



FMRGroup @ DMA-URLS

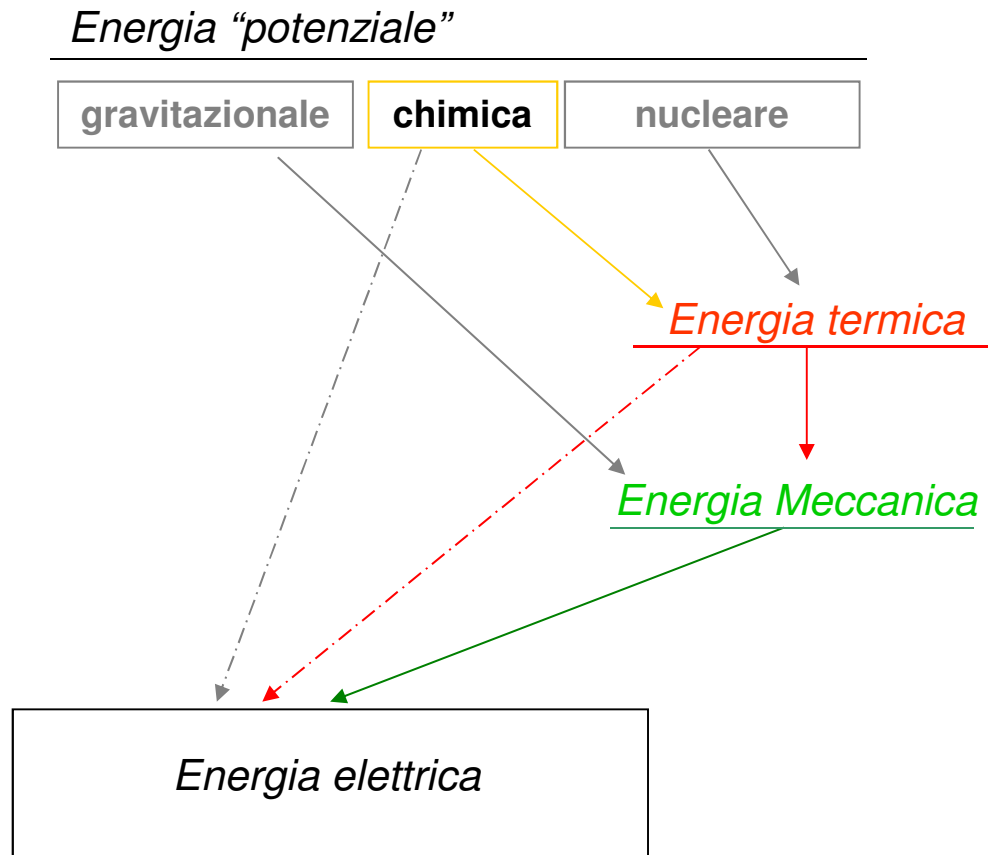
Impianti turbo-gas

Fluid-Machinery Research Group – FMRG, Dipartimento di Meccanica e Aeronautica

Università di Roma “La Sapienza”

e.mail: alessandro.corsini@uniroma1.it

Conversione dell'energia, richiami



Sistemi termo-meccanici

*Motori primi termici nei quali l'evoluzione termodinamica periodica di un fluido **elastico** permette la trasformazione non integrale di energia termica in energia meccanica.*

Possono essere distinti in ragione della natura del fluido elaborato.

acqua, cicli a vapore a combustione esterna

aria, cicli a gas a combustione interna (motori alternativi e turbogruppo a gas)

gas, cicli a gas a combustione esterna, es. He
cicli a vapore, es. CO₂



Il parco termo-elettrico italiano, richiami

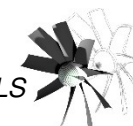
Generalità (i)

Il parco termo-elettrico è in massima parte costituito da centrali alimentate con combustibili fossili

Fonte energetica	Consumo energetico	Produzione elettrica (netta)	Ripartizione (riferita all'input dei combustibili)	Rendimento elettrico medio annuo (netto)
	TWh/anno	TWh/anno	%	%
Carbone	102,411	34,922	24,4	34,10
Gas naturale (centrali a vapore)	81,792	33,981	19,5	41,55
Gas naturale (cicli combinati)	50,168	26,292	12,0	52,41
Prodotti petroliferi	144,321	52,414	34,4	36,32
Altri	41,060	12,120	9,8	29,52
Totale/media	419,751	159,728	100,0	38,05

impianti auto-produttori di piccola taglia < 20 MW non prendono parte al dispacciamento in rete

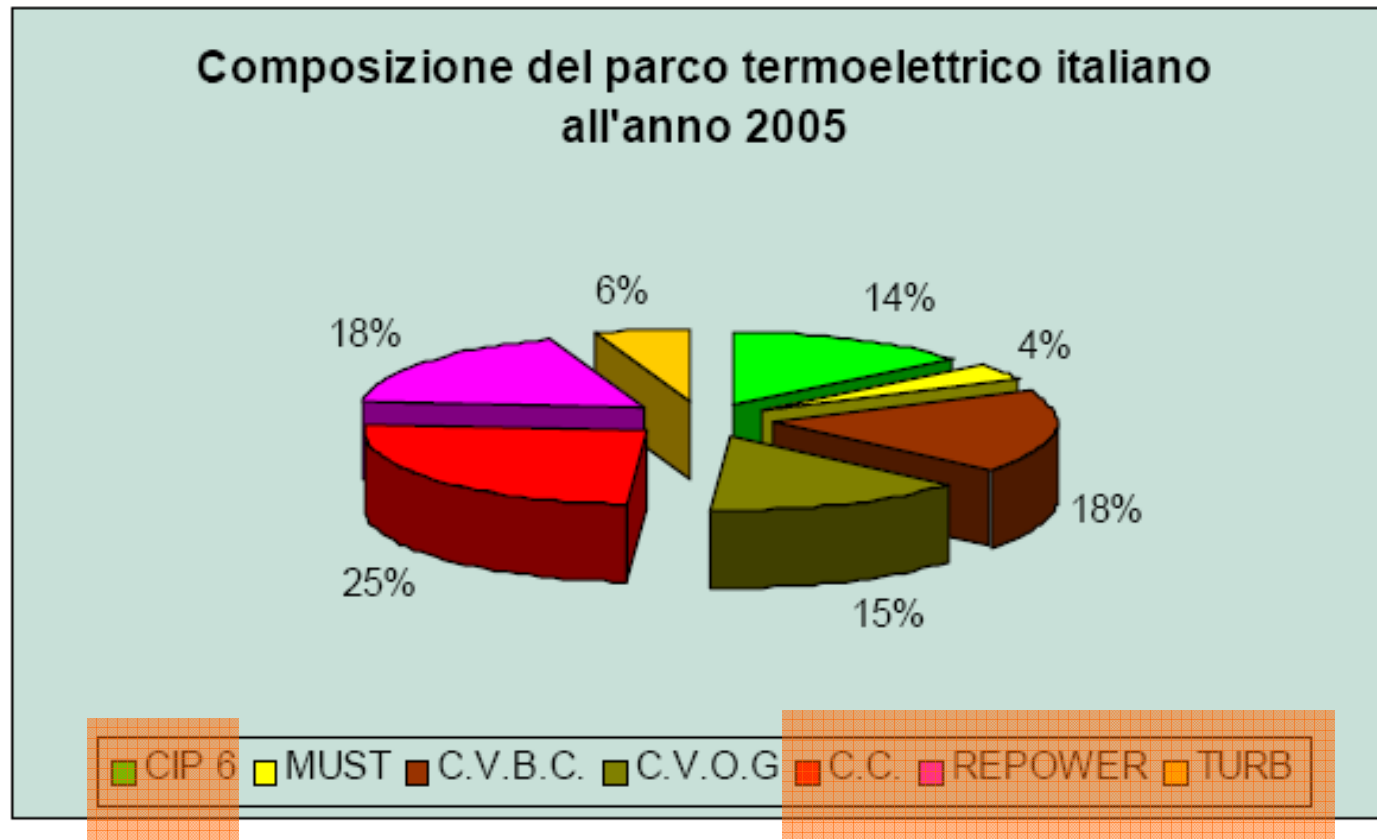
sezioni termo-elettriche hanno potenze comprese tra 20 e 600 MW



Il parco termo-elettrico italiano, richiami

Composizione

Composizione del parco termo-elettrico che contribuisce al dispacciamento, **anno 2005**



49% ad esclusione della quota CIP 6 da *Turbogruppi a Gas*



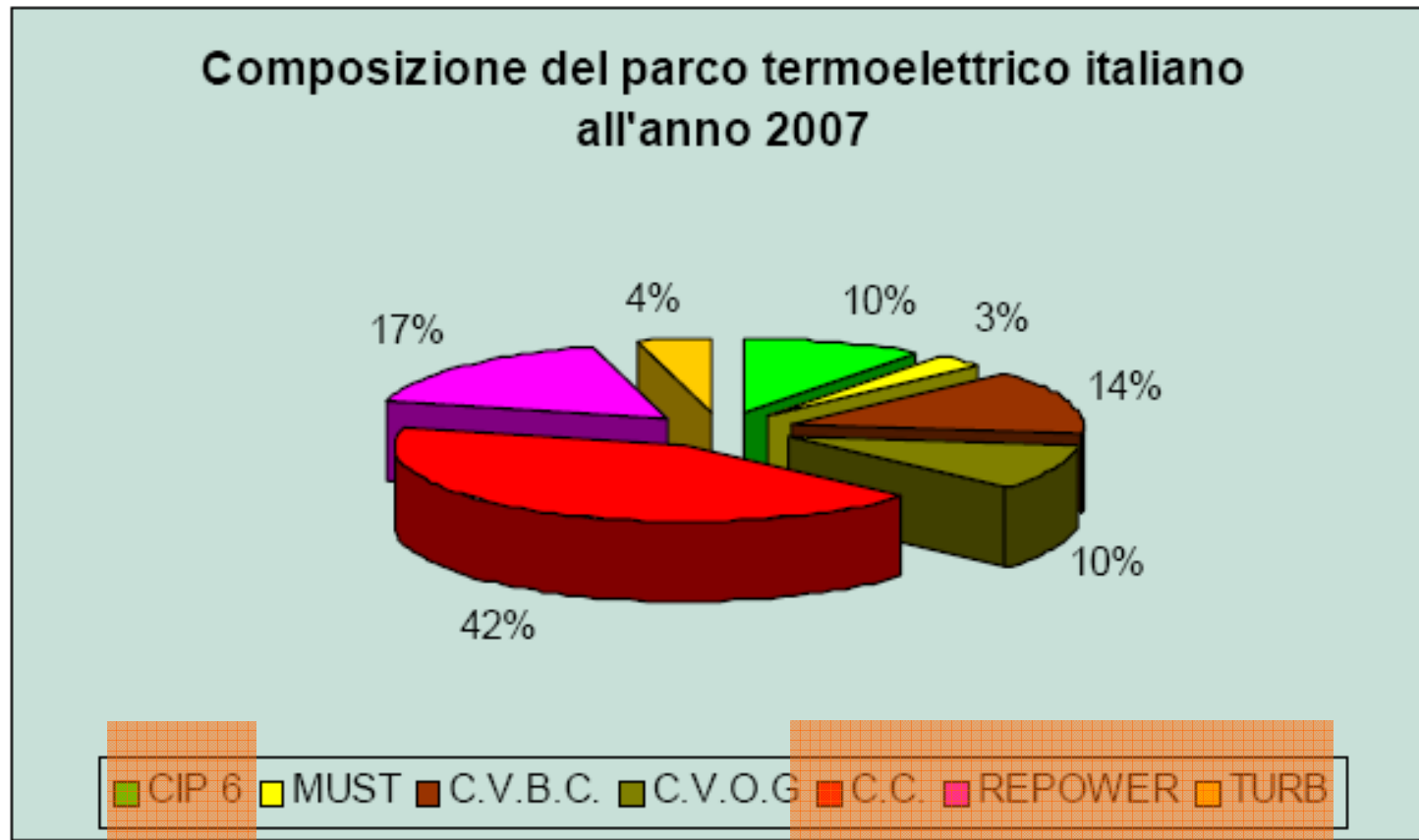
FMRGroup @ DMA-URLS



Il parco termo-elettrico italiano, richiami

Composizione

Composizione del parco termo-elettrico che contribuisce al dispacciamento, **previsione anno 2007**, Fonte Univ. di Pisa



63% ad esclusione della quota CIP 6 da *Turbogruppi a Gas*



FMRGroup @ DMA-URLS



Il parco termo-elettrico italiano, richiami

Esercizio, copertura annuale

Fonte: Cicli Combinati a Gas Naturale, E. Macchi, PoliPress

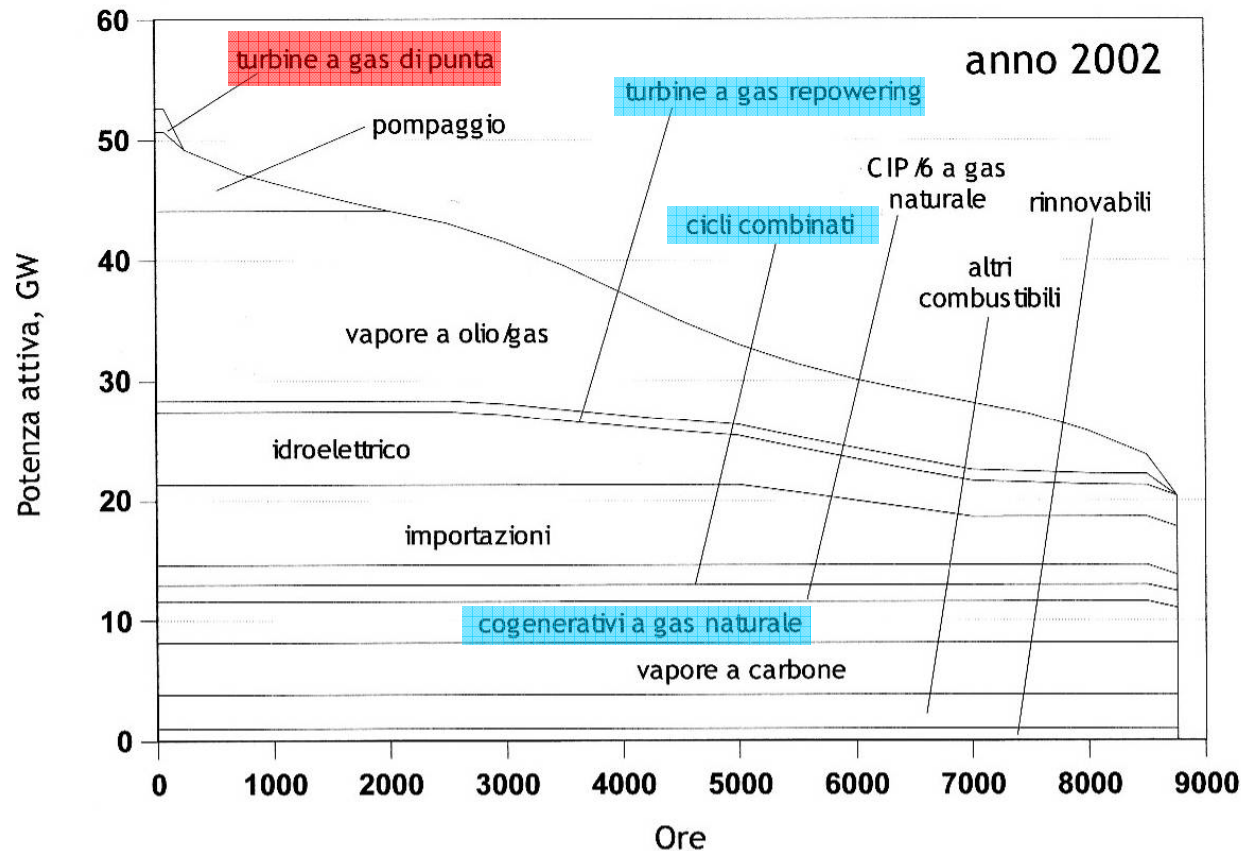
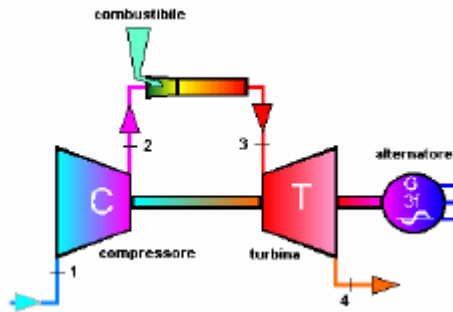


