

Capitolo 24

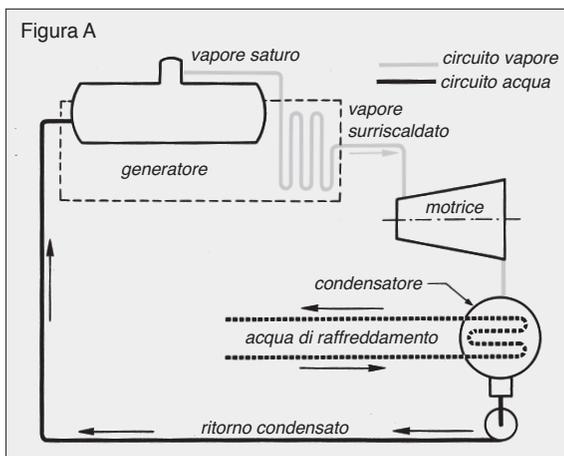
L'impiego del vapore surriscaldato nelle motrici a vapore consente di incrementare il *dislivello termico* fra la sezione di entrata e quella di uscita della macchina, conseguendo un maggior sfruttamento dell'energia disponibile sotto forma di calore. La somministrazione di calore al vapore saturo non può avvenire entro il collettore di una caldaia ma occorre estrarre il vapore umido e inviarlo in una serie di tubi lambiti esternamente dai prodotti della combustione, dove, non essendo in presenza del liquido, esso può essiccarsi e poi aumentare di temperatura passando allo stato di vapore surriscaldato. I tubi impiegati nei surriscaldatori sono in genere di piccolo diametro per rendere più veloce la circolazione del vapore. Le forme dei circuiti sono diverse, la superficie del surriscaldatore si calcola con il flusso termico Φ scambiato fra i fumi e il vapore effluente entro i tubi:

$$S_s = \frac{\Phi}{K \cdot \Delta t_{ml}} \quad (24.7)$$

$$\Delta t_{ml} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)}$$

dove il coefficiente di trasmissione totale $K = 35 \div 45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ o $K = 0,0175 \cdot q^2_{mvs}$ (24.8), $\Delta t_1 = t'_f - t_s$ e $\Delta t_2 = t''_f - t_e$ in cui t'_f e t''_f sono rispettivamente le temperature dei fumi a monte e a valle del surriscaldatore, t_s è prefissata e t_e la temperatura di ebollizione.

Analizziamo il funzionamento di un impianto a vapore (figura A): il fluido vaporizzato entro la caldaia viene lasciato espandere nella motrice, poi condensato in un **condensatore** e infine ricondotto, mediante delle pompe, entro il collettore del generatore per riprendere il ciclo. Il condensato viene ricondotto in caldaia ove si trova altra acqua alla temperatura t_e corrispondente alla pressione di esercizio; l'introduzione di acqua relativamente fredda nel collettore può provocare pericolose difformità termiche e di-



latazioni di diversa entità che possono compromettere la resistenza di alcune parti del generatore. Sorge la necessità di preriscaldare gradualmente il condensato prelevato con la pompa, fino a portarlo a una temperatura prossima a quella esistente in caldaia con l'**economizzatore** posto nell'interno del generatore. Il suo impiego, inserito sul percorso dei fumi prima che questi abbandonino il generatore, è doppiamente vantaggioso poiché permette anche di utilizzare il calore residuo che altrimenti sarebbe perduto. Occorre, però, tener presente anche le esigenze del sistema di tiraggio previsto in quanto l'installazione di un economizzatore, con conseguente riduzione della temperatura dei fumi, renderebbe precario il sistema per la minor depressione prodotta e per l'aumento delle perdite di carico connesse alla presenza della nuova serie di tubi. L'**economizzatore** di tipo più comune è costituito da una serie di **tubi lisci** ad asse rettilineo (perpendicolari al percorso dei fumi) ma richiede una continua asportazione del polverino depositato sui tubi che riduce il coefficiente di trasmissione tramite un sistema di *raschiatori*. **Gli economizzatori a tubi nervati** aumentano di $3 \div 4$ volte la superficie di scambio ma vi è una maggiore perdita di carico incontrata dai fumi e difficoltà nella loro pulizia. Un altro tipo è l'**economizzatore rotante** formato da tubi di rame, irrobustiti da alette di acciaio trasversali, che ruotano entro una cassa ove penetrano i prodotti della combustione; l'acqua da riscaldare entra nel tubo che è coassiale all'albero principale, si dirama nei vari serpentine e li percorre assorbendo il calore dei fumi. Questi ultimi, trascinati in rotazione dal complesso dei tubi, incrementano la propria velocità realizzando una buona trasmissione del calore. Questo tipo di economizzatore offre un ottimo rendimento ma richiede energia per il suo azionamento, è costoso e di difficile manutenzione.

