

Capitolo 30

Nelle macchine termiche, il rendimento della palettatura non costituisce l'unico fattore di riduzione della potenza, ma vi sono anche altri tipi di perdite.

- **Perdite per urto contro il vapore stagnante:** nelle turbine ad azione con distributore parzializzato, un condotto mobile, appena abbandonato l'arco di azione del distributore, non riceve altro fluido e l'ultima aliquota di vapore vi ristagna fino a quando il condotto non viene di nuovo investito dal flusso uscente dal distributore che urta contro quello stagnante e produce la perdita suddetta.
- **Perdite per sottoraffreddamento:** si manifestano nelle zone di bassa pressione delle turbine; per poter giungere a una parziale condensazione, il vapore impiega un certo tempo che può essere superiore alla rapida espansione; quindi, raggiunta rapidamente la bassa pressione, esso, anziché presentare un titolo di umidità x , conserva ancora lo stato di vapore saturo secco. In tale stato instabile il fluido viene definito **sottoraffreddato** o **soprasaturo**: ha una temperatura minore e un'entalpia maggiore di quelle corrispondenti allo stato fisico che esso assumerebbe se non si manifestasse tale fenomeno e ciò diminuisce il salto entalpico disponibile. Per ridurre tale perdita si opera con vapore ad alto grado di surriscaldamento o mediante espansione parziale e surriscaldamenti ripetuti.
- **Perdite per umidità allo scarico:** sono dovute alle particelle liquide formati in seguito alla parziale condensazione subita dal fluido al termine dell'espansione. Le particelle liquide, aventi una massa maggiore di quelle aeriformi subiscono maggiormente l'azione della forza centrifuga, oltre che nuocere alle palette mobili. Queste perdite si possono ridurre contenendo il titolo a fine espansione a valori compresi fra $0,88 \div 0,9$.
- **Perdite per attrito dei dischi** si manifesta nelle turbine ad azione e in quelle a reazione se queste ultime sono a struttura a dischi separati.
- **Perdite per effetto ventilante** si manifesta nelle turbine ad azione ma non ha luogo se il distributore abbraccia tutta la circonferenza della motrice; altrimenti, le palette dell'organo mobile si muovono in un ambiente privo di vapore che per effetto della forza centrifuga viene spinto verso la periferia.
- **Perdite per fughe di vapore** che effluisce attraverso giochi fra parti fisse e parti mobili (in presenza di una differenza di pressione); sono quasi nulle nelle turbine a salti di velocità, ma possono essere alte in una motrice a salti di pressione o a reazione.
- **Perdite esterne:** sono dovute:
 - ad attriti meccanici,
 - all'energia assorbita dai macchinari ausiliari.

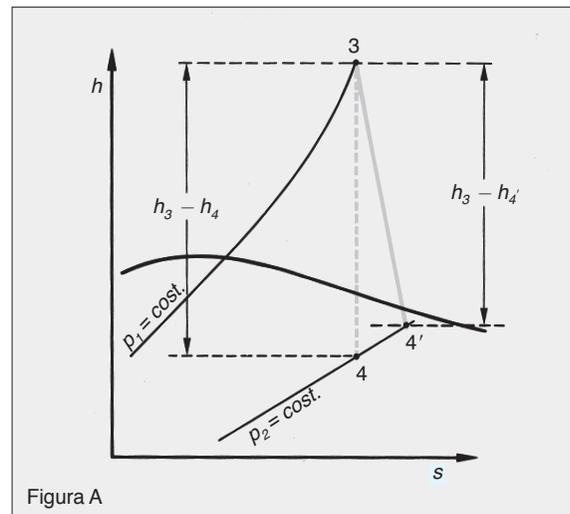


Figura A

In analogia con le macchine idrauliche, anche le macchine termiche presentano un rendimento totale funzione di una catena di rendimenti parziali.

