

## Capitolo 21

Il ciclo rigenerativo (Cap. 20) diventa impraticabile quando si voglia recuperare l'energia termica contenuta nei gas di scarico di turbine a gas aventi rapporti di compressione molto elevati perché si raggiunge, alla mandata del compressore assiale, una temperatura dell'aria prossima a quella dei gas di scarico ( $\cong 500^\circ$ ). Per aumentare l'efficienza degli impianti con turbina a gas si ricorre, quindi, a un ciclo combinato gas-vapore: i gas di scarico ad alta temperatura della turbina non vengono dispersi nell'atmosfera, ma vengono utilizzati per produrre vapore, a sua volta utilizzabile per produrre energia. Mentre l'impiego del ciclo rigenerativo permette solo un aumento del rendimento, lasciando invariata la potenza massima erogabile dalla turbina a gas, il ciclo combinato comporta un miglioramento del rendimento e un aumento ( $\cong 30\%$ ) della potenza erogabile dall'impianto rispetto alla marcia a ciclo aperto. I cicli combinati (Brayton + Rankine) rappresentano il metodo a più alto rendimento per produrre energia elettrica o meccanica partendo da idrocarburi liquidi o gassosi. *Nel rispetto dell'ambiente, le risorse non rinnovabili devono essere utilizzate con processi di trasformazione che abbiano il rendimento più elevato possibile.*

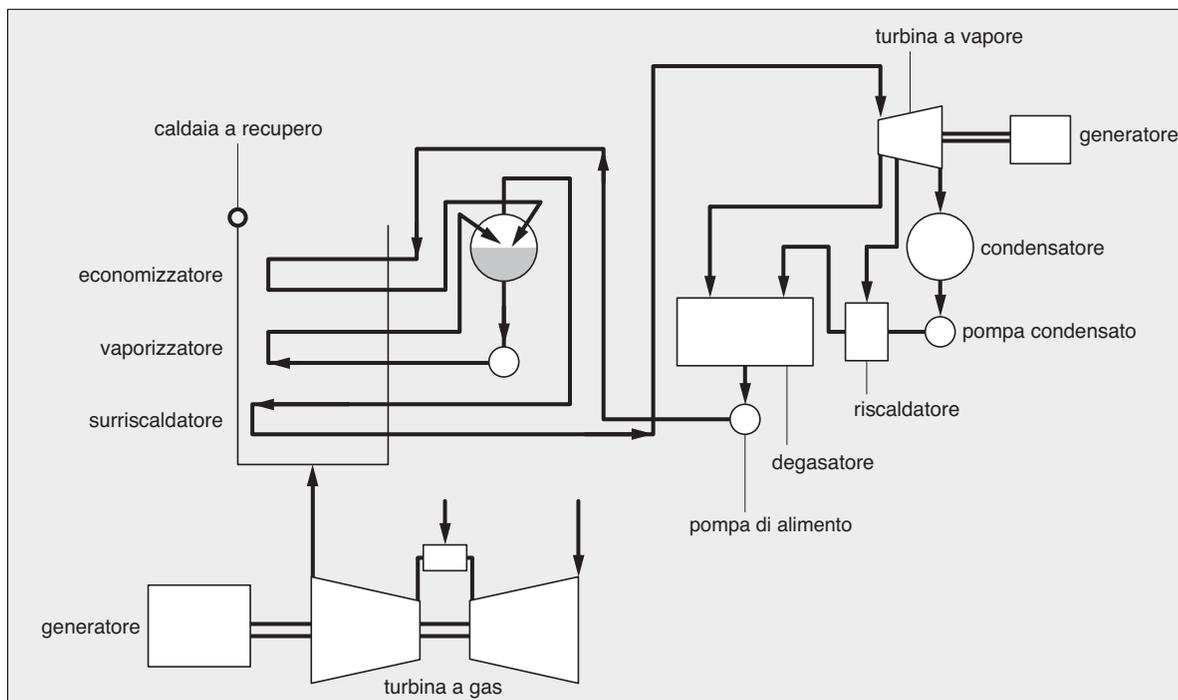
In figura è riportato lo schema di un ciclo combinato fra i più semplici, nel quale i gas di scarico della turbina a gas vengono inviati alla caldaia a recupero senza postcombustione. Si nota che il ciclo a vapore presenta spillamenti dalla turbina, per il riscaldamento dell'acqua di alimento. Questa soluzione, tipica degli anni Sessanta, era motivata dalla neces-