Quale che sia il tipo di economizzatore adottato:

- **all'ingresso la temperatura dei fumi deve essere di circa $100 \text{ }^\circ\text{C} \div 150 \text{ }^\circ\text{C}$ superiore a quella del vapore saturo prodotto in caldaia;**
- **all'uscita, la temperatura dei fumi deve superare di circa $50 \text{ }^\circ\text{C}$ la temperatura dell'acqua uscente dall'economizzatore.**

Indicando con t'_a e t''_a le temperature di ingresso e di uscita dell'acqua nell'economizzatore, con t'_f e t''_f le corrispondenti temperature dei fumi, e con K il coefficiente di trasmissione totale, si può ricavare la superficie dell'economizzatore Se dalla relazione:

$$\Phi = S_e \cdot K \cdot \Delta t_{ml} \quad (24.9)$$

dove Δt_{ml} è la stessa della (24.7) in cui $\Delta t_1 = t'_f - t''_a$ e $\Delta t_2 = t''_f - t'_a$, $K = 14 \div 23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ o $K = (6 \div 12) \cdot \sqrt{v} + 2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ dove v ($5 \div 8 \text{ m/s}$) è la velocità dei fumi.

Un ulteriore recupero del calore contenuto nei fumi si consegue installando, a valle dell'economizzatore, un **preriscaldatore** dell'aria comburente; immettendo nel focolare aria preriscaldata si ottiene un sensibile aumento della temperatura di combustione t_c ; inoltre, da un lato si utilizza il calore residuo dei fumi riducendo l'entità della perdita al camino, dall'altro si aumenta t_c , creando le migliori condizioni per la trasmissione del calore:

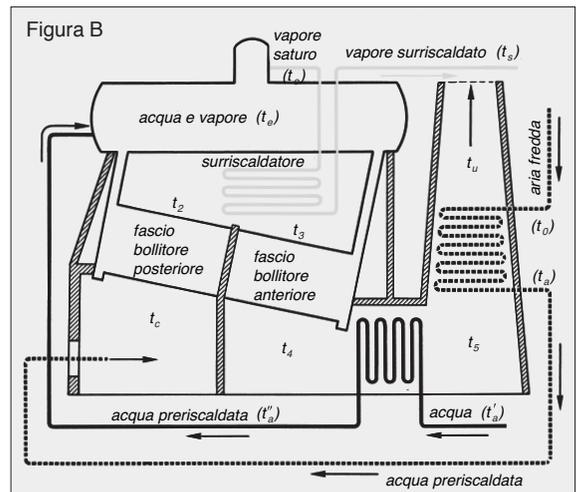
- la temperatura di ingresso dell'aria coincide con la temperatura ambiente; si cercherà quindi di effettuare il prelievo nel punto più caldo del locale;
- la temperatura di uscita dell'aria ($200 \div 300 \text{ }^\circ\text{C}$) dipende dalla quantità di calore disponibile nei fumi e dalla necessità di utilizzazione connesse al tipo di combustibile, di focolare ecc.;
- la temperatura di ingresso dei fumi dipende dalla presenza o meno dell'economizzatore; essa è di poco inferiore alla temperatura dei fumi all'uscita da quest'ultimo se esiste, altrimenti è valutata in funzione del calore necessario all'aria comburente;
- la temperatura di uscita dei fumi può scendere fino a circa $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Per quanto riguarda la forma costruttiva vi sono:

- preriscaldatori a fascio tubiero: una serie di tubi lisci paralleli percorsi internamente dai fumi e investiti lateralmente dall'aria che è obbligata a compiere un percorso sinuoso sfruttando al massimo il calore dei prodotti della combustione;
- preriscaldatori a camere parallele: i tubi sono sostituiti da sottili lamine metalliche che suddividono l'interno di un cassone in tante cellette di piccolo spessore, metà delle quali sono attraversate dai fumi e l'altra metà dall'aria, in modo che ogni celletta in cui passa l'aria abbia ai due lati altre cellette percorse dai fumi caldi;
- preriscaldatore Ljungstrom: un tamburo porta un gran numero di sottili lamelle disposte in senso radiale saldate ad altre che circondano il tamburo, rotante a bassissima velocità entro una camera cilindrica, metà della quale è attraversata dai fumi caldi e l'altra metà dall'aria comburente. Nel moto di rotazione le lamelle a contatto con i fumi si riscaldano e cedono il loro calore all'aria quando, compiuto mezzo giro, saranno penetrate nella camera adiacente, mentre le palette opposte entrano nel percorso dei fumi per assorbire altro calore.