- **Rendimento interno** (comprende il rendimento della palettatura e quello volumetrico) η_i ($0,75 \div 0,88$): rapporto fra l'energia ceduta dal vapore alla macchina e l'energia per essa disponibile; in riferimento alla figura A:

$$\eta_i = \frac{h_3 - h_{4'}}{h_3 - h_4} \quad (30.1)$$

da cui la potenza interna della turbina è:

$$P_i = \eta_i \cdot q_{mv} \cdot (h_3 - h_4) \quad (30.9)$$

dove q_{mv} è la portata massica di vapore e $q_{mv} \cdot (h_3 - h_4)$ è la potenza teoricamente disponibile P_t .

- **Rendimento meccanico** η_m ($0,96 \div 0,99$): se P_i è la potenza interna conferita alla macchina dal vapore e P_u la potenza utile resa all'albero della motrice, il rendimento meccanico η_m e quello totale η sono:

$$\eta_m = \frac{P_u}{P_i} \quad (30.2) \quad \eta = \eta_i \cdot \eta_m \quad (30.3)$$

Indicando con q_{mc} la portata massica di combustibile, il rendimento globale dell'impianto, a meno delle perdite dovute al condensatore, alle pompe e alle tubazioni di collegamento, è dato da:

$$\eta_l = \eta \cdot \eta_g \cdot \eta_{id} = \frac{P_u}{q_{mc} \cdot P_{ci}} \quad (30.12)$$

dove η_g è il rendimento del generatore e η_{id} il rendimento termico ideale del ciclo.

Il principale campo di applicazione delle turbine a vapore è costituito dalle centrali termoelettriche. Nella progettazione di impianti di questa mole, vengono sfruttati tutti gli accorgimenti per rendere più alto

possibile il rendimento: vapore ad alta pressione, gradi di surriscaldamento molto elevati, surriscaldamenti intermedi, condensazione del vapore a bassa temperatura e preriscaldamento del condensato prima di inviarlo di nuovo in caldaia.

Consideriamo il prelievo (**spillamenti**) del vapore necessario al preriscaldamento esclusivamente dal punto di vista relativo alla turbina; i prelievi sono effettuati in un punto della macchina ove le caratteristiche del vapore (ben determinate) siano tali da consentire il voluto effetto riscaldante. **Fissando, ad esempio, una temperatura di 170 °C**, si determina sul diagramma di Mollier il punto di incontro fra la linea dell'espansione reale e l'isotermica alla temperatura di 170 °C, si ricavano dal grafico le altre caratteristiche del vapore (pressione, entalpia e volume specifico) necessarie per il calcolo del preriscaldatore. **A seconda del tipo di turbina lo stato fisico reale del vapore si discosta più o meno da quello teorico previsto.** È facile rispettare le previsioni in una turbina a reazione, o nella zona a valle di una turbina mista, mentre non lo è nelle turbine ad azione. Una volta determinato lo stato fisico del fluido, si deve stabilire ancora la quantità di vapore da prelevare (desumibile con un calcolo basato sullo scambio del calore). **Talvolta si preleva il vapore sufficiente per ottenere il preriscaldamento voluto, facendolo condensare completamente entro lo scambiatore;** in questo caso lo scambiatore è corredato da uno scaricatore di condensa. Un'altra soluzione impiantistica si ottiene **spillando una quantità di vapore superiore a quella necessaria per operare il preriscaldamento parziale in un singolo scambiatore, il fluido scaldante esce dall'apparecchio dotato ancora di una certa entalpia che gli consente di passare direttamente a un altro preriscaldatore.** Gli spillamenti di vapore, oltre a consentire un efficace recupero del calore, giovano alla realizzazione pratica della turbina in quanto sottraggono alla macchina una certa aliquota del fluido nelle zone più basse ove il vapore, per il suo alto volume specifico, richiede ampi passaggi e costringe il progettista a dimensionare le palette eccedendo in altezza con conseguente incremento delle sollecitazioni dovute alla forza centrifuga. Nelle grandi macchine si ricorre anche alla scomposizione della turbina in più corpi, conseguendo il vantaggio (a scapito della semplicità costruttiva) di ridurre al minimo la disuniformità di dilatazioni dovuta al graduale decremento di temperatura entro la macchina nel senso monte-valle. Si usa classificare i singoli corpi della turbina in:

- **corpo di alta pressione (A.P.):** quello che riceve il vapore direttamente dalla motrice;
- **corpo di bassa pressione (B.P.):** quello che è in comunicazione con il condensatore;
- **corpi di media pressione (M.P.):** tutti quelli intermedi.

