

Impianti a turbogas

Il ciclo ideale di riferimento

È il ciclo Brayton-Joule ad aria, costituito da due adiabatiche isoentropiche e due scambi termici a pressione costante.

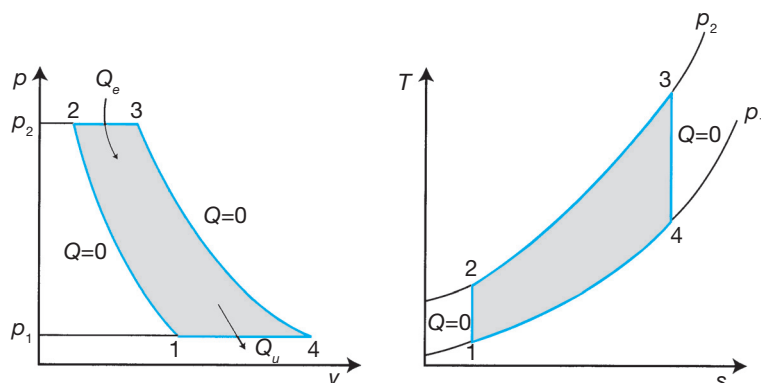
Il **rapporto manometrico di compressione** è espresso in funzione delle pressioni estreme del ciclo:

$$\pi = \frac{p_2}{p_1}$$

Il **rendimento del ciclo** è:

$$\eta_{id} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\pi^{(k-1)/k}}$$

T_1, T_2 = temperature di inizio e fine compressione.

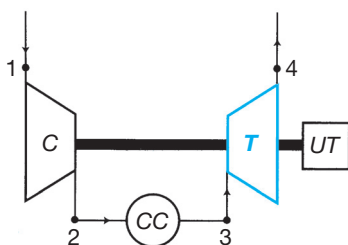


Impianto a turbogas

Si distinguono due soluzioni impiantistiche:

1 a circuito aperto a combustione interna

L'aria, prelevata a condizioni ambiente, è portata alla pressione massima nel compressore C, attraversa il combustore CC ove si raggiunge la temperatura massima. I gas caldi cedono energia alla girante T e vengono scaricati alla pressione atmosferica.

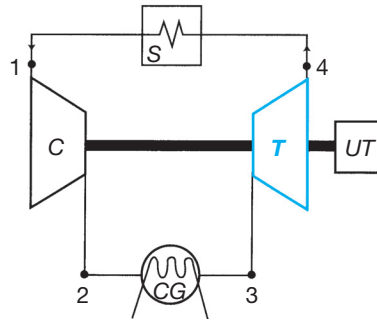


Nato nel settore aeronautico (turboelica, turbogetto), è usato oggi nella sovralimentazione dei motori endotermici, nella propulsione navale, in applicazioni industriali e nella generazione di energia elettrica.

2 A circuito chiuso a combustione esterna

Il gas (aria, azoto o elio) non partecipa alla combustione e quindi può ripetere con continuità il ciclo. Nella caldaia *CG* riceve calore dai fumi della combustione e nello scambiatore *S* lo cede a un fluido secondario.

A causa dei costi e degli ingombri non trova grandi applicazioni.



Vantaggi degli impianti a turbogas:

tempi brevi per l'avviamento

- adatti per i carichi di punta

ingombro e pesi limitati

- pressioni contenute (2,5-3 MPa); mancano scambiatori e ausiliari di grandi dimensioni

Il combustibile è molto spesso **metano** con elevato eccesso d'aria per evitare temperature eccessive all'ingresso in turbina.

Il **compressore** è centrifugo per potenze limitate, altrimenti è assiale multistadio.

La **turbina** è a reazione, assiale e multistadio.

Lavoro, potenza e rendimento

Il ciclo reale si discosta dal ciclo teorico soprattutto perché compressione ed espansioni avvengono con aumento di entropia.

Il **lavoro utile effettivo** del ciclo per unità di massa risulta:

