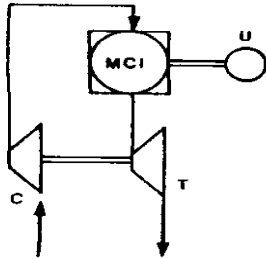


GLI IMPIANTI COMBINATI



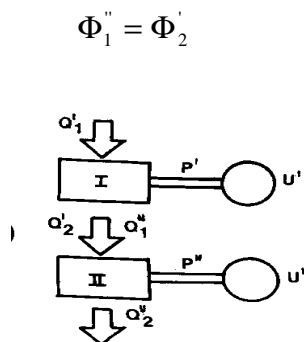
La locuzione “impianti combinati” o “misti” è del tutto generica poiché sta a significare una moltitudine di soluzioni impiantistiche, caratterizzate cioè dal fatto che in esse siano poste a coesistere macchine di tipo diverso o anche impianti di tipo diverso, al fine di ottenere da tale simbiosi prestazioni non conseguibili diversamente. La connessione può essere termica, meccanica ma

in realtà la casistica per noi è diversa. Nell'esempio di figura abbiamo un motore a combustione interna + una turbomacchina, un impianto in cui sono accoppiate macchine di tipo diverso. Come abbiamo già detto l'impianto combinato nasce dalla necessità di raggiungere potenze più elevate e rendimenti più elevati nel complesso. Dal punto di vista della produzione di grande potenza gli impianti combinati che ci interessano sono quelli di 2a categoria cioè impianti di tipo diverso. Per esempio possiamo avere un impianto motore a gas, e utilizzare lo scarico della turbina per preriscaldare l'aria per la combustione di una macchina a vapore. Gli impianti combinati possono essere così classificati

Impianti di tipo A : Macchine di tipo diverso in un unico impianto.

Impianti di tipo B : Impianti diversi interconnessi termicamente, che si dividono in impianti di tipo B₁ in cui il flusso termico ceduto dall'impianto sovrapposto viene interamente assorbito da quello sottoposto, B₂ se ciò non è vero.

IMPIANTI TIPO TIPO B₁



$$\Phi_1'' = \Phi_2'$$

Gli impianti I e II elaborano portate diverse e sicuramente avranno delle potenze diverse. Quando l'impianto sottoposto vive grazie all'energia fornitagli dall'impianto sovrapposto esso è di tipo B₁. Le sorgenti inferiori dell'impianto sovrapposto coincidono con le sorgenti superiori di quello sottoposto. L'idea nasce dalla possibilità di lavorare ad alte e a basse temperature migliorando così l'effetto Carnot. Il rendimento dell'impianto complessivo è noto quando conosciamo i rendimenti dei singoli impianti. Vogliamo vedere le prestazioni di un impianto costituito da due impianti aventi rendimenti η' e η''

$$h' = 1 - q'$$

$$h' - 1 = -\frac{\Phi_2'}{\Phi_1'}$$

$$h'' = 1 - q''$$

$$h'' - 1 = -\frac{\Phi_2''}{\Phi_1''}$$

moltiplicando membro a membro e considerando che con $\eta = 1 - \theta$ indichiamo il rendimento complessivo e che

$$q' = \frac{\Phi_2'}{\Phi_1'}, \quad q'' = \frac{\Phi_2''}{\Phi_1''}, \quad \Phi_1'' = \Phi_2'$$

avremo per il rendimento complessivo

$$h = h' + h'' - h'h''$$

Questa formula molto semplice ci dice che se fossimo in grado di realizzare impianti di tipo B_1 avremo rendimenti elevati.

