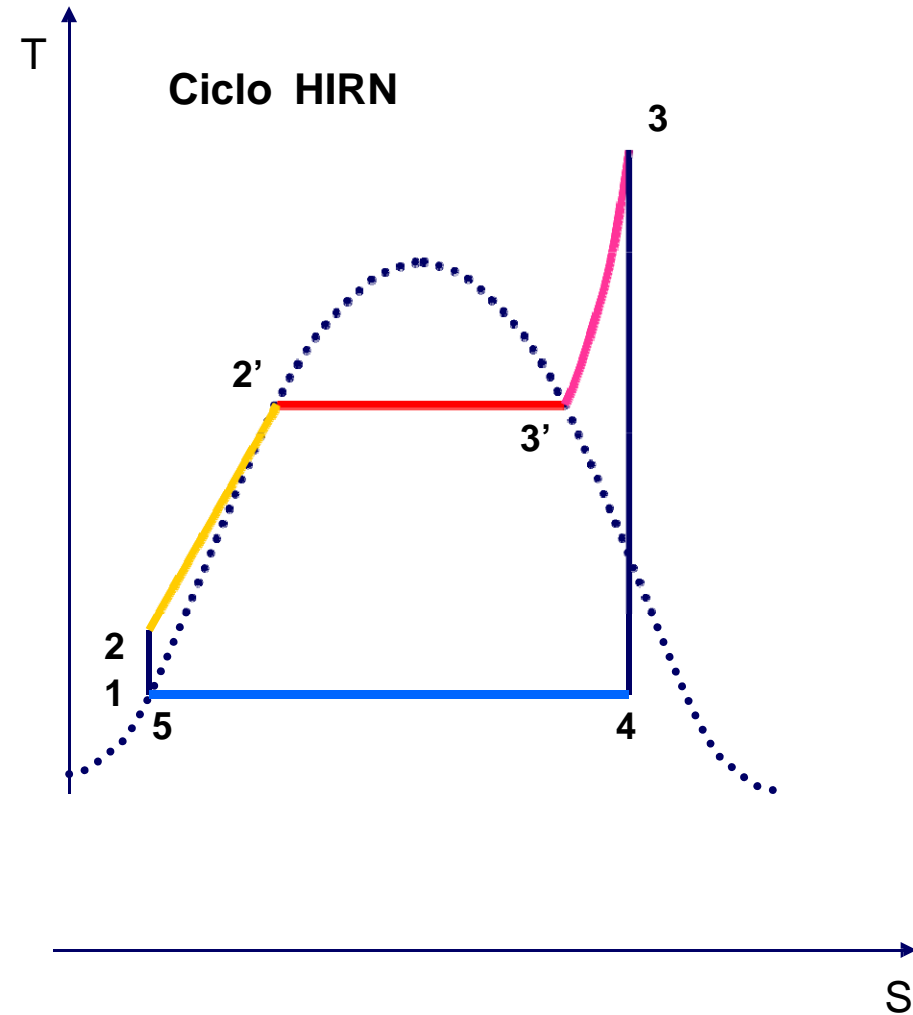
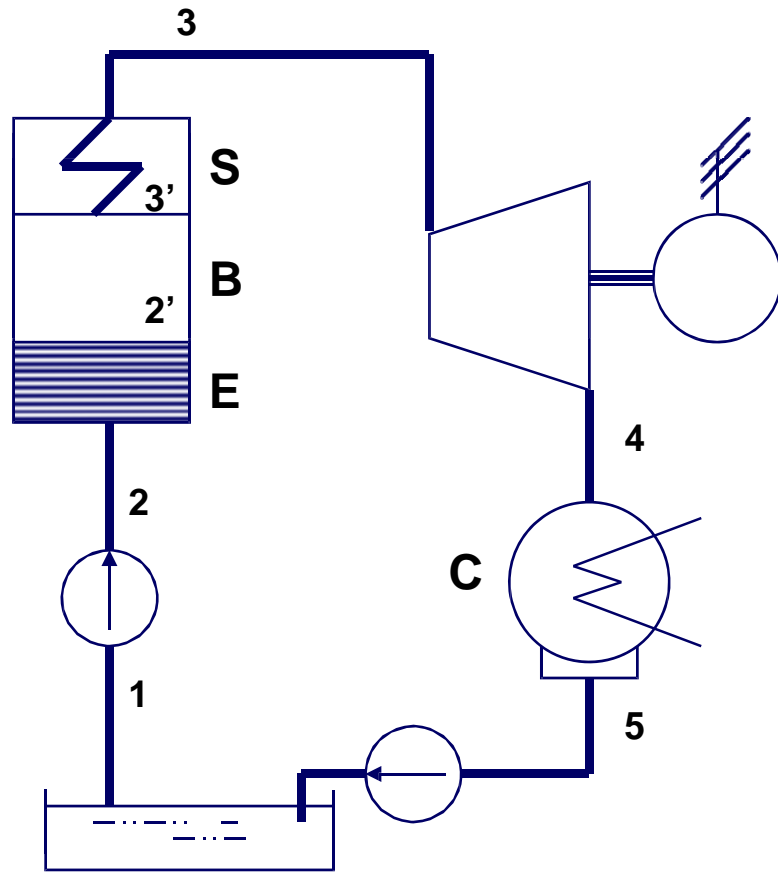


Lo scambio termico nei Generatori di Vapore

Il Circuito Elementare



Nell'impianto a ciclo HIRN un ruolo importante è riservato al GENERATORE di VAPORE

Caratteristiche dei GENERATORI di VAPORE

Campo d'applicazione molto ampio

**Centrali termoelettriche
Impianti di propulsione (navale, ferroviaria)
Processi industriali (cartaria, alimentare, chimica...)
Riscaldamento**

Vengono caratterizzate da

**Potenzialità: portata di vapore prodotta [t/h]
Pressione di evaporazione
Temperatura massima di surriscaldamento
Potenzialità specifica: portata di vapore per
unità di superficie evaporante [t/hm²]**

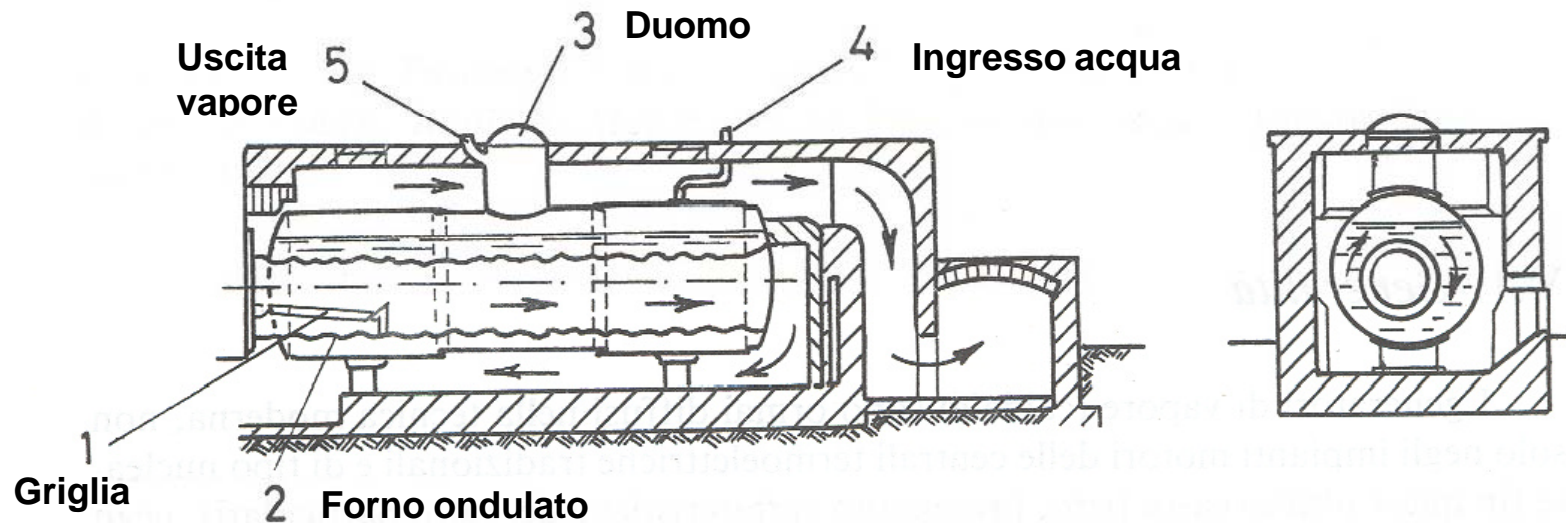
Evoluzione dei GENERATORI di VAPORE

Caldaia **Cornovaglia** [1810-1814]

