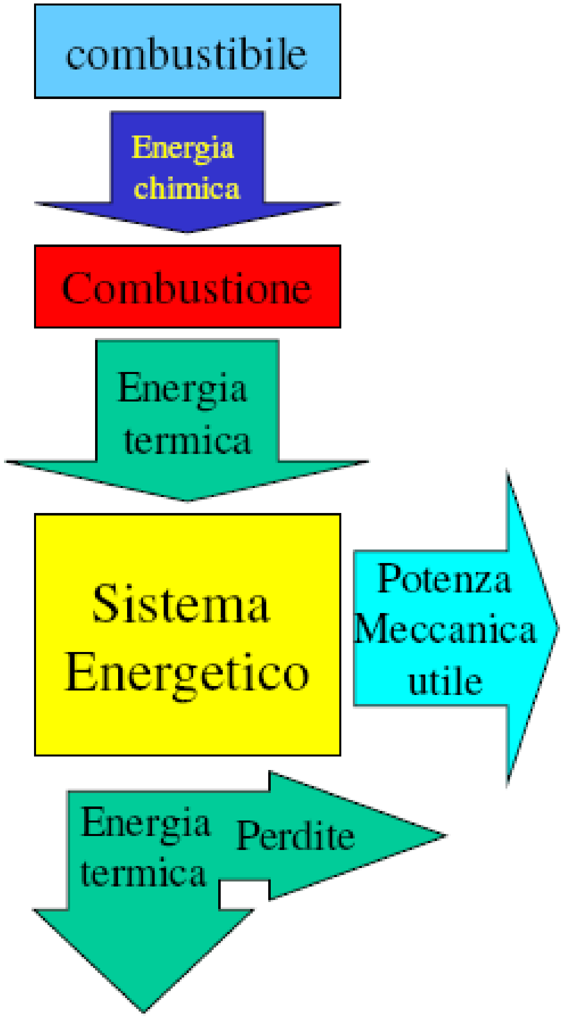
Introduzione

- Le prestazioni di qualsiasi macchina termica sono principalmente valutate in base a due parametri
  - Rendimento
    - Tasso di conversione di energia primaria
    - Potenza generata per unità di portata di combustibile utilizzato
      - Indice della potenza ottenuta a parità di risorsa energetica utilizzata
      - Inversamente proporzionale al consumo di combustibile
    - Legato al costo di gestione (funzionamento)
    - Indice indiretto del calore rilasciato alla sorgente inferiore (ambiente)
  - Potenza, potenza specifica
    - Potenza
      - Legata al costo di investimento e al tipo di impianto
    - Potenza specifica generata per unità di portata fluido elaborato
      - Legata alla dimensione, al peso e al costo d'investimento della macchina.

Rendimento globale



- Il rendimento termodinamico per un ciclo è:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

diretto indiretto

- Rendimento globale di impianto motore termico
  - Rapporto tra la potenza meccanica utile in uscita e la potenza in ingresso al sistema
    - La potenza termica in ingresso al sistema è data di solito dal prodotto della portata massica di combustibile per il suo potere calorifico inferiore

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{W_u}{m_c \cdot LHV}$$

Consumo Specifico

- Il consumo specifico di combustibile è dato dal rapporto tra la portata di combustibile e la potenza utile
  - E' inversamente proporzionale al prodotto del rendimento per il potere calorifico del combustibile

$$CS = \frac{m_c}{W_u} = \frac{m_c \cdot LHV}{W_u \cdot LHV} = \frac{Q_1}{W_u \cdot LHV} = \frac{1}{\eta_g \cdot LHV} [kg / kJ, kg / kWh]$$

  - Indica quanto combustibile necessita per sviluppare una unità di potenza meccanica utile
- La forma adimensionale del consumo specifico, rapporto tra potenza termica fornita dal combustibile e potenza meccanica utile è l'inverso del rendimento.

$$CS = \frac{Q_1}{W_u} = \frac{1}{\eta_g} \qquad C_s = 860/\eta_g \text{ [kcal/kWh]}$$

Ciclo Ideale, limite e reale

Ipotesi	***Fluido Ideale*** *Gas perfetto ideale;* *Calori specifici costanti;* *Composizione costante*	***Fluido Reale*** *Composizione variabile* *Calori specifici variabili*
Macchina Ideale *Trasformazioni ideali;* *Processi ideali* *Assenza di perdite*	**Ciclo IDEALE**	**Ciclo LIMITE**
Macchina Reale *Processi reali* *Velocità finite* *Attriti e resistenze*		**Ciclo REALE**

Ciclo Ideale

- Ciclo Ideale
  - ⇨ Fluido ideale e macchina ideale
    - ➔ Fluido ideale (Perfetto)
      - – Solo i gas possono essere considerati “fluido ideale” se lontani dalle condizioni critiche
        - » Il modello di riferimento è quello dei gas ideali con calori specifici costanti
      - – Non si può parlare di “Fluido perfetto” per i vapori (gas vicini alle condizioni critiche)
        - » Non esiste il ciclo ideale per i cicli a vapore
    - ➔ Macchina ideale (Perfetta)
      - – È in grado di realizzare trasformazioni reversibili senza perdite indesiderate
      - – È costituita in modo da consentire il tipo di evoluzione prescritta per il fluido
        - » Tempi di trasformazione infiniti
  - ⇨ Serve per analisi di base e per la definizione dei principali parametri che influenzano il ciclo termodinamico
  - ⇨ Ipotesi semplificative
    - ➔ Scarso significato tecnico

Ciclo limite e reale

- Ciclo Limite
  - Fluido Reale e macchina ideale
    - Comportamento dei vapori mediante tabelle e correlazioni
    - Gas reali con calori specifici variabili ed equazioni di stato complesse
    - Reazioni chimiche e variazione della composizione del gas
  - Il fluido elaborato non potrà mai essere perfetto (è dato dalla natura), mentre la macchina può essere migliorata, avvicinandosi alla macchina ideale
    - **Il ciclo limite rappresenta il limite tecnologico a cui si può tendere**
  - Può essere descritto matematicamente in maniera univoca e precisa.
- Ciclo Reale
  - Fluido Reale e Macchina Reale
    - Si considerano gli effetti dell'attrito e di altre eventuali perdite.
    - Si tiene conto dei flussi di calore indesiderati nei componenti della macchina.
  - E' la rappresentazione più aderente alla realtà della macchina.