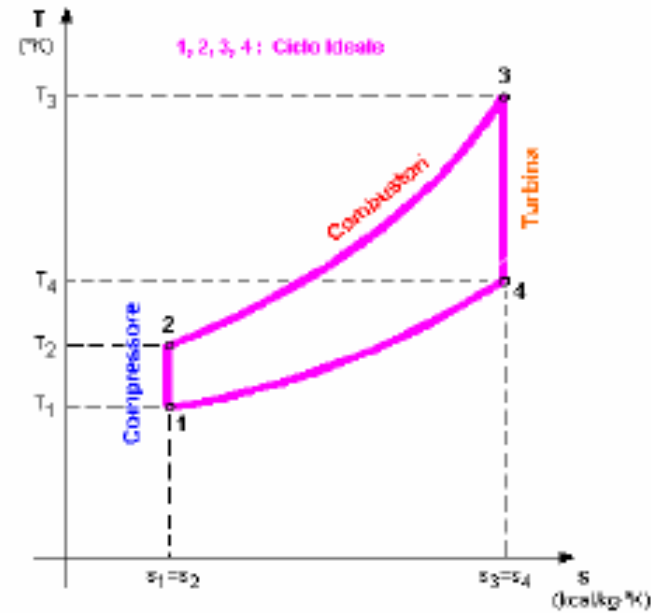
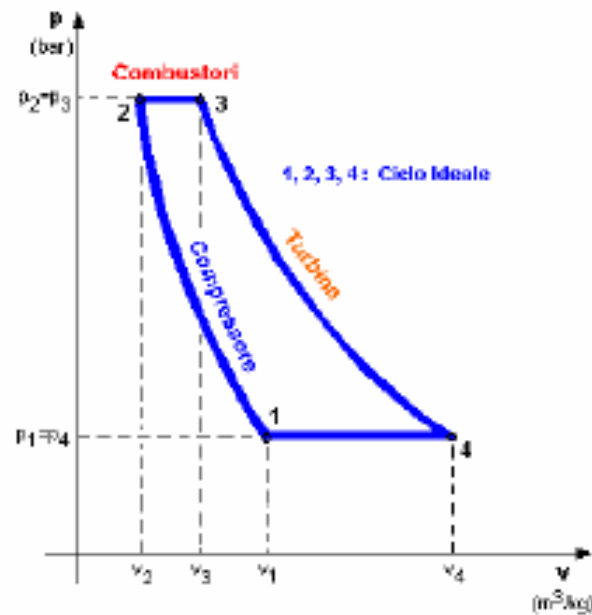
Diagramma di ripartizione del carico fra le diverse tipologie di centrale nell'anno 2002. [3.xx]

I cicli combinati operano come centrali di base, mentre la modulazione del carico è affidata a centrali a vapore

Il turbogruppo a gas, configurazione d'impianto e cicli termodinamici



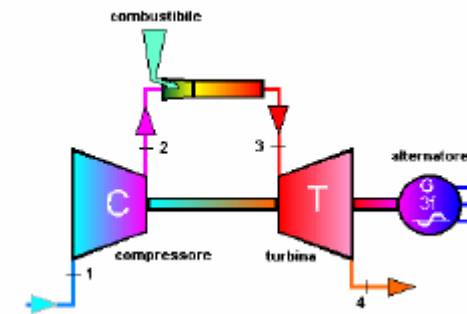
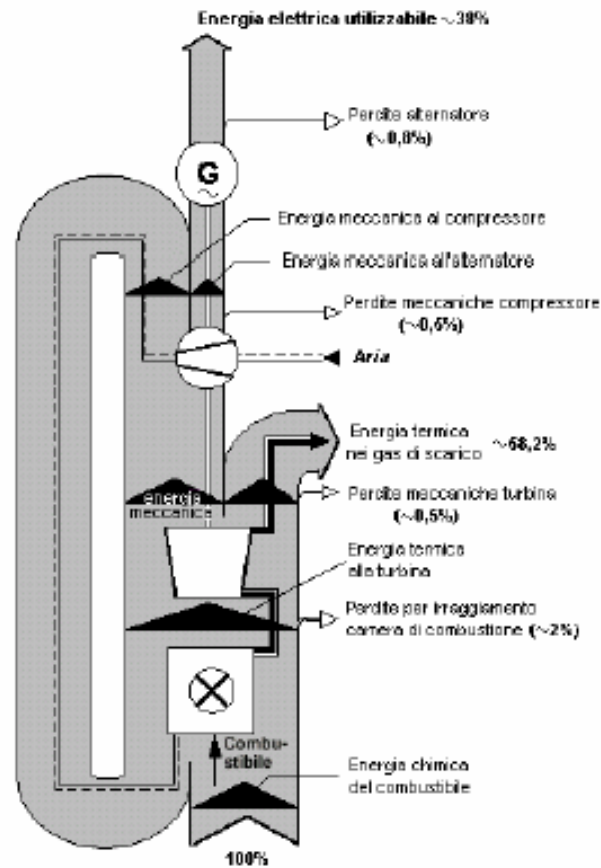
Nel ciclo teorico (ciclo Brayton) delle turbine a gas l'aria, prelevata alla temperatura T_1 (punto 1), viene compressa adiabaticamente fino al punto 2, quindi è riscaldata con la combustione lungo una isobara fino alla temperatura T_3 (punto 3); da qui si espande secondo una adiabatica fino al punto 4 e il ciclo si chiude con un raffreddamento a pressione costante fino alla temperatura di partenza T_1 . In caso contrario, e questo è quanto attuato nella pratica, i gas vengono scaricati all'atmosfera e il ciclo prosegue prelevando nuova aria dall'ambiente esterno a temperatura T_1 .



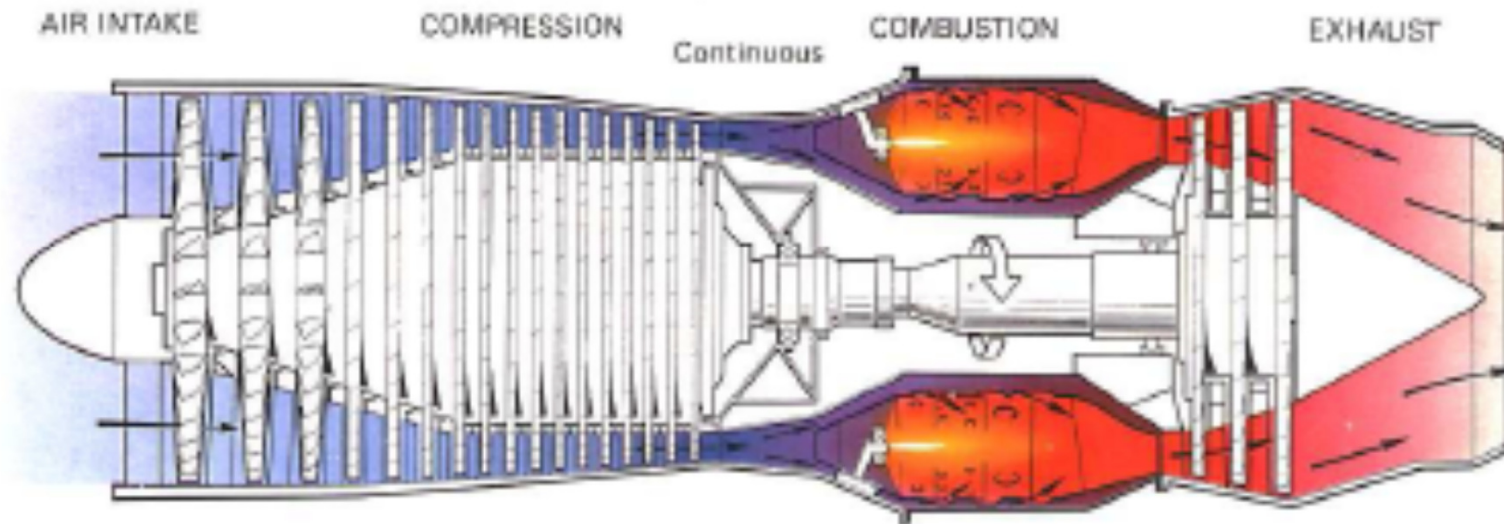
Il turbogruppo a gas, configurazione d'impianto e cicli termodinamici (i)

Il tipo di impianto turbogas più semplice è ad una sola linea d'albero con un compressore multistadio, la camera di combustione e la turbina o espansore, senza il recupero del calore posseduto dai gas di scarico.

La potenza fornita dalla turbina a gas viene in parte assorbita dal compressore e per la parte restante è utilizzata dal generatore elettrico coassiale.



Il turbogruppo a gas, configurazione elementare



Il turbogrupo a gas, architettura

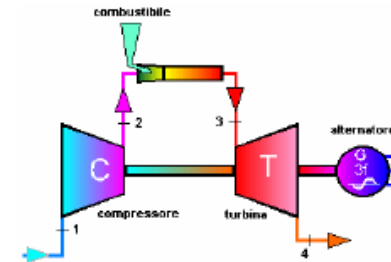
Le turbine a gas per applicazioni stazionarie vengono classificate, dal punto di vista costruttivo e progettuale, secondo due grandi categorie:

- *“heavy duty”* o industriali

Esse sono progettate esclusivamente per impieghi industriali ed in particolar modo per la produzione di energia elettrica. Sono macchine caratterizzate da una progettazione più essenziale in cui la riduzione del peso e dell'ingombro rappresentano aspetti secondari rispetto alla riduzione dei costi di costruzione.

- *aeroderivate*

Esse sono derivate, con opportune modifiche, dai motori progettati per la propulsione aeronautica. Sono dotate di tutti i possibili accorgimenti tecnici per ridurre il peso e aumentare il rendimento, talvolta a discapito dell'economicità della realizzazione.



Turbograppi HD:

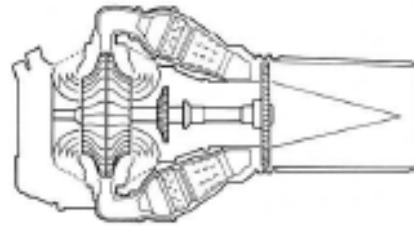
mono-albero, low-tech, progettate per bassi rapporti di compressione, disegno per condizioni di massimo lavoro per unità di massa, *minimizzazione dei costi di impianti*

Turbograppi aeroderivati:

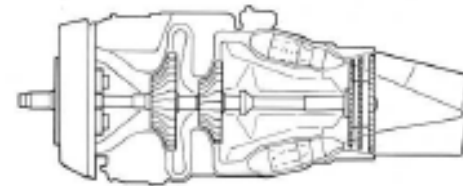
Bi-albero o twin-spool, high-tech, progettate per alti rapporti di compressione, disegno per condizioni di massima efficienza, *minimizzazione dei costi di esercizio*



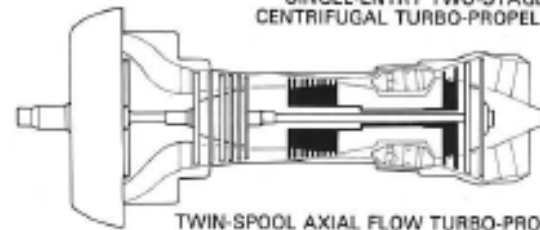
Il turbogruppo a gas, TG aeronautici



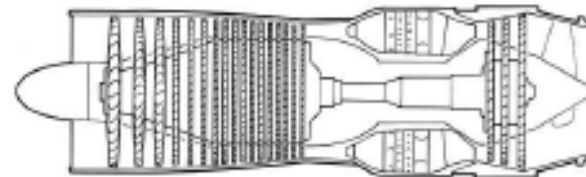
DOUBLE-ENTRY SINGLE-STAGE
CENTRIFUGAL TURBO-JET



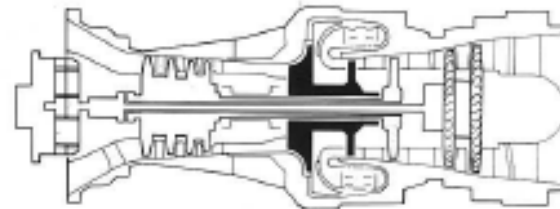
SINGLE-ENTRY TWO-STAGE
CENTRIFUGAL TURBO-PROPELLER



TWIN-SPOOL AXIAL FLOW TURBO-PROPELLER



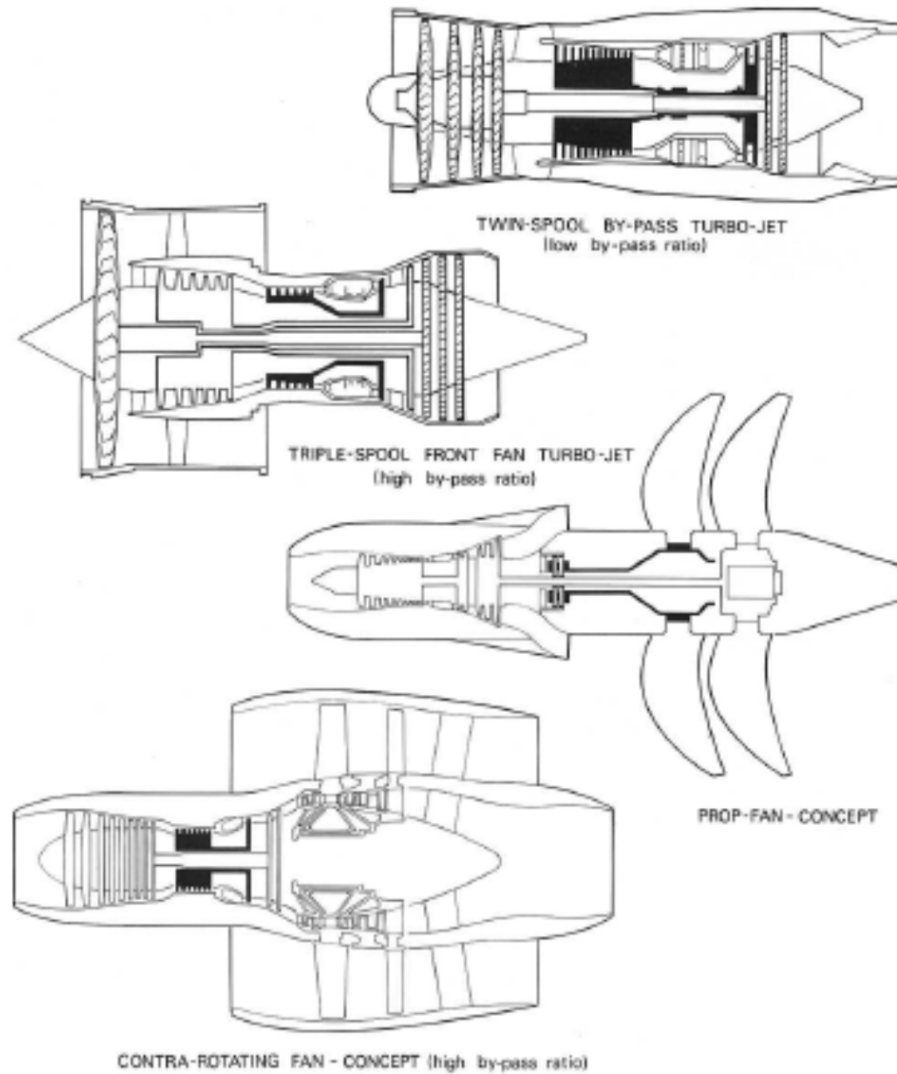
SINGLE-SPOOL AXIAL FLOW TURBO-JET



TWIN-SPOOL TURBO-SHAFT (with free-power turbine)



