

*Prof. Angelo Serafino Caruso, Docente di Meccanica, Macchine ed Energia  
Istituto Tecnico Industriale "E. Majorana" di Rossano*

*Le mie lezioni:*

## *Motori Endotermici(3/5^)*

*Generalità sui Motori Endotermici*

*Motori Alternativi, a Quattro Tempi, Due Tempi*

*Ciclo Ideale Otto e Diesel, confronto con quelli Reali*

*Alimentazione, Iniettori e Carburazione del Motore a Benzina*

*Sistemi Ausiliari di Raffreddamento e Lubrificazione*

*Il ciclo ideale di Sabathè e la Pressione Media e Media Effettiva*

*Curve Caratteristiche dei Motori*

*Fattori che Influenzano le Prestazioni Motoristiche*

*Motori Endotermici Rotativi*

*Schema riassuntivo termodinamico, il Diagramma di Sankeu*

## Generalità sui Motori Endotermici

*Essi sono macchine termiche motrici a combustione interna, cioè la combustione avviene all'interno del motore in una camera apposita, detta di scoppio, al di sopra del cilindro, tra il pistone e la testata dove sono predisposte le valvole di aspirazione e di scarico oltre al meccanismo di accensione.*

*La miscela, composta dal combustibile (benzina o diesel) e dal comburente (aria), definita carica dei gas freschi, attraverso il collettore e la valvola di aspirazione entra nella camera di scoppio dove, per effetto dell'innesco della scintilla o del calore di compressione, esplose. In seguito a questa combustione si sprigiona l'energia chimica con aumento istantaneo di pressione e temperatura nel fluido innalzando l'entalpia e generando calore che in parte viene trasformata il lavoro, con la spinta del sistema biella-manovella, e in parte si disperde nell'ambiente, aumentando l'entropia.*

*Se indichiamo con "L" e "Q1-Qo",*

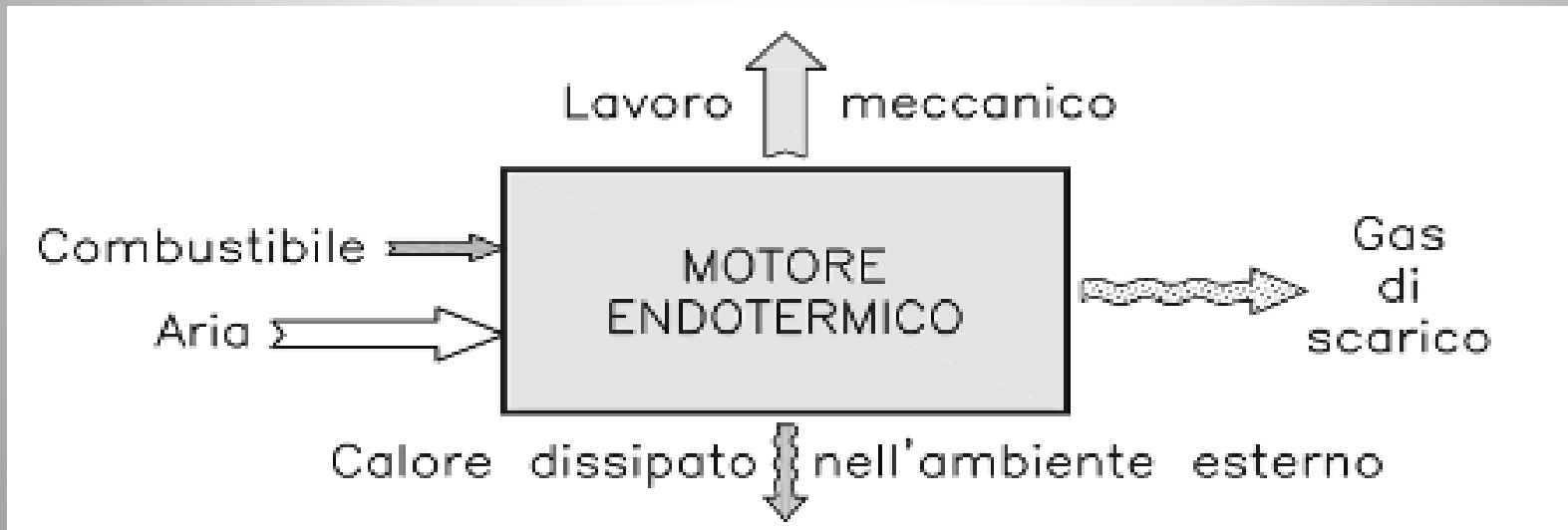
*rispettivamente il lavoro sviluppato e il calore fornito (entrante) e quello disperso (uscente) si ha il Rendimento (Termodinamica, n.28).*

$$\eta = L/Q_1 = Q_1 - |Q_0|/Q_1 = 1 - (|Q_0|/Q_1)$$

*e la potenza erogata dal motore è uguale al momento motore,*

*o coppia motrice, per la velocità angolare,  $P = M\omega$  (Meccanismi n.33 cinghia).*

*Lo schema sotto riportato, propone il 1° Principio della Termodinamica*

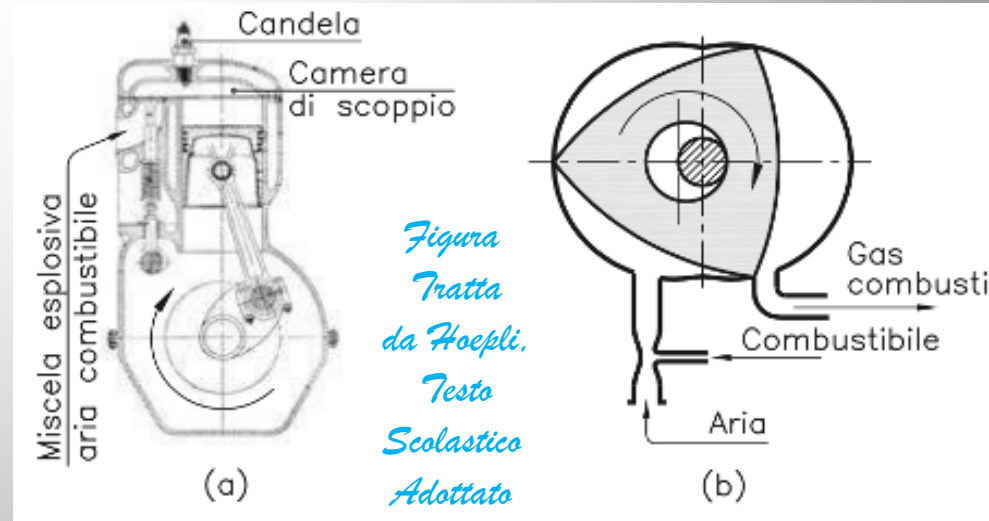


*Figura  
Tratta  
da Hoepli.  
Testo  
Scolastico  
Adottato*

*che, insieme al Ciclo di Carnot, (Termodinamica, n.13 e 24) è fondamentale per l'approccio allo studio delle macchine endotermiche.*

Infatti, entra, nel motore endotermico, il combustibile+l'aria, esce il lavoro meccanico che è la parte utile, esce calore che si disperde nell'ambiente esterno, esce il gas di scarico o fumi trasportando ancora calore.

In termini energetici: L'energia chimica del combustibile, che rappresenta l'energia potenziale - differenza tra la temperatura raggiunta nel cilindro per la combustione e la temperatura dei gas combusti allo scarico - viene trasformata, dalla macchina, in energia termica per combustione con l'aria, i gas combusti subiscono forti aumenti di pressione e temperatura generando, appunto, lavoro e calore. Nella figura (a) c'è il motore alternativo e in (b) il motore Wankel, a pistone rotante, è l'unica alternativa più ragionevole al sistema sopraccitato, non ha avuto, però, la fortuna meritata ed è in disuso pur avendo requisiti superiori.





I motori endotermici a turbina (c), comunemente detti rotanti, hanno organi fissi palettati rotanti su di un albero, il fluido (combustibile e comburente) colpisce a forte velocità le pale della turbina che aziona, sullo stesso asse, un compressore che risucchia l'aria circostante per immetterla nella camera di scoppio. L'energia compie lo stesso ciclo anzidetto. Tali motori sono in uso nelle centrali termoelettriche e nei propulsori aeronautici.

Infine, gli endoreattori (b) che non hanno organi mobili per sfruttare il fluido il fluido operante. Esso si trasforma direttamente in spinta propulsiva per espansione dei gas nell'ugello di scarico, si usano nei missili spaziali e combustibile e comburente viaggiano insieme.

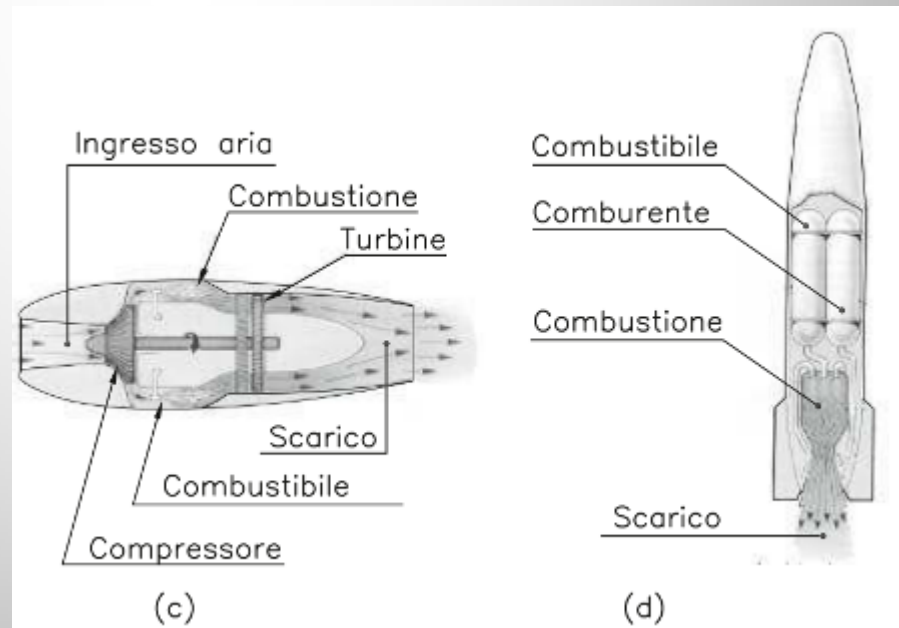
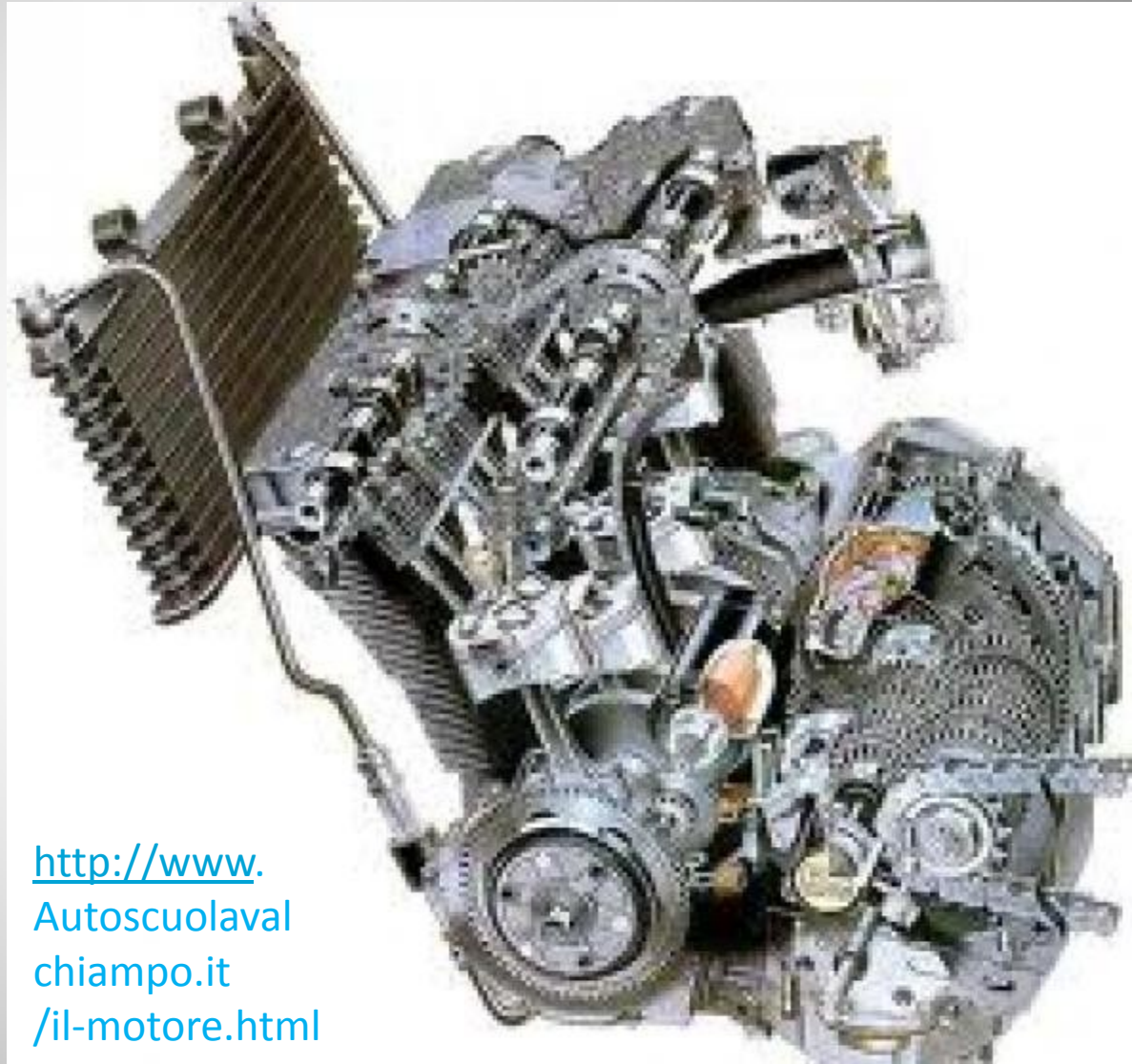