Rendimenti di ciclo e rendimento interno

- Per ciascun tipo di ciclo si può determinare un rendimento associato alla macchina corrispondente:
  - Rendimento ideale $\eta_{id}=W_{id}/Q_{1id}$
  - Rendimento Limite $\eta_{l}=W_{l}/Q_{1l}$
  - Rendimento reale $\eta_{r}=W_{r}/Q_{1r}$
- Il rapporto fra rendimento reale e limite è indice di quanto la macchina reale si discosta dalla macchina ideale e viene detto rendimento interno.

$$\eta_i=\eta_r/\eta_l$$

  - Ci permette di prevedere il funzionamento di macchine simili e di pari livello tecnologico.

Osservazioni sui rendimenti

- Tutti i rendimenti descritti sono compresi fra 0 e 1.

- Il rendimento interno può, in principio, tendere all'unità.

- Il rendimento <u>reale</u> non può essere superiore al rendimento <u>limite</u>

- Il rendimento <u>limite</u> non può essere superiore al rendimento <u>ideale</u>

- Il rendimento <u>ideale</u> dipende solo dal ciclo termodinamico.
  - ⇨ Vincolato al II principio della termodinamica
  - ⇨ I rendimenti non possono essere maggiori del rendimento del ciclo di Carnot corrispondente (cioè, operante tra le stesse T_{max} e T_{min})

$$\eta_r \leq \eta_l \leq \eta_{id} \leq \eta_{Carnot}$$

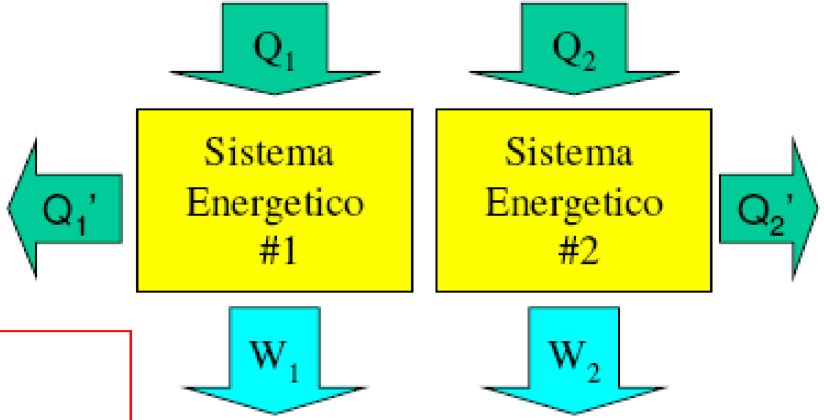
Composizione dei rendimenti per sistemi termicamente in parallelo

- Considerando 2 sistemi energetici, alimentati **in parallelo** da una stessa "sorgente" superiore, si vuole determinare il rendimento complessivo
  - ⇨ Il rendimento del singolo sistema energetico è:
    - ➔ Sistema #1: $\eta_1 = W_1/Q_{in\,1}$
    - ➔ Sistema #2: $\eta_2 = W_2/Q_{in\,2}$
  - ⇨ Il rendimento complessivo risulta: $\eta = W_{tot}/Q_{tot} = (W_1 + W_2)/(Q_{in\,1} + Q_{in\,2})$
    - ➔ Con semplici passaggi:

$\eta = (W_1 + W_2)/(Q_1 + Q_2) =$

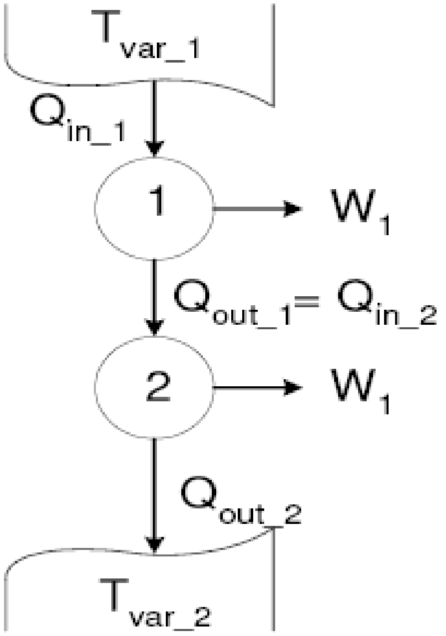
$= (\eta_1 \cdot Q_1 + \eta_2 \cdot Q_2)/(Q_1 + Q_2) =>$

$$\eta = \frac{\eta_1 Q_1 + \eta_2 Q_2}{Q_1 + Q_2}$$



Il rendimento totale di due sistemi termicamente in parallelo è la media pesata dei rendimenti, utilizzando come pesi i calori forniti ai due sistemi

Composizione dei rendimenti per sistemi termicamente in serie



La figura rappresenta il caso elementare di due cicli od impianti disposti termicamente in serie

Solo l'impianto n.1 ("Topper") scambia calore Q_{in_1} con la "sorgente" superiore.

L'impianto n. 2 ("Bottomer") è alimentato dallo scarico del topper ($Q_{in\_2} = Q_{out\_1}$).

Per ciascun impianto $\eta = W/Q_{in}$

Nel complesso $\eta_s = (W_1 + W_2)/ Q_{in\_1}$

$Q_{in\_2} = Q_{out\_1} = (1 - \eta_1)\, Q_{in\_1}$ $\qquad W_2 = \eta_2\, Q_{in\_2}$

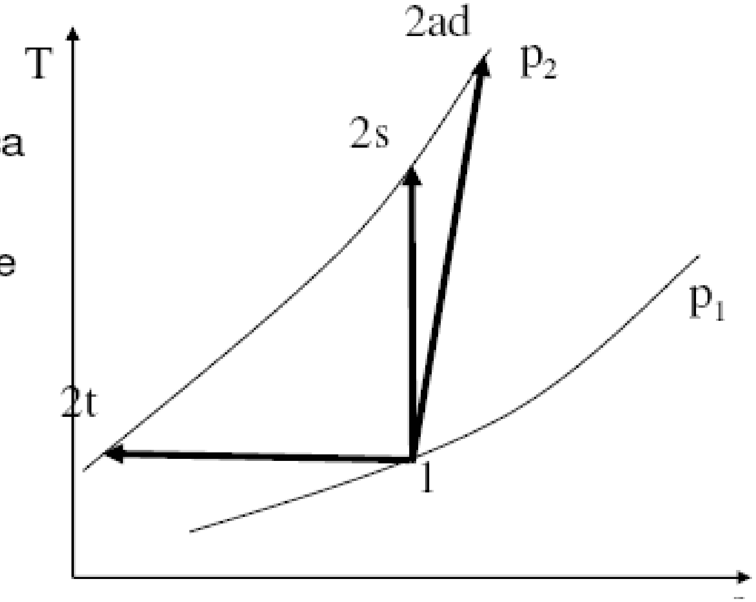
$\eta_s = [W_1 + \eta_2 (1 - \eta_1)\, Q_{in\_1}] / Q_{in\_1}$

$$\boldsymbol{\eta_s = \eta_1 + \eta_2 (1 - \eta_1) = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2}$$