Il turbogruppo a gas, TG aeronautici



Il turbogruppo a gas, TG aeronautici



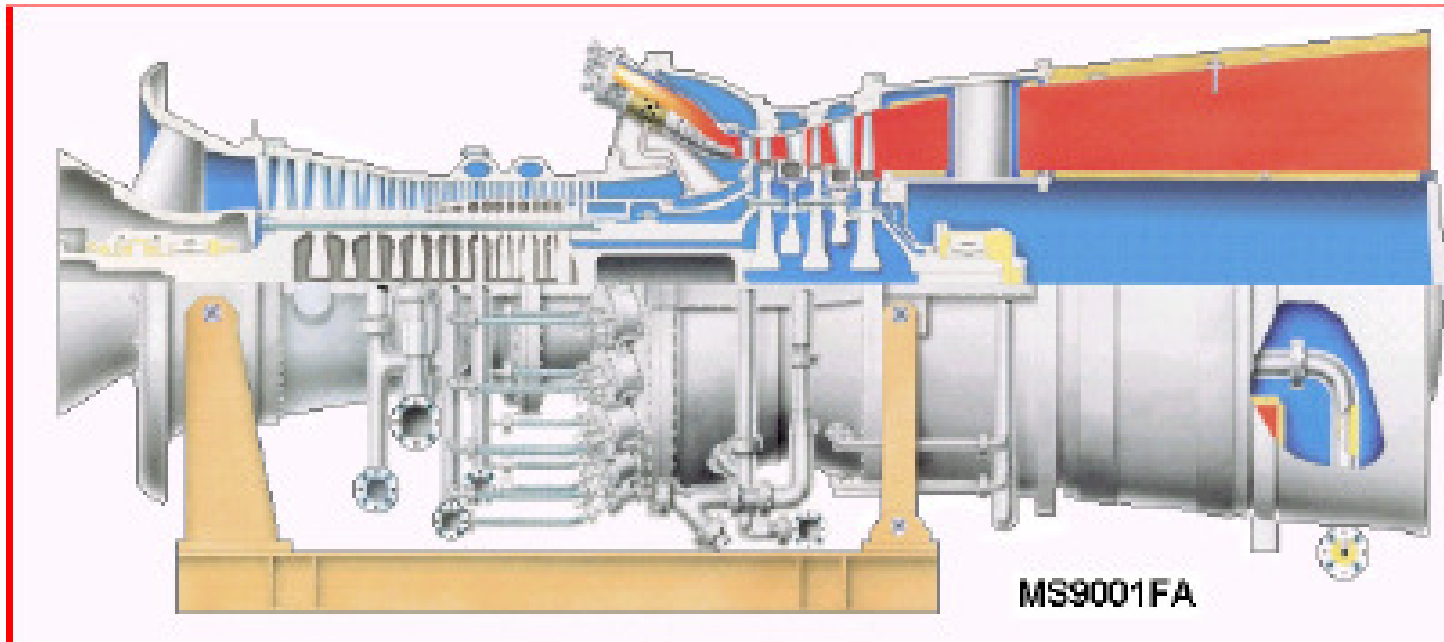
FMRGroup @ DMA-URLS



Il turbogruppo a gas, architettura (i)

Turbogruppi HD:

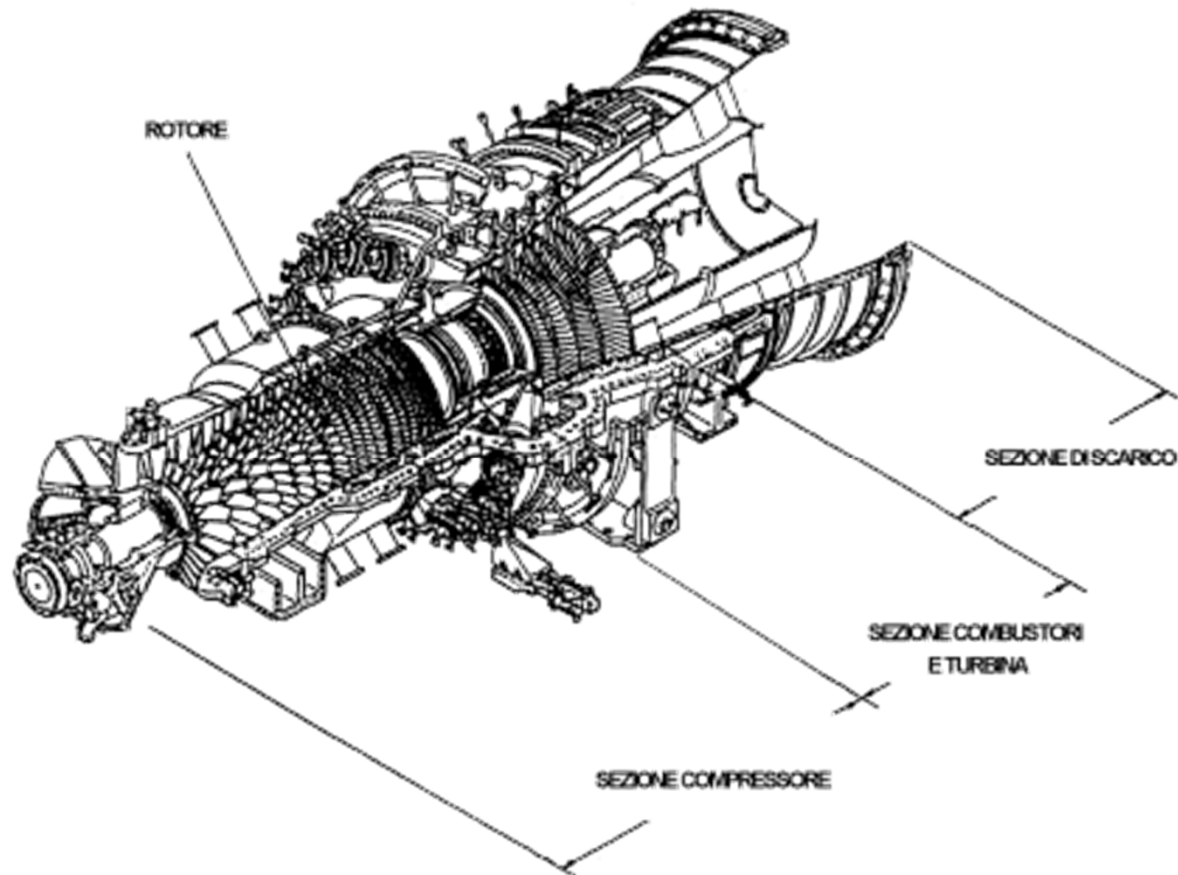
mono-albero, low-tech, progettate per bassi rapporti di compressione, disegno per condizioni di massimo lavoro per unità di massa, *minimizzazione dei costi di impianti*



Il turbogruppo a gas, architettura (i)

Turbogruppi HD:

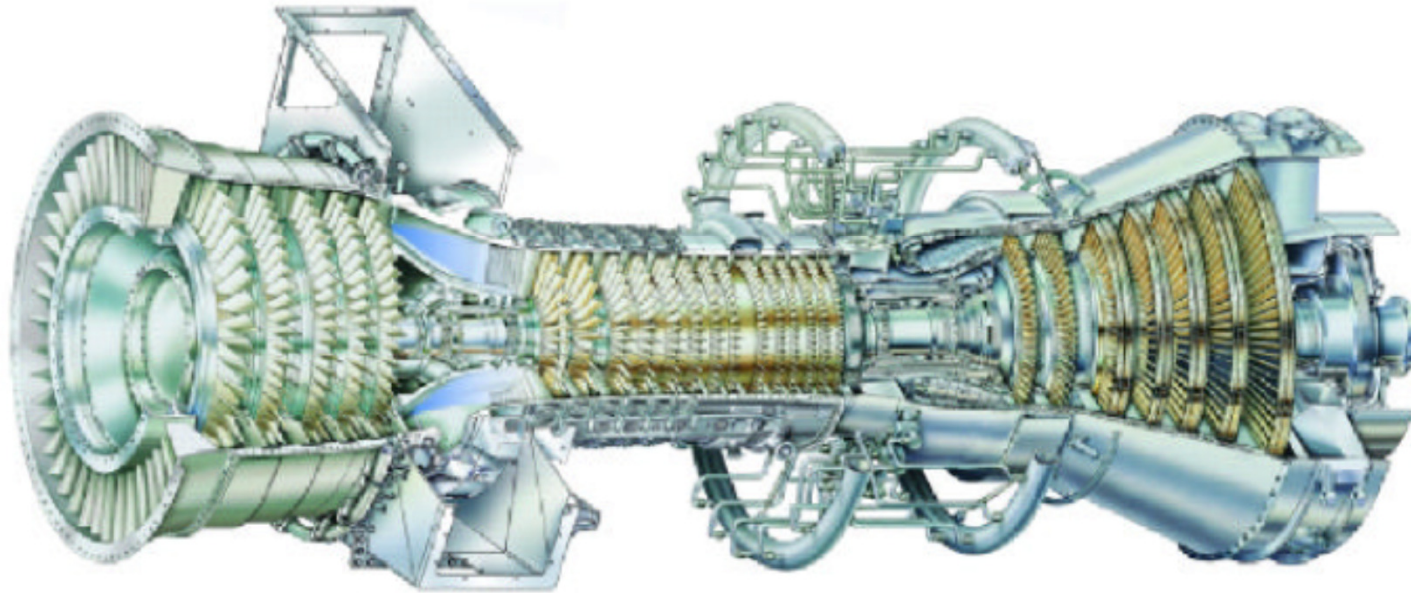
mono-albero, low-tech, progettate per bassi rapporti di compressione, disegno per condizioni di massimo lavoro per unità di massa, *minimizzazione dei costi di impianti*



Il turbogruppo a gas, architettura (ii)

Turbogruppi aeroderivati:

Bi-albero o twin-spool, high-tech, progettate per alti rapporti di compressione, disegno per condizioni di massima efficienza, *minimizzazione dei costi di esercizio*



TG aeroderivata GE LM600, approx. 40 MWel

Il turbogruppo a gas, configurazioni speciali

Propulsione automobilistica



FIAT motore turbina V8, 1954

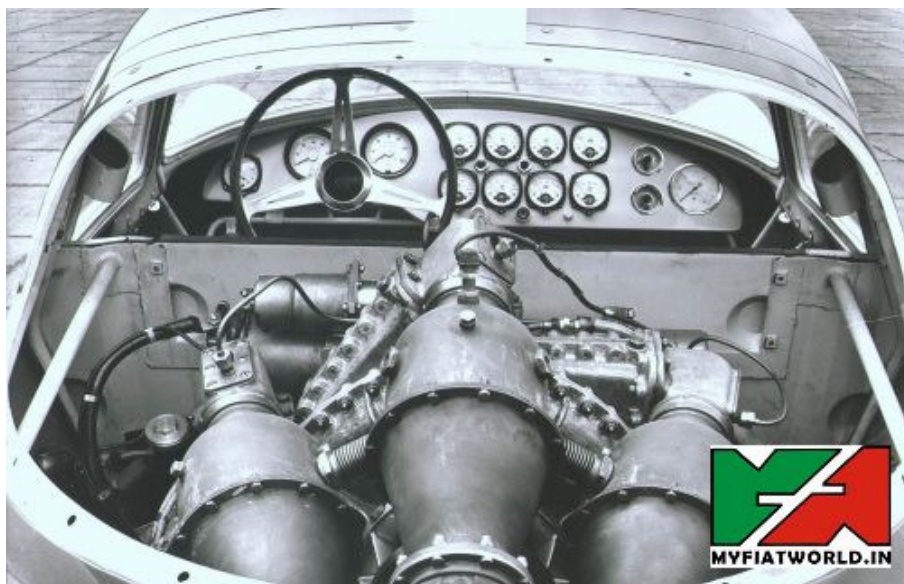
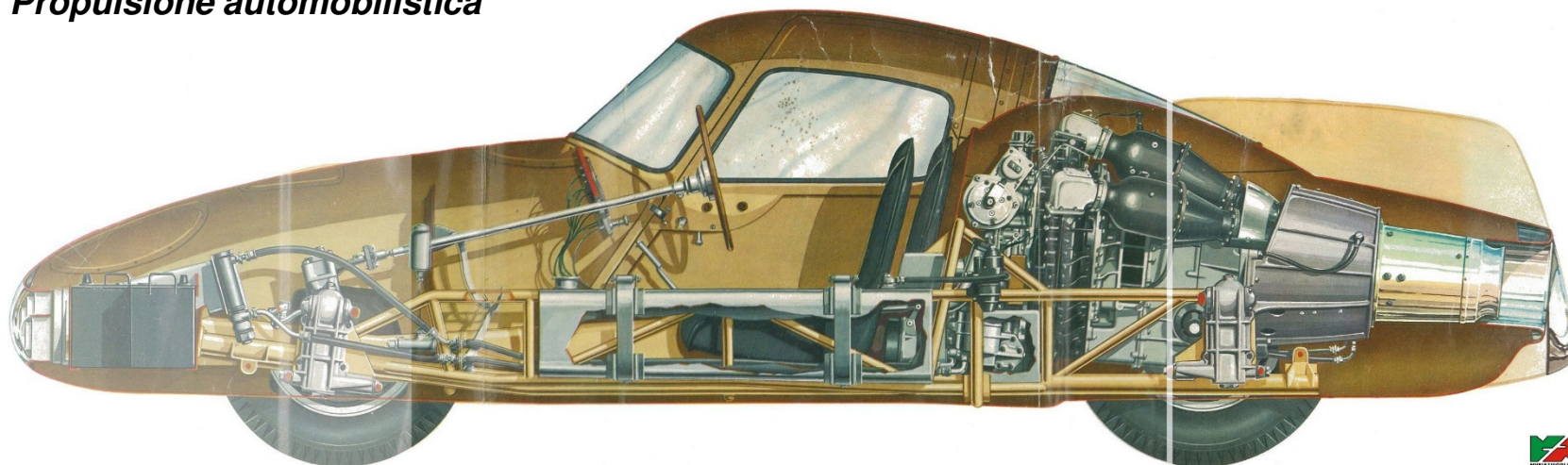