Potenzialità 1,4 – 1,5 t/h

Pressione 12 – 15 bar

Superficie di scambio 40 – 50 m²



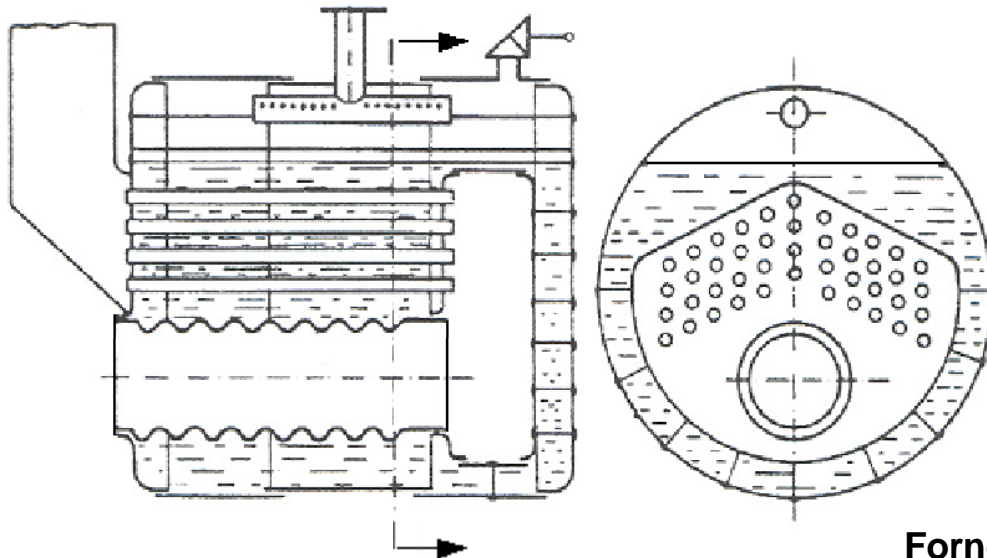
Un corpo cilindrico (1 – 2,5 m) pieno d'acqua veniva posto il focolare in posizione eccentrica: in tal modo si favorisce la circolazione dell'acqua, per diversa evaporazione e quindi densità, incrementando lo scambio termico.

I fumi percorrono poi un lungo tragitto attorno al corpo cilindrico sino al camino aumentando il tempo di contatto con la superficie di scambio

Evoluzione dei GENERATORI di VAPORE

Caldaie a TUBI di FUMO [1850-1870]

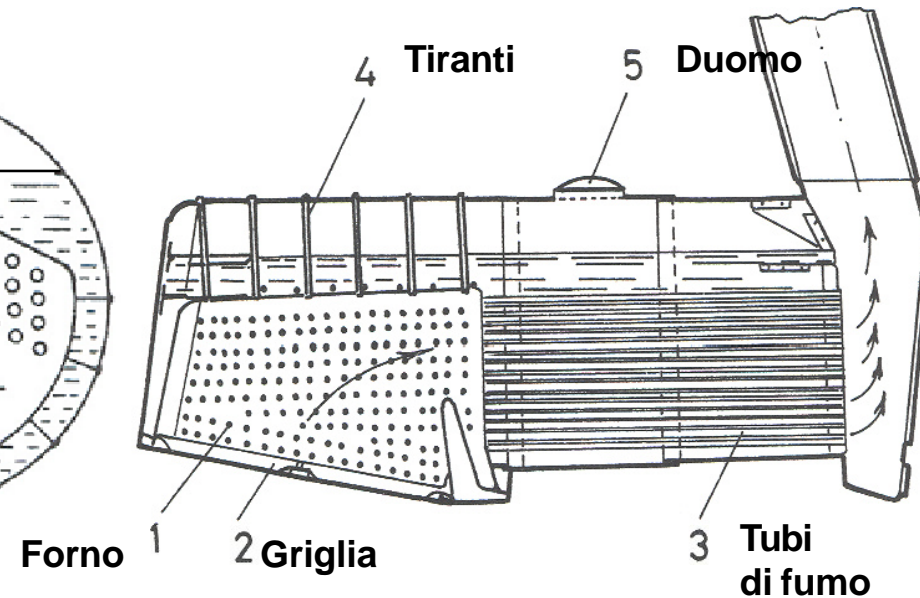
a ritorno di fiamma



Detta anche “caldaia scozzese” o “marina” per la ampia applicazione in campo navale

Potenzialità 10 - 20 t/h
Pressione 20-30 bar
Superficie di scambio 300-600 m²

a fiamma diretta



Caratterizzate da diametri del corpo cilindrico inferiori e quindi adatte all'impiego ferroviario

Potenzialità 8 - 16 t/h
Pressione 15 -20 bar
Superficie di scambio 200-300 m²

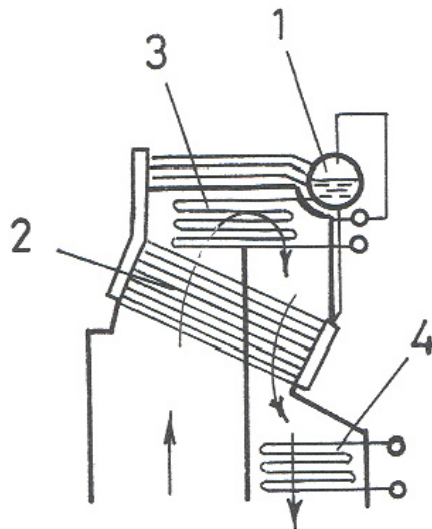
Evoluzione dei GENERATORI di VAPORE

Caldaie a TUBI d'ACQUA [dal 1860]

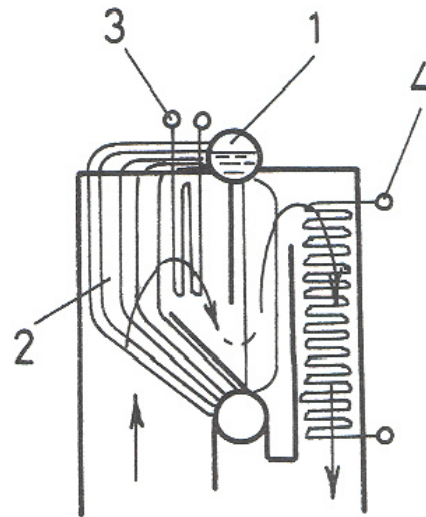
Il fondamentale cambiamento concettuale consiste nell'invertire il passaggio dei fumi e dell'acqua. Quest'ultima ora viene convogliata in FASCI TUBIERI che verranno lambiti all'esterno dai fumi; il cambiamento di fase all'interno dei tubi favorisce la circolazione e consente di aumentare la pressione di esercizio.