Il rendimento totale di due impianti in serie è dato dalla somma dei rendimenti di ciascun impianto meno il prodotto dei due

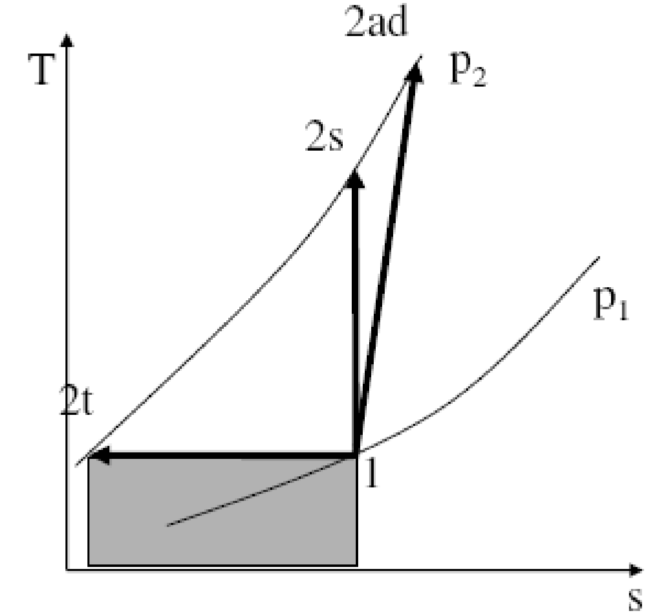
Trasformazioni di compressione ed espansione

- Si considera una compressione in un sistema aperto, con portata continua di fluido in regime stazionario
  - ⇨ Si comprime un fluido dalla pressione p_1 alla pressione p_2.
  - ⇨ La compressione può essere eseguita mediante una delle seguenti trasformazioni
    - ➔ Compressione adiabatica
      - – Caso più frequente
      - – In assenza di attriti è anche isentropica
        - » **Trasformazione 1-2s**
      - – Nel caso reale è ad entropia crescente
        - » **Trasformazione 1-2ad**
    - ➔ Compressione isoterma
      - – Realizzabile con sottrazione di calore
        - » **Trasformazione 1-2t**



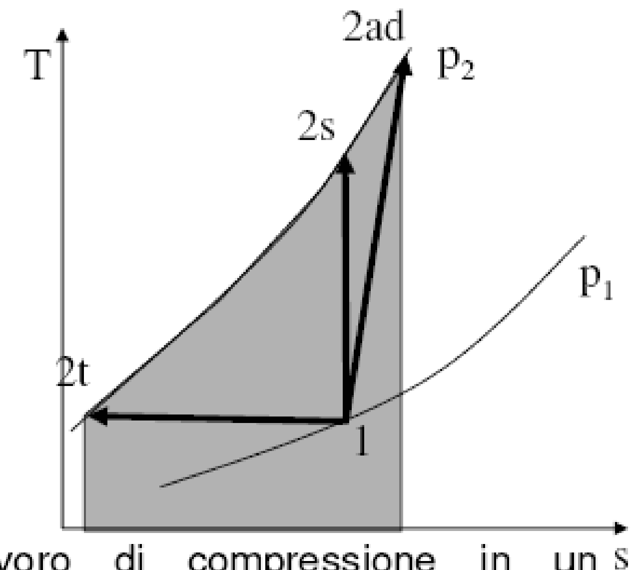
Lavoro di Compressione -1

- Lavoro specifico (tecnico) richiesto dalla compressione isoterma
  - ⇨ Il lavoro è minore rispetto agli altri casi in quanto, refrigerando il fluido durante la sua compressione, si ha una più elevata densità del fluido ad ogni pressione intermedia
  - ⇨ $W_t = RT_1 \cdot \ln(p_2/p_1)$
    - ➔ (coincide col lavoro meccanico e col calore scambiato - gas perfetto)
    - ➔ Il lavoro è pari all'area sottesa alla linea 1-2t
  - ⇨ Si considera solo come valore di riferimento
    - ➔ Di fatto risulta molto difficile realizzare una compressione durante la quale si fornisce energia al fluido e si preleva calore



Lavoro di Compressione -2

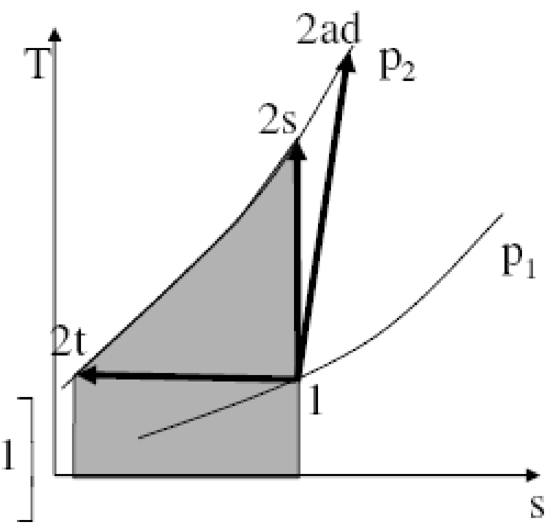
- Lavoro specifico (tecnico) richiesto dalla compressione adiabatica
  - ⇨ Trasformazione di riferimento, poiché nelle macchine termiche le operazioni di compressione e di espansione dei fluidi si svolgono in maniera adiabatica
  - ⇨ La compressione adiabatica può essere
    - ➔ Reversibile
      - – Caso di trasformazione isoentropica
      - – Senza perdite interne
        - » Si trascura l'effetto degli attriti e della viscosità
    - ➔ Irreversibile
      - – Trasformazione reale
      - – Trasformazione adiabatica, ma non isoentropica