FMRGroup @ DMA-URLS



Il turbogruppo a gas, configurazioni speciali

Propulsione automobilistica

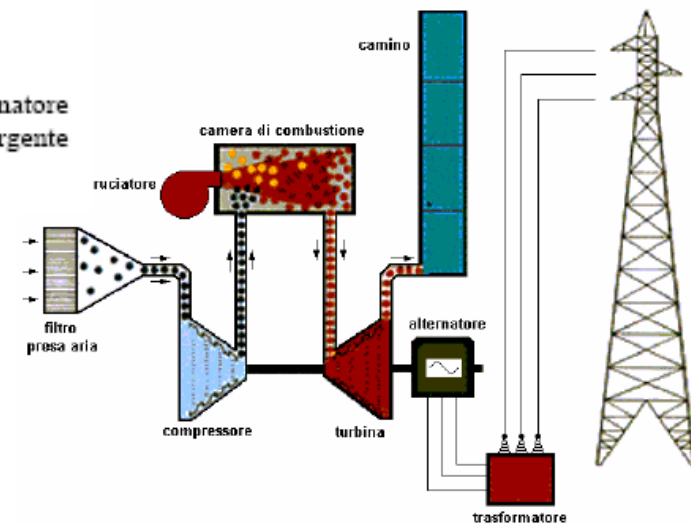


FIAT motore turbina V8, 1954

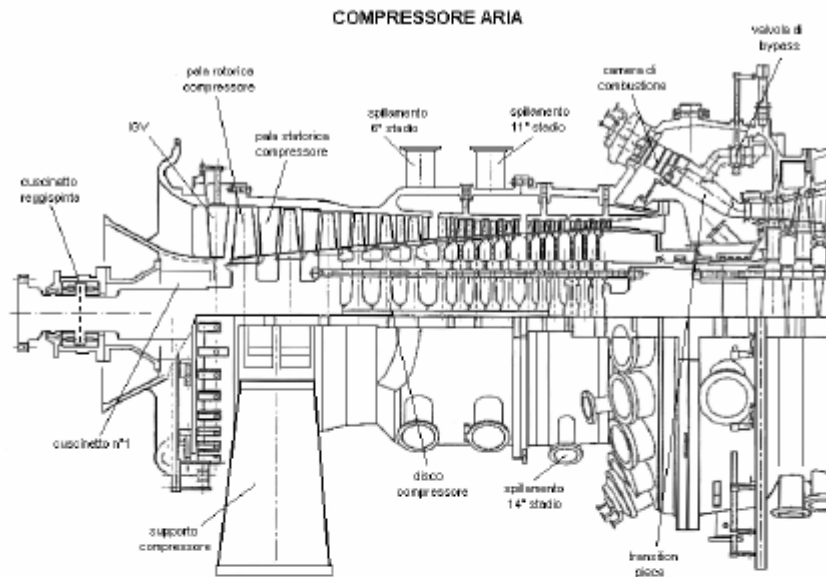
Il turbogruppo a gas, componenti

- **Compressore**
Macchina che permette di innalzare la pressione dell'aria, aspirata alla pressione atmosferica, fino ad una pressione di mandata stabilita; quest'azione è svolta trasformando l'energia meccanica, applicata all'asse del compressore, in energia cinetica e potenziale trasferita all'aria.
Viste le grandi portate in gioco, i compressori sono normalmente di tipo assiale.
- **Camera di combustione**
Ambiente all'interno del quale avviene la reazione di combustione tra l'aria (comburente) ed il combustibile. Nella camera di combustione vengono prodotti i gas ad alta temperatura, che saranno poi inviati alla turbina a gas.
- **Turbina o espansore**
Macchina termica che sfrutta l'energia, messa a disposizione dall'espansione dei gas di combustione, convertendola in energia meccanica disponibile all'asse.
- **Motore di lancio**
Macchina che permette l'avviamento del turbogas.
Può essere impiegato un motore diesel, un motore elettrico, oppure lo stesso alternatore alimentato da un avviatore statico. La prima soluzione (diesel) non necessita di sorgente elettrica esterna di alimentazione, rendendo la macchina completamente autonoma.

L'avviamento di un turbogas deve essere effettuato con un motore di lancio. E' infatti necessario portare il compressore a una velocità di rotazione sufficiente a fornire un certo rapporto di compressione, nel rispetto dei limiti di stallo dello stesso ossia con valvole antipompaggio aperte. Raggiunta tale velocità, viene accesa la fiamma, a regime minimo, in modo che la macchina raggiunga la condizione di autosostentamento, ovvero che la turbina produca abbastanza potenza da trascinare il compressore. A questo punto, disinserendo il motore di lancio, si aumenta la portata di combustibile fino a portare la macchina alla velocità di sincronismo, chiudendo nel contempo le valvole antipompaggio. La presa di carico avviene in tempi molto ridotti, senza superare i 20-30 minuti per gli avviamenti da freddo dei grossi turbogas. La potenza del motore di lancio è pari al 5-10% della potenza della macchina. Si può utilizzare il generatore elettrico in funzione di motore, con gli opportuni accorgimenti di carattere elettrico.



Il turbogruppo a gas, componenti (i)



VOLUTA DI ASPIRAZIONE

La voluta di aspirazione ha il compito di collegare il collettore di aspirazione e la camera filtri con l'estremità lato aspirazione del compressore. Un giunto elastico tra la voluta di aspirazione ed il collettore di aspirazione assorbe eventuali spostamenti dovuti a dilatazioni termiche.

CORPO COMPRESSORE

Il corpo del compressore consta di tre parti essenziali:

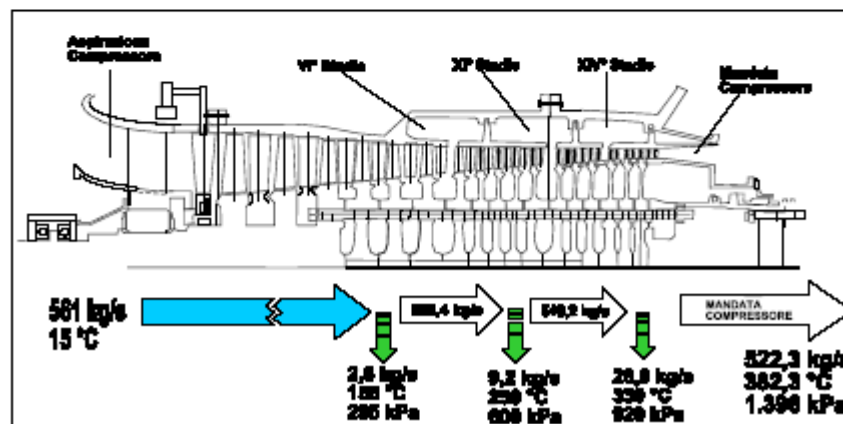
1. La prima parte costituisce la voluta di ingresso, nella quale è ricavato il supporto del cuscinetto portante e del reggispianta e dove sono alloggiati le palette di entrata ad assetto variabile (IGV).



Voluta di aspirazione con razze di supporto e centraggio della cassa del cuscinetto N° 1. Palette di entrata ad assetto variabile (IGV)

2. La seconda parte include i raddrizzatori del 1° all'11° stadio, le zampe di supporto e le camere annulari di spillamento e di scarico aria all'avviamento (a valle del 5° stadio e a valle dell'11° stadio).
3. La terza parte include i raddrizzatori dal 12° al 17° stadio e la camera di spillamento dell'aria di raffreddamento turbina (a valle del 14° stadio).

La terza parte include inoltre il diffusore di uscita del compressore, le tenute dell'albero intermedio, i supporti dei tubi di fiamma e le tenute del primo stadio turbina.



Spillamenti aria dal compressore

Di seguito si riportano alcuni dati caratteristici del compressore dell'aria:

Portata aria mandata	522,3 kg/s
Temperatura aria mandata	382,3 °C
Pressione aria mandata	1.396 kPa
Potenza assorbita	209,53 MW
Numero di spillamenti	4

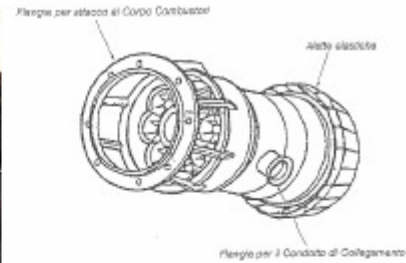
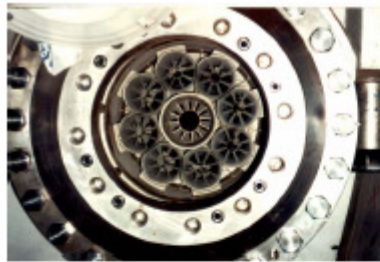


FMRGroup @ DMA-URLS

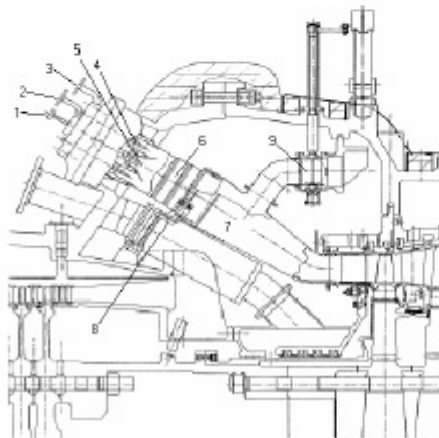
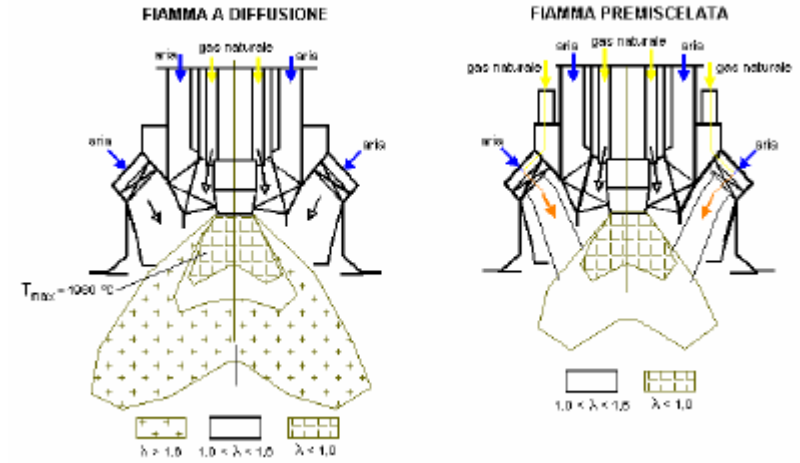


Il turbogruppo a gas, componenti (ii)

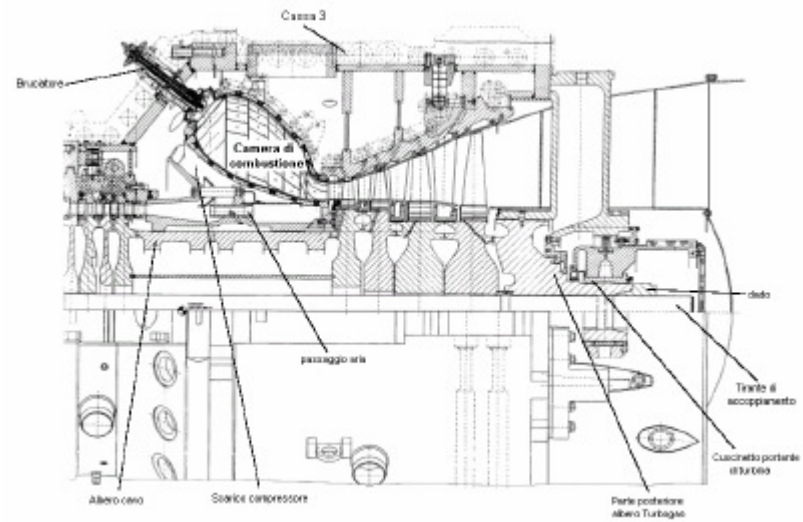
Combustore



Combustore
(al centro l'iniettore pilota e attorno gli 8 iniettori principali)



- 1 alimentazione iniettore pilota
- 2 alimentazione iniettore principale A
- 3 alimentazione iniettore principale B
- 4 iniettore principale
- 5 iniettore pilota
- 6 camera di combustione
- 7 convogliatore gas (frangispiume)
- 8 supporto camera di combustione
- 9 valvola di bypass

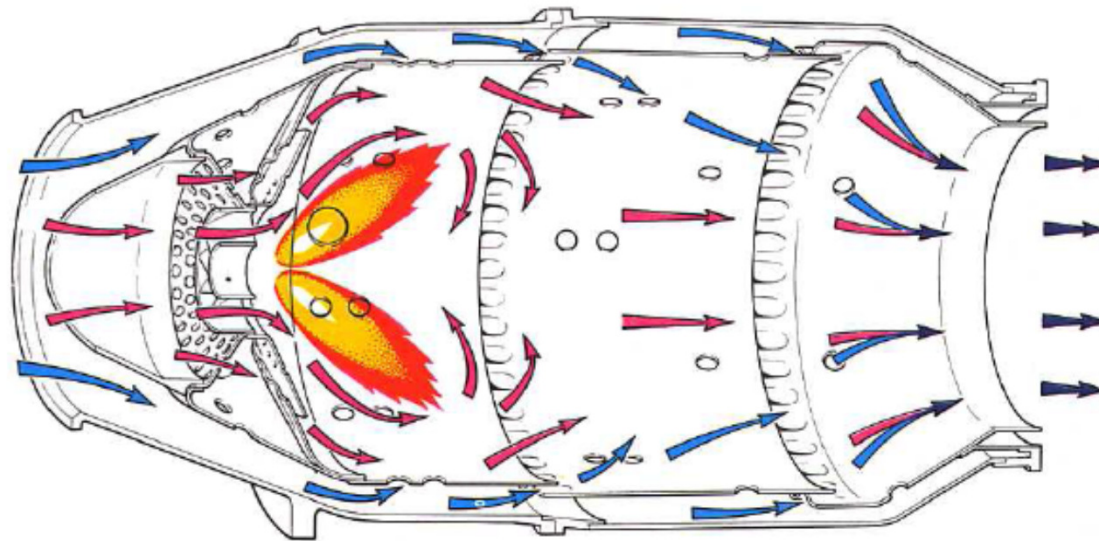
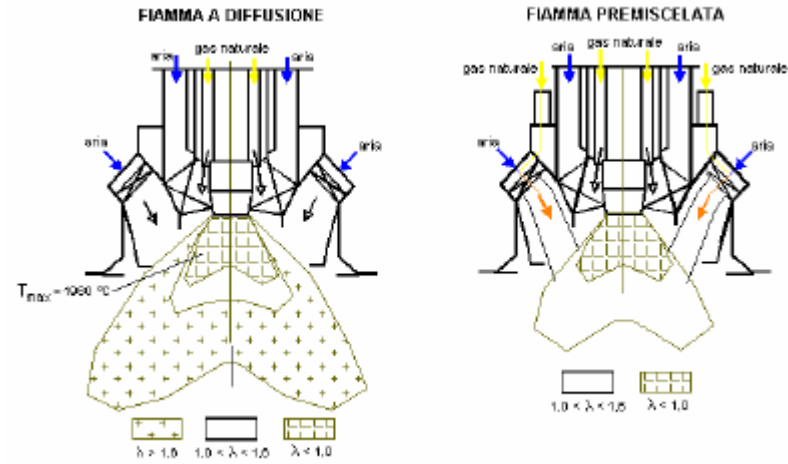


