

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

**«*Studio del preriscaldatore
Franco-Crosti e la sua
applicazione alle
locomotive FS 741*»**

Tutor universitario: Prof.

Marco Azzolin

Laureando: *Filippo Gentile*

Padova, 12/03/2024

La locomotiva a vapore fu inventata agli inizi dell'800.

E' costituita in breve da:

- Forno, a carbone
- Caldaia cilindrica con fascio tubiero
- Meccanismo di distribuzione
- Cilindri motori

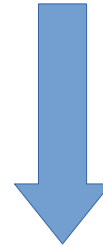
Con l'aumento delle esigenze di trasporto, molte strategie furono applicate per aumentarne la potenza e ridurre i consumi di carbone.

Il rendimento della locomotiva a vapore è in media del 6%.

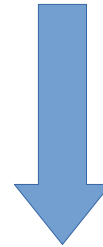
Il sistema Franco-Crosti fu una delle ultime innovazioni prima dell'abbandono della trazione a vapore, avvenuto a fine degli anni '70 del secolo scorso.

In Italia trovò diffusione nel secondo dopoguerra con la trasformazione di numerose locomotive, tra cui la Gr 741.

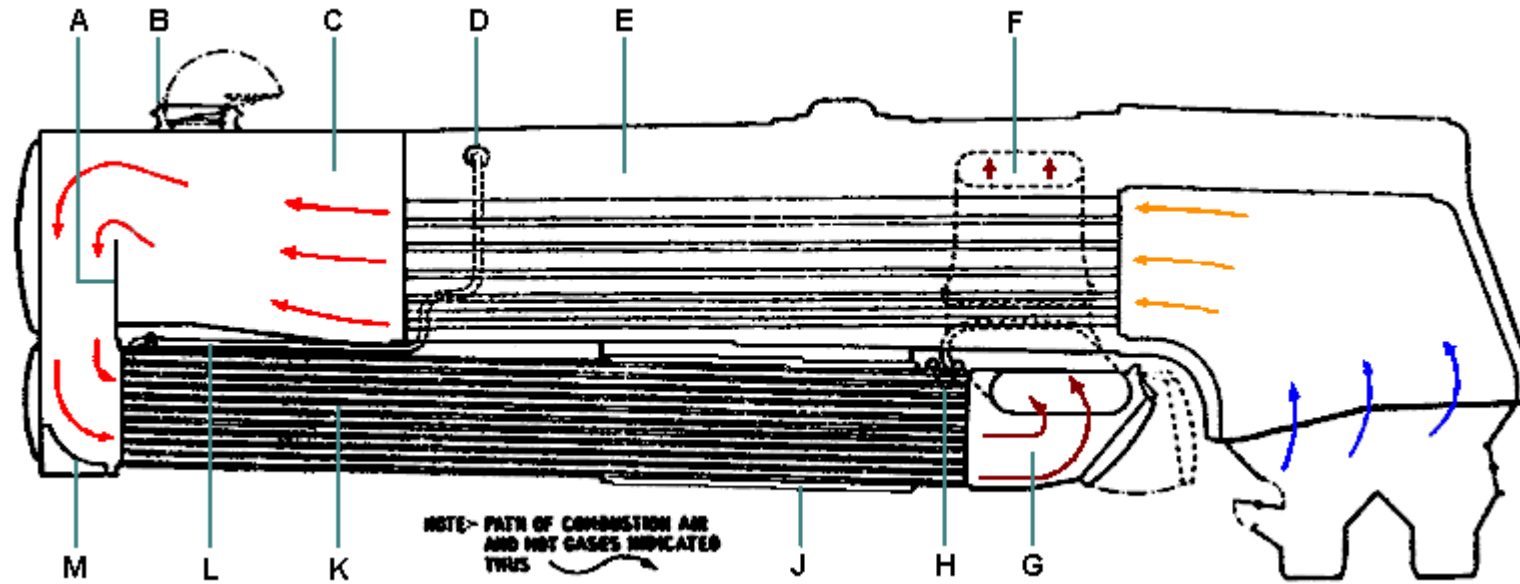
Uno o due preriscaldatori



In ciascuno si hanno 2 scambiatori di calore in controcorrente



- Scambiatore a fascio tubiero che utilizza i gas caldi prodotti dalla combustione
- Scambiatore a camicia che utilizza il vapore di scarico dei cilindri motori