Esempio:

Impianto a gas sovrapposto con rendimento 0.3. Impianto a vapore sottoposto con rendimento 0.4. L'impianto combinato avrebbe rendimento 0.58, ma anche se il rendimento non raggiunge tali valori a causa delle perdite è comunque vantaggioso in termini di economia di esercizio e in termini ecologici. E' difficile realizzare impianti di tipo B_1 in quanto il flusso termico dell'impianto sovrapposto non coincide con il flusso termico che entra nell'impianto sottoposto. I soli impianti che possono essere considerati di tipo B_1 ma solo approssimativamente sono gli impianti a doppio ciclo vapore di mercurio- vapore d'acqua. Essi si usavano negli anni 50 con una potenza di 25-30 MW. L'impianto sovrapposto era costituito da vapore di mercurio con temperatura elevate, con pressioni modeste al di sotto della decina di bar, mentre l'impianto sottoposto era a vapore d'acqua e funzionava alle basse temperature 30-35 °C con vuoti accettabili. La potenza dell'impianto a vapore era di 40MW. Il vantaggio era dovuto al fatto che all'epoca non c'era la rigenerazione e il doppio surriscaldamento quindi il rendimento di questi impianti arrivava al 35%. Contro il mercurio ha un calore di vaporizzazione 1/9 di quello dell'acqua quindi nello scambiatore occorre un rapporto di 9 a 1 cioè per 1 Kg di acqua occorre 9 Kg di mercurio. Il mercurio in pratica si presta a creare amalgami e non bagna le superfici rendendo difficile lo scambio termico ed essendo anche venefico le fughe di vapore di mercurio non erano tollerate.

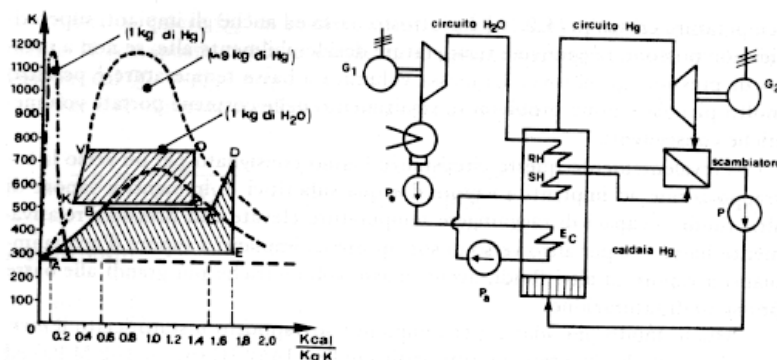


FIG. 9

Mercurio

$P_{\max} = 0,6 \text{ MPa}$ circa 6 bar

$T_{\max} = 474^\circ\text{C}$

$P_{\min} = 7 \text{ KPa}$

$T_{\min} = 275^\circ\text{C}$

Acqua

$P_{\max} = 26,5 \text{ bar}$

$T_{\text{vap}} = 225^\circ\text{C}$

$P_{\min} = 5 \text{ KPa}$

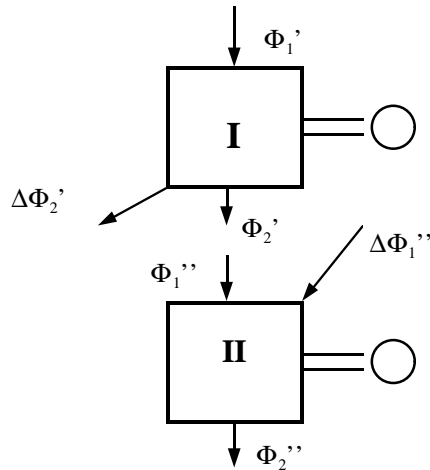
$T_{\min} = 32^\circ\text{C}$

IMPIANTI DI TIPO B₂

Gli impianti di questo tipo sono più interessanti per noi essendo Φ_1'' diverso da Φ_2' perchè:

a) si deve evitare la formazione di H_2SO_4 in quanto è necessario che i fumi escano a temperatura maggiore di quella di rugiada.