Figura  
Tratta  
da Hoepli,  
Testo  
Scolastico  
Adottato

## Motori Alternativi

*Del motore alternativo si è già discusso (Biella – Manovella).*

*Nel motore a fianco riportato sono evidenti gli organi meccanici che lo compongono le cui caratteristiche geometriche sotto riportate.*  
*Alesaggio: "A", diametro interno del cilindro;*  
*Corsa: "C" è la distanza tra il PMS e il PMI ;*  
*Cilindrata Unitaria:*  
$$"V_u" = \pi/4(A^2 C)$$
  
*volume spazzato dal pistone nel cilindro;*



<http://www.Autoscuolavalchiampo.it/il-motore.html>

*Cilindrata del motore: "Vcil" = Vu Ncil, è la cilindrata unitaria per il numero dei cilindri (è il valore legale scritto sul libretto di circolazione);*

*Volume della camera di scoppio/combustione: "Vcc" è il volume compreso tra la testata e lo stantuffo al PMS;*

*Cilindrata Totale: "Vtot" = Vu + Vcc, è il volume compreso tra la testata e lo stantuffo al PMI.*

*Cilindrata Totale del Motore = Vtot Ncil,*

*Rapporto di Compressione o volumetrico di compressione:*

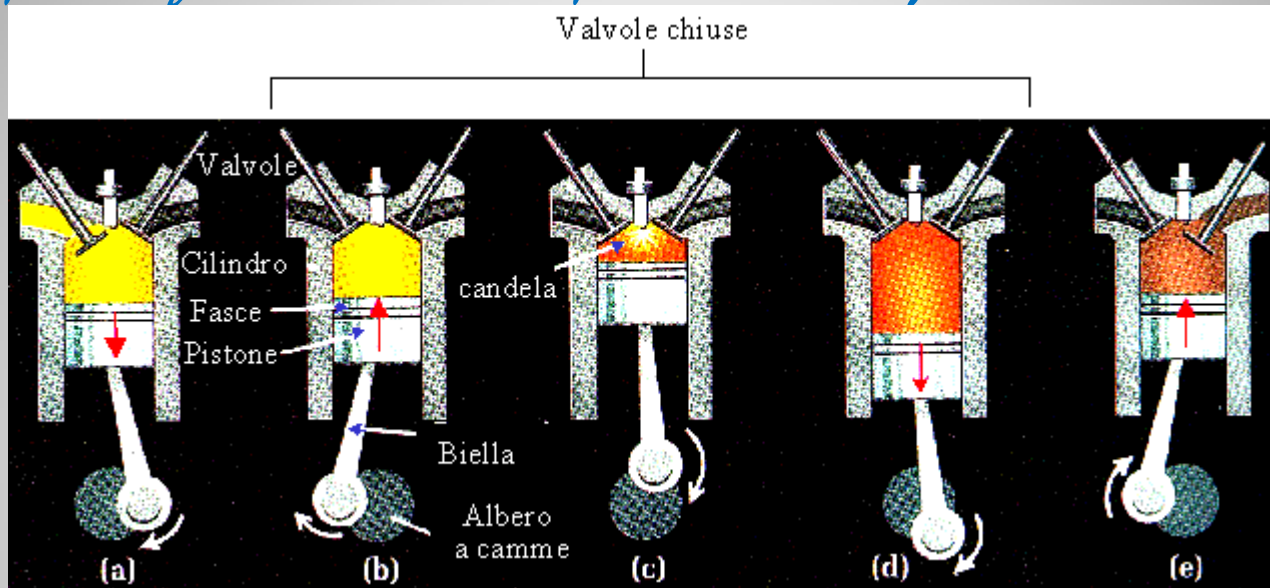
$$"R" = V_{tot} / V_{cc} = (V_u + V_{cc}) / V_{cc}.$$

*A seconda di come viene immesso il combustibile (che deve essere finemente polverizzato) si hanno motori a carburazione e ad iniezione, nei primi la miscela si compone nel carburatore esternamente al cilindro e nei secondi viene iniettato direttamente nel cilindro o nel condotto di aspirazione dell'aria.*

*Lo scoppio della miscela può avvenire per scintilla o per compressione. Quest'ultima, nei motori Diesel, accende il gasolio con il calore prodotto.*



*Ci sono motori a quattro tempi il cui ciclo operativo, composto dalle quattro fasi: aspirazione, compressione, combustione più espansione, e scarico, si compie in quattro corse del pistone e due giri dell'albero motore.*



<http://www.bing.com/images/search?q=>

*1<sup>a</sup> tempo (a), fase di aspirazione, valvola aperta (e valvola di scarico chiusa), ingresso della miscela di gas freschi all'interno del cilindro: **Espansione Isoterma.***

*2<sup>a</sup> tempo (b), fase di compressione della miscela, risalita del pistone per effetto dell'inerzia: **Compressione Adiabatica.***

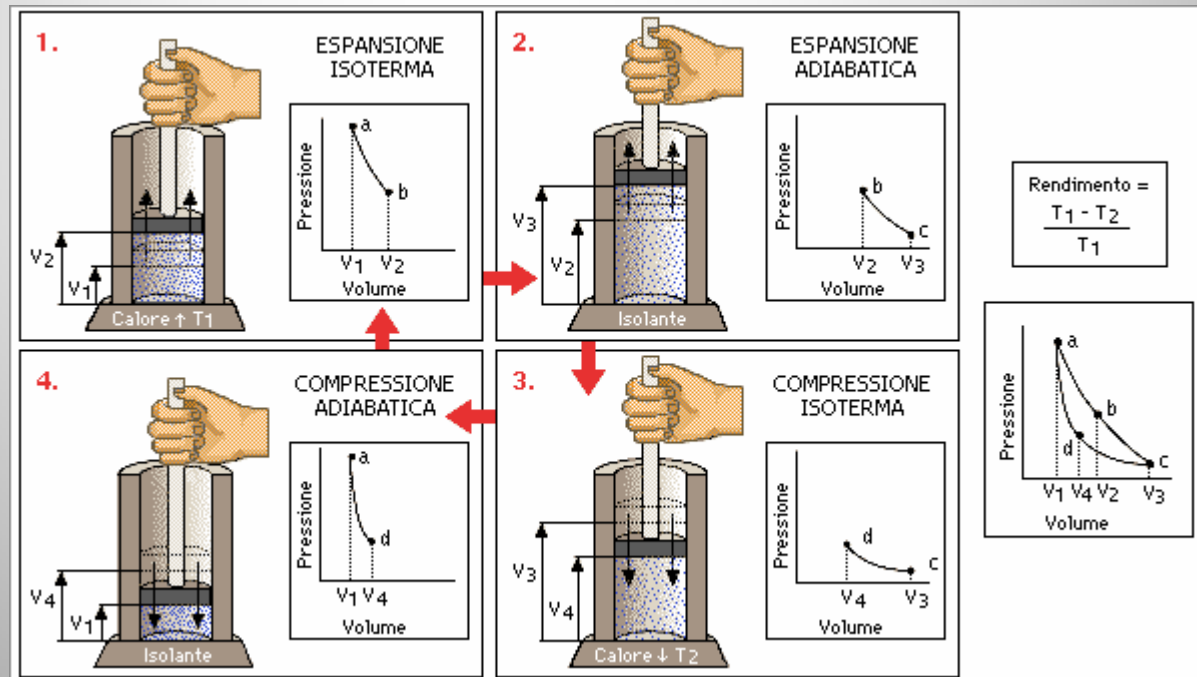


3<sup>a</sup> tempo (c), fase di scoppio ed espansione, pistone al PMS e conseguente discesa (d) verso il PM9, sotto la spinta dell'Espansione Adiabatica dei gas in combustione.

4<sup>a</sup> tempo (e), fase di scarico, pistone ritorna verso il PMS con conseguente risalita per spingere i gas combusti attraverso la valvola di scarico aperta (e valvola di aspirazione chiusa) nel collettore di scarico, **Compressione Isoterma**.