Sono state sviluppate in due versioni: a tubi

sub-orizzontali



sub-verticali



- 1 Corpo cilindrico o collettore sup.
- 2 Fasci tubieri vaporizzatori
- 3 Surriscaldatore
- 4 Economizzatore

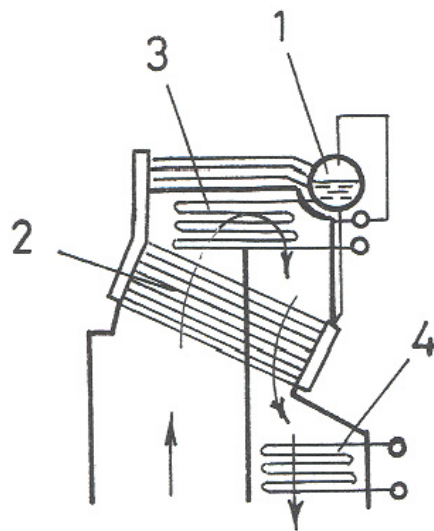
Evoluzione dei GENERATORI di VAPORE

Caldaie a TUBI d'ACQUA [dal 1860]

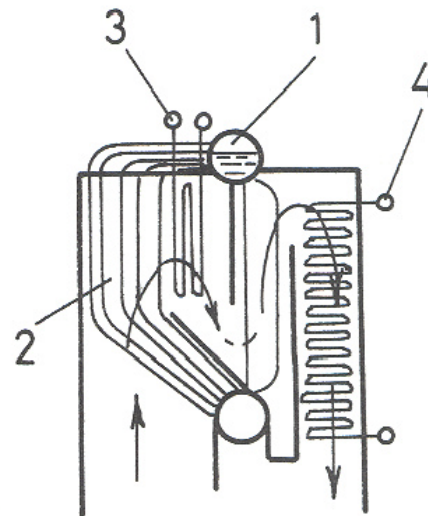
Il fondamentale cambiamento concettuale consiste nell'invertire il passaggio dei fumi e dell'acqua. Quest'ultima ora viene convogliata in FASCI TUBIERI che verranno lambiti all'esterno dai fumi; il cambiamento di fase all'interno dei tubi favorisce la circolazione e consente di aumentare la pressione di esercizio.

Sono state sviluppate in due versioni: a tubi

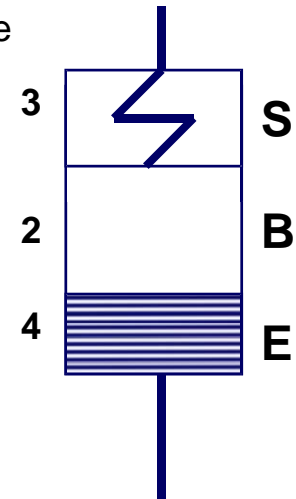
sub-orizzontali



sub-verticali

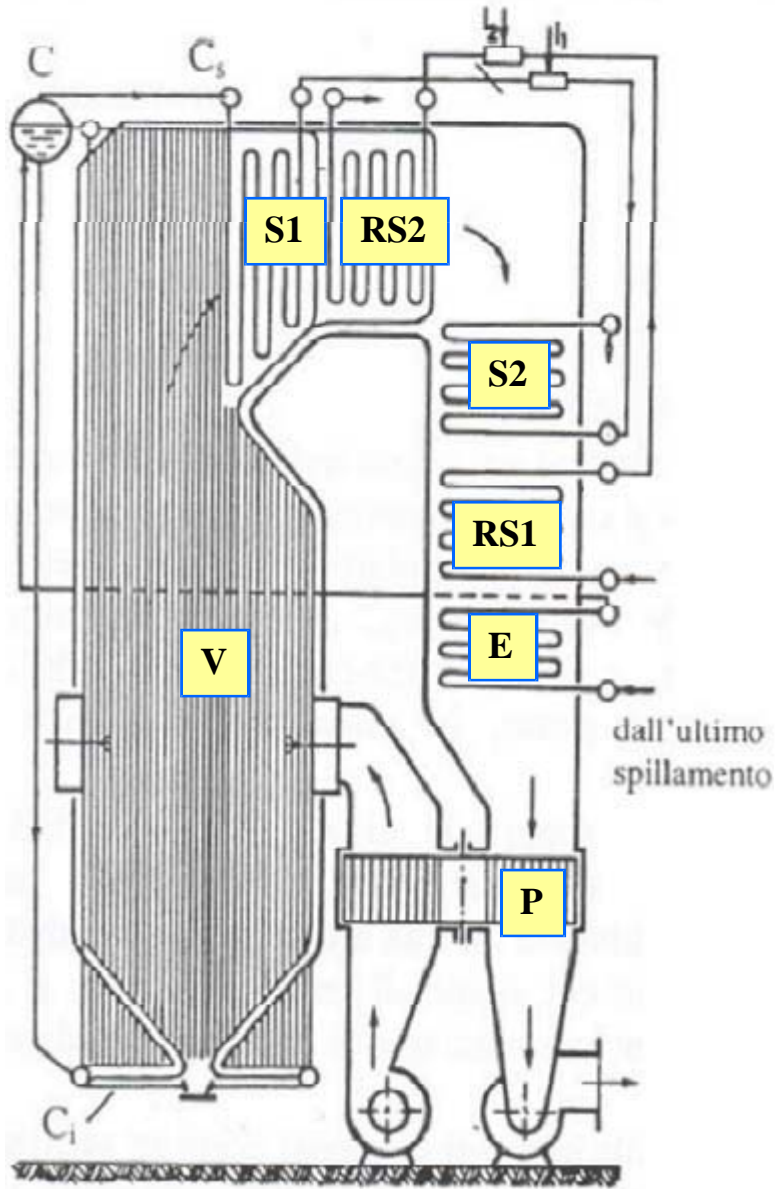


- 1 Corpo cilindrico o collettore sup.
- 2 Fasci tubieri vaporizzatori
- 3 Surriscaldatore
- 4 Economizzatore

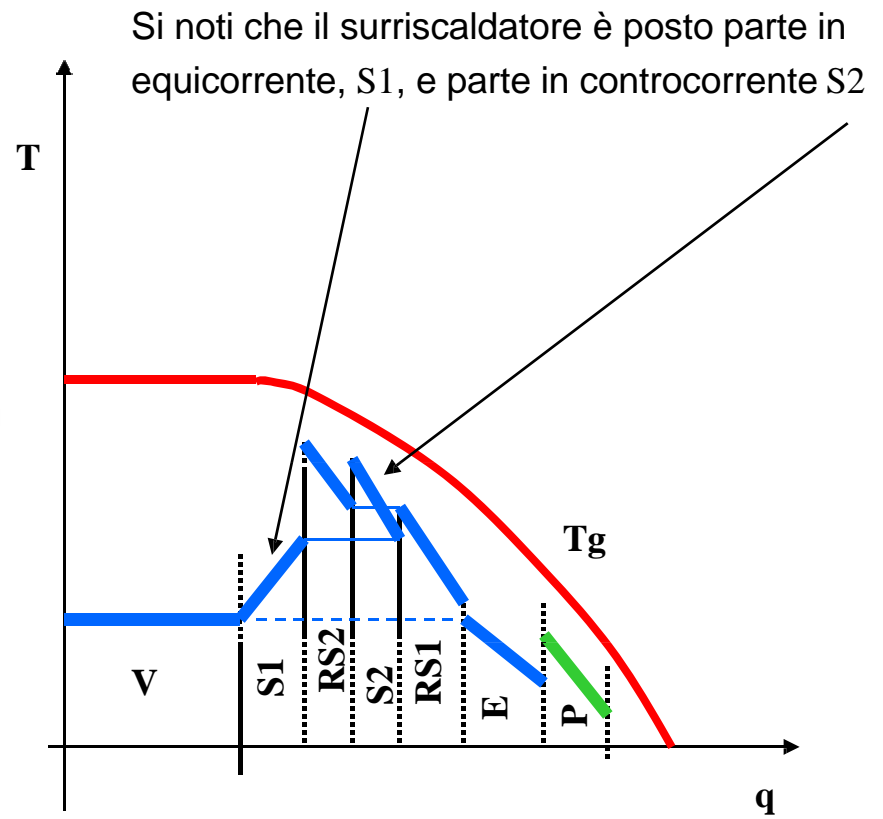


Nei tubi inclinati od orizzontali, il vapore prodotto risale per la minore densità. Il Collettore superiore che funge da Separatore di Liquido dal vapore inviato all'utilizzatore, mentre l'acqua ridiscende per ricominciare il ciclo, con un moto continuo e spontaneo