b) per non esasperare la superficie di scambio negli scambiatori di calore



Gli impianti di questo tipo sono perciò costituiti dall'impianto I sovrapposto e uno II sottoposto nei quali però a differenza di quelli del tipo B₁ Φ_1'' non è ottenuto solamente a spese dell'impianto I ma con l'aggiunta di calore dall'esterno

$$\Phi_1'' = \Phi_2' - \Delta\Phi_2' + \Delta\Phi_1''$$

$\Delta\Phi_1''$ = flusso termico speso dall' esterno

$\Delta\Phi_2'$ = flusso termico scaricato all' esterno

$$A = \frac{\Delta\Phi_1''}{\Phi_1'} \quad B = \frac{\Delta\Phi_2'}{\Phi_1'} \quad h_1 = 1 - \frac{\Phi_2'}{\Phi_1'} = \frac{P_1}{\Phi_1'} \quad h_2 = 1 - \frac{\Phi_2''}{\Phi_1''} = \frac{P_2}{\Phi_1''}$$

$$h = \frac{P}{\Phi_1} = \frac{P_1 + P_2}{\Phi_1' + \Delta\Phi_1''} = \frac{h_1\Phi_1' + h_2\Phi_1''}{\Phi_1' + \Delta\Phi_1''} = \frac{h_1 + h_2 \frac{\Phi_1''}{\Phi_1'}}{1 + \frac{\Delta\Phi_1''}{\Phi_1'}} = \frac{h_1 + h_2 \frac{\Phi_2' + \Delta\Phi_1'' - \Delta\Phi_2'}{\Phi_1'}}{1 + A} =$$

$$= \frac{h_1 + h_2(1 - h_1) + h_2A - h_2B}{1 + A} = \frac{h_1 + h_2 - h_1h_2 + h_2A - h_2B}{1 + A} = \frac{h_1 + h_2(1 + A - B) - h_1h_2}{1 + A}$$

Si rende necessario fornire dall' esterno $\Delta\Phi_1''$ per alimentare l' impianto sottoposto allo scopo di ottenere grandi prestazioni (si vogliono temperature elevate). Per un impianto sottoposto a vapore e un impianto sovrapposto a gas a 550 °C non è possibile ottenere vapore. $\Delta\Phi_2'$ che va all'esterno è dovuto alle perdite ed è scaricato per motivi di salute termodinamica dell'impianto. Infatti non possiamo sacrificare il gas a temperature inferiori a quella di rugiada in quanto avremo corrosioni. $\Delta\Phi_1''$, $\Delta\Phi_1'$ sono premesse ineluttabili in un impianto combinato che vede impianti di tipo diverso cioè di tipo B₂. La soluzione oggi più importante con diffusione di oneri finanziari sono quelle gas vapore. L'impianto a gas a combustione interna consente lo sfruttamento delle alte temperature. Le alte temperature alle sorgenti superiori è un fatto positivo, come è positivo lavorare con il vapore a 30-35°C a sorgente unica (effetto Carnot). Questo consente di raggiungere vantaggi sul lavoro specifico e sui rendimenti. Entrare nel dettaglio di questi impianti richiede molto tempo. Si tratta di soluzione con varianti di interfacciamento e circuitali con variabili dei parametri molto ampie.

Possiamo distinguere 2 campi applicativi

1) Impianti ex nuovi

2) Si vuole interfacciare un impianto a vapore già funzionante con un impianto a gas (potenziamento), sovrapposizione di 1-2 gruppi gas in parallelo.

La soluzione ex nuovo si pone di condizioni vergini di progetto in quanto si può operare su tutto.

SOLUZIONI GAS VAPORE

a) soluzione con caldaia a recupero per scambio convettivo senza post bruciatore.

b) soluzione con caldaia a recupero più post bruciatore, abbiamo la $\Delta\Phi_1$ "I gas di scarico della turbina, essendo dotati di un elevatissimo eccesso d' aria, sono suscettibili di una seconda combustione.

La soluzione con caldaia a recupero è destinata a piccoli impianti di basso livello, mentre quella con caldaia a recupero + post bruciatore è la soluzione di mezzo. Per le soluzioni di potenziamento non si riesce a progettare bene l'interfacciamento per motivi economici

