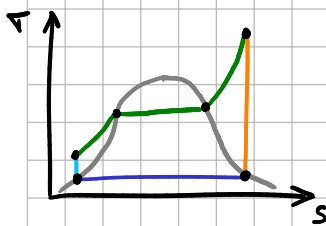


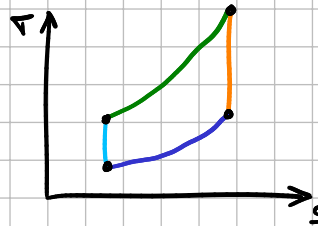
ADDENDUM: LE DIFFERENZE TRA IMPIANTI A GAS E A VAPORE

FLUIDO E CICLO

La turbina a vapore utilizza il vapore ad alta pressione come fluido di lavoro, mentre la turbina a gas utilizza l'aria - generalmente - o altri gas come fluido di lavoro. Questo implica praticamente tutte le differenze elencate di seguito in termini di costituzione dell'impianto, limiti di funzionamento e rendimento e condizioni progettuali varie. La prima distinzione si fa tra i diversi cicli:



CICLI RANKINE
E HARN
(VAPORE)



CICLO JOULE
(GAS)
+ CICLO ERICSSON
COME CICLO LIQUIDE

COMPATTEZZA DELL'IMPIANTO

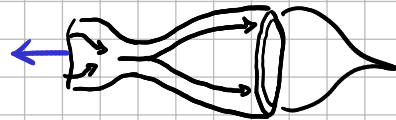
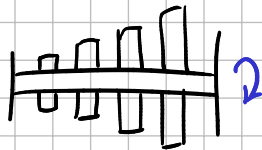
Gli impianti a gas sono più compatti rispetto agli impianti a vapore, a causa dell'assenza del condensatore e del generatore di vapore (che ricordiamo essere notevolmente ingombrante, arrivando a lunghezze delle serpentine dell'ordine del chilometro, con strutture di svariati metri di altezza).

Un impianto a gas non necessita inoltre di acqua per il raffreddamento, siccome le palette sono tenute raffreddate dal gas spillato all'uscita del compressore.

OUTPUT MECCANICO

Gli impianti a vapore producono potenza meccanica sotto forma di coppia all'albero della turbina.

È invece possibile utilizzare gli impianti a gas per produrre potenza meccanica sotto forma di spinta, il che rende questo tipo di impianto perfetto per la propulsione aeronautica (vedasi turbojet, ecc...).



RENDIMENTO E POTENZA MASSIMA

Il rendimento degli imp. a gas è minore di quello delle turbine a vapore perché - malgrado operino a temperature nettamente maggiori ($1100 \sim 1400^\circ\text{C}$ contro 550°C) - hanno anche temperature medie di sottrazione maggiori: ricordiamo che nel Rankine la temperatura media di sottrazione è circa uguale a quella ambiente, mentre non è difficile trovare impianti a gas con temperature nettamente superiori.

Inoltre, malgrado la maggiore temperatura di ingresso alla turbina, negli imp. a gas la potenza massima è inferiore a causa dell'impiego dei compressori, i quali consumano molta più potenza rispetto alle pompe impiegate invece nel Rankine. In generale, operare la compressione su un liquido è meno dispendioso rispetto a comprimere un gas - ricordiamo che è il motivo per cui usiamo il ciclo Rankine al posto del ciclo di Carnot negli imp. a vapore.

È corretto stimare che la potenza della turbina a gas sia più del doppio di quella complessiva dell'impianto.

TEMPI DI REGIMAZIONE

Gli impianti a gas hanno tempi di avviamento molto minori rispetto agli imp. a vapore, per una serie di motivi. Partiamo dal ricordare che gli impianti a vapore producono potenze molto più elevate: è maggiore il salto entalpico di espansione e tutto ciò che è legato ad esso (dunque il numero di stadi e la velocità di rotazione delle turbine). Ricordiamo anche che le turbine a vapore hanno diametri notevoli, dell'ordine di svariati metri, e ad un certo regime di rotazione sono associate velocità al raggio esterno maggiori. L'operazione di start-up è più delicata e può richiedere anche giorni per un "Cold Start" completo (avviamento freddo, con turbina completamente ferma).