Nella figura sono evidenziate le fasi termodinamiche. Nel diagramma PV

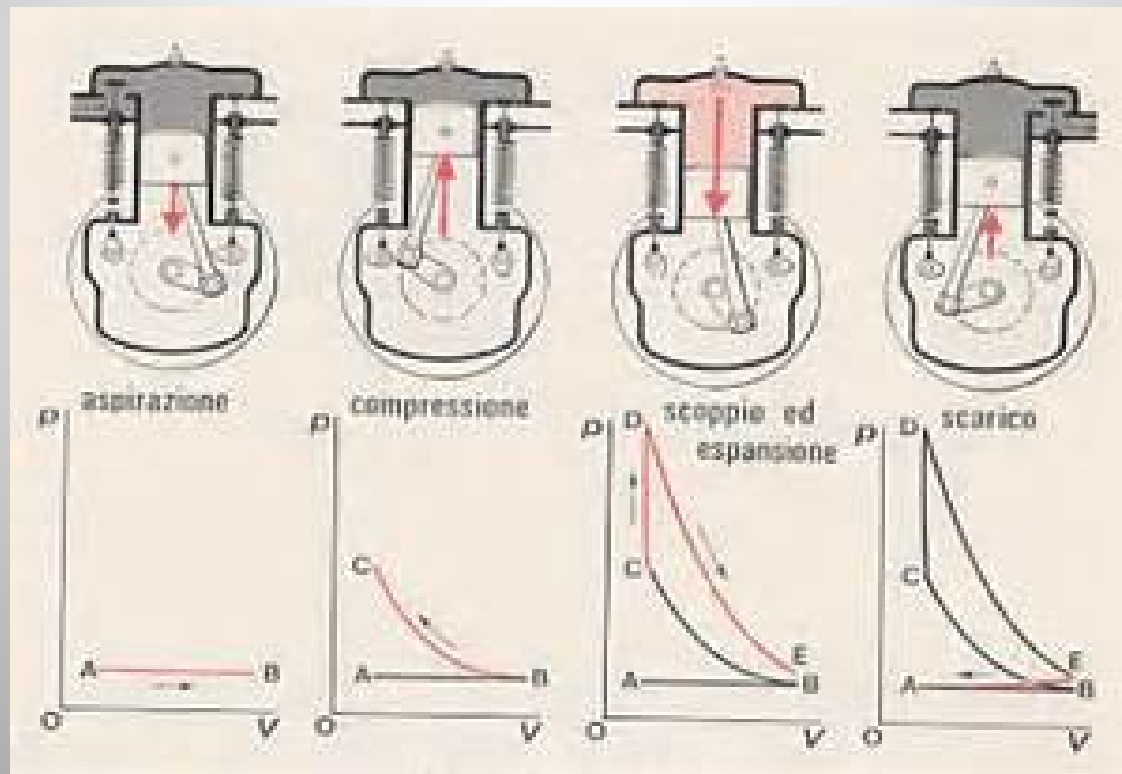
Termodinamica, 24



<http://www.Bing.com/images/search?q=schema+Termodinamico+lavoro+in+calore&view=detailv2&&id>

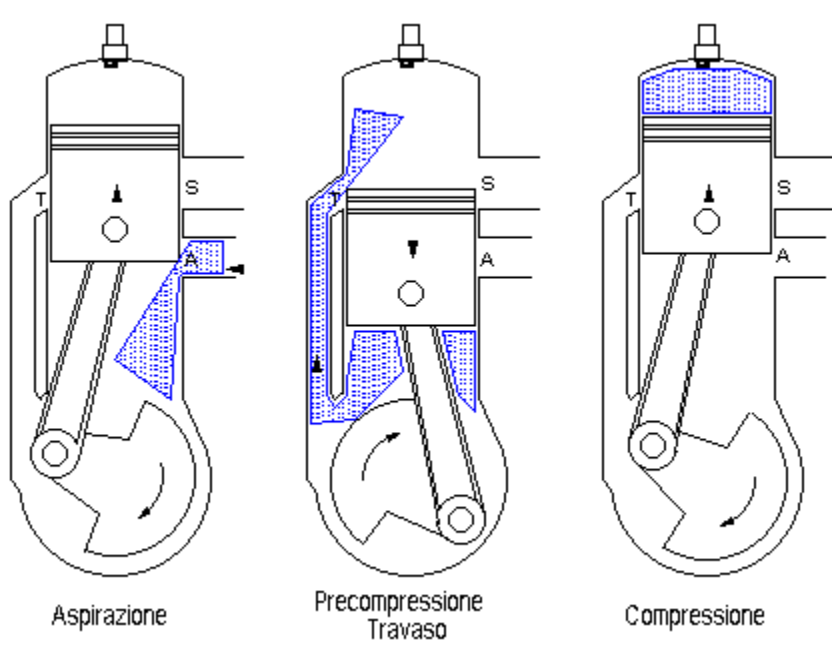
*Se confrontiamo le due figure si riscontra la non coincidenza dei cicli ma solo la piena corrispondenza.*

*Il ciclo operativo è l'insieme del ciclo termodinamico, composto dalle trasformazioni di compressione, combustione e espansione, e di quello fluidomeccanico, aspirazione e scarico, all'ingresso dei gas freschi e all'uscita di quelli combusti.*

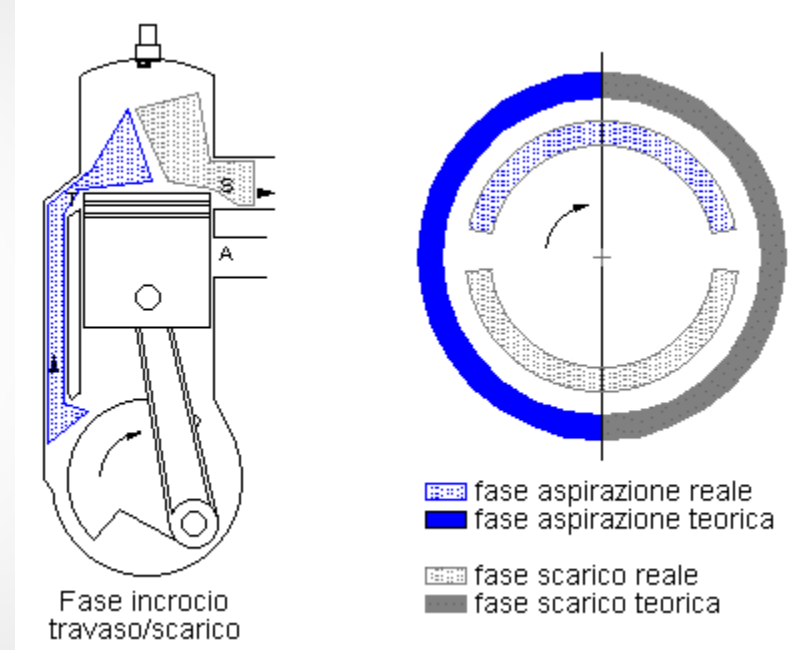


<http://www.Bing.com/images/search?q=schema+Termodinamico+lavoro+in+calore&view=dettaglio&id>

*Nei motori a due tempi, invece, il ciclo si compie in due corse del pistone in cui le fasi di combustione più espansione e scarico avvengono contemporaneamente in un tempo e le fasi di travaso, compressione e aspirazione in un altro tempo sempre contemporaneamente.*



<http://digilander.libero.it/vecchiabessi/Scooter/2tempi/>



*Il ciclo completo si compie in un giro dell'albero, è il pistone che comanda le fasi tramite le "luci" di aspirazione e scarico perchè non ci sono le valvole. Essi hanno un rendimento inferiore dei motori a quattro tempi*

*per l'incompleto riempimento del cilindro e per le perdite di miscela allo scarico dovute alla contemporanea, anche se istantanea, apertura delle luci di scarico e di aspirazione.*

*Nei motori Diesel a 2 tempi, che trovano grande impiego anche nelle propulsioni navali, questo problema non si pone perché nella fase di lavaggio viene immessa nel cilindro solo aria.*

*Inoltre, si compie lavoro per comprimere la miscela nel basamento o l'aria nel cilindro che porta ad un eccessivo riscaldamento degli organi.*

*Essi non superano il 30~50% della potenza dei corrispondenti motori a 4 tempi.*



## Ciclo Ideale dei Motori Endotermici.

Alla base del funzionamento dei motori endotermici c'è la produzione di calore mediante la combustione interna eseguita da un fluido agente su un organo mobile che produce lavoro.

La reazione chimica prodotta dal combustibile e dal comburente rappresenta la carica dei gas freschi in aspirazione dopo la combustione si trasformano in fumi ( $H_2O_{vap} + CO_2$ ).

Il ciclo è irreversibile perché al termine di ogni singolo ciclo, la carica non è più riutilizzabile e deve essere espulsa, per inserirne una nuova.

Nel corso della combustione la massa cambia sia nella composizione chimica che nella densità ma anche nella capacità termica e soprattutto nel valore esponenziale dell'adiabatica ( $PV^a = \text{cost.}$ , con  $a = c_p/c_v$ , *Termodinamica, n.11*).

Nella trattazione ideale non si tiene conto di questi fattori reali, per cui lo studio dei Cicli Endotermici avviene sui Cicli Ideali sovrapponendoli a quelli Reali per ricavarne il Massimo Rendimento Teorico.

## Ciclo Ideale Otto

Allora, Tratto  $0 > 1$ : Il pistone si sposta dal PMS ( $v_2 = v_3$ ) al PMV ( $v_1 = v_4$ )

aspirando nel cilindro, dalla valvola di aspirazione, la miscela fluida.

La trasformazione avviene a Pressione Costante " $P_1$ " = cost (Isobara).

Tratto  $1 > 2$ : Il pistone risale dal PMV al PMS e comprime il fluido

con le valvole della camera di scoppio chiuse, teoricamente

senza scambio di calore con l'esterno: **Compressione Adiabatica.**

Il pistone svolge sul gas il lavoro " $L_{1-2}$ " negativo.

Tratto  $2 > 3$ : Il pistone è sul PMS, scocca

la scintilla elettrica e provoca l'accensione

della miscela, che per effetto della combustione

fa innalzare velocissimamente sia la pressione

sia la temperatura, introducendo calore

" $Q_1$ " a Volume Costante,  $v_2 = v_3 = \text{Cost}$

(Isocora), il lavoro è nullo.

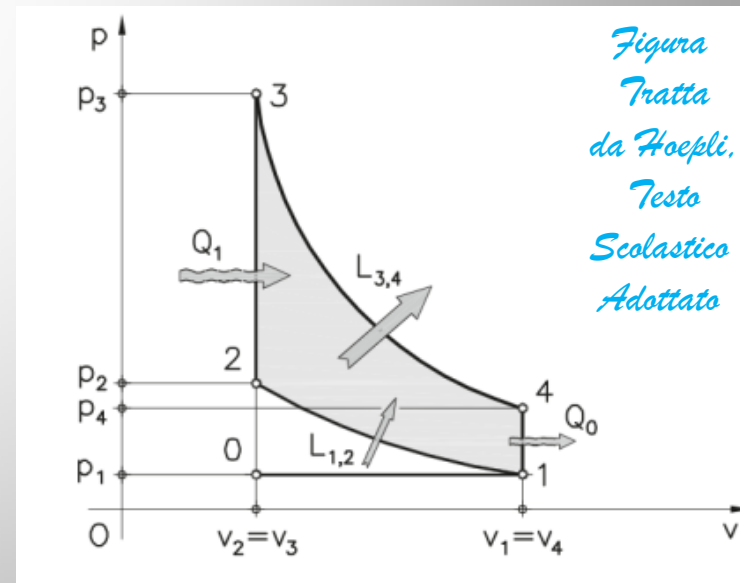


Figura  
Tratta  
da Hoepli,  
Testo  
Scolastico  
Adottato

Tratto 3>4: I gas combusti si espandono spingendo il pistone al P.M.I., senza scambio di calore con l'esterno, **Espansione Adiabatica**.