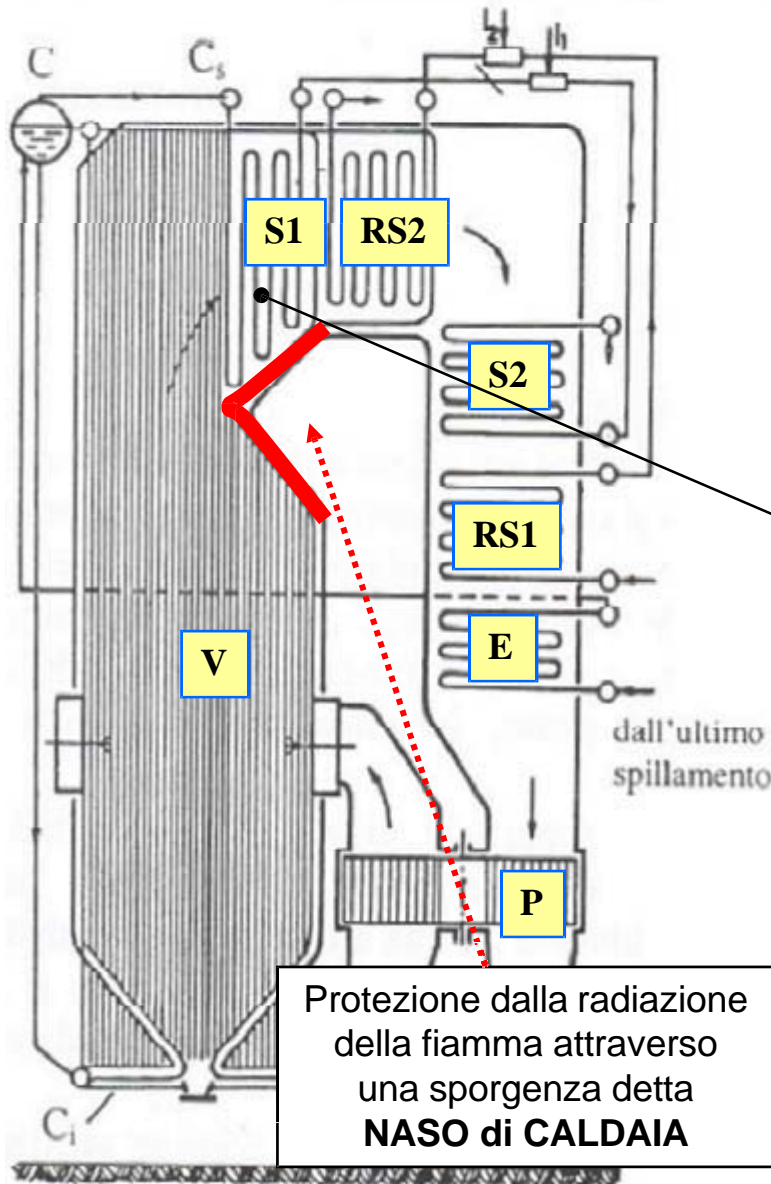
I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE



Il tipo di generatore di vapore più diffuso nelle moderne centrali termoelettriche è quello ad irracciamento.



I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE



Si noti che il **surriscaldatore** è posto parte in equicorrente, S1, e parte in controcorrente S2.

T

I surriscaldatori sono gli elementi termicamente più sollecitati perché, essendo percorsi all'interno da un fluido con coefficiente di trasmissione relativamente basso, si possono portare ad una temperatura di parete troppo elevata