Le forme e la disposizione dei vari corpi possono essere diverse e tanto più complesse quanto più alta è

la potenza erogata.

Nella **propulsione navale** si utilizza vapore a 40 ÷ 60 bar prodotto da due o più generatori del tipo a tubi d'acqua, corredati da un condensatore che consente il recupero quasi totale del condensato, condizione indispensabile sulle navi a causa della scarsità di acqua pura. **La turbina è suddivisa in due corpi (A.P. di tipo misto e B.P. completamente a reazione), ad alberi paralleli** su ciascuno dei quali è calettata una ruota dentata che consente di ridurre il regime di rotazione dell'elica a un valore tollerabile. Le ruote sono a dentatura bielicoide per ridurre rumorosità e vibrazioni ed eliminare la spinta assiale tipica degli ingranaggi a semplice elicoide. La turbina a B.P. porta alcune corone di palette ad azione disposte in modo da ottenere l'inversione di marcia della macchina, sviluppando una potenza ridotta.

In un grande **stabilimento industriale** il vapore prodotto dalla caldaia viene utilizzato per scopi diversi oltre a quello principale di alimentazione della turbina. **L'espansione del fluido entro la motrice sarà limitata a una pressione di scarico pari a quella richiesta per l'utilizzazione nei servizi ausiliari** (impianti a recupero). Poiché **i servizi tecnologici dovrebbero utilizzare in ogni istante una quantità di vapore esattamente uguale a quella elaborata dalla turbina, cosa improbabile, la turbina viene progettata in modo che il suo consumo (nelle condizioni di massimo carico) sia uguale o leggermente inferiore alla massima richiesta di vapore per uso tecnologico.**

L'**avviamento** di una turbina a vapore non presenta problemi se è stata fermata da breve tempo. Se la sosta è prolungata, la motrice deve essere preventivamente riscaldata in modo lento e graduale in modo che le dilatazioni siano lente ed uniformi nelle varie parti della macchina. Si inizia con il porre in azione l'impianto di lubrificazione inserendo la pompa ausiliaria (qualora quella principale sia azionata dalla turbina) ed escludendo temporaneamente i refrigeranti dell'olio in modo che la temperatura del lubrificante non risulti inferiore (all'ingresso) a 32 °C. Si aprono opportune valvole di spurgo poste inferiormente alla cassa della macchina per espellere l'eventuale liquido condensato del precedente esercizio; poi si inietta saltuariamente vapore, in quantità limitata, ai manicotti di tenuta in modo da diffonderlo lentamente entro l'involucro, riscaldandolo. Dopo un breve periodo di tempo, si inizia a far ruotare la turbina molto lentamente a mezzo di un apposito **viratore** azionato da un motore indipendente e collegato all'albero della macchina con una riduzione a ingranaggi (per uniformare le temperature nell'interno dell'involucro). A riscaldamento avanzato, si esclude il viratore e si prosegue la rotazione mediante vapore vivo, aprendo lievemente la valvola principale di ammissione alla motrice. Ultimato il riscaldamento, per avviare la motrice si opera sulla valvola principale del vapore.

Per la **condotta** ci si limita in genere a controllare periodicamente l'efflusso dell'olio lubrificante e la sua temperatura all'uscita dei cuscinetti per evitare dannosi surriscaldamenti.

Per quanto concerne la **regolazione** del momento motore prodotto da una turbina, esso, a parità di numero di giri al minuto, dipende esclusivamente dalla potenza erogata che può essere regolata agendo:

- sul salto entalpico disponibile (regolazione *per strozzamento*) riducendo l'apertura della valvola di manovra, posta sulla tubazione principale;
- sulla portata oraria di vapore q_{mv} elaborata dalla macchina (regolazione per parzializzazione) escludendo qualche ugello che compone il distributore chiudendo una o più valvole appositamente previste.