| | |
|---|--------------------------------|
| A | Deflettore verticale |
| B | Posizione originale del camino |
| C | Camera a fumo in caldaia |
| D | Valvola di non ritorno |
| E | Caldaia |
| F | Camino in posizione arretrata |

| | |
|---|--------------------------------|
| G | Deflettore |
| H | Ingresso acqua preriscaldatore |
| J | Scambiatore a vapore esausto |
| K | Preriscaldatore |
| L | Ingresso acqua in caldaia |
| M | Deflettore |

I principali benefici del sistema Franco-Crosti sono:

- 1) Riduzione delle perdite di calore
- 2) Riduzione delle incrostazione in caldaia (per ridotta durezza dell'acqua)
- 3) Riduzione delle tensioni meccaniche nella struttura della caldaia
- 4) Diminuzione della temperatura dei gas espulsi da 350°C a 170°C

Benefici:

- Riduzione del consumo orario di carbone fino al 20%
- Riduzione dei costi e della frequenza di manutenzione

Composizione del carbone usato nelle locomotive a vapore:

| Elemento | Quantità |
|------------|----------|
| Carbonio C | 86.56% |
| Idrogeno H | 4.70% |
| Azoto N | 1.48% |
| Ossigeno O | 3.61% |
| Zolfo S | 1.10% |
| ceneri | 2.55% |

Potere calorifico inferiore: $P_{ci} = 8135 \text{ cal/kg}$

Le principali perdite nella fase di **produzione** del calore sono:

- per nerofumo;
- per gas incombusti (calore latente);
- per incombusti solidi rimasti nelle ceneri, dentro la camera a fumo o lanciati nell'atmosfera attraverso il camino.

Le perdite in fase di **utilizzo** sono principalmente dovute a:

- trasmissione del calore con l'esterno.

Le perdite maggiori sono quelle che si hanno al camino.

1. Perdita φ_1 al camino per calore sensibile.
2. Perdita φ_2 per incompleta combustione o per calore latente.
3. Perdita φ_3 per incombusti solidi.
4. Perdita φ_4 per dispersioni dal preriscaldatore a gas.
5. Perdite varie residue φ_5 .

Perdita ϕ_1 al camino per calore sensibile:

$$\phi_1 = \frac{C \times p (T_c - t)}{P_{ci}}$$

Si assume il calore specifico dei prodotti della combustione $C=0.25 \text{ cal}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$

Il peso dei prodotti della combustione è di 17 kg per ogni kg di carbone.

Il potere calorifico inferiore di 1 kg di carbone è 8135 cal

Locomotiva trasformata: $T_c = 173^\circ\text{C}$ e $\phi_1 = 7.73\%$

Locomotiva normale: $T_c = 306^\circ\text{C}$ e $\phi_1 = 15.35\%$

Perdita ϕ_2 per incompleta combustione o per calore latente

$$\phi_2 = \sigma_2 \times \frac{CO_{\%}}{CO_{2\%} + \frac{CO_{\%}}{2}}$$

| Locomotiva Normale | |
|---------------------------|--------|
| Coefficiente σ_2 | 63 |
| Tenore di CO ₂ | 12.57% |
| Tenore di CO | 1.24% |
| Perdita ϕ_2 | 5.91% |

| Locomotiva Trasformata | |
|-------------------------------|-------|
| Coefficiente σ_2 | 63 |
| Tenore di CO ₂ | 13.1% |
| Tenore di CO | 0.82% |
| Perdita ϕ_2 | 3.78% |

Perdita ϕ_3 per incombusti solidi in camera a fumo

$$\phi_3 = \frac{m_{\text{residui}}}{m_{\text{combustibile}}} \times \frac{P_{\text{ci, residui}}}{P_{\text{ci, combustibile}}}$$

| Locomotiva Normale | |
|---------------------------|-------------------|
| Residui | Potere calorifico |
| 3.50 | 6453 |

$$\phi_3 = 2.78\%$$

| Locomotiva Trasformata | |
|-------------------------------|-------------------|
| Residui | Potere calorifico |
| 3.30 | 5576 |
| 0.40 | 2704 |

$$\phi_3 = 2.26 + 0.33 = 2.59\%$$

Perdita ϕ_4 per dispersioni dal preriscaldatore a gas

Presente esclusivamente nella locomotiva trasformata.