$$T_p = \frac{\alpha_g T_g + \alpha_v T_v}{\alpha_g + \alpha_v}$$

Con

$$\alpha_v = \alpha_g = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$$

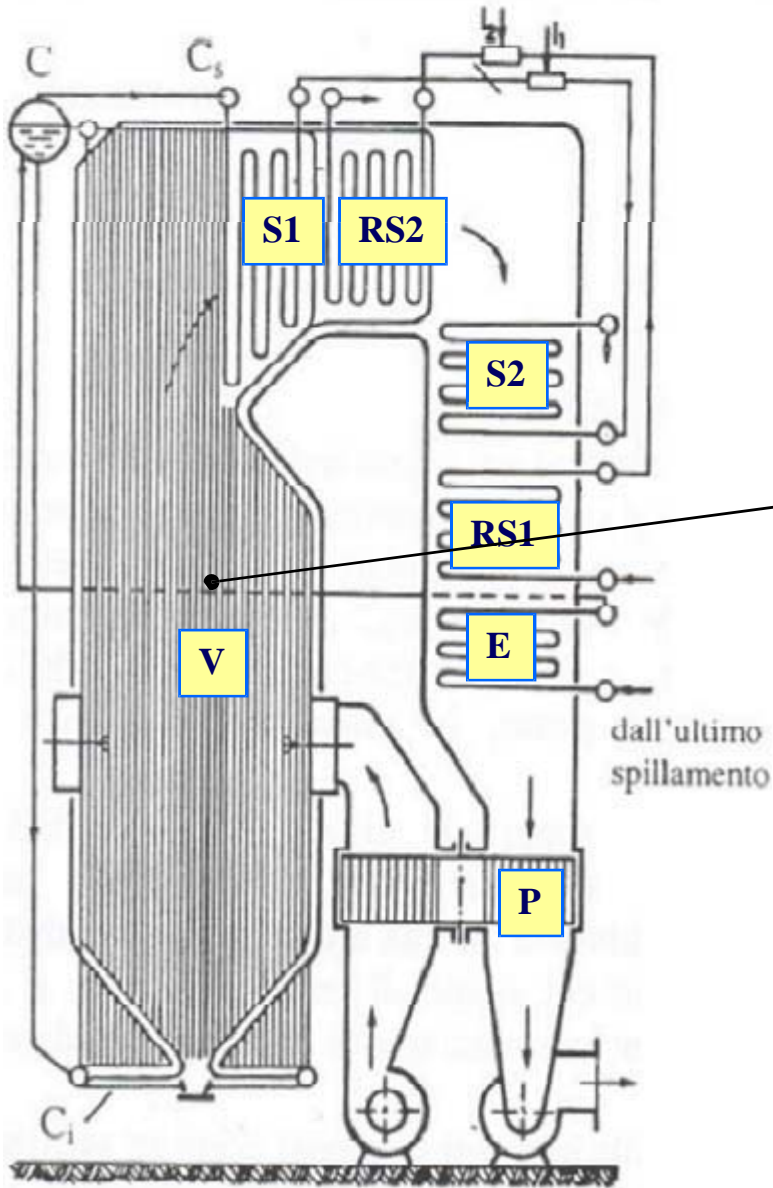
$$T_g = 1500 \text{ K}$$

$$T_v = 600 \text{ K}$$

→ $T_p = 1050 \text{ K}$

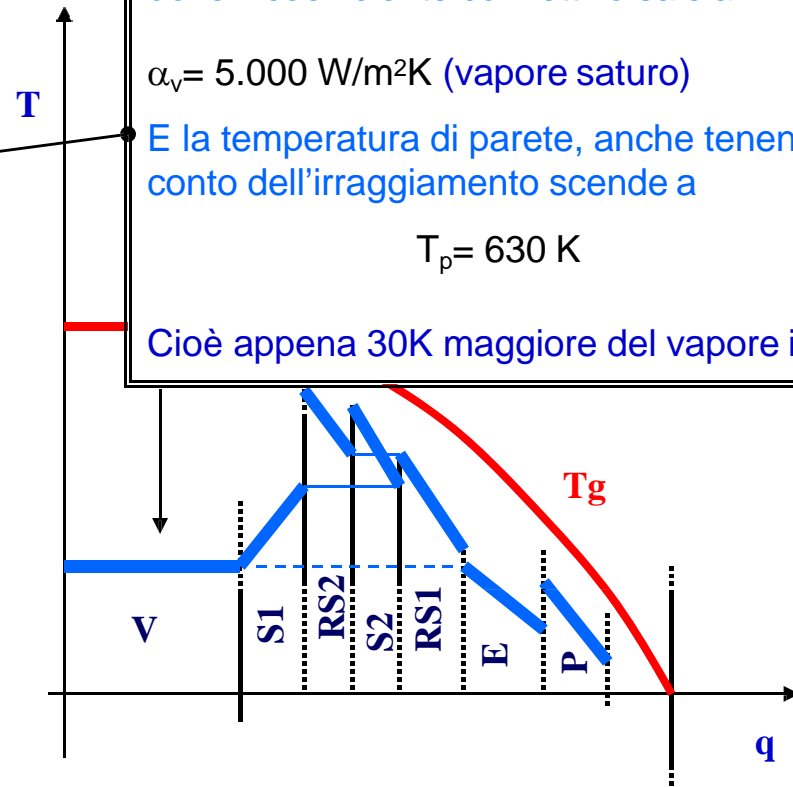
Protezione dalla radiazione della fiamma attraverso una sporgenza detta **NASO di CALDAIA**

I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE

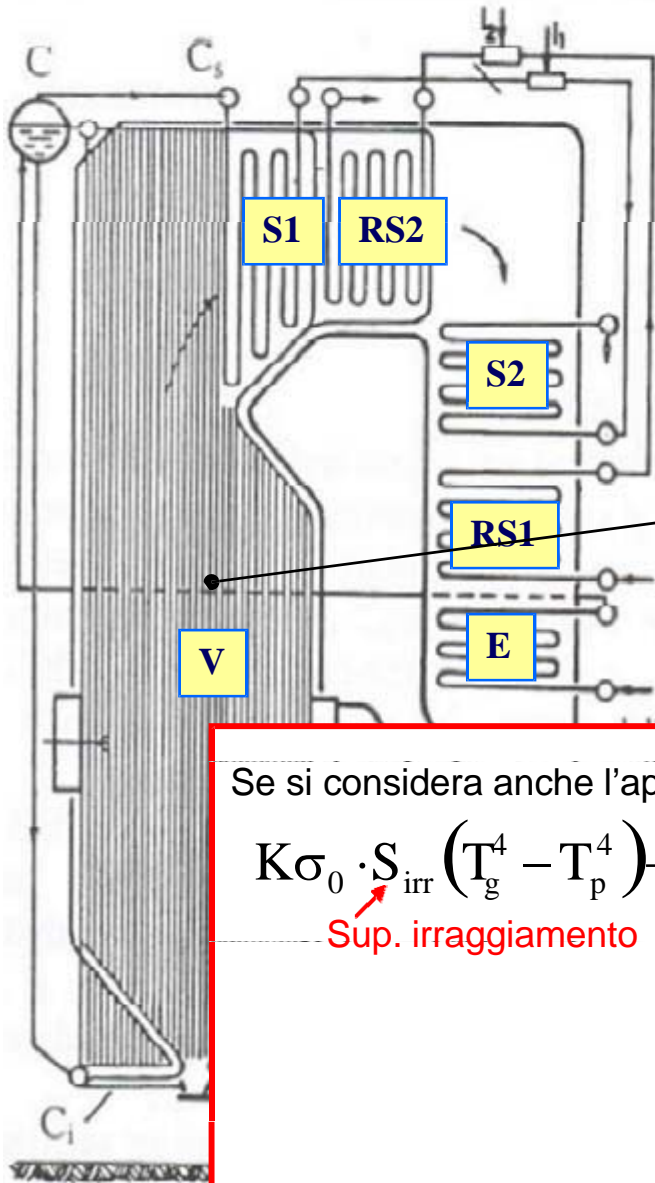


Il tipo di generatore di vapore più diffuso nelle moderne centrali termoelettriche è quello ad irracciamento.

Diversa è la situazione per i tubi vaporizzatori dove il coefficiente convettivo sale a $\alpha_v = 5.000 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vapore saturo) e la temperatura di parete, anche tenendo conto dell'irraggiamento scende a $T_p = 630 \text{ K}$.
Cioè appena 30K maggiore del vapore interno



I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE



Il tipo di generatore di vapore più diffuso nelle moderne centrali termoelettriche è quello ad irracciamento.

Diversa è la situazione per i tubi vaporizzatori dove il coefficiente convettivo sale a

$\alpha_v = 5.000 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vapore saturo)

E la temperatura di parete, anche tenendo conto dell'irraggiamento scende a

$T_p = 630 \text{ K}$

Cioè appena 30K maggiore del vapore interno

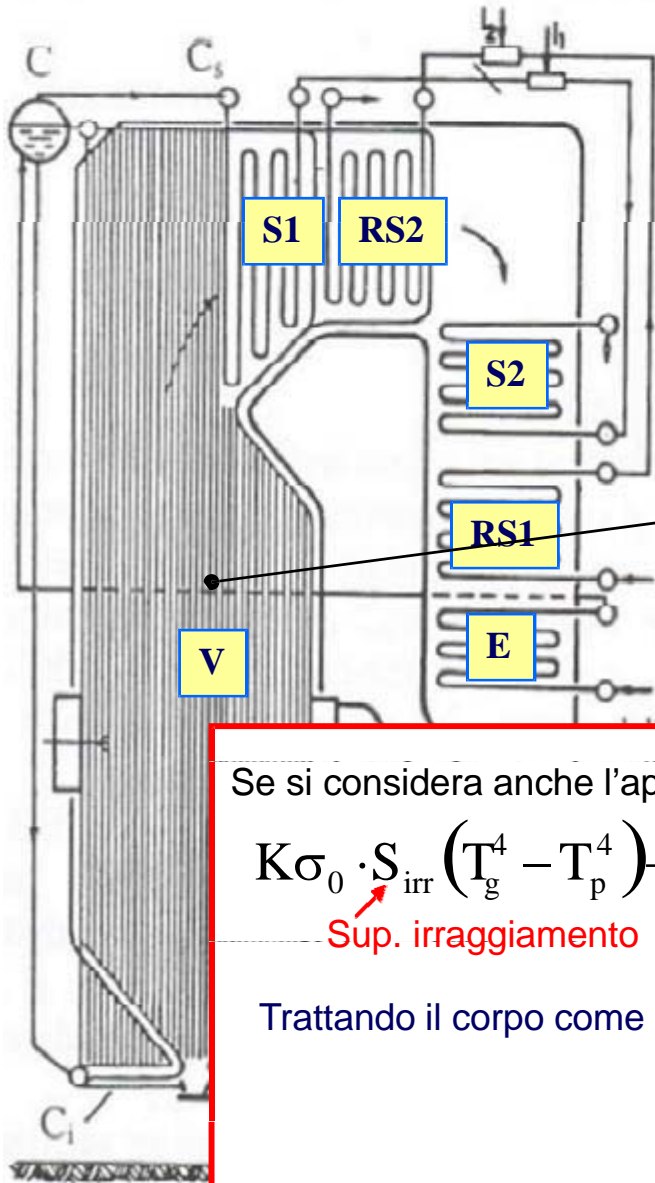
Se si considera anche l'apporto dell'irraggiamento si deve scrivere la:

$$K\sigma_0 \cdot S_{\text{irr}} (T_g^4 - T_p^4) + S_c \alpha_f (T_g - T_p) = S_c \alpha_v (T_p - T_v)$$

Sup. irraggiamento

Sup. conduzione

I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE



Il tipo di generatore di vapore più diffuso nelle moderne centrali termoelettriche è quello ad irraffiamento.