FMRGroup @ DMA-URLS



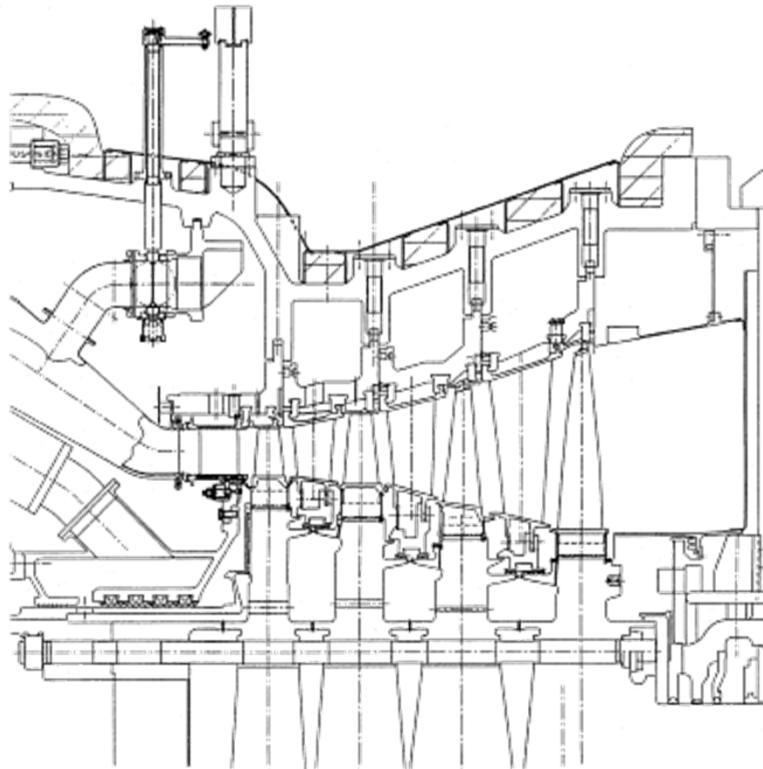
Il turbogruppo a gas, componenti (ii)

Combustore



Il turbogruppo a gas, componenti (iii)

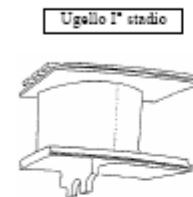
Turbina



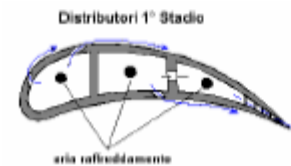
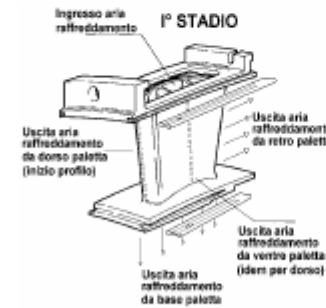
Le caratteristiche delle pale statoriche sono le seguenti:

	N° PALE	MATERIALE
STADIO 1	40	IN 939 o equivalente
STADIO 2	64	IN 939 o equivalente
STADIO 3	54	IN 939 / X45
STADIO 4	56	IN 939 / X45

Il materiale di rivestimento per tutti gli ugelli è NiCoCrAlY / TBC



L'aria di raffreddamento degli ugelli distributori della turbina è prelevata direttamente da stadi intermedi del compressore assiale (VI°, XI° e XIV° stadio) ed inviata ai vari punti di immissione senza subire alcun processo di raffreddamento e filtraggio. Le temperature dell'aria sono monitorate da termocoppie.

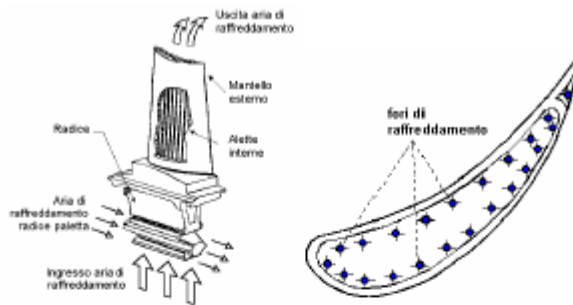


FMRGroup @ DMA-URLS

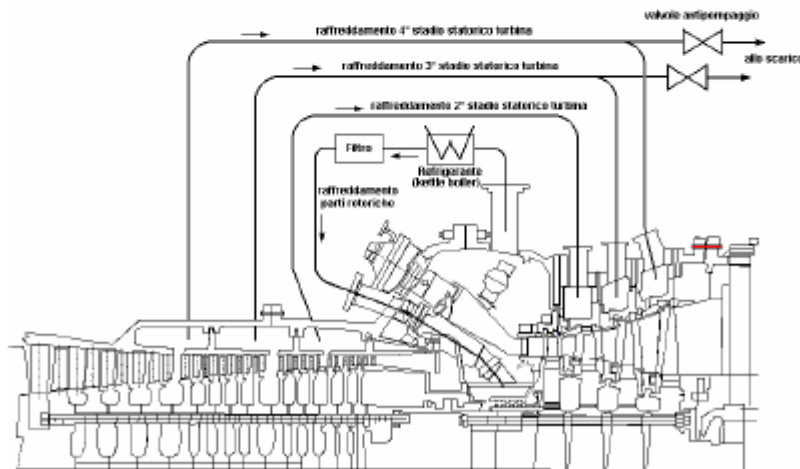
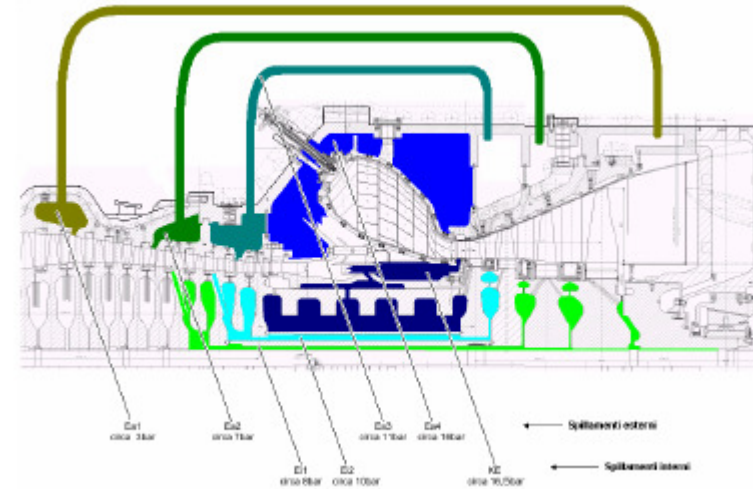


Il turbograppo a gas, componenti (iv)

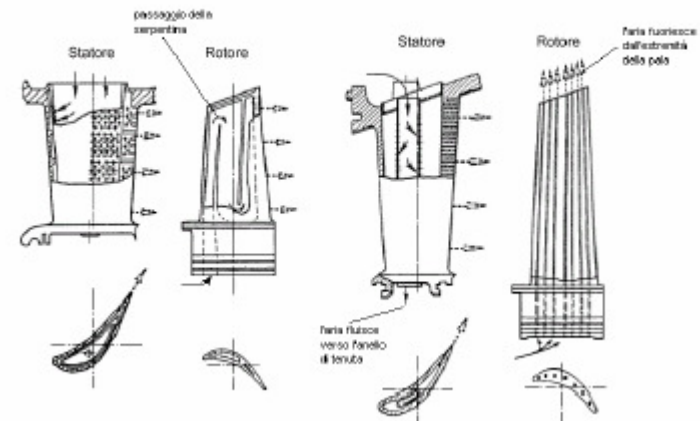
Turbina sistema di raffreddamento



Ogni pala turbina del primo e del secondo stadio contiene una serie di passaggi longitudinali: l'aria è introdotta attraverso un passaggio alla base dell'incastro a pino rovesciato. In questi fori l'aria passa a velocità altissima: in questo modo si hanno coefficienti di scambio termico molto elevati, dello stesso ordine di quelli che si hanno sulla superficie esterna, tra gas combusti e profilo della pala.



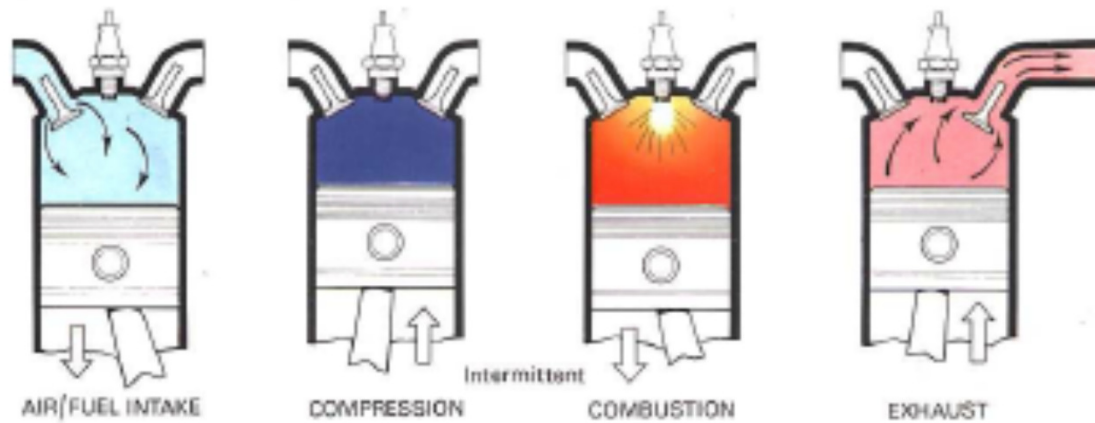
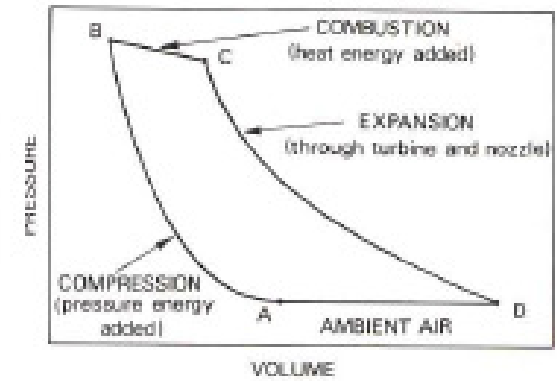
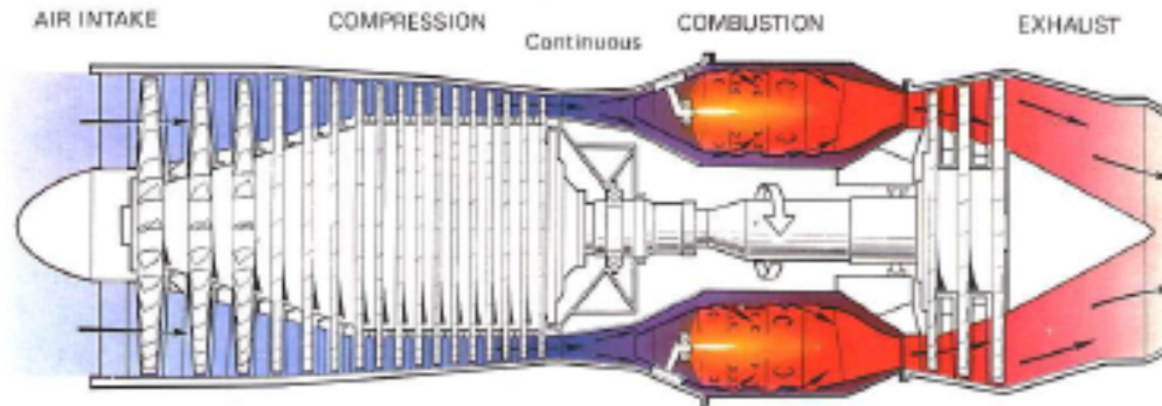
Le pale statiche e rotative contengono una serie di passaggi interni per l'aria di raffreddamento.



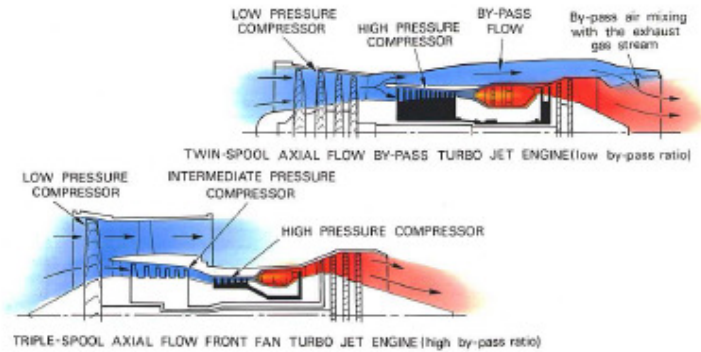
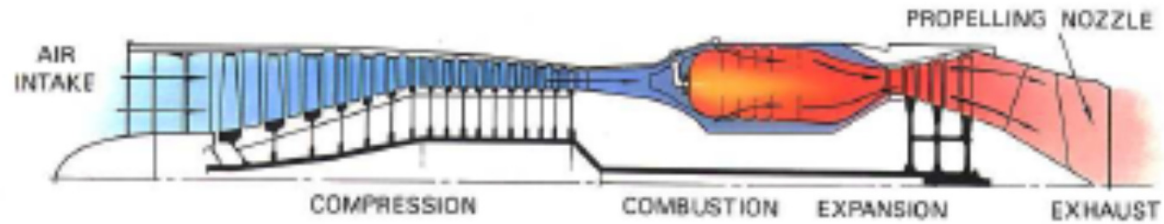
FMRGroup @ DMA-URLS