sità di entrare nell'economizzatore della caldaia a temperature dell'acqua sufficientemente elevate per evitare l'attacco acido dei tubi, in quanto il combustibile utilizzato più frequentemente in quegli anni era liquido con elevata percentuale di zolfo.

Nei cicli combinati, la postcombustione viene impiegata solo quando c'è la necessità di coprire brevi punte di produzione di energia elettrica o quando il ciclo combinato è integrato in un impianto di cogenerazione (ad esempio nel teleriscaldamento dove nel periodo estivo c'è quasi esclusivamente produzione di energia elettrica, mentre le punte di fabbisogno di calore d'inverno sono soddisfatte con la postcombustione). Il componente principale di un ciclo combinato è la turbina a gas perché produce circa 2/3 della potenza globale del ciclo e perché le sue prestazioni sono quelle che influenzano maggiormente il rendimento del ciclo.

La **cogenerazione** è la produzione congiunta di energia elettrica ed energia termica (vapore in pressione o acqua calda). Un impianto di cogenerazione può anche essere a ciclo combinato.

La turbina a gas presenta, come ogni altra macchina termica, problemi di **emissioni nocive** in quanto è caratterizzata da una combustione in forte eccesso d'aria ed emette ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ); emissione che cresce esponenzialmente col crescere della temperatura di fiamma. Scendere con la temperatura di fiamma oltre un certo limite provoca un brusco aumento delle emissioni di CO. Il combustibile ha una sua influenza sulla temperatura di fiamma e quindi



sulle emissioni di  $\text{NO}_x$ ; il metano ad esempio, dà origine a temperature più basse rispetto ad altri combustibili, e quindi è meno inquinante. I primi sistemi che furono realizzati per ridurre le emissioni allo scarico prevedevano l'iniezione di acqua demineralizzata o di vapore in camera di combustione. Ora si usano, per combustibili gassosi, tecnologie di tipo a secco (DLN, acronimo di Dry Low Nox).

I **moderni criteri di manutenzione** prevedono la diagnosi dello *stato di salute* di una macchina prima che si manifestino rotture o decadimenti significativi delle prestazioni. Fu introdotta, soprattutto per le turbine a gas, la manutenzione preventiva ispezionando la macchina a intervalli di tempo determinati in base all'esperienza accumulata su macchine simili, in modo da sostituire i componenti usurati prima della loro rottura. A tali metodologie si è affiancato un sistema diagnostico derivato da un analogo sistema di monitoraggio del funzionamento

delle turbine in campo aeronautico che permette di conoscere costantemente le condizioni di funzionamento di turbocompressori, turbopompe e turbogeneratori installati in impianti industriali, per poter eseguire interventi di manutenzione mirati (*on condition*) cioè solamente quando i componenti interni raggiungono un punto di usura tale che renda necessaria la manutenzione.

L'Analisi diagnostica è strutturata su:

- **analisi di Tendenza** degli andamenti delle grandezze fisiche misurate e calcolate di breve e di lungo periodo (ad es. la temperatura allo scarico);
- **analisi** in frequenza dei segnali **di Vibrazioni**;
- **analisi Termodinamica**: si basa su un modello matematico rappresentato da un sistema di equazioni la cui risoluzione consente di ottenere le deviazioni di tutte le sezioni della macchina.