Diversa è la situazione per i tubi vaporizzatori dove il coefficiente convettivo sale a

$$\alpha_v = 5.000 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (vapore saturo)}$$

E la temperatura di parete, anche tenendo conto dell'irraggiamento scende a

$$T_p = 630 \text{ K}$$

Cioè appena 30K maggiore del vapore interno

Se si considera anche l'apporto dell'irraggiamento si deve scrivere la:

$$K\sigma_0 \cdot S_{\text{irr}} (T_g^4 - T_p^4) + S_c \alpha_f (T_g - T_p) = S_c \alpha_v (T_p - T_v)$$

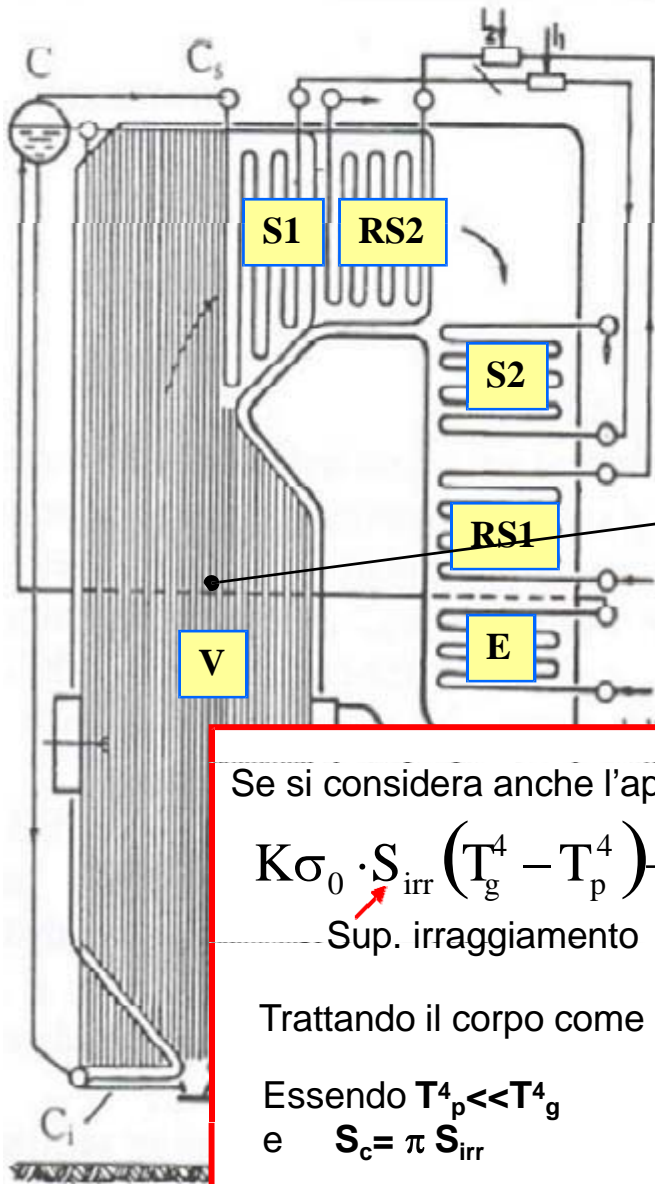
Sup. irraggiamento

Sup. conduzione

Trattando il corpo come grigio con $K=0,9$

$$K\sigma_0 = 5.1 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$$

I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE



Il tipo di generatore di vapore più diffuso nelle moderne centrali termoelettriche è quello ad irraaciamento.

Diversa è la situazione per i tubi vaporizzatori dove il coefficiente convettivo sale a

$$\alpha_v = 5.000 \text{ W/m}^2\text{K (vapore saturo)}$$

E la temperatura di parete, anche tenendo conto dell'irraggiamento scende a

$$T_p = 630 \text{ K}$$

Cioè appena 30K maggiore del vapore interno

Se si considera anche l'apporto dell'irraggiamento si deve scrivere la:

$$K\sigma_0 \cdot S_{\text{irr}} (T_g^4 - T_p^4) + S_c \alpha_f (T_g - T_p) = S_c \alpha_v (T_p - T_v)$$

Sup. irraggiamento
Sup. conduzione

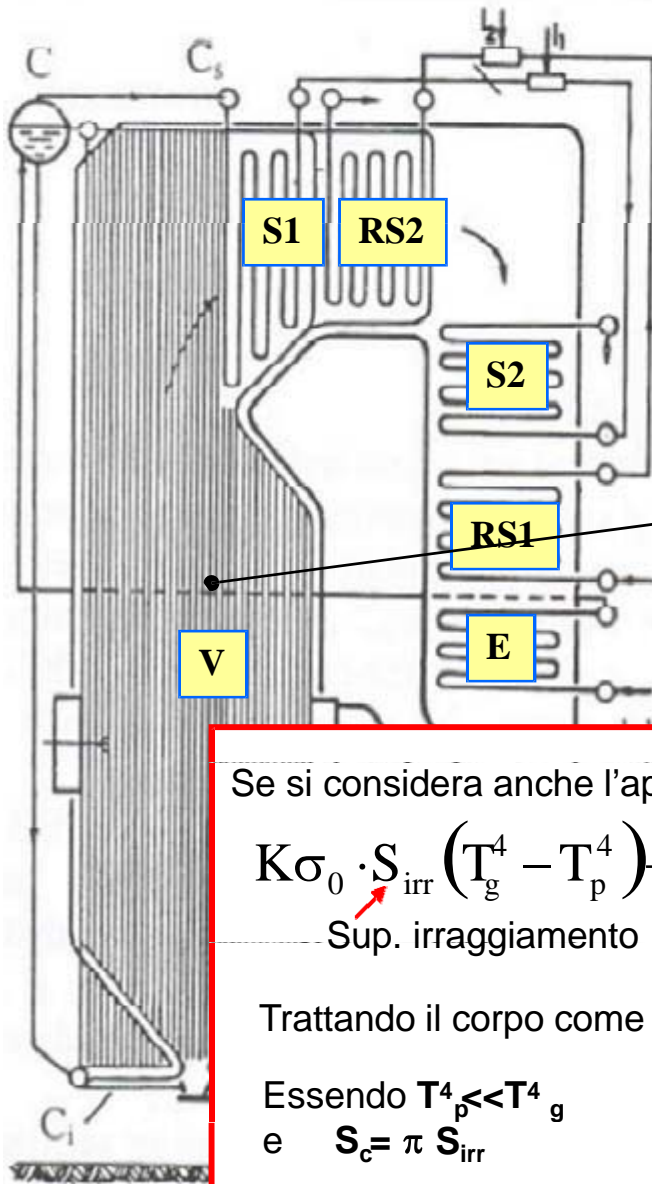
Trattando il corpo come grigio con $K=0,9$

$$K\sigma_0 = 5.1 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$$

Essendo $T_p^4 \ll T_g^4$

$$\text{e } S_c = \pi S_{\text{irr}}$$

I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE



Il tipo di generatore di vapore più diffuso nelle moderne centrali termoelettriche è quello ad irraaciamento.