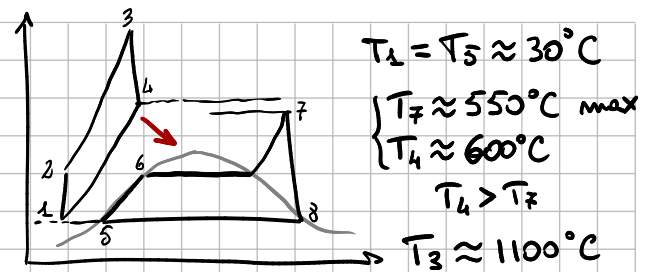
È anche il motivo per cui gli imp. a gas sono di più facile regolazione. Generalmente, gli imp. a vapore invece tendono a mantenersi sulle condizioni di progetto.

Per questo e altri dei motivi elencati sopra - oltre alla disponibilità del fluido di lavoro - nella propulsione aeronautica sono impiegati gli imp. a gas.

IMPIANTI COMBINATI

È possibile combinare il ciclo Joule di un impianto a gas con il ciclo Rankine di un impianto a vapore, dove l'energia termica dei gas allo scarico della TG venga ceduta al vapore.

Si ottiene un ciclo combinato che abbina la elevata temperatura di adduzione dell'impianto a gas con la bassa temperatura di sottrazione dell'impianto a vapore, con un aumento considerevole sia della potenza compressiva sia del rendimento.



Le prime applicazioni risalgono agli anni 60, quando il basso rendimento degli impianti a gas (circa 0.25) non rendeva conveniente l'abbinamento con l'impianto a vapore.

Le cose sono cambiate negli ultimi anni: il rendimento di questo impianto può toccare il 60%, con potenze che superano ampiamente il GW!

Impianti fired:

Il gas combusto è inviato al generatore per una successiva combustione.

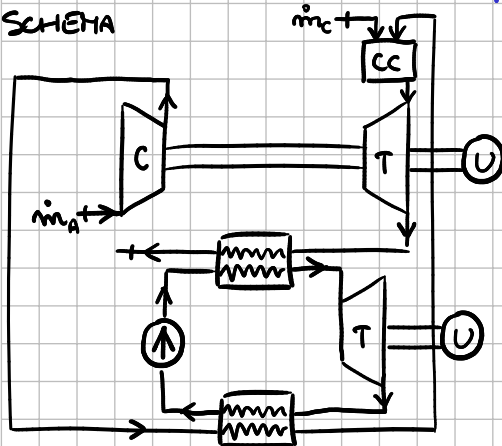
L'eccesso di ossigeno è sufficiente ad ossidare il combustibile.

Impianti unfired:

Non si ha la combustione nel GV, la caldaia è a recupero.

RIPOTENZIAMENTO

SCHEMA



«Il ripotenziamento è una tecnica che permette di migliorare le prestazioni di impianti a vapore esistenti tramite l'installazione di un gruppo turbogas riutilizzando una parte dei macchinari già operativi.

Il feed water repowering consiste nel preriscaldare l'acqua di alimento dell'impianto a vapore con il recupero dei gas di scarico della turbina a gas utilizzando gli scambiatori rigenerativi e sopprimendo così gli spillamenti di vapore in turbina.

Tale tecnica è utilizzabile solo se la turbina a vapore di bassa pressione e il condensatore possono lavorare a portata maggiorata vista la rimozione degli spillamenti. Si tratta di una tecnica non

ottimale dal punto di vista termodinamico poiché lo scambio termico avviene a temperature molto differenti. Il rendimento aumenta di circa 2 punti percentuali, tuttavia le modifiche all'impianto sono minime e fanno della brevità e semplicità d'installazione il loro punto di forza.