È questa la fase attiva del ciclo,

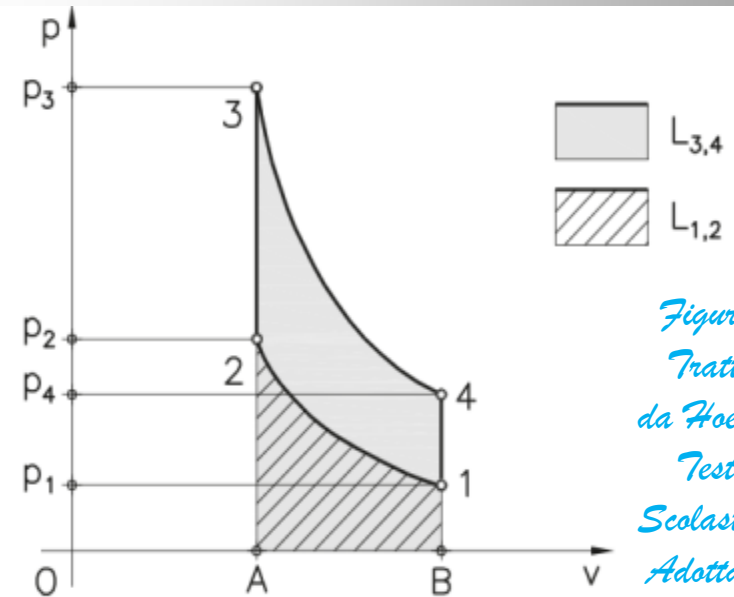
il gas spinge il pistone producendo il lavoro " $L_{3-4}$ " positivo.

Tratto 4>1: Si apre la valvola di scarico al termine dell'espansione e i gas si scaricano all'esterno tramite il collettore a **Volume Costante**,

$V_1=V_4=cost$  (Isocora). La pressione cala a quella atmosferica e si espelle il calore " $Q_0$ " a bassa entalpia (non si espellano i fumi). Il lavoro è nullo.

Tratto 1>0: Il pistone, per inerzia, risale al P.M.S espellendo dal cilindro i fumi a pressione atmosferica.

In figura, il lavoro del gas come differenza tra le aree sottese dalle due trasformazioni adiabatiche



Ponendo  $Q_1 = C_v(T_3 - T_2)$  (Termodinamica, n.19 e 20)

con " $Q_1$ " introdotta nella isocora  $2 \rightarrow 3$  e proporzionale al salto di temperatura  $T_3 - T_2$   
e  $Q_0 = C_v(T_4 - T_1)$

con " $Q_0$ " sottratta nella isocora  $4 \rightarrow 1$  e proporzionale al salto di temperatura  $T_4 - T_1$

Nella  $\eta_t = L/Q_1 = (Q_1 - |Q_0|)/Q_1$  (Rendimento Termico),

e operando con la matematica, si ha:

$$\eta_t = 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1}$$

Ricordando che  $\frac{V_1}{V_2}$  è il rapporto di compressione ( $r$ ), possiamo anche scrivere:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

( $k = C_p/C_v$ ) (Esposizione, n. 7 e 13)

Il Rendimento Termico Teorico del Ciclo Otto dipende dal rapporto di compressione " $R$ " e dal rapporto fra il calore specifico a pressione costante e il calore specifico a volume costante " $k$ " del fluido operante.

Al crescere di " $R$ " aumenta " $\eta_t$ " a tutto vantaggio del ciclo.



## Ciclo Termico Reale Otto

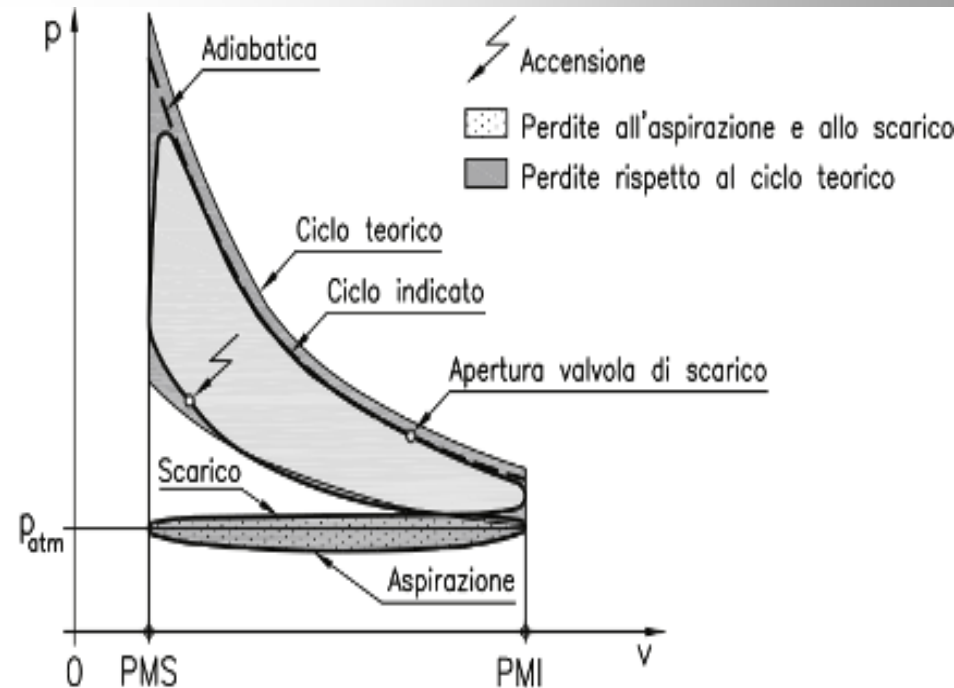
Sovrapponiamo il ciclo Otto Reale al quello Ideale studiato prima e traiamo le conseguenze:

- L'area del ciclo reale è inferiore a quella del ciclo ideale e ciò, già evidenzia le perdite;

- Le aree al di sopra della  $P_{atm}$  (lo scarico avviene a una pressione leggermente più alta di quella atmosferica) e al di sotto (l'aspirazione avviene

in depressione) rappresentano i lavori di pompaggio e non compaiono nel ciclo ideale perché sono relative alle perdite fluidodinamiche e, al netto di queste perdite, il ciclo rappresenta il Lavoro del Ciclo Indicato "Li".

- Il cilindro, in realtà, viene raffreddato ad acqua o ad aria



per cui si ha il passaggio di calore attraverso le pareti e ciò è in contrasto con il concetto di adiabaticità, quindi, le trasformazioni di aspirazione e compressione sono politropiche e non adiabatiche isentropiche;

- La combustione non è istantanea quindi la trasformazione non è rigorosamente isocora;

- La combustione inizia prima che il pistone abbia raggiunto il PMS e non è istantanea;

- La valvola di scarico non si apre istantaneamente e si protrae nell'apertura.

In oltre, il ciclo presenta valori di pressione e di temperatura inferiori a causa delle perdite di calore attraverso le pareti e per l'aumento della capacità termica  $C_v$  e  $C_p$  che interessano intimamente la materia.

Il Rendimento Indicato è dato dal rapporto delle due aree,

$R_i = \text{Area del ciclo indicato} / \text{Area del ciclo teorico.}$

## Alimentazione e Carburazione del Motore a Benzina

Queste due attività sono assegnate al carburatore che non è altro che una vaschetta con galleggiante che comanda l'apertura e la chiusura della valvola a spillo che mantiene costante il livello della benzina.

C'è un diffusore, Tubo di Venturi, uno spruzzatore e una valvola a farfalla.

Il carburatore opera per dosare la benzina per ottenere il giusto rapporto aria-combustibile e per polverizzarla in modo da omogeneizzarla con l'aria.

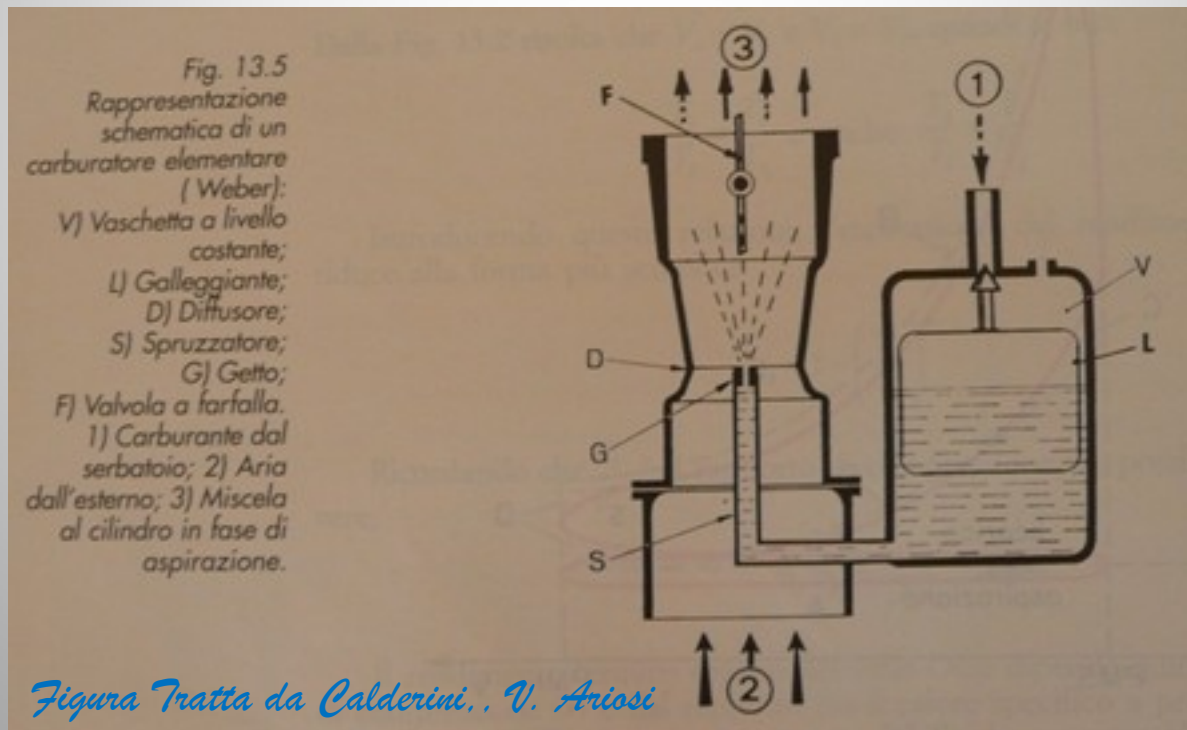


Figura tratta da Calderini, V. Ariosi

## *Iniezione a Benzina*

*È a bassa pressione o ad alta pressione con condotto unico del combustibile azionato dall'albero a camme (Common Rail) che migliora le prestazioni, riduce i consumi e limita le emissioni nocive.*

*Il combustibile viene iniettato nei condotti di aspirazione tramite uno o più iniettori, singoli per cilindro.*

*Essi erano azionati meccanicamente ma adesso sono tutti elettronici comandati da una centraline che, tramite dei sensori, regola e controlla in tempo reale la quantità da iniettare in funzione delle prestazioni richieste al motore.*

## *Impianto di accensione*

*L'accensione della miscela compressa nel cilindro è affidata ad una candela che fa scoccare, con un certo anticipo rispetto al PMS, la scintilla tra due elettrodi sporgenti nella camera a scoppio, la tensione necessaria è procurata dallo spinterogeno,*



## Ciclo Termico Reale Diesel

Allora, Tratto  $0 > 1$ : Il pistone si sposta dal PMS ( $v_2$ ) al PMV ( $v_1 = v_4$ ) aspirando nel cilindro, dalla valvola di aspirazione, la miscela fluida a pressione atmosferica.

La trasformazione avviene a Pressione Costante " $P_1$ " = cost (Isobara).

Tratto  $1 > 2$ : Il pistone risale dal PMV al PMS e comprime il fluido con le valvole della camera di scoppio chiuse, teoricamente senza scambio di calore con l'esterno: **Compressione Adiabatica**.