$$\phi_4 = \frac{Q_{ceduto} - Q_{assorbito}}{8135} = 0.26\%$$

Perdite varie $\varphi 5$

Difficilmente misurabili singolarmente

$$R = \frac{\frac{A}{C} \times (E - t_t \cdot q)}{8135}$$

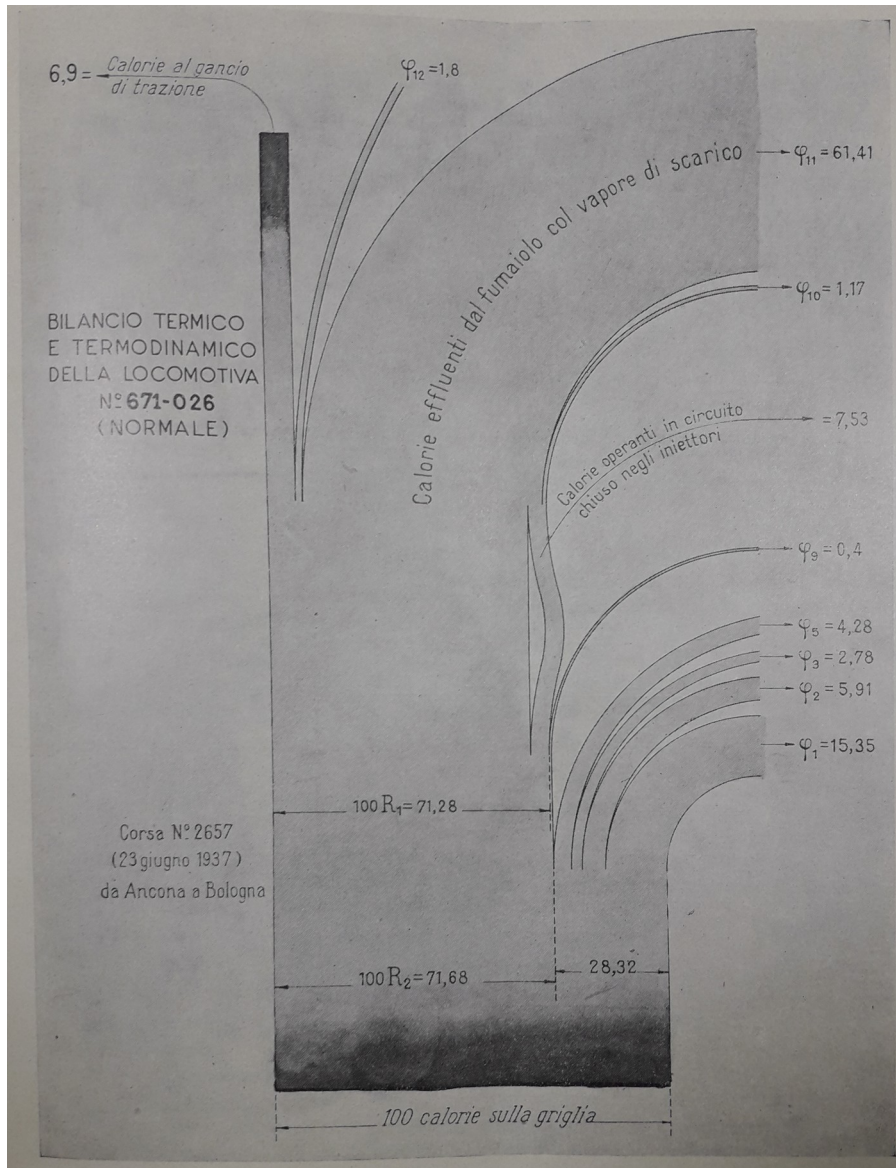
Rendimento caldaia:

Il parametro **A/C** indica i kg di vapore prodotti per kg di combustibile.