- ⇨ Il lavoro di compressione in un processo adiabatico per un gas perfetto, è pari dall'area sottesa da una isobara tra la temperatura iniziale e finale
  - ➔ Difatti vale $dW=dh=c_p \cdot dT$
  - ➔ L'isobara può essere qualunque in quanto le isobare sono congruenti (Cp=Cp(T))

Lavoro di Compressione -3

- Nel caso di trasformazione isoentropica (trasformazione adiabatica, priva di attriti), risulterà:



$$W_s = \int_1^{2s} dh = \int_1^{2s} c_p \cdot dT$$

  - È ancora pari all'area sottesa all'isobara fra la temperatura T_1 e T_{2s}

$$W_s = \int_1^{2s} c_p \cdot dT = c_p \cdot (T_{2s} - T_1) = c_p \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T_{2s}}{T_1} - 1\right] = \left(\frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot R\right) \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T_{2s}}{T_1} - 1\right]$$

  - La trasformazione isentropica è esprimibile come
    $p \cdot v^\gamma = p/\rho^\gamma = cost$ ($\gamma = c_p/c_v$)
  - Per un gas perfetto considerando anche l'equazione di stato pv = RT:
    $p^{(1-\gamma)/\gamma} \cdot T = cost.$
  - Si ottiene così

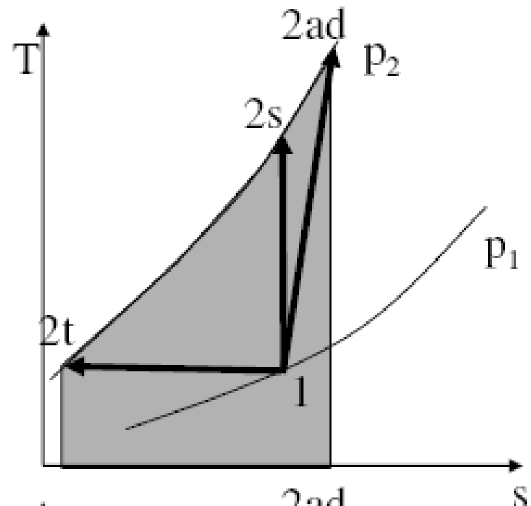
$$\boxed{W_s = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right] = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right]}$$

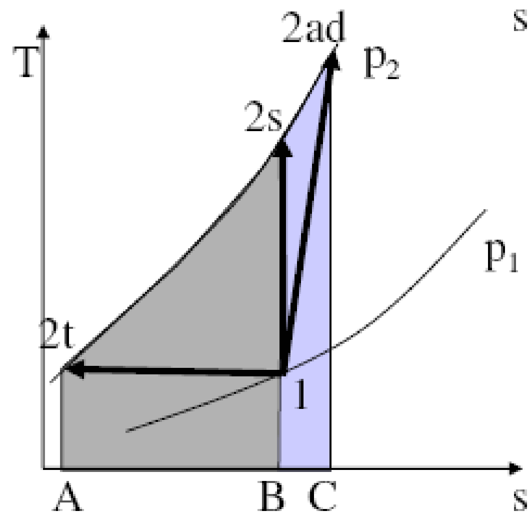
Lavoro di Compressione -4

- Caso di trasformazione **adiabatica irreversibile** (con attriti)
  - ⇨ Nella compressione adiabatica reale si ha un aumento di entropia a causa delle irreversibilità
    - ➔ A parità di salto di pressione, si deve spendere una maggior quantità di lavoro nella fase di compressione reale
  - ⇨ Il lavoro è sempre pari al salto di entalpia
    - ➔ Dall'equazione dell'energia scritta nel caso di scambio di calore nullo con l'esterno ($Q_e=0$; sistema aperto stazionario)

$$W_{ad} = \int_1^{2ad} dh = \int_1^{2ad} c_p \cdot dT = c_p \cdot (T_{2ad} - T_1)$$

    - ➔ Il lavoro è pari all'area sottesa ad una isobara dalla temperatura T_1 ($T_1=T_{2t}$) alla temperatura T_{2ad}
    - ➔ Il lavoro risulta aumentato, rispetto alla compressione isoentropica, dell'area sottesa all'isobara dalla temperatura T_{2s} alla temperatura T_{2ad} (area $B2_s2_{ad}C$)





Lavoro di Compressione -5

- La compressione adiabatica reale può anche essere assimilata ad una **politropica equivalente**
  - Una trasformazione di compressione in cui il calore generato internamente viene fornito in ugual misura dall'esterno
    - Essendo reversibile, la variazione di entropia s_{2ad}-s_1 è dovuta al calore ricevuto dall'esterno
  - La politropica segue una legge di trasformazione con esponente $m = (c_p-c)/(c_v-c)$
    - $p \cdot v^m = p/\rho^m = cost$
  - Il lavoro (tecnico) speso per la compressione politropica risulterà:

$$W_{pol} = \int_1^{2ad} v \cdot dp \xrightarrow{p \cdot v^m = cost} W_{pol} = \int_1^{2ad} \frac{p_1^{1/m} \cdot v_1}{p^{1/m}} \cdot dp = p_1^{1/m} \cdot v_1 \cdot \int_1^{2ad} \frac{dp}{p^{1/m}} = p_1^{1/m} \cdot v_1 \cdot \frac{1}{1-\frac{1}{m}} \left[p^{1-\frac{1}{m}} \right]_1^{2ad} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{pol} = p_1^{1/m} \cdot v_1 \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \left[p_{2ad}^{\frac{m-1}{m}} - p_1^{\frac{m-1}{m}} \right] = \frac{m}{m-1} \cdot p_1^{1/m} \cdot v_1 \cdot \left[\frac{p_{2ad}^{\frac{m-1}{m}}}{p_1^{\frac{m-1}{m}}} - 1 \right] = \frac{m}{m-1} \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] =$$

$$\boxed{W_{pol} = \frac{m}{m-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] = \frac{m}{m-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right]}$$

Lavoro di Compressione -6

⇨ Analogamente a quanto visto per l'isoentropica e la politropica il **lavoro della compressione adiabatica reale (irreversibile)** è pari a:

$$W_{ad} = \int_1^{2ad} dh = \int_1^{2ad} c_p \cdot dT = c_p \cdot (T_{2ad} - T_1) = c_p \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T_{2ad}}{T_1} - 1 \right] = \left(\frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot R \right) \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T_{2ad}}{T_1} - 1 \right] \Rightarrow$$

