR - ROOM 19

TEL. 049 827 6752

MAIL: ALBERTO.BENATO@UNIPD.IT

WEBSITE: RESEARCH.DII.UNIPD.IT/TES/