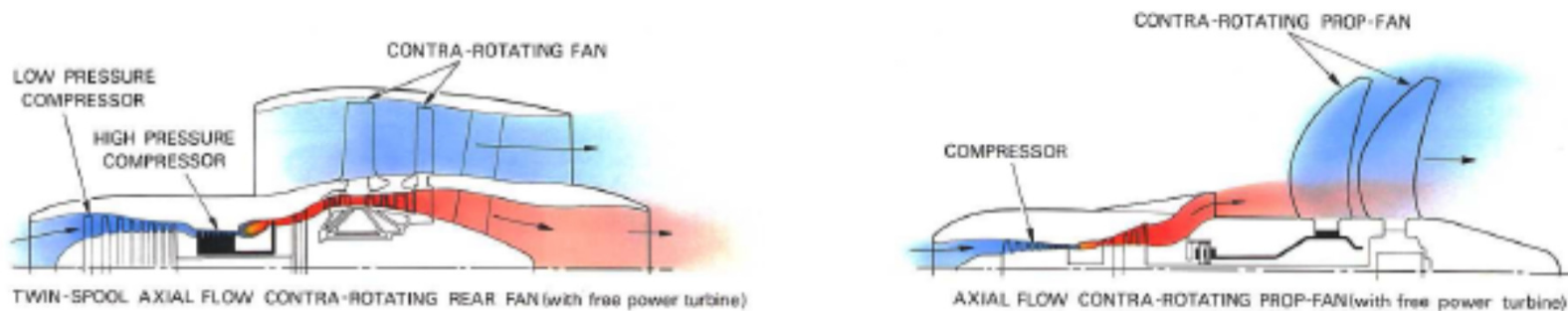
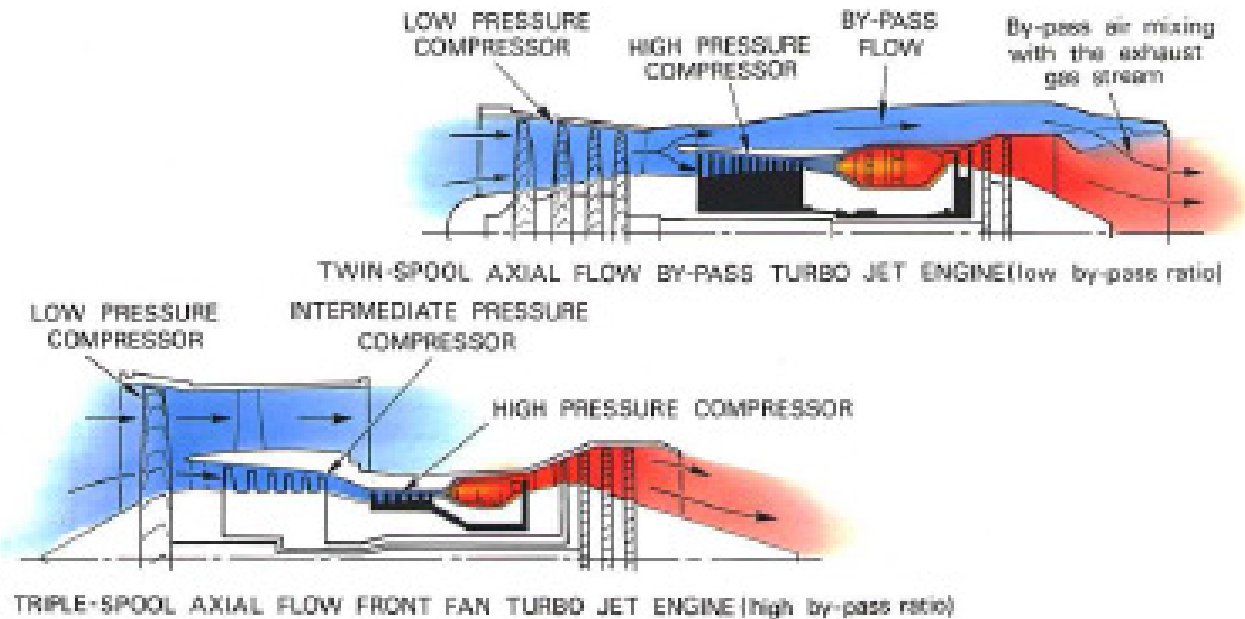
Il turbogruppo a gas, il ciclo di lavoro



Il turbograppo a gas, l'evoluzione termodinamica del fluido



Il turbogruppo a gas, l'evoluzione termodinamica del fluido



Il turbogruppo a gas, prestazioni (i)

Negli anni recenti le turbine a gas hanno decisamente migliorato il proprio rendimento:

- Le unità turbogas della penultima generazione (fino agli anni '90) presentavano potenze elettriche di circa 120 MW, con temperature dei gas all'ingresso turbina di circa 1100°C e temperature fumi allo scarico di 530°C.

Il consumo orario di gas naturale, al carico di base di 120 MW, era dell'ordine di 40.000 Nm³/h, corrispondente ad un rendimento netto di circa il 32%. Il corrispondente consumo unitario di combustibile, riferito al potere calorifico inferiore del gas naturale di 8250 kcal/Nm³, risultava di circa 0,33 Nm³/kWh.

- Le attuali turbine a gas, di taglia raddoppiata (circa 250 MW) e con temperature di ingresso turbina di 1300÷1400°C, raggiungono valori di rendimento prossimi al 38% (consumo unitario di combustibile pari a circa 0,275 Nm³/kWh).

Esse sono ormai esclusivamente impiegate negli impianti a ciclo combinato, che hanno trovato un notevole sviluppo grazie soprattutto agli eccellenti rendimenti globali raggiunti (56÷58%).

In una turbina a gas il fluido di lavoro può seguire cicli diversi.

I punti del ciclo nel piano p,v (T,s) sono:

- aspirazione compressore: p_1, v_1 (T_1, s_1),
- mandata compressore: $p_2 > p_1$; $v_2 < v_1$ ($T_2 > T_1$; $s_1 = s_2$),
- ingresso turbina (uscita combustori): $p_3 = p_2$; $v_3 > v_2$ ($T_3 > T_2$; $s_3 > s_2$),
- scarico turbina: $p_4 = p_1$; $v_4 > v_1$ ($T_4 > T_1$; $s_4 = s_3$).

Il gas, scaricato alla pressione $p_4 = p_1$ e alla temperatura T_4 , è sostituito da una massa uguale di aria alla stessa pressione, ma alla temperatura T_1 .

Da un punto di vista termodinamico questa sostituzione equivale ad un raffreddamento da T_4 a T_1 .

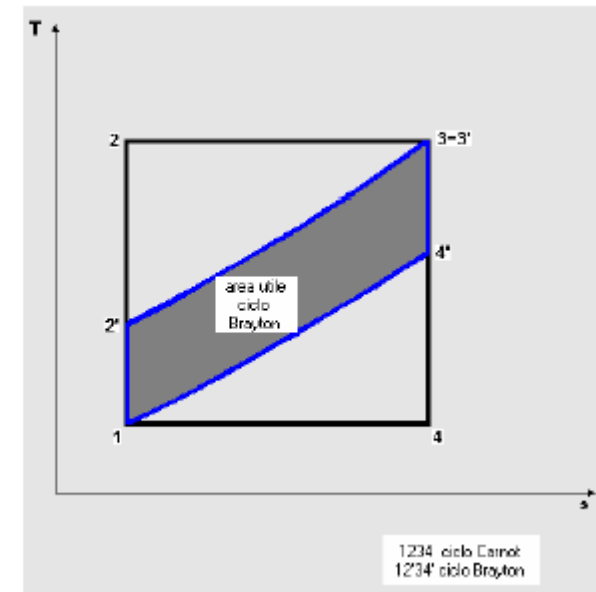
Adottando, ad esempio, come limiti di funzionamento le temperature caratteristiche del TG 701F da 255 MW:

- $T_3 = 1405$ °C (1678 °K);
- $T_4 = 15$ °C (288 °K)

si arriva a determinare che il rendimento del ciclo di Carnot vale:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_4}{T_3}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{288}{1678} = 82,9\%$$

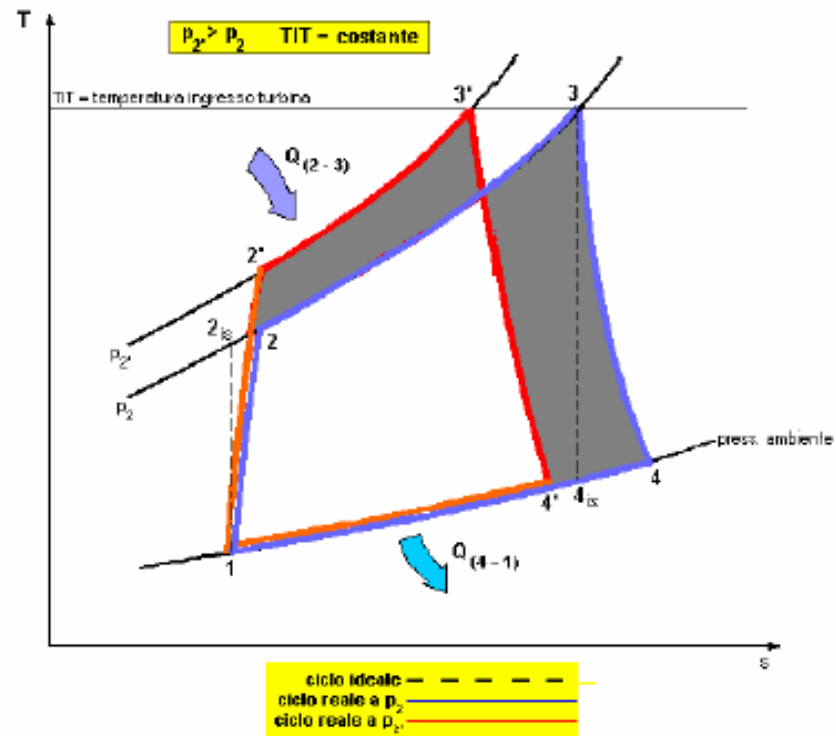


Il turbograppo a gas, prestazioni (ii)

$$\eta = \frac{Q_{2-3} - Q_{4-1}}{Q_{2-3}} = 1 - \frac{Q_{4-1}}{Q_{2-3}} = 1 - \frac{c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

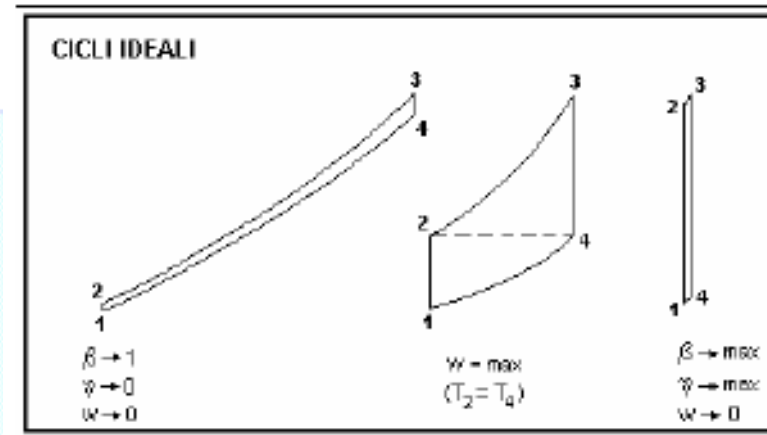
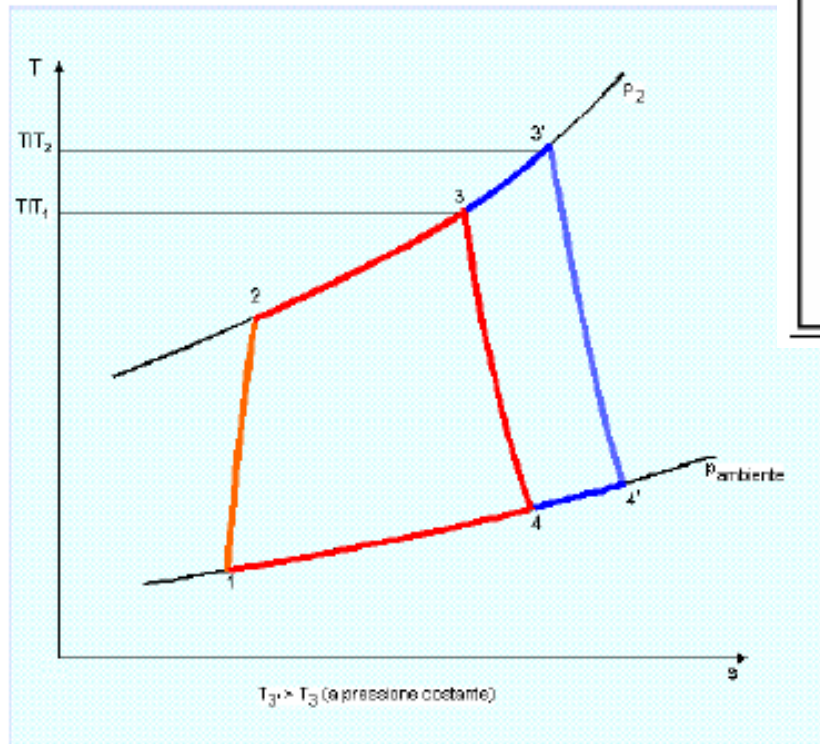
$$\eta = 1 - \beta^{\frac{1-k}{k}}$$



Il turbogruppo a gas, prestazioni (iii)

$$w = \eta \cdot q_{2-3} = (1 - \beta^{\frac{1-k}{k}}) \cdot c_p (T_3 - T_2)$$

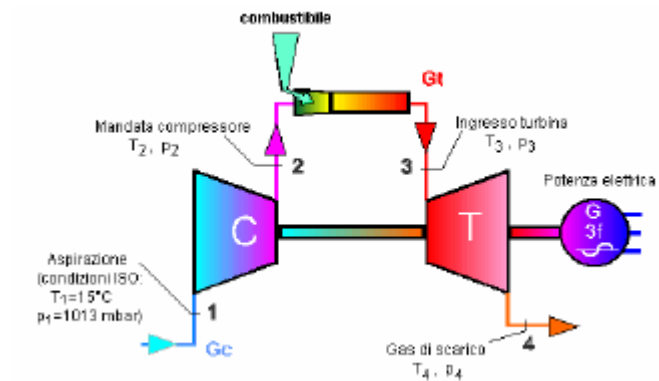
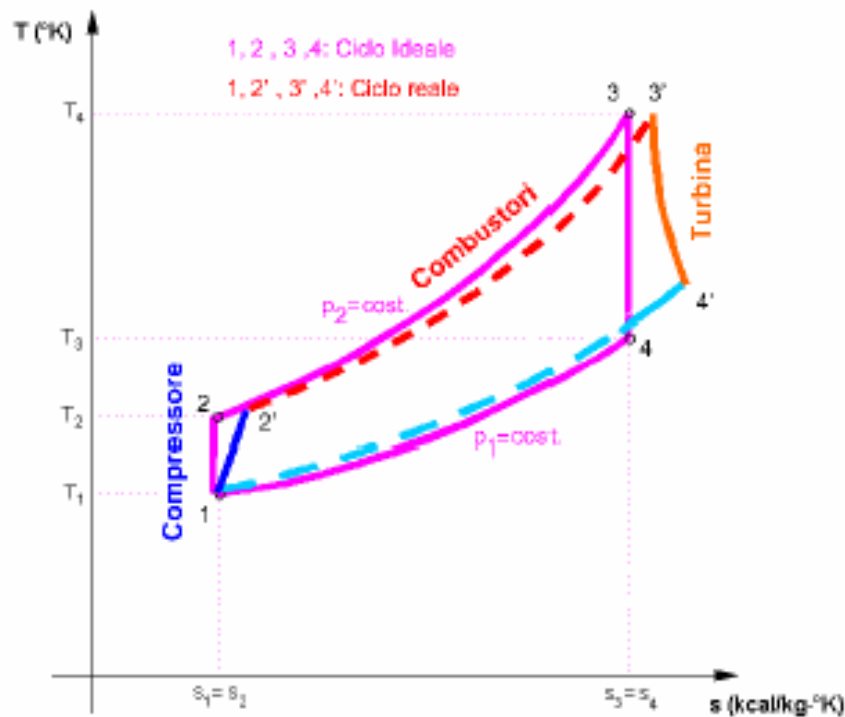
- la funzione ha una fortissima dipendenza da T_3 ,
- la funzione si annulla per $\beta=1$ (lavoro nullo sia di turbina che di compressore),
- la funzione si annulla per $\beta^{(k-1)k}=T_3/T_1$, ovvero per $T_2=T_3$, condizione in cui il lavoro isoentropico delle due macchine è uguale e l'output netto è zero,
- la funzione ha un massimo per $\beta^{(k-1)k}=(T_3/T_1)^{1/2}$ (come si ottiene derivando la funzione rispetto a β), condizione per cui $T_2=T_4=(T_3 \cdot T_1)^{1/2}$.