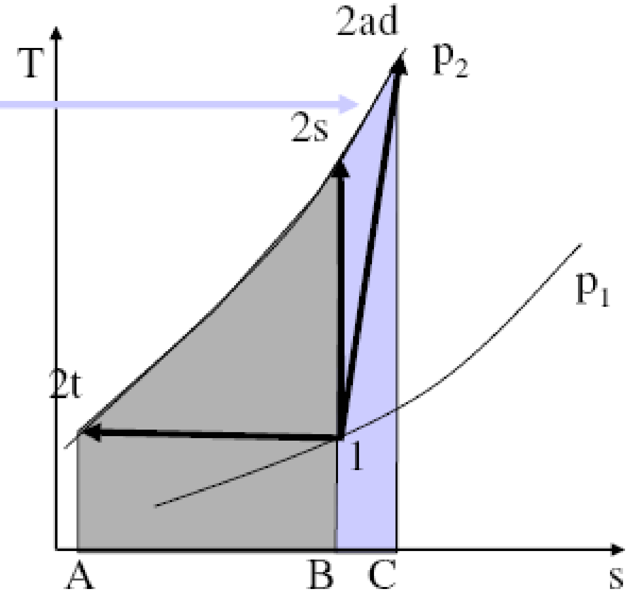
➔ La trasformazione adiabatica reale è sostituita dalla politropica equivalente: $p \cdot v^m = p/\rho^m = cost$, nella quale il calore fornito è esattamente uguale a quello generato dagli attriti interni:

– Tale equazione si può anche scrivere come: $p^{(1-m)/m} \cdot T = cost.$ Quindi

$$\Rightarrow W_{ad} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right]$$

Lavoro di Compressione -7

Pari all'area ($B12_s2_{ad}C$)



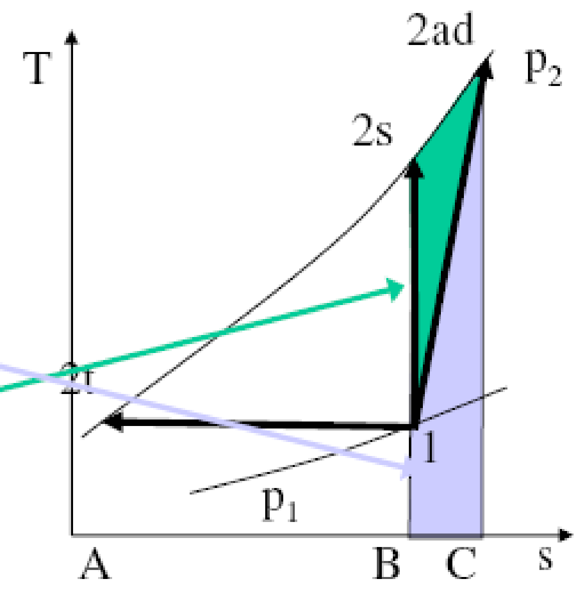
- **L'incremento di lavoro** richiesto da una compressione adiabatica irreversibile (reale), rispetto alla compressione adiabatica reversibile (isentropica), è dato da

$$W_{ad} - W_s = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot RT_1 \cdot \left[\frac{T_{2ad}}{T_1} - \frac{T_{2s}}{T_1} \right] = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$

Lavoro di Compressione - 8

⇨La differenza di lavoro fra compressione adiabatica reale ed isoentropica può essere suddivisa in due aree

- **➔Incremento dovuto al lavoro dissipato in attrito**
  - –Coincidente con il calore che è necessario fornire al fluido durante la corrispondente trasformazione politropica
  - –Area (Area $B12_{ad}C$)
- **➔Incremento dovuto alla dilatazione del fluido prodotta dall'attrito medesimo**
  - –l'attrito, riscaldando il fluido, tende a dilatarlo, rendendo più onerosa la trasformazione di compressione
  - –L'incremento di lavoro è coincidente con quello corrispondente già individuato nella politropica equivalente
  - –Area (Area 2_s12_{ad})
  - –Nel complesso l'attrito provoca una prima perdita, direttamente connessa con il lavoro dissipato (irreversibilità), ed una seconda perdita, dovuta alla dilatazione del fluido (riscaldamento).

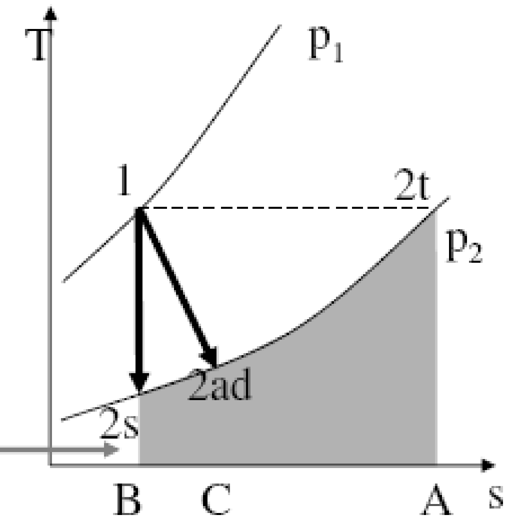


Lavoro di espansione -1

- Nel caso di una espansione (sistema aperto, regime stazionario) si procede analogamente

$$W_s = \int_1^{2s} c_p \cdot dT = c_p \cdot (T_{2s} - T_1) = c_p \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T_{2s}}{T_1} - 1 \right] = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

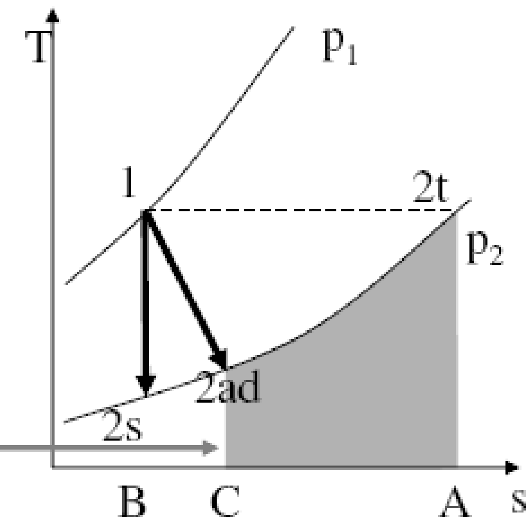
⇨ **Area $B2_s2_tA$**



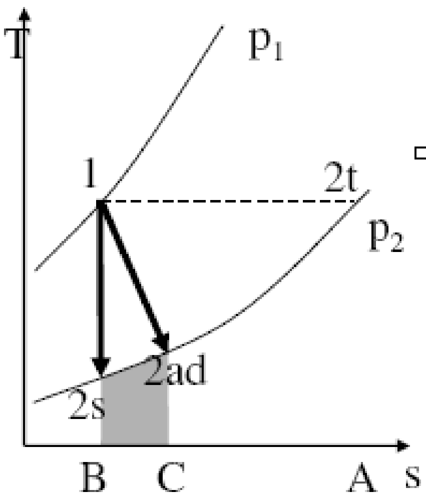
⇨ Il lavoro adiabatico reale (irreversibile) è pari a

$$W_{ad} = \int_1^{2ad} c_p \cdot dT = c_p \cdot (T_{2ad} - T_1) = c_p \cdot T_1 \cdot \left[\frac{T_{2ad}}{T_1} - 1 \right] = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right]$$