Nell'heat recovery repowering, i gas di scarico della turbina a gas vengono usati per produrre il vapore che alimenta la turbina in una caldaia a recupero che sostituisce completamente il generatore di vapore.

Si tratta quindi di una soluzione di tipo unfired utilizzabile solo se la potenza del turbogas risulti adeguatamente maggiorata di quella del gruppo a vapore, quindi principalmente per centrali termoelettriche esistenti di piccola entità (circa 150 MW o meno). A fronte di un incremento di potenza molto elevato (circa il 200%) il rendimento aumenta fino a raggiungere valori del 50% rappresentando così una soluzione molto efficiente dal punto di vista energetico ma che prevede drastiche modifiche all'impianto.

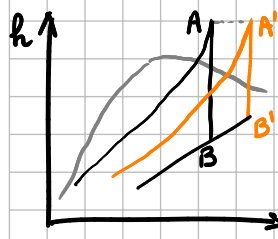
Una tecnica intermedia di boiler repowering prevede l'utilizzo dei gas di scarico della turbina a gas (con contenuto di ossigeno di circa il 15%) come comburente nei bruciatori dell'impianto a vapore in sostituzione o in integrazione all'aria primaria. L'apporto di Entalpia dei gas di scarico risulta elevato riducendo così la portata di combustibile richiesto a parità di potenzialità della caldaia.

L'aumento di potenza è di circa il 40% e questa soluzione risulta la più prestazionale delle tre.

Richiede però modifiche all'impianto più rilevanti, a cui seguono ovviamente maggior costo di installazione e un tempo di fermata maggiore.»

- Wikipedia

REGOLAZIONE DELLA POTENZA



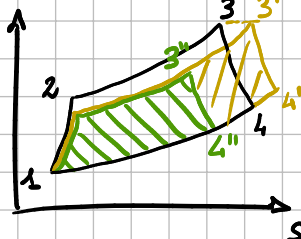
PARZIALIZZAZIONE
LAMINAZIONE
(VAPORE)

$$P_T = \eta \cdot \dot{m}_v \Delta h_s$$

Per gli impianti a vapore è prevista la PARZIALIZZAZIONE del flusso, ossia la riduzione della portata massica agendo sulle valvole di ammissione nei settori al primo stadio. Richiede uno stadio ad azione o a basso grado di reazione.

In alternativa, si può invece ricorrere alla LAMINAZIONE, che consiste nella riduzione del salto entalpico tramite una valvola posta comunque a monte della turbina.

Sempre tenere a mente che ciò che influisce sulla portata influisce anche sul salto entalpico e sul rendimento, e viceversa.



REGOLAZIONE PORTATA
" RAPPORTO DI MISC.
(R_F)

Negli impianti a gas, invece, la regolazione può avvenire agendo sulla portata di gas - con maggiore stress sulla turbina ma insignificante variazione di rendimento - oppure agendo sul rapporto di miscela (portata di combustibile) - a spese del rendimento.

Per gli impianti a gas si tende a non impiegare soluzioni che abbassino ulteriormente il rendimento, siccome questi rendono già meno rispetto agli altri a causa del consumo maggiore del compressore.

STADIO AD AZIONE O A REAZIONE?

Visto il minor rendimento degli stadi ad azione, si preferisce NON impiegarli nelle turbine a gas.

Le turbine a vapore, che non hanno gli stessi problemi di rendimento, possono e dovrebbero impiegare un primo stadio ad azione per smaltire meglio il notevole salto entalpico al primo stadio, e per agevolare la parzializzazione - che ricordiamo si attua a monte della turbina. È bene notare, inoltre, che con la parzializzazione è possibile smaltire la portata in maniera più efficiente, "compensando" la perdita di rendimento: insomma, i benefici superano gli svantaggi, come già abbiamo accennato.

Nelle turbine a gas è bene comunque usare primi stadi a basso grado di reazione siccome vi è comunque da smaltire un notevole salto entalpico a temperature ben più elevate. La scelta progettuale dipende comunque dal produttore.