Ogni generatore deve essere provvisto di alcuni strumenti di controllo. Poiché il principale pericolo è l'esplosione della caldaia, gli strumenti di controllo:

- **controllano la pressione di esercizio affinché questa non superi il valore di bollo**: la legge prescrive **due manometri** che misurino la pressione effettiva nell'interno del collettore; **ogni generatore di vapore deve essere corredato da due valvole di sicurezza (tara-**



te a una pressione di poco superiore a quella di bollo in grado di smaltire l'eccesso di vapore prodotto;

- **controllano il livello dell'acqua presente in caldaia affinché non scenda al disotto del valore minimo ammissibile**: sono prescritti **due indicatori di livello**, posti sul fronte della caldaia, in modo che l'operatore possa sempre rendersi conto dell'esatto livello del liquido nel collettore.

Per il calcolo di massima di un generatore, consideriamo una caldaia *Babcock e Wilcox* a due giri di fumi fornita di economizzatore e di preriscaldatore d'aria, adottiamo i simboli e le notazioni messe in evidenza nella figura B.

Gli elementi noti in partenza sono: potenzialità del generatore q_{mv} , pressione di esercizio p_0 e temperatura t_e , temperatura del vapore surriscaldato t_s , potere calorifico inferiore del combustibile P_{ci} , temperatura dell'acqua nell'economizzatore t'_a di ingresso e t''_a di uscita, rendimento del generatore η_g .

Si procede nel seguente modo:

- **entalpia del vapore prodotto** (riferita a 1 kg di esso): $h_v = q + r + c_{pm} \cdot (t_s - t_e)$ (kJ/kg) o da tabelle;
- **entalpia dell'acqua** entrante nell'economizzatore:

$$h_a \cong 4,186 \cdot t'_a \quad (\text{kJ/kg})$$

- **portata di combustibile q_{mc}** :

$$q_{mc} = \frac{q_{mv} \cdot (h_v - h_a)}{\eta_g \cdot P_{ci}} \quad (\text{kg/h})$$

- **temperatura dei fumi al camino t_u** :

$$t_u - t_0 = \frac{(1 - n) \cdot \varepsilon \cdot P_{ci} - \eta_g \cdot P_{ci}}{(1 - n) \cdot M_f \cdot c_{fm}} \quad (^\circ\text{C})$$

- **temperatura di combustione t_c** :

$$t_c = t_a + \frac{\varepsilon \cdot P_{ci}}{M_f \cdot c_{fm}} \quad (^\circ\text{C})$$

• **entalpia del vapore saturo** (a titolo x) che viene immesso nel surriscaldatore: $h_x = q + r \cdot x$ (kJ/kg);

• fissata t_2 ($700 \div 800$ °C) si determina t_3 dalla:

$$(1-n') \cdot q_{mc} \cdot M_f \cdot c_{fm} (t_2 - t_3) = q_{mv} \cdot (h_v - h_x) \quad (^\circ\text{C})$$

• **superficie del surriscaldatore** S_r :

$$S_r = \Phi_r / (K_r \cdot \Delta t_{mlr}) \quad (\text{m}^2);$$

• **superficie del fascio anteriore dei tubi bollitori** S_{b1} :
la miscela passa dal titolo x' al titolo x :

$$\Phi_{b1} = \frac{q_{mv} \cdot r \cdot (x - x')}{3,6} \quad \text{W} \quad S_{b1} = \frac{\Phi_{b1}}{K_{b1} \cdot \Delta t_{mb1}} \quad (\text{m}^2)$$

• **temperatura t_4 a valle del fascio posteriore** dei tubi bollitori; dalla:

$$(t_3 - t_4) = \frac{q_{mv} \cdot r \cdot x}{(1-n'') \cdot q_{mc} \cdot M_f \cdot c_{fm}} \quad (^\circ\text{C})$$

• **superficie del secondo fascio bollitore** S_{b2} :

$$S_{b2} = \frac{\Phi_{b2}}{K_{b2} \cdot \Delta t_{mb2}} \quad (\text{m}^2) \quad \Phi_{b2} = \frac{q_{mv} \cdot r \cdot x'}{3,6} \quad (\text{W})$$

• **temperatura a valle dell'economizzatore** t_5 :

$$(t_4 - t_5) = \frac{q_{mv} \cdot (t_a'' - t_a')}{(1-n'') \cdot q_{mc} \cdot M_f \cdot c_{fm}}$$

• **superficie dell'economizzatore** S_e :

$$S_e = \frac{\Phi_e}{K_e \cdot \Delta t_{mle}} \quad (\text{m}^2) \quad \Phi_e = \frac{q_{mv} \cdot (t_a'' - t_a')}{3,6} \quad (\text{W})$$

• **superficie del riscaldatore d'aria** S_a :

$$S_a = \frac{\Phi_a}{K_a \cdot \Delta t_{mla}}$$