Il parametro **E** indica il calore del vapore surriscaldato.

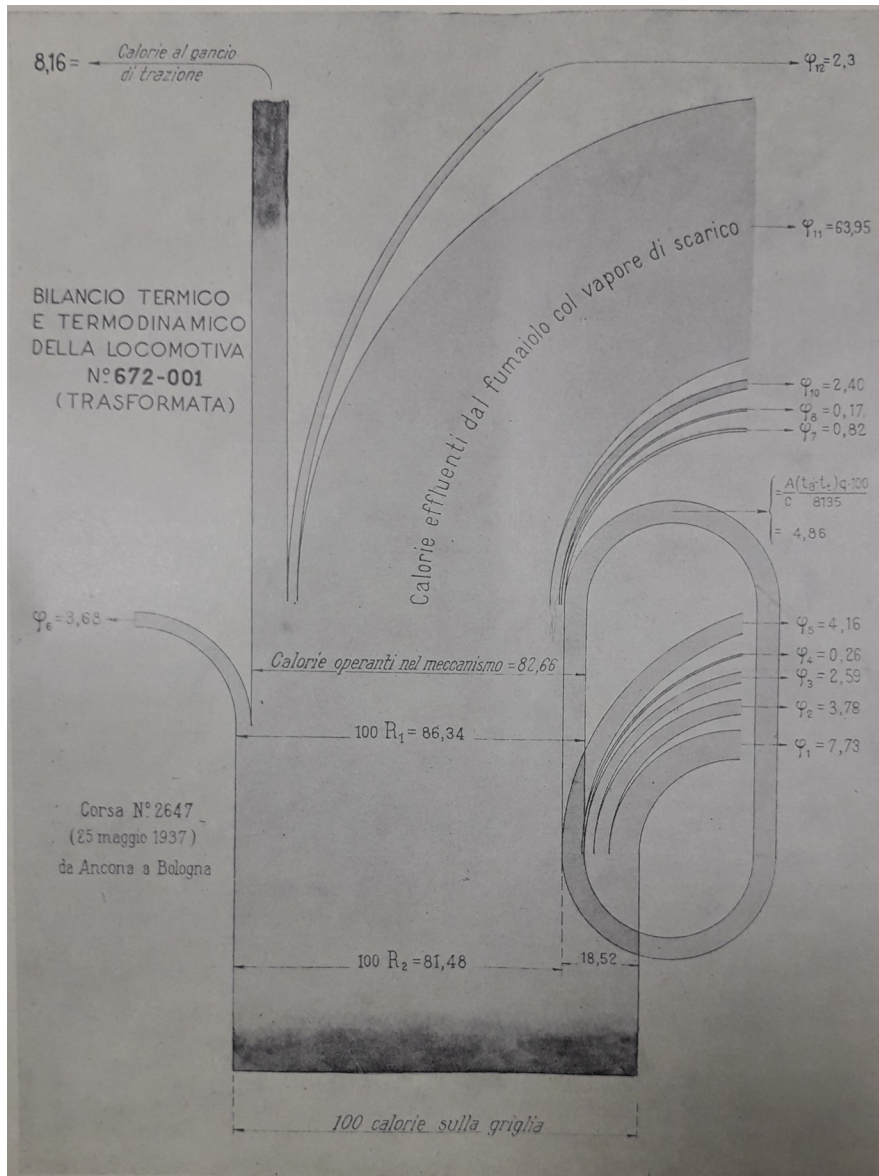
| Locomotiva Normale | |
|---------------------------------------|--------------|
| Rendimento caldaia | 71.68% |
| Perdita $\varphi 1$ | 15.35% |
| Perdita $\varphi 2$ | 5.91% |
| Perdita $\varphi 3$ | 2.78% |
| Perdita $\varphi 4$ | |
| Perdita $\varphi 5$ | 4.28% |
| | 100% |

| Locomotiva Trasformata | |
|---------------------------------------|--------------|
| Rendimento caldaia | 81.48% |
| Perdita $\varphi 1$ | 7.73% |
| Perdita $\varphi 2$ | 3.78% |
| Perdita $\varphi 3$ | 2.59% |
| Perdita $\varphi 4$ | 0.26% |
| Perdita $\varphi 5$ | 4.16% |
| | 100% |