Il turbogruppo a gas, ciclo reale (i)

Prendiamo ad esempio il turbogas FIAT TG50D5 da 120 MW, che opera con il ciclo Brayton riportato in figura e attua le seguenti trasformazioni:

- aspira aria dall'ambiente alla temperatura $T_1=15^\circ\text{C}$ e pressione $p_1=1,013$ bar,
- comprime l'aria sino al punto 2 alla temperatura T_2 e pressione p_2 ($T_2=360^\circ\text{C}$ e $p_2=13,5$ bar al massimo carico),
- scambia calore con la sorgente calda a temperatura media elevata (il valor medio si aggira intorno ai 700°C ; il valore massimo è raggiunto in T_3 ed è pari a 1165°C),
- si espande nella turbina dalla temperatura T_3 alla temperatura T_4 ,
- scarica circa i 2/3 dell'energia messa a disposizione dal combustibile a temperatura ancora molto elevata, intorno ai 500°C del punto T_4 (temperatura dei gas di scarico).



Il turbogruppo a gas, ciclo reale (ii)

- **PERDITE TERMOFLUIDODINAMICHE**

Il lavoro perduto per queste cause si converte in calore che generalmente rimane nel gas modificando le linee di trasformazione da adiabatiche ad altre, verso stati di maggiore entropia a seguito della degradazione dell'energia.

Di queste perdite tengono conto i rendimenti interni delle macchine definiti dal confronto tra lavori reali delle pressioni sulle pale e lavori di espansione (o compressione) adiabatici reversibili a partire dalle stesse temperature iniziali e fra gli stessi limiti di pressione delle operazioni reali.

- **PERDITE DI CALORE**

Sono dovute sia all'incompleta combustione, sia alla dispersione del calore attraverso le pareti. Per semplicità si supponrà che tutta la perdita di calore avvenga nel focolare e quindi possa essere rappresentata dal rendimento η_B del combustore, definito come rapporto tra il prodotto della portata di gas per l'aumento di entalpia ottenuto e il prodotto della quantità di combustibile bruciato per il suo potere calorifico inferiore.

- **PERDITE DI PRESSIONE**

A causa delle perdite di pressione nel sistema di combustione, la curva di riscaldamento non è più rigorosamente isobara.

Se le perdite sono situate nel combustore, rendono il rapporto di espansione minore del rapporto di compressione. Per tenere conto di queste perdite occorre moltiplicare la rispettiva pressione di entrata (o dividere quella di uscita) per un coefficiente di rendimento manometrico η_p .

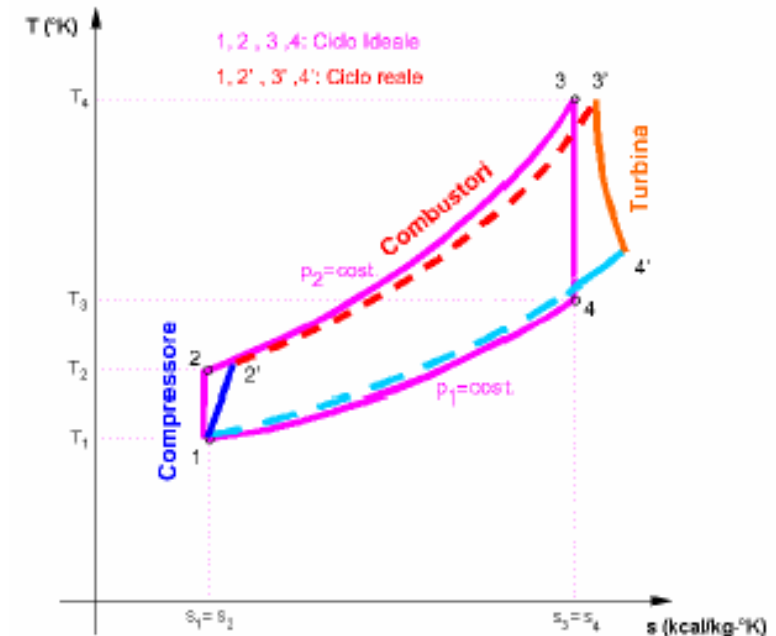
- **PERDITE MECCANICHE**

Sono le perdite meccaniche della turbina η_{me} e del compressore η_{mc} .

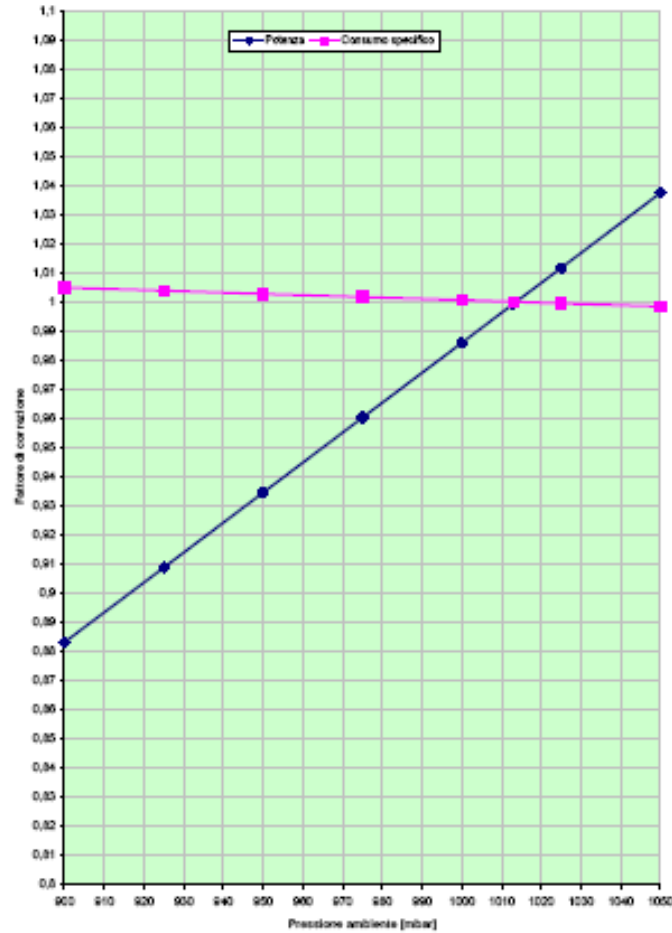
- **PERDITE PER CONSUMO DI ARIA COMPRESSA**

La resistenza termica dei materiali delle parti calde è stata costantemente migliorata facendo ricorso al raffreddamento dei distributori fissi e delle palette rotanti della turbina tramite aria compressa spillata da vari stadi del compressore.

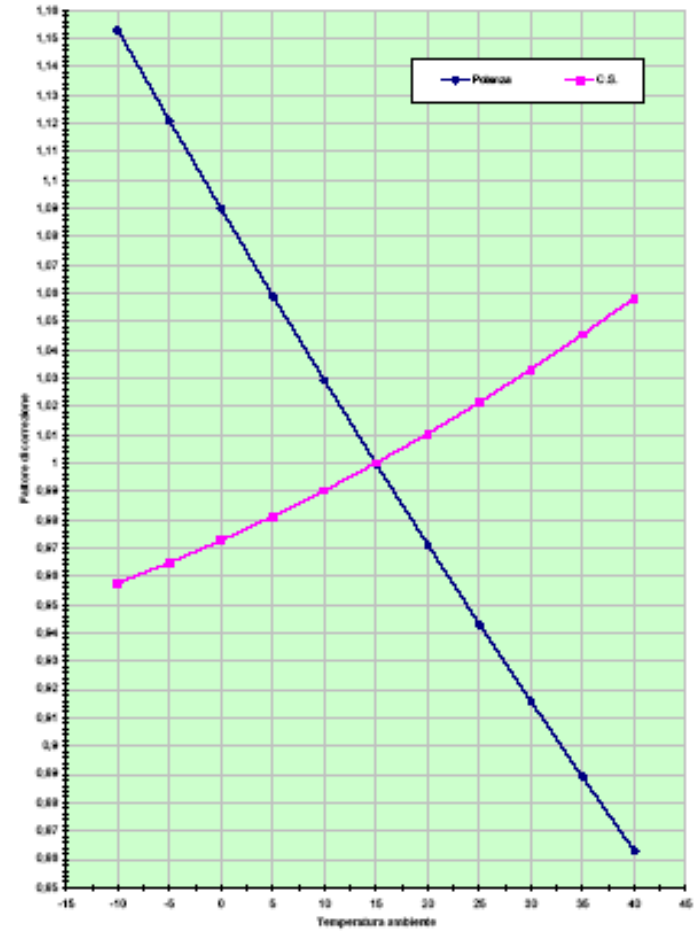
Raffreddare le parti calde introduce dunque delle perdite per consumo di aria compressa spillata dal compressore e per sottrazione di calore nell'espansione dei gas (a causa della fuoriuscita di piccole quantità di aria compressa, che escono dai canali di ventilazione e lambendo le superfici esterne delle palette si miscelano al gas della corrente principale).



Il turbograppo a gas, de-rating ambientale (i)



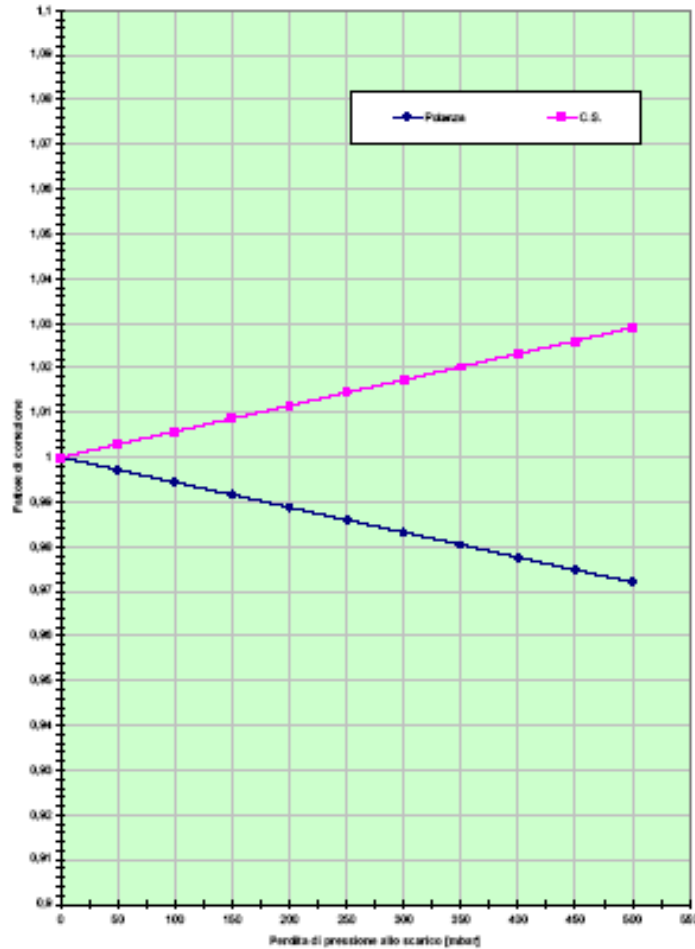
VARIAZIONE DELLA POTENZA E DEL C.S. IN FUNZIONE DELLA PRESSIONE AMBIENTE



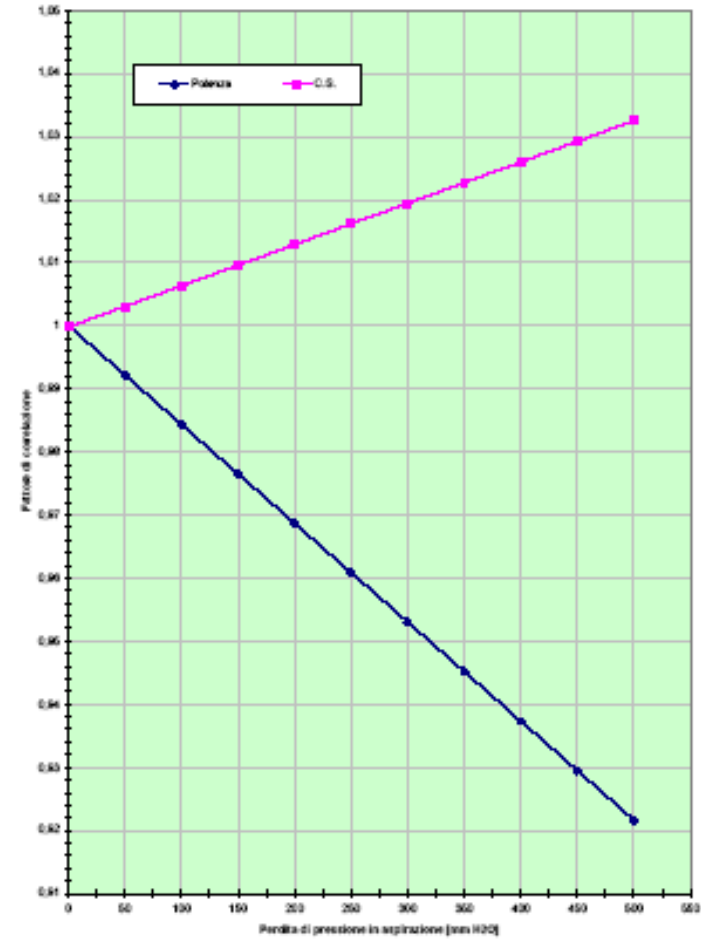
VARIAZIONE POTENZA E C.S. IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA AMBIENTE



Il turbograppo a gas, de-rating ambientale (ii)



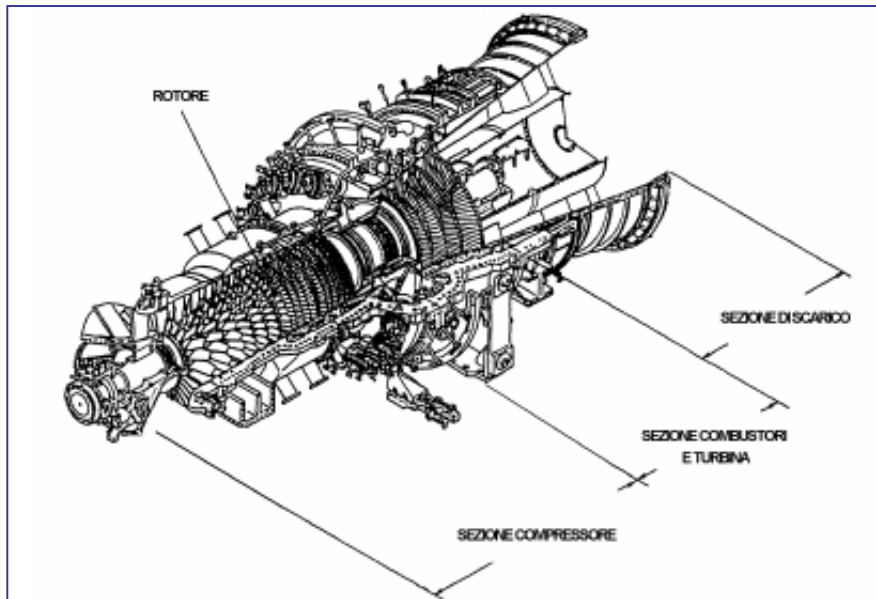
VARIAZIONE POTENZA E C.S. IN FUNZIONE DELLA PERDITA DI PRESSIONE ALLO SCARICO



VARIAZIONE POTENZA E C.S. IN FUNZIONE DELLA PERDITA DI PRESSIONE IN ASPIRAZIONE



Il turbogruppo a gas, caratteristiche costruttive (i)