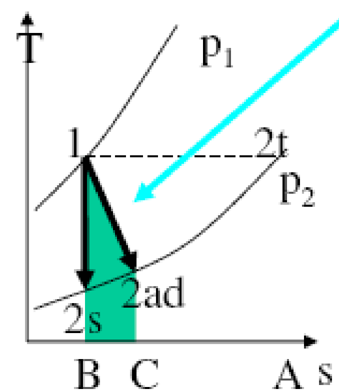
⇨ **Area $C2_{ad}2_tA$**

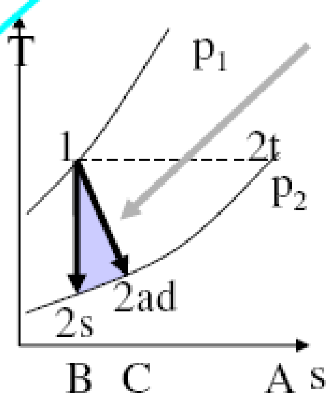


Lavoro di espansione -2



- ⇨ La differenza fra lavoro reale ed isoentropico è rappresentata dall'**Area B2_s2_{ad}C**
  - ➔ Tale area risulta la **differenza** fra due aree distinte:
    - – Perdita per il lavoro dissipato in attrito
      - » **Area (Area B12_{ad}C)**
      - » Pari al calore che è necessario fornire al fluido nel corso della trasformazione politropica equivalente
      - » Equivalente al lavoro di attrito compiuto nella trasformazione reale
    - – Incremento di lavoro per la dilatazione del fluido prodotta dall'attrito
      - » **Area (Area 2_s12_{ad})**
      - » L'attrito, ovvero il calore nella politropica equivalente, riscaldando il fluido lo dilata (aumenta il volume specifico)
      - » La dilatazione causata dall'attrito favorisce l'espansione incrementando il lavoro utile





Rendimenti di compressione -1

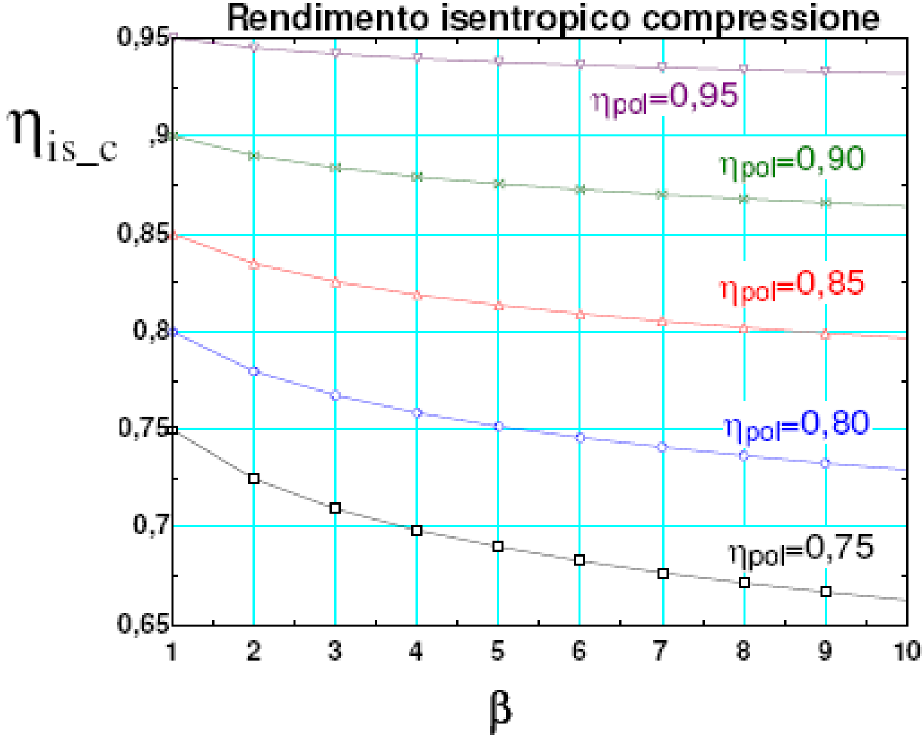
- Rendimento isentropico (o adiabatico); pari al rapporto fra lavoro di compressione ideale e reale:

$$\eta_s = \frac{W_s}{W_{ad}} = \frac{\frac{\gamma}{\gamma-1}\cdot R\cdot T_1\cdot\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}-1\right]}{\frac{\gamma}{\gamma-1}\cdot R\cdot T_1\cdot\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}}-1\right]} = \frac{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}-1}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}}-1}$$

- Rendimento politropico; pari al rapporto fra lavoro di compressione politropica e reale

$$\eta_{pol} = \frac{W_{pol}}{W_{ad}} = \frac{\frac{m}{m-1}\cdot R\cdot T_1\cdot\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}}-1\right]}{\frac{\gamma}{\gamma-1}\cdot R\cdot T_1\cdot\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}}-1\right]} = \frac{\frac{m}{m-1}}{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \frac{m}{m-1}\cdot\frac{\gamma-1}{\gamma}$$

$$\eta_{pol} = \frac{m}{m-1} \cdot \frac{\gamma - 1}{\gamma} \qquad \frac{m-1}{m} = \cdot \frac{\gamma - 1}{\gamma\, \eta_{pol}}$$



- Sostituendo nelle equazioni precedenti, è possibile analizzare – per gas perfetti – l'andamento del rendimento isentropico in funzione di $\beta = p_2/p_1$ e di η_{pol}:

$$\eta_{is;c} = \frac{\beta^{\left[\frac{\gamma - 1}{\gamma}\right]} - 1}{\beta^{\left[\frac{\gamma - 1}{\gamma \cdot \eta_{pol;c}}\right]} - 1}$$