Il pistone svolge sul gas il lavoro " $L_{1-2}$ " negativo. La pressione raggiunge i 30~35 bar e la temperatura gli 800~900°C.

Tratto  $2 > 3$ : Termina la fase di compressione e viene iniettato direttamente il combustibile, finemente polverizzato, nel cilindro. Siccome la temperatura

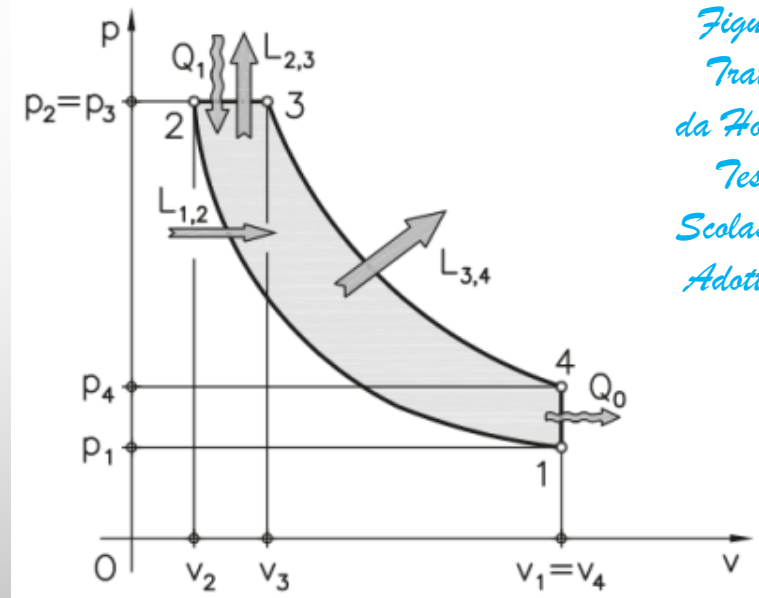


Figura  
Tratta  
da Hoeppli,  
Testo  
Scolastico  
Adottato

dell'aria compressa è superiore a quella di accensione del gasolio, il combustibile si accende e continua a bruciare,

il pistone inizia la corsa di ritorno.

La pressione è costante " $P_2=P_3=\text{cost}$  (Isobara).

Il calore introdotto " $Q_1$ ", a pressione costante, genera il lavoro " $L_{2-3}$ ", positivo, pari all'area sottesa.

Tratto 3>4: Segue la fase di espansione procurata dalla combustione del fluido senza scambio di calore con l'esterno, **Espansione Adiabatica** che eroga il lavoro positivo " $L_{3-4}$ ".

Tratto 4>1: Si apre la valvola di scarico al termine dell'espansione e i gas si scaricano all'esterno tramite il collettore a **Volume Costante**,  $V_1=V_4=\text{cost}$  (Isocora). La pressione cala a quella atmosferica e si espelle il calore " $Q_0$ " a bassa entalpia (non si espellano i fumi). Il lavoro è nullo.

Tratto 1>0: Il pistone, per inerzia, risale al PMS espellendo dal cilindro i fumi a pressione atmosferica.

$$\text{Ponendo } Q_1 = C_p(T_3 - T_2)$$

con "Q<sub>1</sub>" introdotta nella isocora 2>3 e proporzionale al salto di temperatura T<sub>3</sub>-T<sub>2</sub>

$$\text{e } Q_0 = C_v(T_4 - T_1)$$

con "Q<sub>0</sub>" sottratta nella isocora 4>1 e proporzionale al salto di temperatura T<sub>4</sub>-T<sub>1</sub>

Nella  $\eta_t = L/Q_1 = Q_1 - |Q_0|/Q_1$  (Rendimento Termico),

e operando con la matematica, si ha:

e se  $(V_1/V_2) = R$  (rapporto di compressione) e  $C = \text{Rapporto di combustione}$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \frac{c^k - 1}{k(c-1)}$$

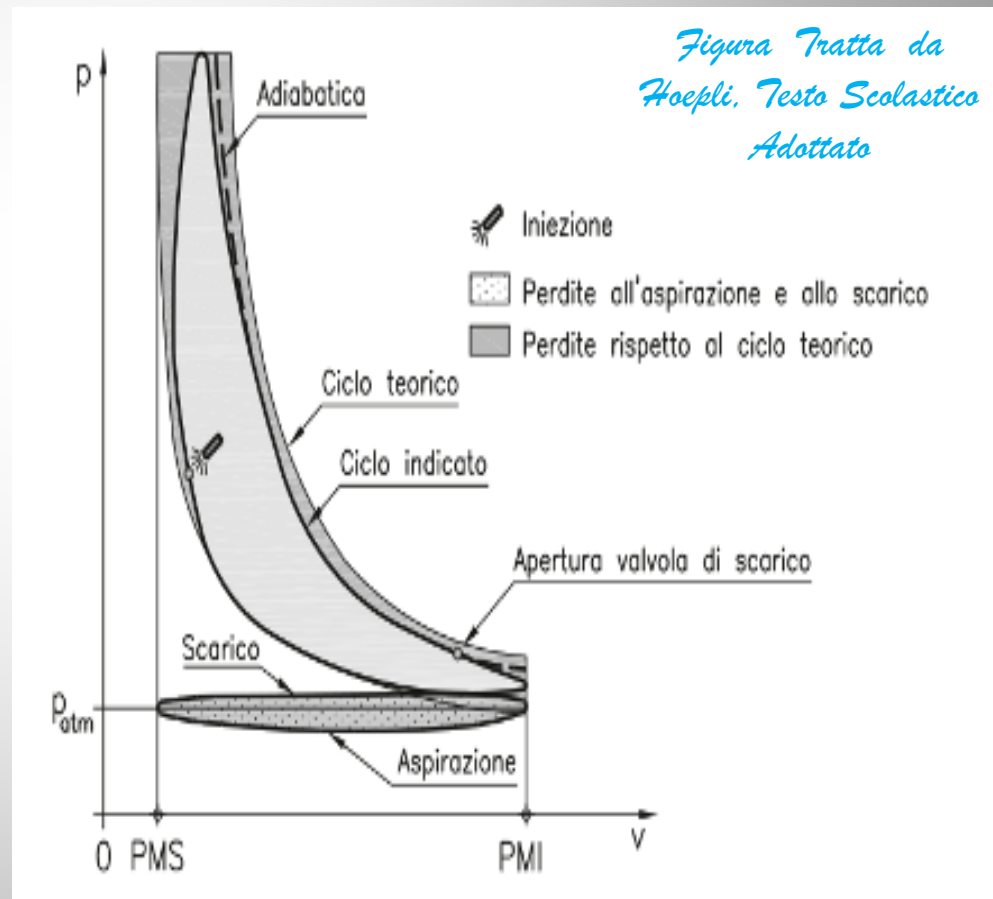
Il Rendimento Termico Teorico del Ciclo Diesel dipende dal rapporto di compressione "R", dal rapporto di combustione "C" e dal rapporto fra i calori specifici del combustibile.

## Ciclo Termico Reale Diesel

Valgono le considerazioni fatte nel ciclo Otto al quale si rimanda  
(Esposizione, n. 17 e 18)

L'espansione e la compressione non avvengono adiabaticamente  
ma, in effetti, sono delle politropiche e la pressione allo scarico

e all'ingresso della camera di combustione non sono a pressione atmosferica. Non essendo istantanea la combustione inizia prima che il pistone abbia raggiunto il PMS e, la trasformazione, non è isocora. Il Rendimento Indicato è dato dal rapporto delle due aree: Area del ciclo indicato / Area del ciclo teorico.





## *Iniezione a Gasolio*

*Il combustibile viene iniettato tramite gli iniettori, uno per cilindro.*

*Essi, prima erano azionati meccanicamente ma adesso sono tutti elettronici comandati da una centraline che, tramite dei sensori, regola e controlla in tempo reale la quantità da iniettare in funzione delle prestazioni richieste al motore.*

*L'iniezione deve essere effettuata in quell'istante opportuno, deve penetrare la massa dell'aria compressa e distribuirsi uniformemente all'interno per cui gli iniettori hanno il compito di polverizzare finemente il getto con una spinta diretta verso uno o più fori calibrati.*

## *Sistemi Ausiliari di Raffreddamento e Lubrificazione*

*Il motore evidenziato in figura (Esposizione, n.6), mostra, in bella vista, un radiatore che raffredda l'acqua o il refrigerante, circolante all'interno, forzato da una pompa, in virtù dell'aria esterna che lambisce le superfici radianti con l'aiuto di una ventola,*

*La portata di liquido necessaria al raffreddamento è data*

$$Q_v = Q_r / 4.18(t_u - t_e) 3.600$$

*con  $Q_r$  [kJ/h] =* Quantità di calore asportata dal refrigerante

*$t_u - t_e$  =* Differenza di temperature del liquido all'uscita e all'entrata

*4.18 =* Calore specifico dell'acqua e *3600 =* secondi in un'ora

*Il raffreddamento può essere affidato anche e solo all'aria esterna che sbatte sulle alette della testata, nel moto di avanzamento della motocicletta, strappando il calore emesso dal motore.*

*La quantità di calore asportata è proporzionale alla superficie radiante.*

*Il raffreddamento di un motore è fondamentale per la sicurezza e la regolarità di funzionamento però non deve essere eccessivo perché disperde calore pari al 20~30% del calore totale sviluppato dalla combustione, e questo è un male per i principi termodinamici.*

*Le temperature raggiunte dai motori endotermici sono di 1.700 °C ~ 2.500 °C e i materiali usati hanno punti di fusione molto bassi, dell'ordine di centinaia di gradi.*

### *La Lubrificazione*

*Oltre a contribuire al raffreddamento delle superfici a contatto, riduce l'attrito tra le parti relative, protegge le superfici e migliora la tenuta dei cilindri e pistoni. Il sistema di lubrificazione è un impianto forzato chiuso come quello del raffreddamento e garantisce la circolazione di circa 11 kg/h di olio per ogni kW di potenza del motore.*

*Nei motori a due tempi ad accensione per scintilla, l'olio viene mescolato con la benzina.*

## *Il ciclo ideale di Sabathè*

*La Lancia Thema, versione 2011, monta un motore Turbo Diesel "Tomcat" a ciclo Sabathè, quindi, questo ciclo non solo ideale ma molto reale.*

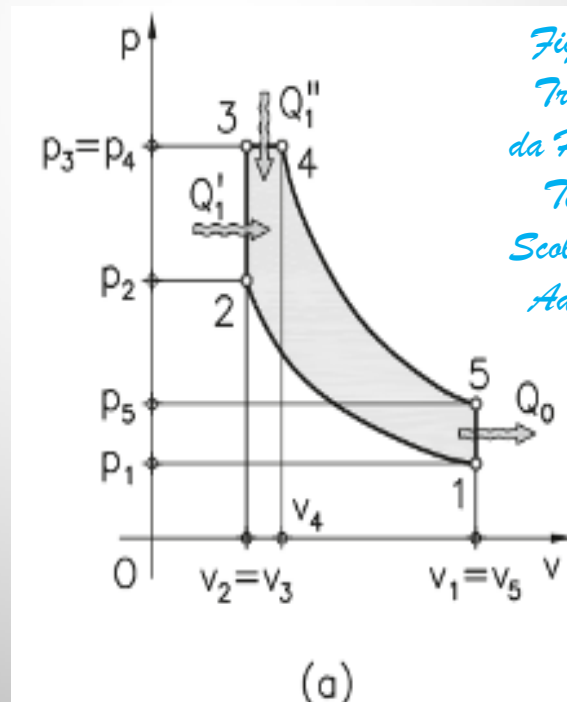
*Esso fonde il ciclo Otto e quello Diesel nella parte superiore del diagramma, lì dove avviene l'introduzione del calore, si sdoppia la fase in una isovolumetrica (isocora) e l'altra di tipo isobarico.*