Diversa è la situazione per i tubi vaporizzatori dove il coefficiente convettivo sale a

$$\alpha_v = 5.000 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (vapore saturo)}$$

E la temperatura di parete, anche tenendo conto dell'irraggiamento scende a

$$T_p = 630 \text{ K}$$

Cioè appena 30K maggiore del vapore interno

Se si considera anche l'apporto dell'irraggiamento si deve scrivere la:

$$K\sigma_0 \cdot S_{\text{irr}} (T_g^4 - T_p^4) + S_c \alpha_f (T_g - T_p) = S_c \alpha_v (T_p - T_v)$$

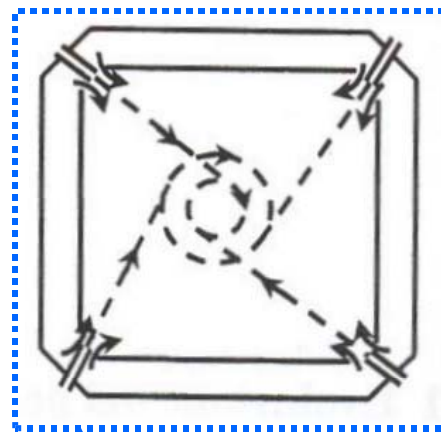
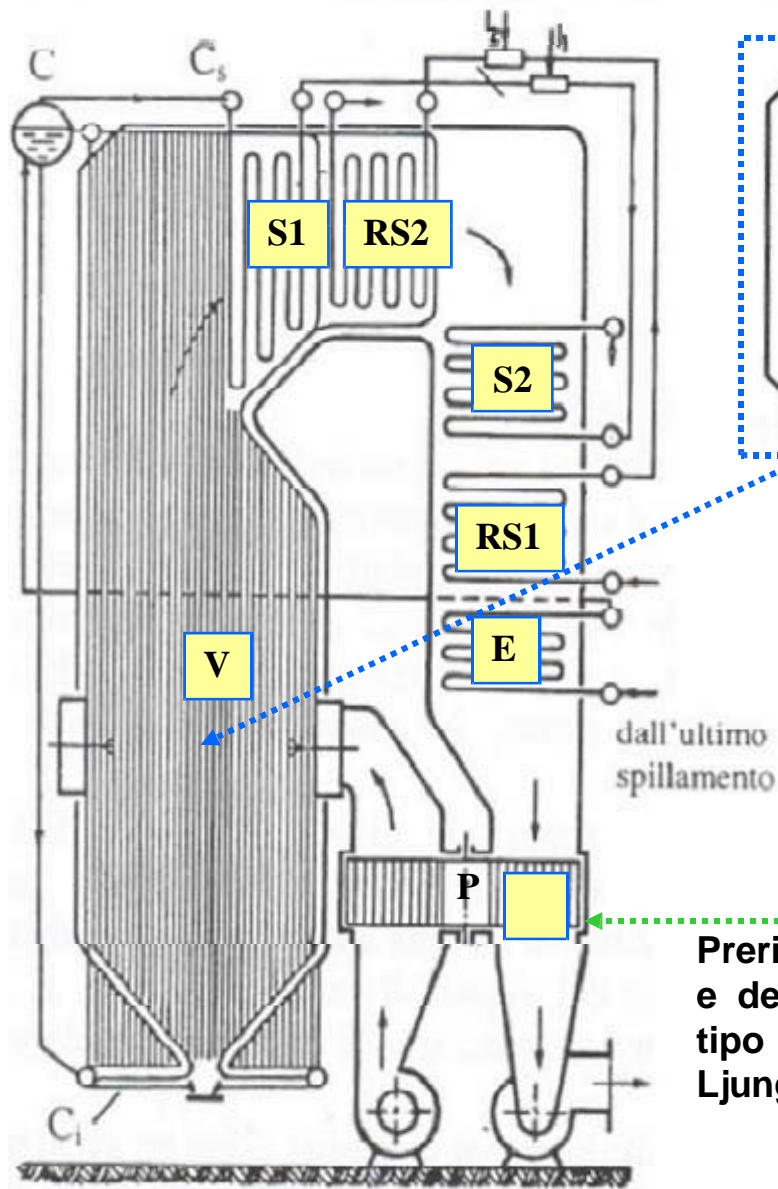
Sup. irraggiamento
Sup. conduzione
1

Trattando il corpo come grigio con $K=0,9$ $K\sigma_0 = 5.1 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$

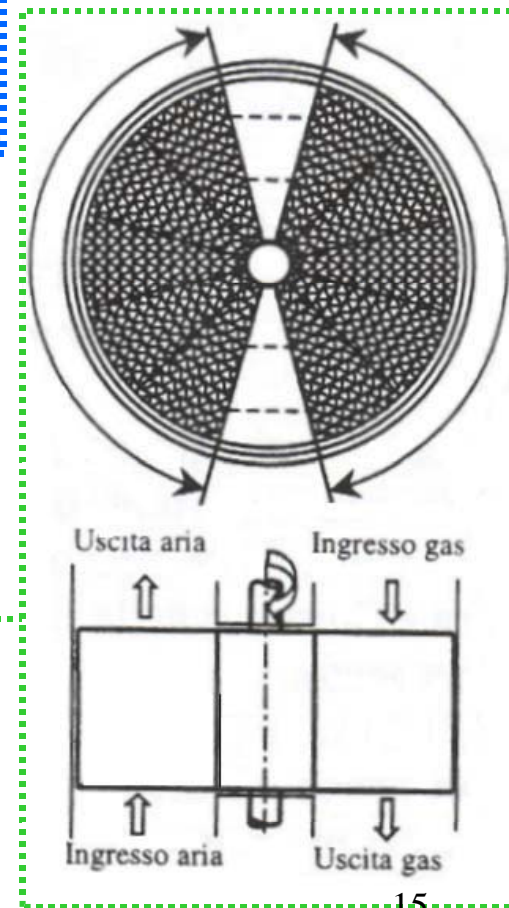
Essendo $T_p^4 \ll T_g^4$
 e $S_c = \pi S_{\text{irr}}$