Da questo grafico si deduce che il rendimento medio complessivo di una locomotiva classica è di:

$$\eta = \frac{6.9}{100} = 6.9\%$$

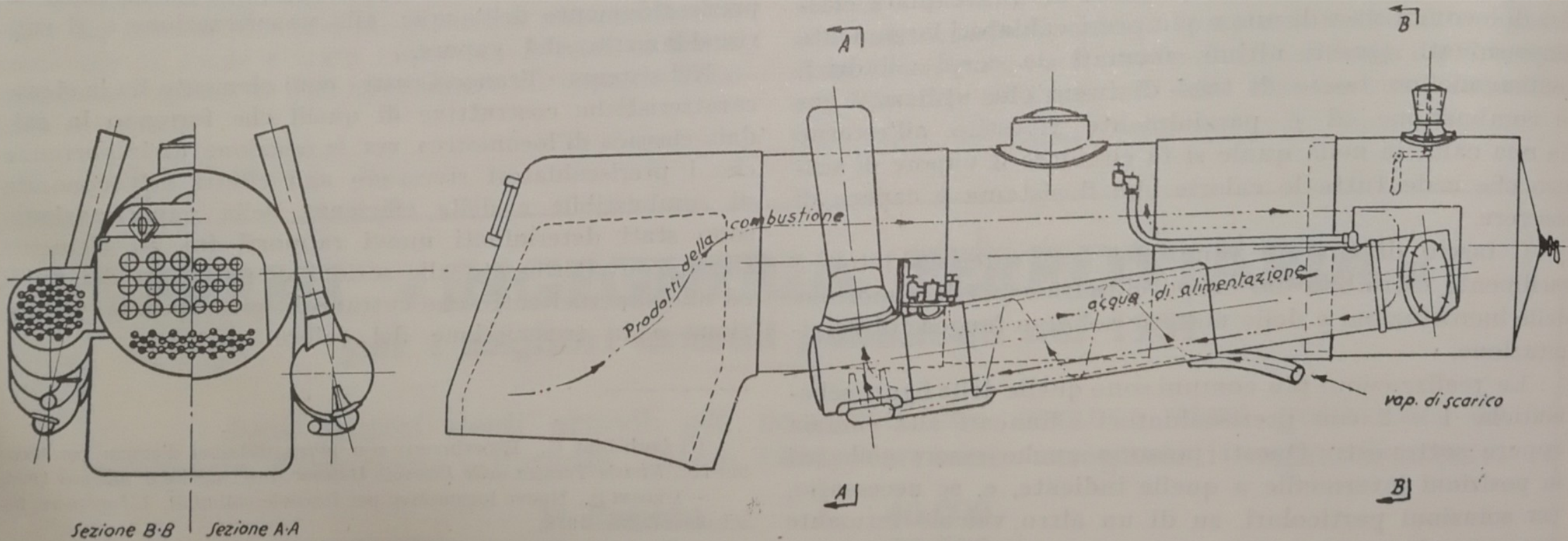


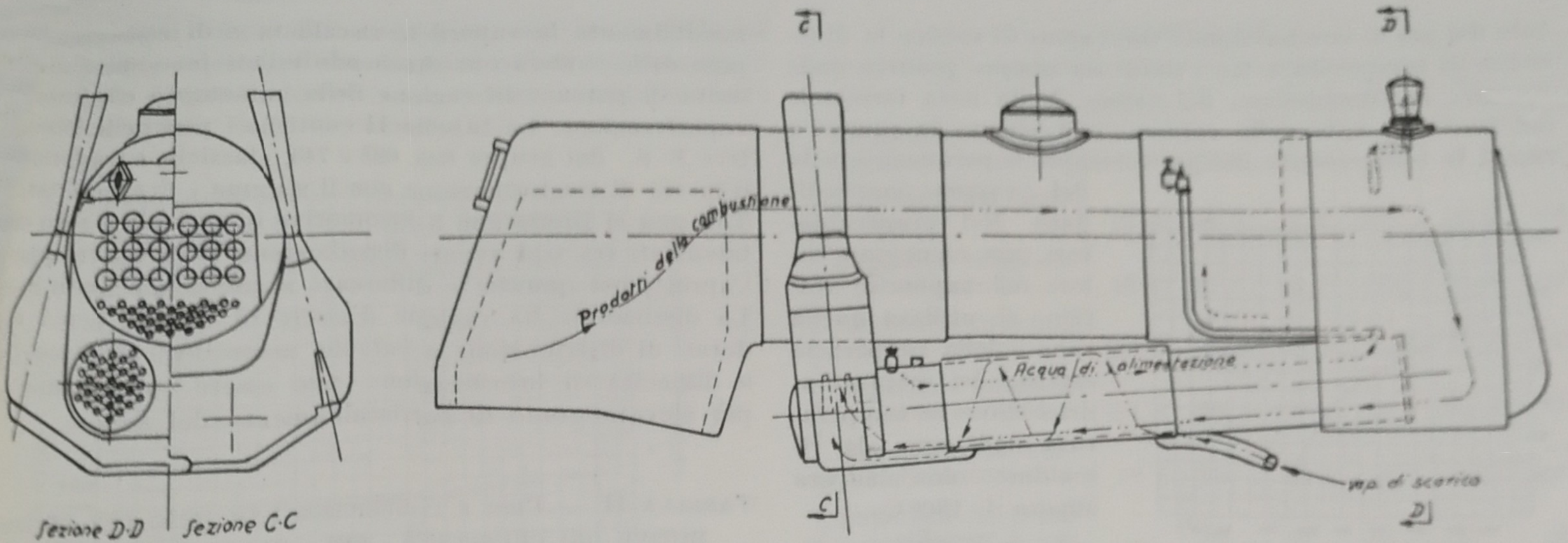
Il rendimento medio complessivo di una locomotiva trasformata è di:

$$\eta = \frac{8.16}{100} = 8.16 \%$$

La perdita più elevata (> 60%) è dovuta all'espulsione del vapore di scarico attraverso il camino.

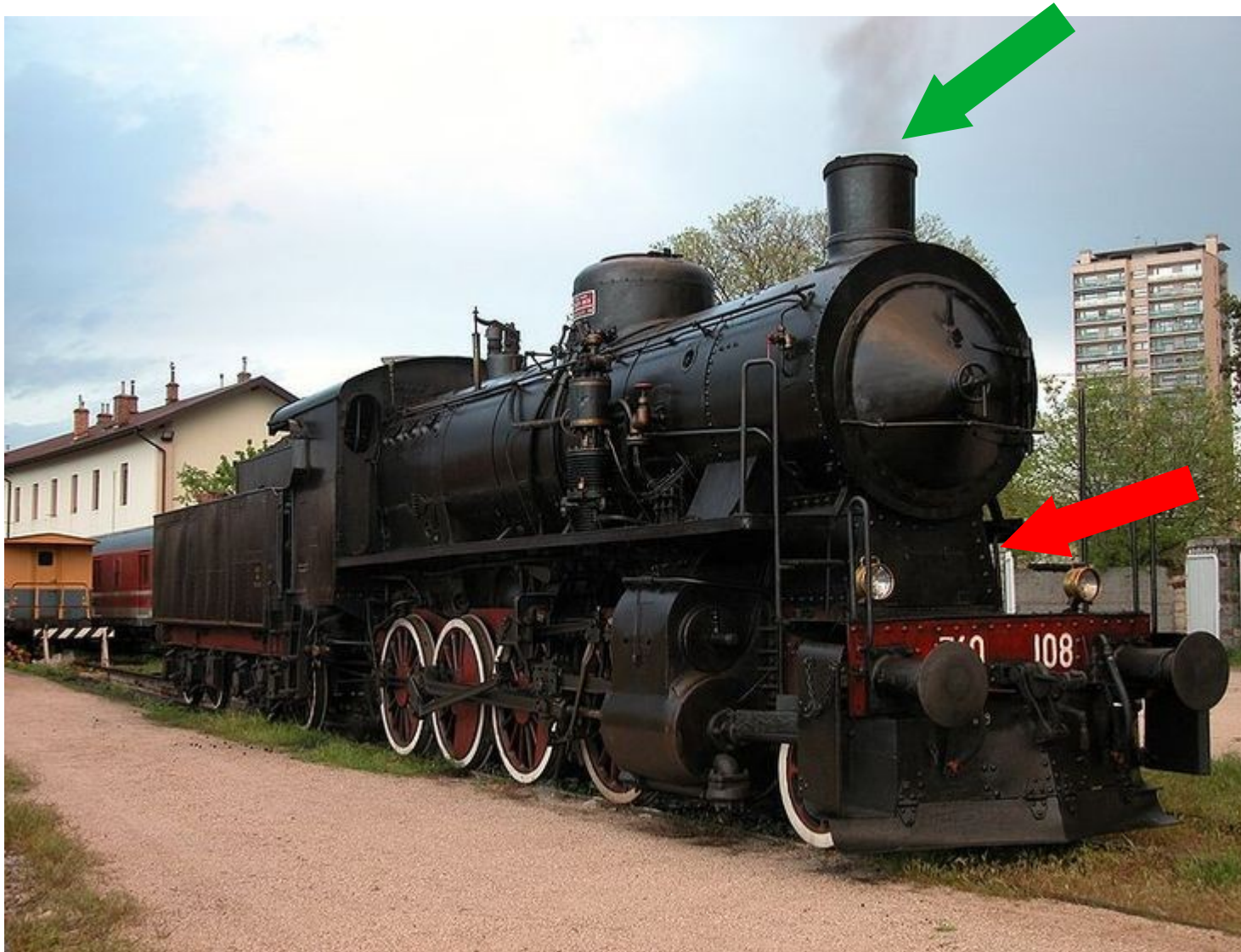
Essa non è legata all'uso del preriscaldatore.