*Si vuole unire il vantaggio della rapidità di combustione, introduzione del*

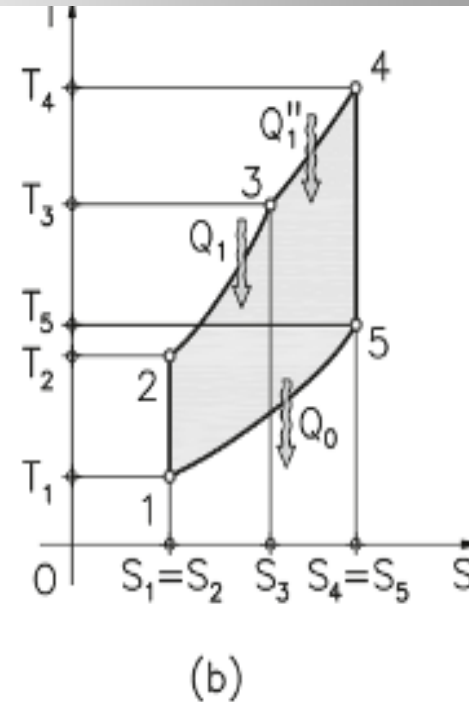
*calore "Q'1" del ciclo Otto,*

*al beneficio della combustione svolta a elevate pressioni, introduzione di "Q"1" del ciclo Diesel.*

*Tratto 1>2: Compressione adiabatica con lavoro negativo sul gas "L1-2";*



*Figura  
Tratta  
da Hoepli.  
Testo  
Scolastico  
Adottato*





Tratto 2>3: Introduzione del calore " Q'1 " a V=Cost con "L2-3", nullo;

Tratto 3>4: Introduzione del calore " Q''1 " a P=Cost con "L3-4", positivo ed uguale all'area sottesa dalla isobara;

Tratto 4>5: Espansione Adiabatica ed erogazione del lavoro "L4-5", positivo;

Tratto 5>1: Espulsione del calore " Q0 " a V=Cost e "L5-1", nullo.

Nel diagramma T-S si vede la differenza di pendenza tra la isobara (3>4) e la isovolumica (3>2).

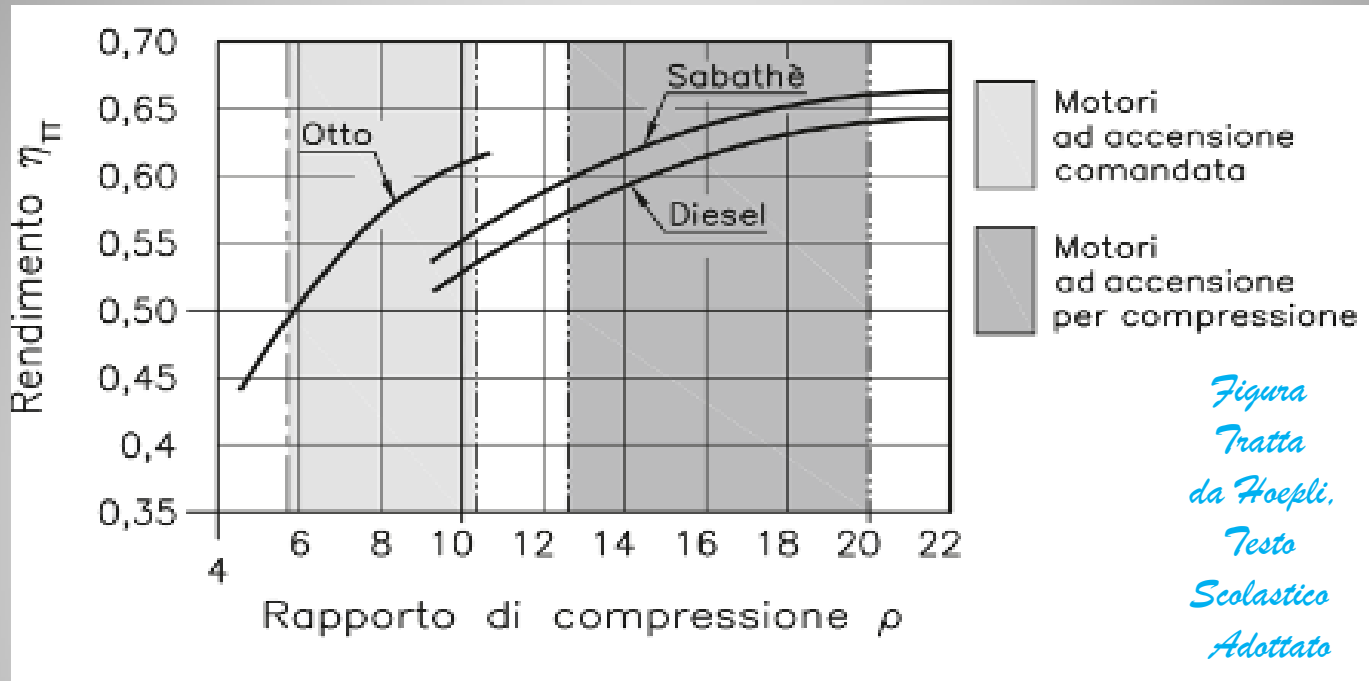
$$\eta_{TT} = 1 - \frac{1}{\rho^{k-1}} \left[ \frac{\tau \tau'^k - 1}{(\tau - 1) + k \tau (\tau' - 1)} \right]$$

$\rho$  = Rapporto Volumetrico di Compressione;

$\tau'$  = Rapporto di Combustione a P=cost

$\tau = P_3/P_2$ . Rapporto di Combustione a V=cost

*A parità di rapporto di compressione, il rendimento del Ciclo di Sabathè,  
è intermedio tra il ciclo Otto e Diesel*



*Se  $\tau$  tende a 1 il ciclo di Sabathè diventa un ciclo Diesel*

*Se  $\tau'$  tende a 1 il ciclo di Sabathè diventa un ciclo Otto*

*La combustione interna nel ciclo Otto è a  $V=cost$ , nel Diesel a  $P=cost$   
è nel Sabathè è a  $V=Cost=P$ . La sottrazione di calore, nel ciclo reale,  
si ha con l'espulsione dei gas combusti allo scarico.*

## La Pressione Media

È il rapporto, in un ciclo ideale, fra il lavoro totale erogato dalla massa del gas (gas freschi) e la cilindrata spazzata (Esposizione, n. 6) dal pistone durante la corsa.

$$P_m = L_{\text{tot}} / (V_1 - V_2)$$

con  $L_{\text{tot}} = mL$  e  $L =$  lavoro unitario e  $V_1 - V_2$ , riferito al PMS e al PM?

In figura, è rappresentata nel digramma  $P-V$  per il ciclo Sabathè

È il rettangolo tratteggiato è "L=lavoro unitario"

La pressione media, prescinde dalla cilindrata e conseguentemente dalla potenza come dal ciclo, in effetti è un rettangolo.

Un altro parametro importante è la pressione media effettiva.

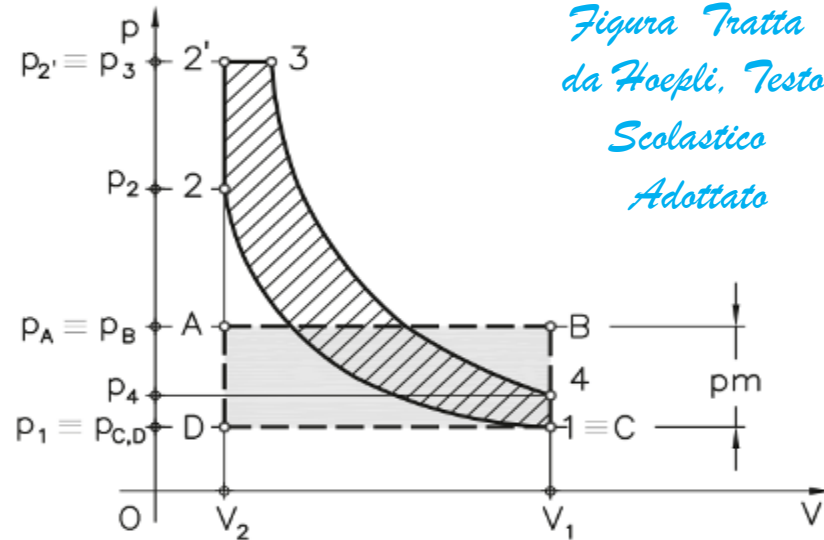


Figura Tratta da Hoepli, Testo Scolastico Adottato

## La Pressione Media Effettiva e Rendimento Meccanico

È un parametro fondamentale per definire le prestazioni di un motore perché ne rappresenta l'indice per valutare il grado di sfruttamento e raffrontare motori diversi per dimensione (cilindrata).

Da ciò ne deriva il Rendimento Meccanico

$$\eta_m = P_{eff}/P_i = L_{eff}/L_i = p_{meff}/p_{mi}$$

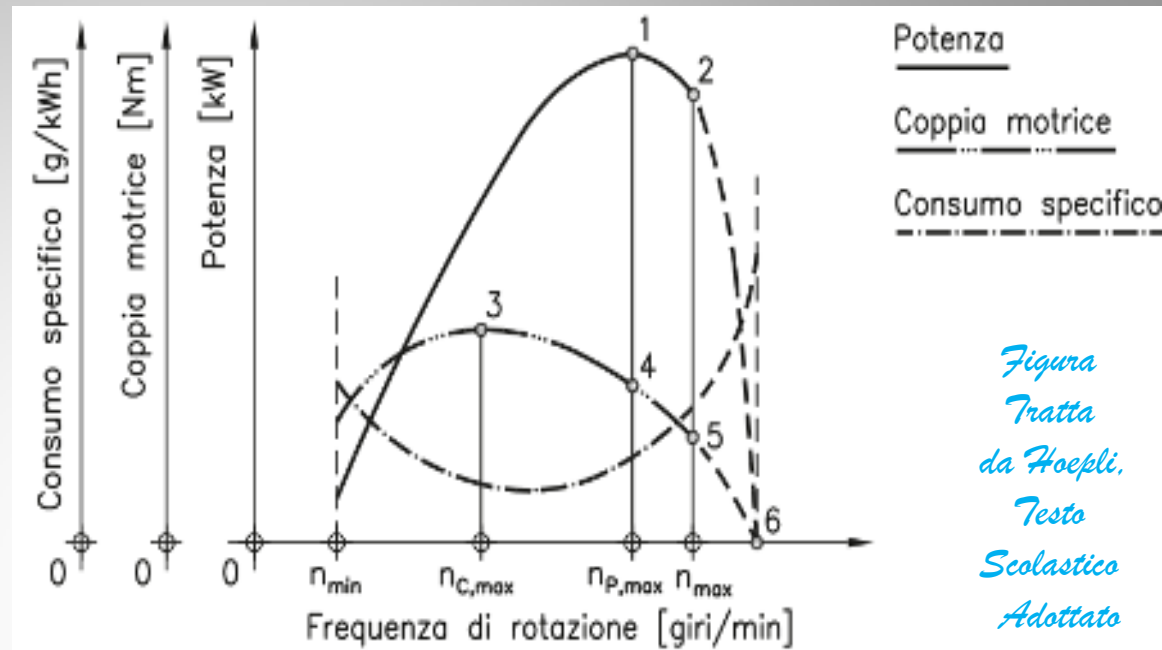
Con le grandezze "indicate" calcolabili dal ciclo indicato e quelle effettive sono misurabili con il dinamometro

Il rendimento meccanico è l'energia necessaria (equivalente a un 0,8~0,9) per vincere gli attriti, eseguire pompaggi e per azionare gli organi ausiliari (dalla pompa dell'acqua al compressore all'aria condizionata e quant'altro in mezzo).