- Per i compressori, il rendimento isentropico risulta sempre minore di quello politropico: $\eta_s < \eta_{pol}$

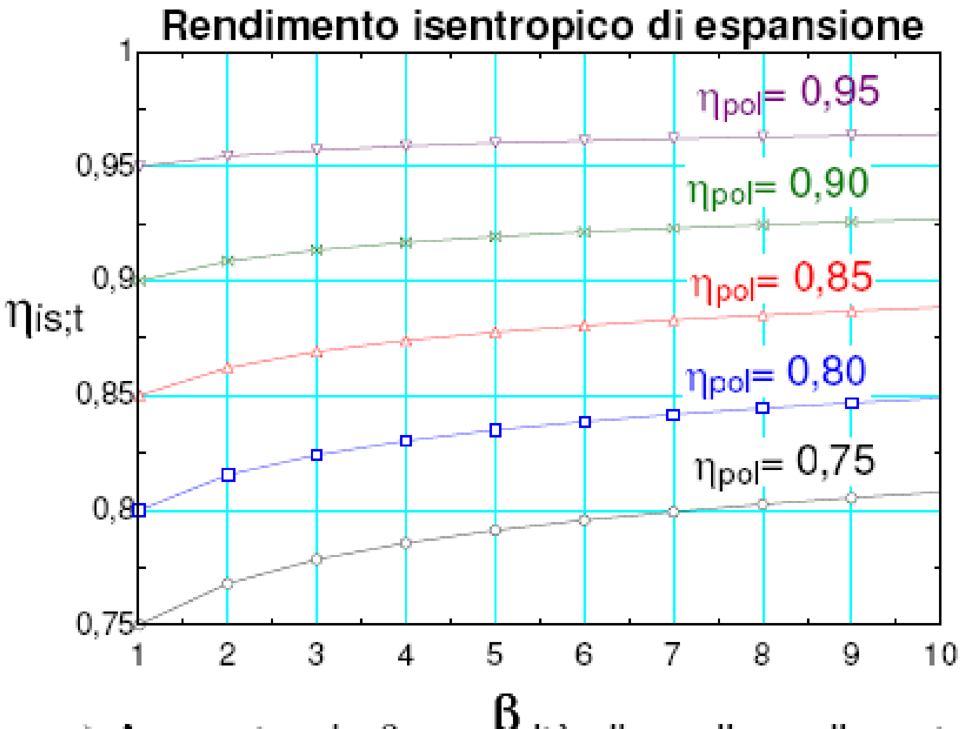
- Aumentando β, a parità di η_{pol} il rendimento isentropico diminuisce (è più difficile realizzare compressori ad alto rendimento se il rapporto di compressione è elevato).

Rendimenti di compressione -2

- Il rendimento isentropico
  - Trova applicazione soprattutto nel caso dei compressori dinamici
    - Il cui funzionamento è pressoché adiabatico
  - In generale consente una corretta formulazione dei bilanci energetici nel contesto di un impianto,
    - a parità di perdita per attrito nel singolo stadio di compressione, varia col numero degli stadi, ovvero diminuisce al crescere del rapporto di compressione
- Il rendimento politropico
  - Viene usato spesso nell'analisi termodinamica dei singoli stadi di un compressore
    - Infatti, il suo completamento all'unità corrisponde alla perdita per attrito
    - Il suo valore è quindi indipendente dal rapporto di compressione ed è molto prossimo al rendimento adiabatico di stadio, caratterizzato nei compressori assiali da rapporti di compressione poco superiori all'unità
  - Deve essere usato tutte le volte che si confrontano macchine con diverso rapporto di compressione (es. studio parametrico di cicli termodinamici, con β variabile)

Rendimenti di espansione -1

- Nel caso dell'**espansione** il **rendimento isentropico è sempre superiore a quello politropico**, e coincide con questo solo quando il rapporto di espansione tende all'unità.



$$\eta_{is;t} = \frac{1 - \beta^{\left[-\left(\frac{\gamma - 1}{\gamma}\right)\cdot \eta_{pol;t}\right]}}{1 - \beta^{\left[-\left(\frac{\gamma - 1}{\gamma}\right)\right]}}$$

Formula valida nel caso di gas perfetti

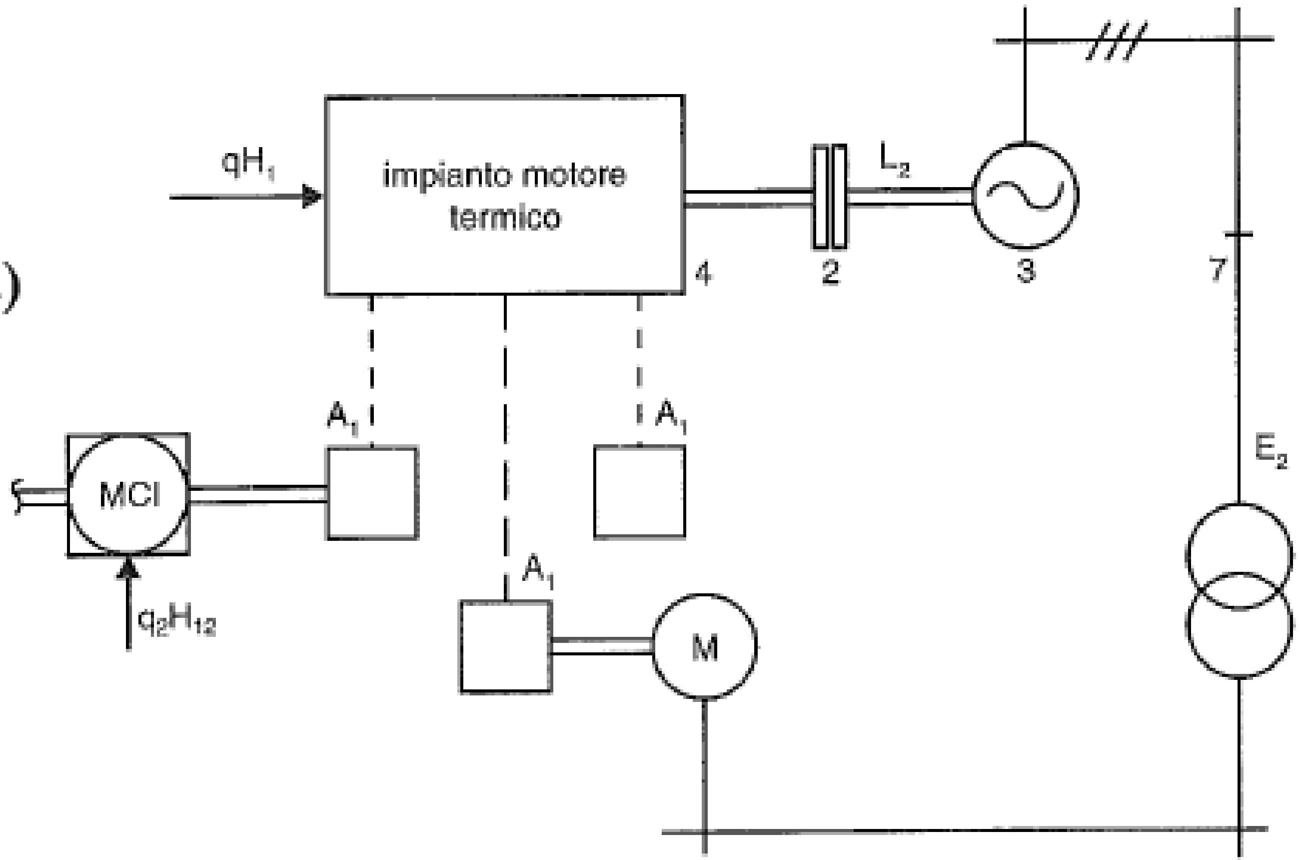
(per il vapore si adottano altre formulazioni, di tipo non analitico)