Locomotiva Gr 740
senza preriscaldatori.



Locomotiva Gr 740
senza preriscaldatori.

Da notare:

- 1) Assenza del preriscaldatore sulla facciata frontale (freccia rossa)
- 2) Camino posto all'estremità frontale della caldaia in corrispondenza della camera a fumo.



Locomotiva Gr 741
Trasformata con sistema
Franco-Crosti



Locomotiva Gr 741 Trasformata con sistema Franco-Crosti

Da notare:

- 1) Camino in posizione arretrata
- 2) Preriscaldatore singolo, posto sotto la caldaia

L'economia di combustibile ottenuta tramite la trasformazione è di:

| Velocità | Peso per cavallo-ora | Percentuale |
|-----------------|-----------------------------|--------------------|
| 70 km/h | 0.21 kg | 17.8% |
| 80 km/h | 0.18 kg | 14.5% |

Le locomotive trasformate si sono dimostrate più flessibili durante l'esercizio. Queste locomotive però hanno avuto una vita breve per la fine dell'epoca del vapore e poco dopo sono state sostituite da locomotive elettriche.

- U. Bajocchi. «Confronto sperimentale tra due locomotive tipo 670 di cui una trasformata secondo il sistema "Franco"».
In: Rivista tecnica delle ferrovie italiane 55.1 (ago. 1939), pp. 1–35 (cit. alle pp. 3, 7, 8).
- G. Pistone. «Analisi del comportamento termico delle caldaie tipo Crosti per locomotive».
In: Ingegneria Ferroviaria 9 (set. 1951), pp. 615–622 (cit. alle pp. 4, 8, 11).
- L. Zamboni. «La prevenzione delle incrostazioni e delle corrosioni nelle locomotive Franco Crosti».
In: Ingegneria Ferroviaria (ago. 1956), pp. 591–596 (cit. a p. 4).
- G. Corbellini. «Esperimenti con preriscaldatori d'acqua per locomotive».
In: Rivista tecnica delle ferrovie italiane 29.4 (apr. 1926), pp. 140–164 (cit. a p. 6).
- P. Ferrari. «Franco per le Nord». In: I treni (ago. 1996), pp. 18–27 (cit. a p. 27).
- https://it.wikipedia.org/wiki/Preriscaldatore_Franco-Crosti#/media/File:Locomotive_FS_741.120.JPG
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FS_740.108_locomotive.JPG

*Grazie per
l'attenzione.*