## Curva Caratteristica dei Motori

Le Curve Caratteristiche del motore indicano, in funzione del numero dei giri dell'albero motore, il consumo specifico e le prestazioni riferite alla Potenza Erogata dal motore, in funzione della Coppia



*Motrice, o momento motore, per la Velocità Angolare:*

$$P = M\omega = M2\pi n / 60 = Mn / 9549 \text{ [KW]} \text{ (Meccanismi, n. 8)}$$

La potenza, come si può osservare, aumenta molto più rapidamente dei numeri di giri per poi decrescere e calare bruscamente (tratto 1-2), nonostante il numero di giri aumenti.

Ciò è dato dal fatto che diminuiscono ancora più rapidamente i rendimenti:

*Meccanico, Volumetrico e Termico.*

*(Esposizione, n. 83), (Meccanismi, n. 8), (Dinamica, n. 19) e (Termodinamica, n. 28)*

*La coppia motrice raggiunge il suo massimo valore nel punto (3) e poi diminuisce, sempre mentre che i giri del motore aumentano.*

*Il consumo specifico è massimo sia al funzionamento minimo ( $n_{min}$ ) che al massimo dei giri (punto 6).*

*È minimo ai  $2/3$  della potenza massima.*

*Nell'intervallo tra  $n_{cmax}$  (regime di coppia massima) e  $n_{pmax}$  (regime di potenza massima) la potenza cresce sempre meno fino al punto (1) di massima crescita e la coppia decresce costantemente, in corrispondenza il consumo specifico raggiunge il suo minimo con tendenza ad aumentare.*

*Per potenze oltre  $n_{pmax}$  si ha un calo repentino, detto effetto gancio.*

La caduta di potenza è quella effettiva ( $P_{eff} = P_i - P_p$ ) data dalla potenza indicata meno quella persa (assorbita dalle resistenze passive interne al motore) che cresce in modo esponenziale, più di quella indicata, all'aumentare della frequenza di rotazione, dei giri appunto.

È come dire che la potenza indicata viene dissipata per vincere le perdite interne.

A frequenze di rotazione elevate aumenta anche il numero delle fasi utili, e il cilindro non fa in tempo a riempirsi di carburante nell'unità di tempo, per cui il lavoro indicato degrada anche se la potenza cresce lo stesso, ma molto lentamente.

Se si lasciasse funzionare il motore indefinitamente agli altri regimi, supponendo di non incorrere in rotture, si avrebbe la ricongiunzione e l'annullamento nel punto (6) delle curve della potenza e della coppia e, ovviamente, il consumo specifico spiccherebbe un salto.

*A tale regime, ai problemi già spiegati, si assommerebbero anche quelli relativi alla carica dei gas freschi tendente ad annullarsi per effetto del ridottissimo tempo intercorrente tra l'apertura e la chiusura della valvola di aspirazione.*

### *Fattori che Influenzano le Prestazioni Motoristiche*

*Per migliorare le prestazioni di un motore si agisce come segue.*

- Sulla fasatura che è il tempo di apertura delle valvole di aspirazione e compressione rispetto agli angoli di manovella;*
- Sui collettori per favorire l'immissione della maggior quantità possibile di gas freschi con relativo scarico, con collettori corti e larghi si hanno prestazioni ad alto regime mentre con quelli corti e stretti si ha il riempimento a bassi regimi. Sono in uso collettori sdoppiati:*
  - Frazionare la cilindrata su più cilindri per ottenere rapporti di compressione e regimi di rotazione più elevati;*
- Aumentare la velocità del pistone e il numero dei giri anche con cariche*



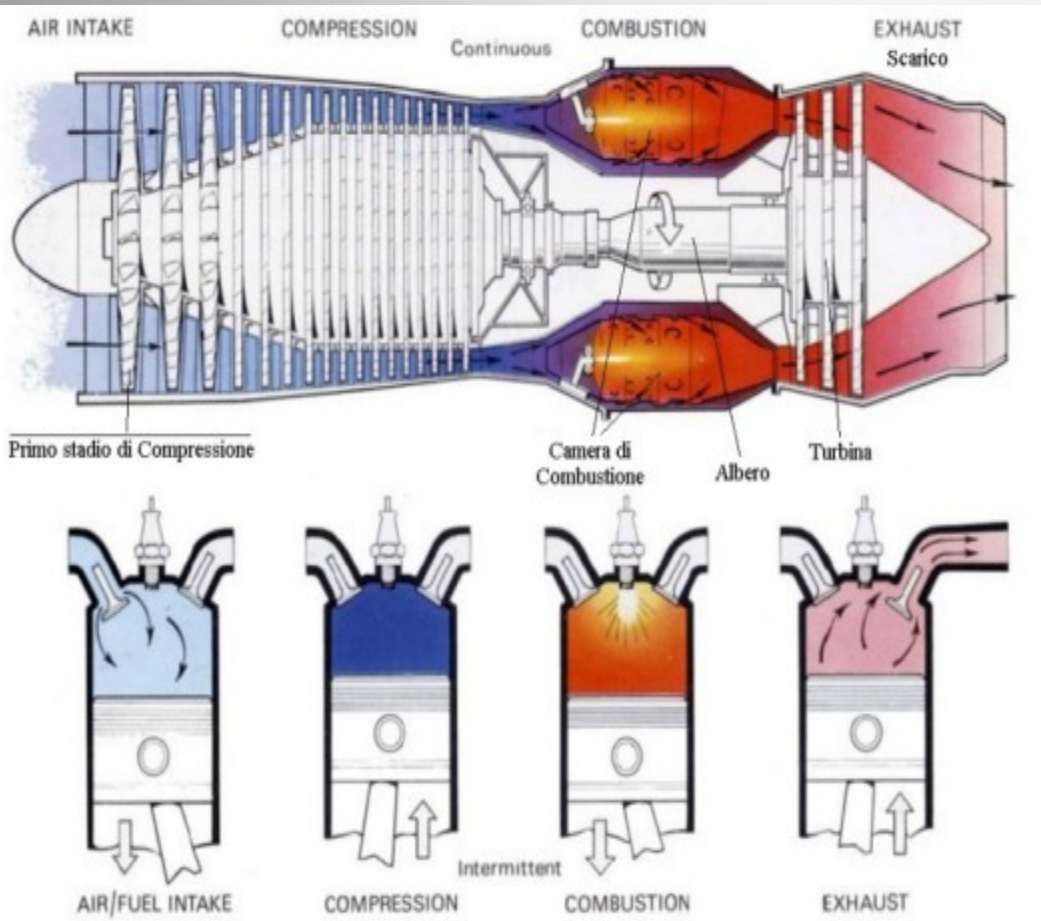
*di gas freschi che, in regime di potenza massima, significa incrementare la potenza effettiva e, si raggiunge lo scopo anche con bassi valori del rapporto massa/potenza;*

- Progettare motori con alesaggio e corsa appropriati al funzionamento:  
Motori quadri (alesaggio=corsa), motori superquadri (alesaggio>corsa)  
e motori lunghi (alesaggio<corsa).*

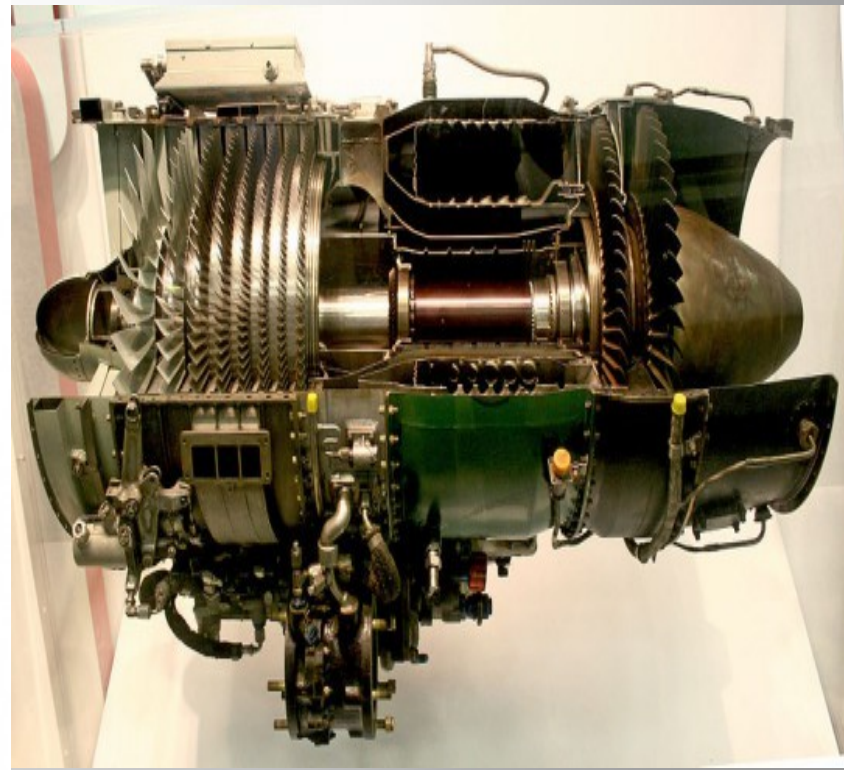
## Motori Endotermici Rotativi

*Essi sono definiti dal ciclo Brayton-Joule delle turbine a gas, il fluido transita in modo permanente in un ciclo chiuso.*