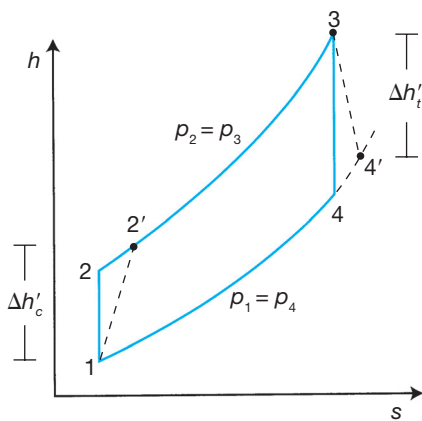
$$l_e = \Delta h'_t - \Delta h'_c$$

Potenza dell'impianto

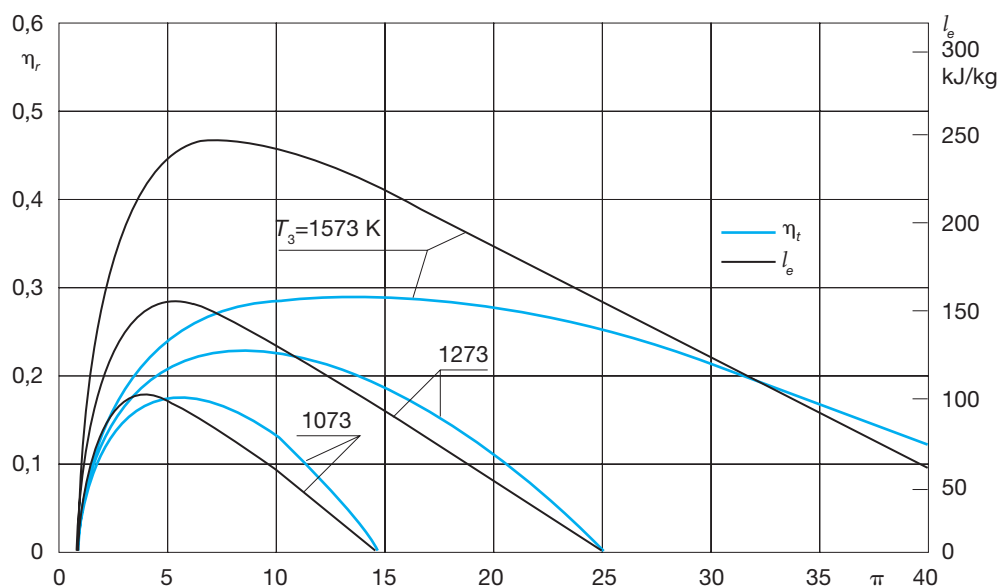
$$N_u = Q_m \cdot l_e$$

Il campo delle potenze è vasto, da poche decine di kW fino a 200 MW per gruppo.

Nel ciclo reale sia il rendimento sia il lavoro utile dipendono in modo determinante dalla **temperatura massima T_3** ; il rapporto di compressione che rende massimo il lavoro è minore di quello che rende massimo il rendimento.



Solo con temperature molto elevate, oltre i 1000 K, si ottengono rendimenti accettabili; questo ha frenato per lungo tempo la diffusione dei turbogas, ma con le attuali **superleghe** le palette delle turbine possono resistere ai problemi di corrosione e di deformazione plastica (*creep*) anche con temperature molto elevate.



Miglioramento del rendimento

Negli impianti terrestri a circuito aperto, che sopportano maggiori complicazioni costruttive, sono possibili soluzioni per migliorare il rendimento.

Rigenerazione: recupero dell'entalpia dei gas di scarico della turbina per preriscaldare l'aria da immettere nel combustore. La temperatura di scarico dei gas (400-600 °C) deve essere superiore a quella dell'aria al termine della compressione.

Ricombustione: ritorno dei gas in camera di combustione dopo una prima fase di espansione.

Refrigerazione intermedia (intercooling): la compressione è suddivisa in due stadi, separati da una refrigerazione intermedia dell'aria che riduce il lavoro di compressione.

Una soluzione impiantistica, ampiamente adottata nella produzione di energia elettrica, è costituita dall'accoppiamento di impianti a gas e a vapore.

Impianto combinato: i gas di scarico di un turbogas sono impiegati per vaporizzare l'acqua di un impianto a vapore a esso collegato. L'efficienza complessiva (attorno al 50%) è molto elevata nell'ambito degli impianti termici.

La combinazione dei due cicli permette di sfruttare al meglio l'elevatissimo salto di temperatura del gas: dagli oltre 1000 K all'ingresso nella turbina a gas fino ai 35-40 °C nel condensatore del vapore.

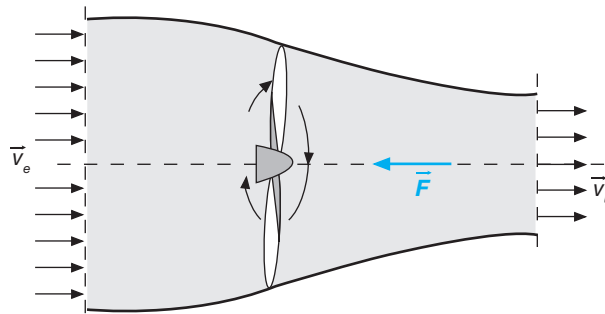
La trasformazione di centrali termoelettriche a vapore in impianti combinati è denominata **repowering** e produce aumenti di potenza e di rendimento.

Propulsione aerea

Il turbogas si è sviluppato nella propulsione aerospaziale in cui svolge tuttora un ruolo fondamentale.

La spinta è generata, per il principio di azione-reazione, dalla variazione della quantità di moto di un fluido che accelera sotto l'effetto di un'elica o dell'espansione in un condotto convergente.

$$F = Q_m(v_u - v_e)$$



Turboelica: per velocità dell'aereo inferiori a 500 km/h nel trasporto di persone o di merci.

L'aria è immessa attraverso una presa dinamica ed esce accelerata dall'elica, azionata da un turbogas. Tra il turbocompressore e l'elica è interposto un riduttore ($i = 10 \div 20$).

Turboreattore o **turbogetto:** in campo civile per velocità > 500 km/h e in campo militare per velocità prossime o superiori a quella del suono.

L'aria subisce una prima compressione in un diffusore, poi attraversa un impianto a turbogas e infine raggiunge un'elevata velocità nell'ugello convergente-divergente dello scarico, generando per reazione la spinta propulsiva. Nel turboreattore la funzione della turbina è unicamente di fornire la potenza necessaria per azionare il compressore.

Turbofan: sono presenti due turbine: quella ad alta pressione comanda il compressore, mentre quella a bassa pressione aziona una ventola che accelera un secondo flusso d'aria, proveniente da una seconda presa dinamica e convogliato a un ugello separato da quello principale.

Il doppio flusso realizza la spinta propulsiva elaborando una maggior portata di aria con una minor velocità del getto, con il vantaggio di ridurre sia la rumorosità sia il consumo specifico del motore (20%-25%).

Nei razzi, funzionanti anche fuori dall'atmosfera terrestre, si utilizza come propulsore l'**endoreattore**, che non ha parti mobili in quanto la propulsio-

ne è garantita dall'espansione in un ugello convergente-divergente dei gas prodotti dalla combustione del propellente, dotati di temperatura e pressione elevatissime.

Il **propellente** è trasportato dal razzo stesso ed è costituito da ossidante e combustibile, miscelati o separati (per esempio, ossigeno e idrogeno).