Esaminiamo la turbina a gas TG FIAT-MITSUBISHI 701F, installata nei cicli combinati della Centrale di La Spezia. Le sue prestazioni sono riassunte nella tabella seguente:

PARAMETRO	Unità di Misura	VALORE
VELOCITA' DI ROTAZIONE	giri/min	3.000
POTENZA NOMINALE	MW	255
POTENZA NETTA (ISO/GAS)	MW	230
PORTATA ARIA (CONDIZIONI ISO)	kg/s	641
RAPPORTO DI COMPRESIONE	β	16/1
TEMPERATURA INGRESSO TURBINA	°C	1.350
STADI DI COMPRESIONE ARIA	n°	17
STADI DI ESPANSIONE GAS	n°	4
TUBI DI FIAMMA	n°	20

Le emissioni a secco (riferite al 15% di O₂) sono le seguenti:

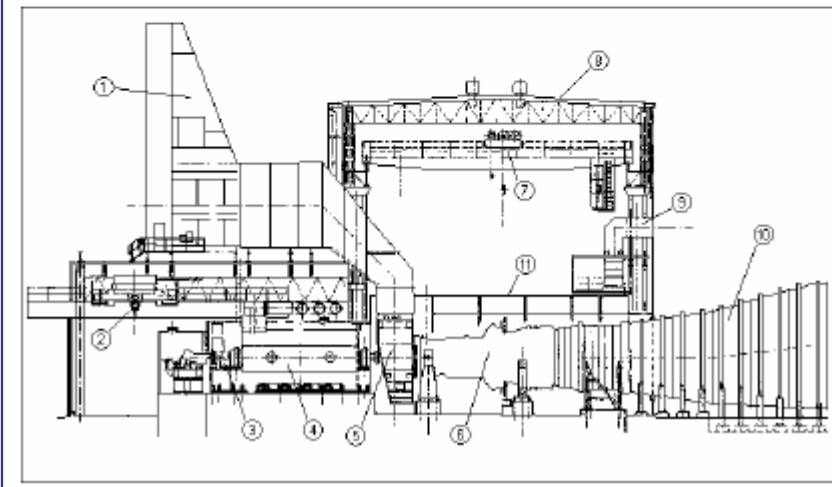
◆ NO _x (100% del carico)	= 60 mg/Nm ³
◆ CO	= 60 mg/Nm ³
◆ UHC	= 10 mg/Nm ³

Si riportano di seguito altre caratteristiche generali:

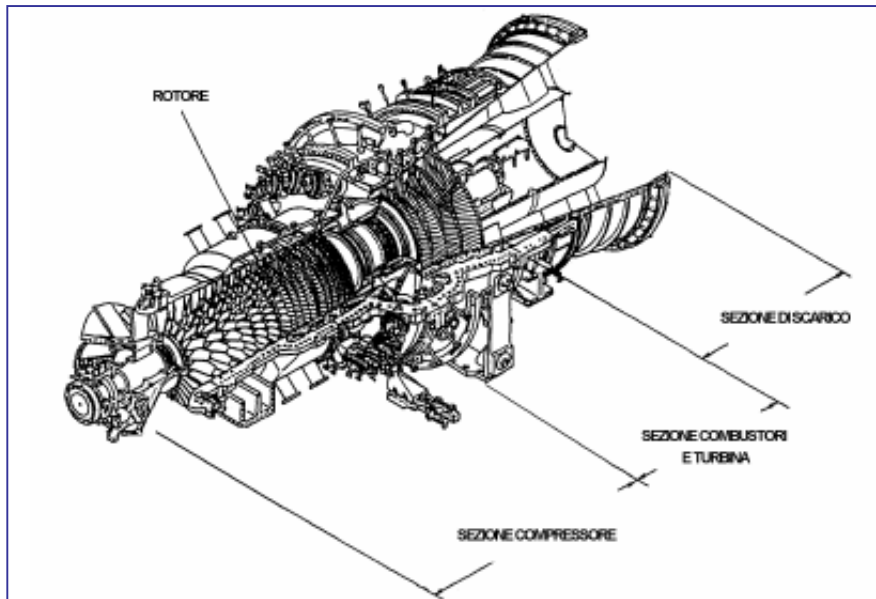
Peso totale del turbogas	330 t
Peso rotore turbina e compressore palezzati	86,4 t
Lunghezza turbogas (flangia alternatore/flangia inizio condotto di scarico)	16,9 m
Larghezza massima turbogas	6,7 m
Altezza linea d'asse riferita al piano di appoggio	4,2 m
Lunghezza rotore (turbogas + compressore)	11,6 m
Diametro massimo rotore	3,3 m
Interasse tra i cuscinetti	8,9 m

L'insieme della linea d'asse (turbogas ed alternatore) è disposta come rappresentato nella figura seguente. Sulla figura si possono evidenziare i seguenti componenti:

1. Camera filtri
2. Carro ponte alternatore
3. Sistema di viraggio
4. Alternatore
5. Voluta di aspirazione
6. Turbogas
7. Carro ponte TG
8. Edificio esterno.
9. Ventilazione cabina TG
10. Diffusore di scarico
11. Cabina TG



Il turbogruppo a gas, caratteristiche costruttive (ii)



Esaminiamo la turbina a gas TG FIAT-MITSUBISHI 701F, installata nei cicli combinati della Centrale di La Spezia. Le sue prestazioni sono riassunte nella tabella seguente:

PARAMETRO	Unità di Misura	VALORE
VELOCITA' DI ROTAZIONE	giri/min	3.000
POTENZA NOMINALE	MW	255
POTENZA NETTA (ISO/GAS)	MW	230
PORTATA ARIA (CONDIZIONI ISO)	kg/s	641
RAPPORTO DI COMPRESIONE	β	16/1
TEMPERATURA INGRESSO TURBINA	°C	1.350
STADI DI COMPRESIONE ARIA	st	17
STADI DI ESPANSIONE GAS	st	4
TUBI DI FIAMMA	st	20

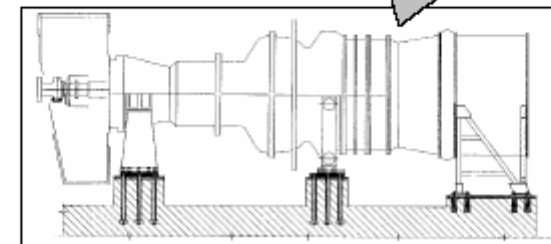
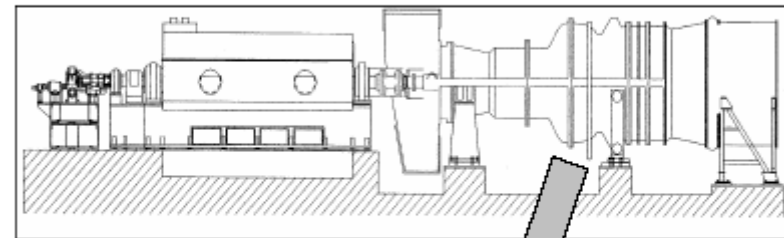
Le emissioni a secco (riferite al 15% di O₂) sono le seguenti:

- ◆ NO_x (100% del carico) = 60 mg/Nm³
- ◆ CO = 60 mg/Nm³
- ◆ UHC = 10 mg/Nm³

La linea d'assi è costituita dai seguenti macchinari (partendo dalla sinistra della figura seguente):

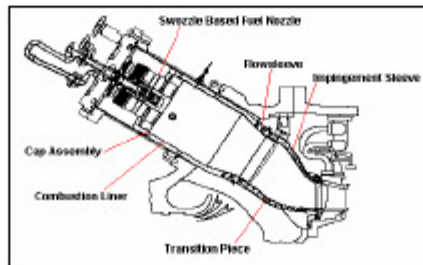
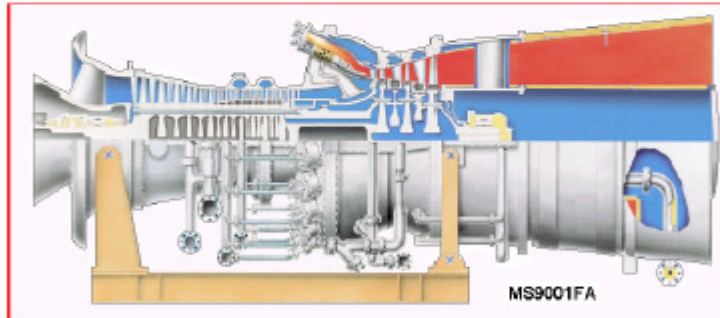
- Sistema di viraggio;
- Giunto autodisinnestante (SSS);
- Giunto a doppia dentatura;
- Alternatore;
- Tronchetto di unione alternatore/TG;
- Turbogas.

La linea d'assi è ancorata alle fondazioni e, per quanto riguarda il turbogas, è sorretta da 3 supporti.



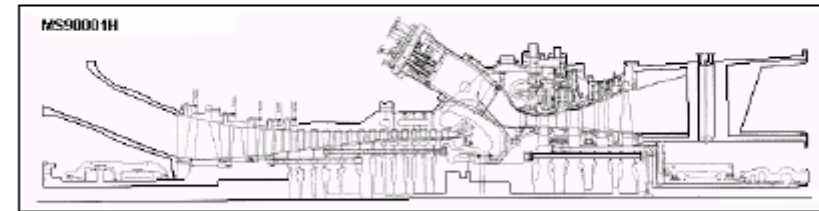
Il turbogruppo a gas, dati di rating

GE Generator Drive Product Line									
Model	Fuel	ISO Base Rating (MW)	Heat Rate (Btu/kWh)	Heat Rate (kJ/kWh)	Exhaust Flow (lb/hr) x10 ³	Exhaust Flow (kg/hr) x10 ³	Exhaust Temp (°F)	Exhaust Temp (°C)	Pressure Ratio
PG5371 (FA)	Gas	26,070	12,060	12,721	985	446	905	485	10,6
	Dist.	25,570	12,180	12,847	998	448	906	486	10,6
PG6581 (B)	Gas	42,100	10,640	11,223	1158	525	1010	543	12,2
	Dist.	41,160	10,730	11,318	1161	526	1011	544	12,1
PG6101 (FA)	Gas	69,430	10,040	10,526	1638	742	1101	594	14,6
	Dist.	74,090	10,680	10,527	1704	772	1079	582	15,0
PG7121 (EA)	Gas	84,360	10,480	11,054	2361	1070	998	536	12,7
	Dist.	87,220	10,950	11,550	2413	1093	993	537	12,9
PG7241 (FA)	Gas	171,700	9,360	9,873	3543	1605	1119	604	15,7
	Dist.	183,800	9,965	10,511	3691	1672	1095	591	16,2
PG7251 (FB)	Gas	184,400	9,245	9,752	3561	1613	1154	623	18,4
	Dist.	177,700	9,975	10,522	3703	1677	1057	569	18,7
PG9171 (E)	Gas	122,500	10,140	10,696	3275	1484	1009	543	12,6
	Dist.	127,300	10,620	11,202	3355	1520	1003	539	12,9
PG9231 (EC)	Gas	169,200	9,770	10,305	4131	1871	1034	557	14,4
	Dist.	179,800	10,360	10,928	4291	1944	1017	547	14,8
PG9351 (FA)	Gas	255,600	9,250	9,757	5118	2318	1127	608	15,3
	Dist.	268,000	9,920	10,464	5337	2418	1106	597	15,8



Turbine a gas MS9001FA							
		100% carico					70%
Temperatura ambiente	°C	15	-15	40	-15	40	15
Umidità relativa	%	60	60	60	90	40	
Perdite all'aspirazione	mm H ₂ O	101,0	101,1	101,1	101,1	101,1	
Perdite allo scarico	mm H ₂ O	306,37	362,26	238,47	362,17	242,49	189,5
p.c.i. combustibile (GN)	kJ/kg	47073	47073	47073	47073	47073	
Temperatura combustibile	°C	25	25	25	25	25	
Potenza elettrica	MW	253,200	283,300	207,000	283,400	208,000	177,200
Consumo specifico	kJ/kWh	9825	9595	10440	9595	10390	11060
Potenza termica	10 ⁶ kJ/h	2486,7	2718,3	2161,1	2719,2	2161,1	1959,8
Portata gas scarico	10 ⁶ kg/h	2362	2604	2062	2603	2081	1834
Temperatura gas scarico	°C	604,4	569,4	631,7	569,4	630	638,3
Potenza termica gas scarico	GJ/h	1509,7	1631,1	1354,6	1631,4	1351,6	1245,4

La nuova generazione di turbine a gas G.E., progettata per raggiungere un rendimento del 60% in ciclo combinato, comprende i modelli MS7001H (per gli impianti a 60 Hz) e MS90001H (per gli impianti a 50 Hz).



	MS7001H	MS90001H
Emissioni NO _x	9 ppm	25 ppm
Portata aria	558 kg/sec	685 kg/sec
Stadi compressore	18	18
Rapporto di compressione	23:1	23:1
Numero combustori	12	14
Temperatura ingresso turbina	1430°C	1430°C
Stadi turbina	4	4



TMRGroup @ DMA-URLS



Il turbograppo a gas, dati di rating

1.2.4. Turbina a gas ALSTOM GT26 da 262 MW



Frequenza	50 Hz
Potenza	262 MW
Rendimento elettrico	38,2%
Consumo specifico	8932 BTU/kWh
Numero giri turbina	3000 rpm
Portata gas di scarico	562 kg/sec
Temperatura gas di scarico	640°C

Compressore

rapporto di compressione	30:1
numero stadi	22
variabile guide vane (VGV)	3
numero di spillamenti	4
numero di blow-off	3



Combustore

tipo di bruciatori	EV / SV
numero bruciatori	20 / 24
NOx (gas)	~25 ppm
NOx (olio)	~42 ppm



La tecnologia di combustione adottata è quella sequenziale.

Esistono due camere di combustione circonferenziali, che utilizzano rispettivamente i bruciatori EV (Environmental) e SEV (Sequential Environmental).

Nella combustione sequenziale il combustibile è iniettato simultaneamente in entrambe le camere.

L'aria che proviene dal compressore subisce un doppio riscaldamento e una doppia espansione, a somiglianza dei cicli Rankine con surriscaldamento e risurriscaldamento.



Bruciatori EV

Turbina

temperatura ingresso	1250°C
numero stadi	1AP + 4BP
numero stadi raffreddati	1AP + 3BP



Turbograppo a gas

A Corsini



TMRGroup @ DMA-URLS