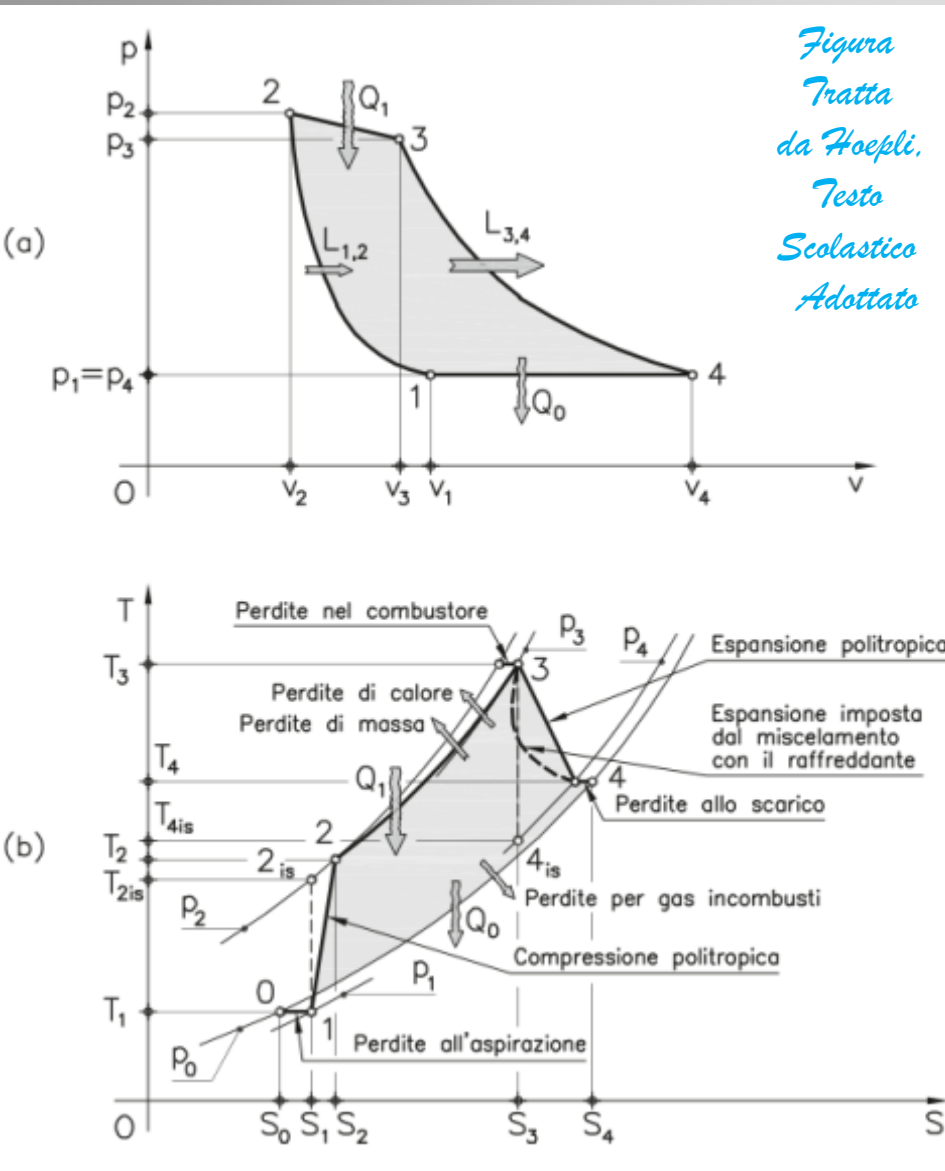
*Per maggior ragguagli si rimanda a testi specialistici, in questa lezione*



<http://www.educazione-tecnologica.it/classi-3e-3f/tecnologia/utilizzi-energia/motori-endotermici/>

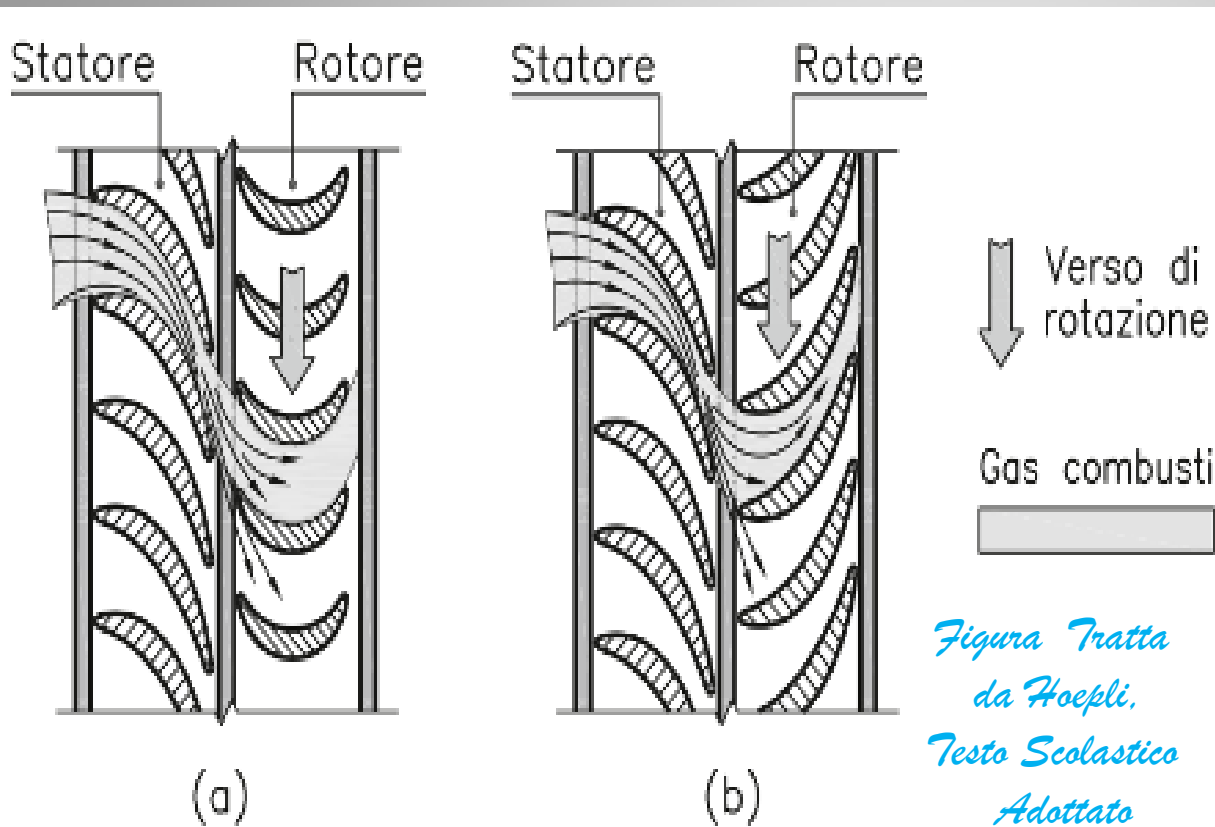


ci proponiamo di capire il funzionamento confrontandolo con il ciclo alternativo e definire il **Ciclo Termodinamico Reale**: Tratto 1>2: Compressione



Adiabatica e lavoro negativo "L1-2";  
 Tratto 2>3: Introduzione calore "Q1"  
 a  $P=cost$  (isobara)  
 [Qui la linea è inclinata perché il ciclo è Reale]  
 lavoro positivo "L2-3";  
 Tratto 3>4: Espansione Adiabatica  
 e lavoro positivo "L3-4";  
 Tratto 4>1: Espulsione calore  
 residuo "Q0" a  $P=cost$   
 e lavoro negativo "L4-1".

*L'entalpia, posseduta dal gas si trasforma in lavoro meccanico per espansione sui palettamenti calettati sullo statore e sul rotore, come in figura.*



*Anche qui, come per le turbine idrauliche*

*(Macchine Fluidso, n. 9).*

*si ha lo scambio del gas per azione o reazione.*

*Il palettamento dello statore è lo stesso, varia quello del rotore che in (a) è ad azione poiché si ha*

*solo scambio solo di velocità. Il fluido, costretto a mutare sia l'intensità che la direzione, esercita sulla parte concava della pala una spinta periferica, che moltiplicata per il raggio di rotazione produce una coppia motrice.*

*La deflessione subita è avvenuta per il  
teorema della quantità di moto (Dinamica, n.5).*

*In (b), i profili formano un ugello convergente per cui si ha anche la  
variazione della pressione oltre a quella di velocità,  
constatata per la turbina ad azione.*

*Sono sempre più in uso le pale svergolate che uniscono entrambi  
gli effetti di azione e di reazione.*

*Il profilo delle pale, anzidetto, deriva dal Tubo De Laval.*

*(Macchine Termiche, n. 9), nel nostro caso il riferimento è alla prima parte tubo.*



# Motore Rotativo Wankel

Zui ci limitiamo solo al funzionamento.

Esso, rispetto a quello alternativo, ha minore ingombro a parità di potenza, semplicità costruttiva e facilità di

equilibramento, contro problemi di ordine meccanico, difficilmente

risolvibili legati alla forma della camera di combustione e alla tenuta dei gas.

Fasi: Aspirazione    Compressione    Espansione    Scarico

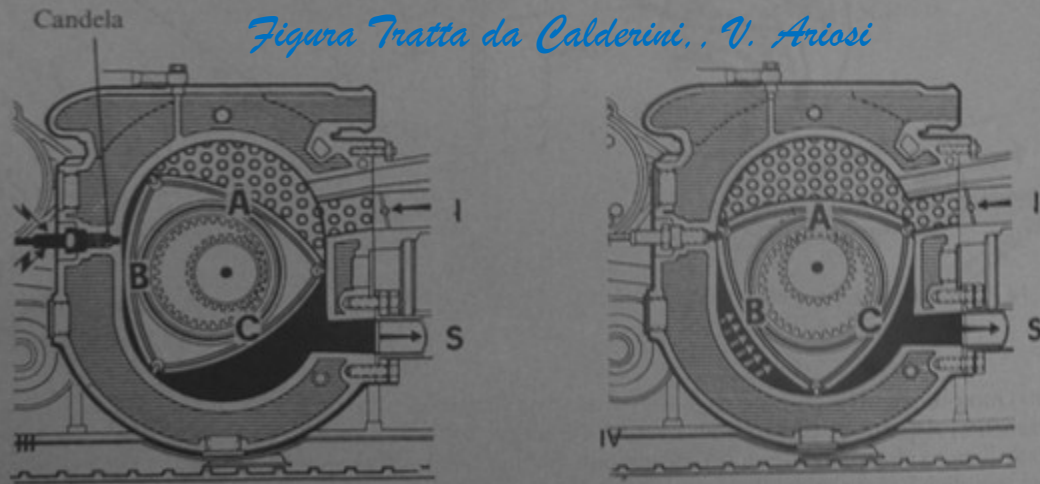
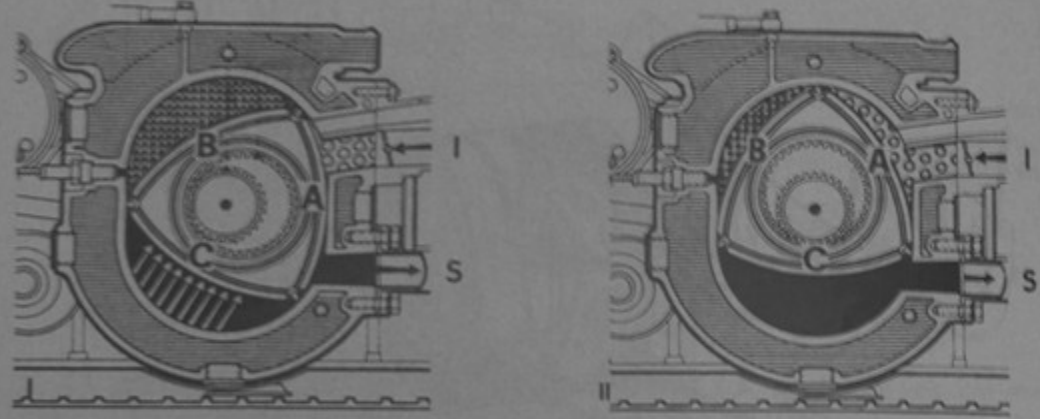


Figura Tratta da Calderini., V. Ariosi

Fig. 14.10 Ciclo di funzionamento di un motore a stantuffo rotante (NSU-Wankel):  
I) Nella camera A è al termine la fase di scarico, inizia la compressione nella camera B e la camera C è in fase di espansione.  
II) La camera A è in fase di aspirazione, la camera B è in fase di compressione e nella camera C è al termine la fase di espansione.  
III) Nella camera A sta per completarsi la fase di aspirazione, nella camera B è al termine la fase di compressione e nella camera C è iniziata la fase di scarico.  
IV) Nella camera A sta per finire la fase di aspirazione, nella camera B è iniziata la fase di espansione e la camera C è in fase di scarico.

*Infine, lo schema riassuntivo termodinamico di un impianto per come illustrato con il Diagramma di Sankeu*