- Aumentando β, a parità di η_{pol} il rendimento isentropico cresce (è più facile realizzare turbine ad alto rendimento se il rapporto di espansione è elevato).

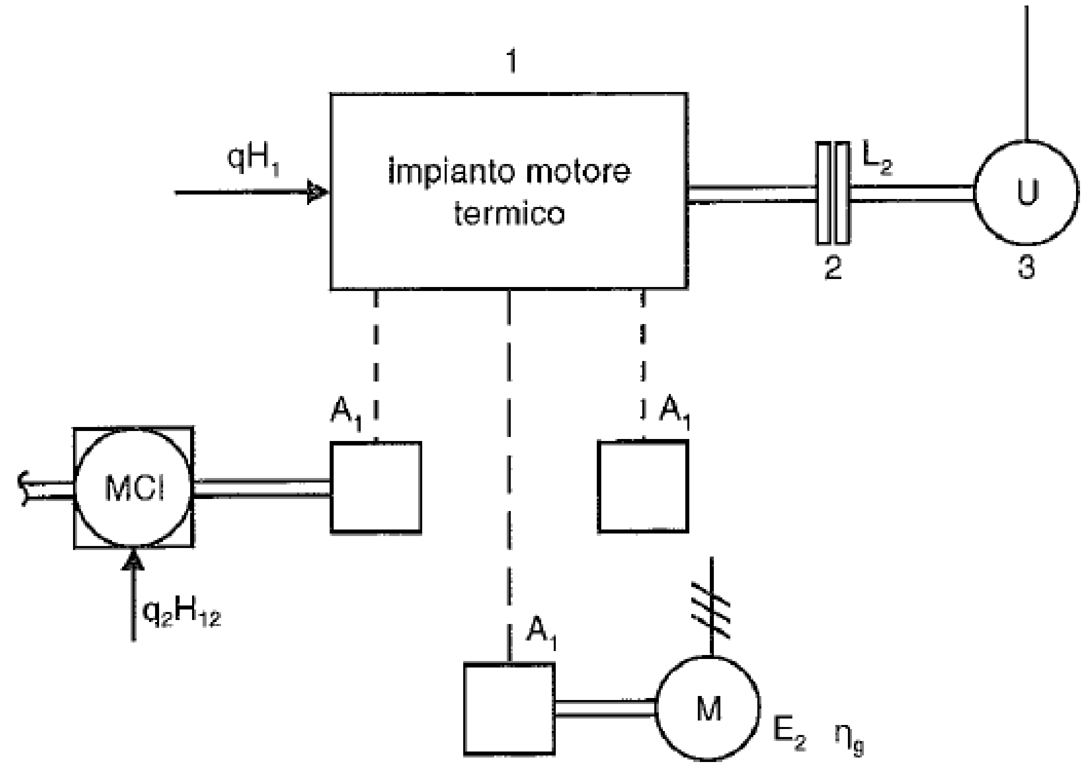
DELIBERA AEEG 02-06
SERVIZI AUSILIARI

- definire, ai fini delle verifiche sugli impianti di produzione di energia elettrica di cui alla deliberazione n. 60/04**, l'energia assorbita dai servizi ausiliari di centrale** facendo riferimento, fatto salvo quanto espressamente previsto dai provvedimenti che danno luogo ai benefici economici e normativi ivi previsti, alla normativa fiscale di cui all'articolo 52, comma 2, lettera f), del decreto legislativo 26 ottobre 1995, n. 504**, considerando come energia assorbita dai servizi ausiliari di centrale:quella impiegata, in usi diversi dalla illuminazione, esclusivamente per la generazione o per la trasformazione in altra energia elettrica, compresa quella utilizzata per forza motrice nelle centrali elettriche per servizi ausiliari strettamente connessi al compimento del ciclo di generazione o di trasformazione dell'energia elettrica, anche esterni al perimetro della centrale o forniti da soggetti diversi dal titolare della centrale, inclusi tutti i servizi ausiliari di trattamento del combustibile**;
- **quella impiegata, in usi diversi dalla illuminazione, dai servizi ausiliari di centrale durante i periodi di fermata dei gruppi di generazione, al netto dei periodi di manutenzione programmata, straordinaria o di trasformazione, riconversione e rifacimento dei gruppi stessi;**

a)



$$\eta_g = \frac{L_e - L_a - E_a / \eta_{el}}{q\ H_i + \lambda\ q_a\ H_{ia}}$$



1. motore; 2, flangia d'accoppiamento; 3, utilizzatore; A_1, ausiliari

$$\eta_g = \frac{L_e - L_a}{q\,H_i + \lambda\, q_a\, H_{ia} + E_{a}/\eta_g}$$

$$f = \eta_g/\eta$$

viene denominato *fattore di correzione* del rendimento globale