$$\Delta T_p = \frac{K\sigma_0 T_g^4}{\pi(\alpha_g + \alpha_v)}$$

I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE

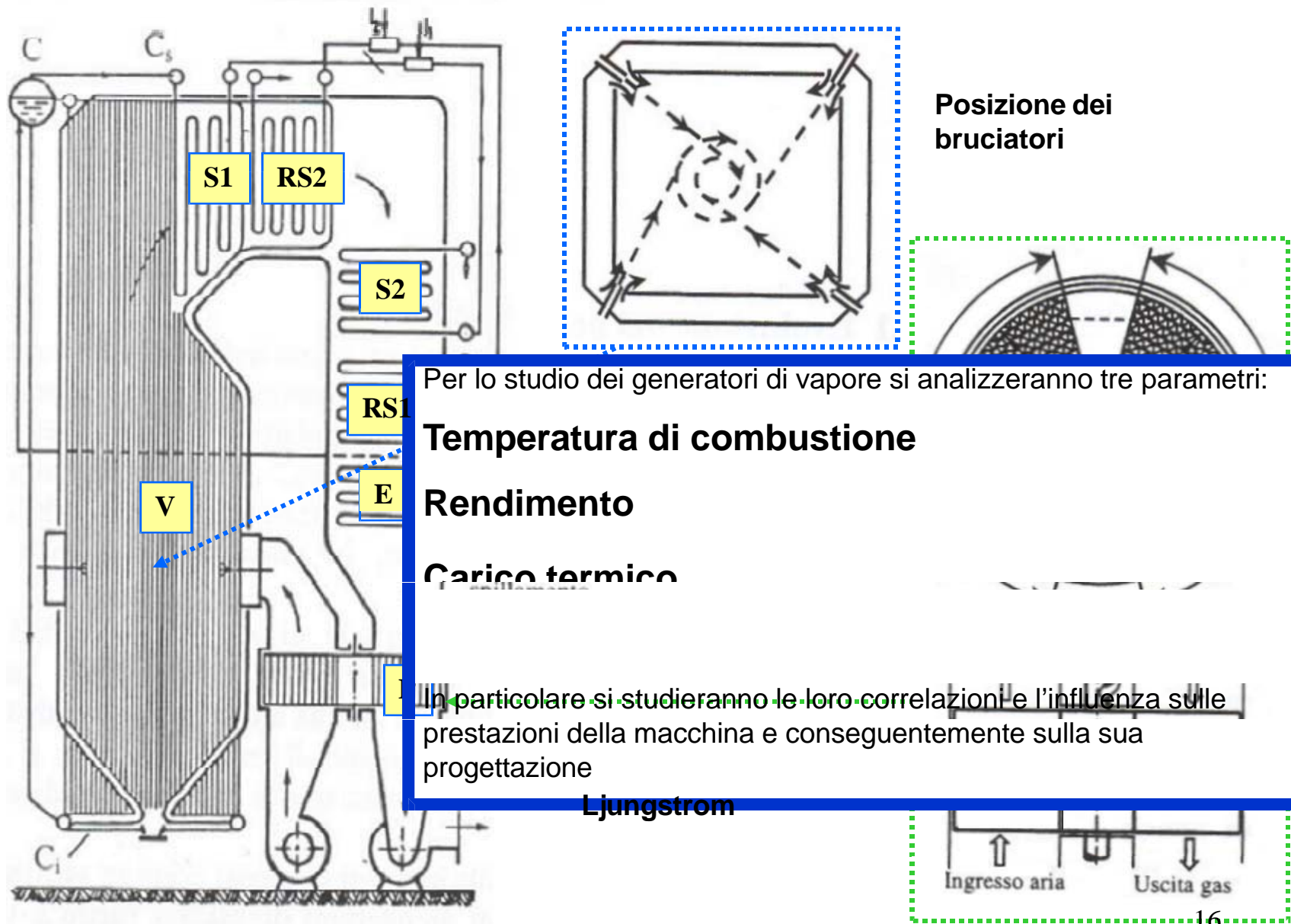


Posizione dei bruciatori



Preriscaldatore dell'aria del tipo Ljungstrom

I corpi principali e lo scambio termico nei GENERATORI di VAPORE



Per lo studio dei generatori di vapore si analizzeranno tre parametri:

- Temperatura di combustione**
- Rendimento**
- Carico termico**

In particolare si studieranno le loro correlazioni e l'influenza sulle prestazioni della macchina e conseguentemente sulla sua progettazione

Ljungstrom

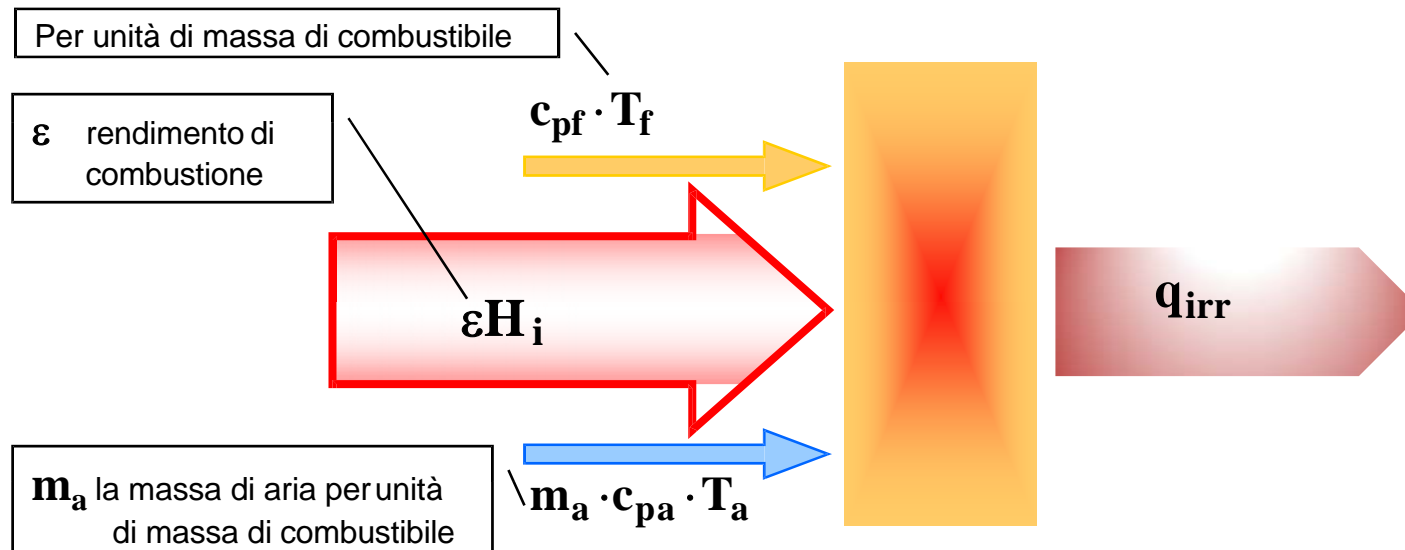
La temperatura di combustione

Il bilancio della camera di combustione impone che:

Calore fornito dall'unità di massa di combustibile
+
entalpia dei reagenti

=

Calore netto ceduto alle pareti dei tubi esposti (q_{irr})
+
entalpia dei fumi prodotti



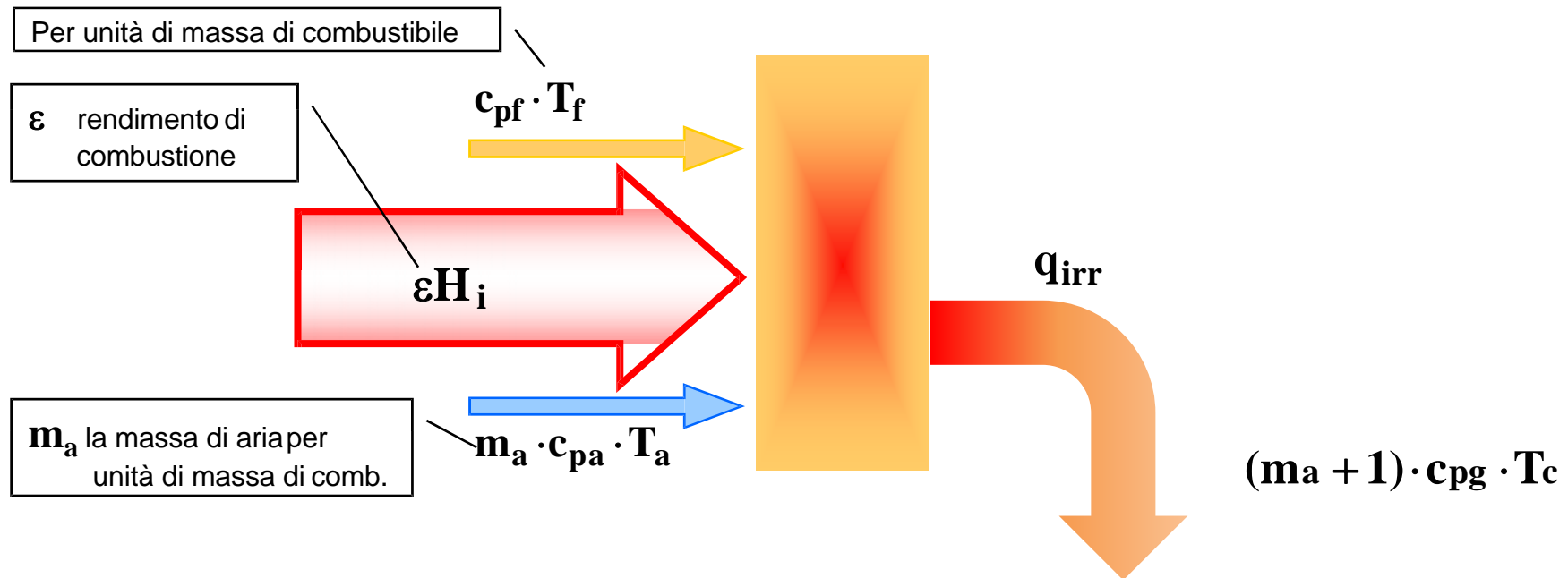
La temperatura di combustione

Il bilancio della camera di combustione impone che:

Calore fornito dall'unità di massa di combustibile
+
entalpia dei reagenti

=

Calore netto ceduto alle pareti dei tubi esposti (q_{irr})
+
entalpia dei fumi prodotti



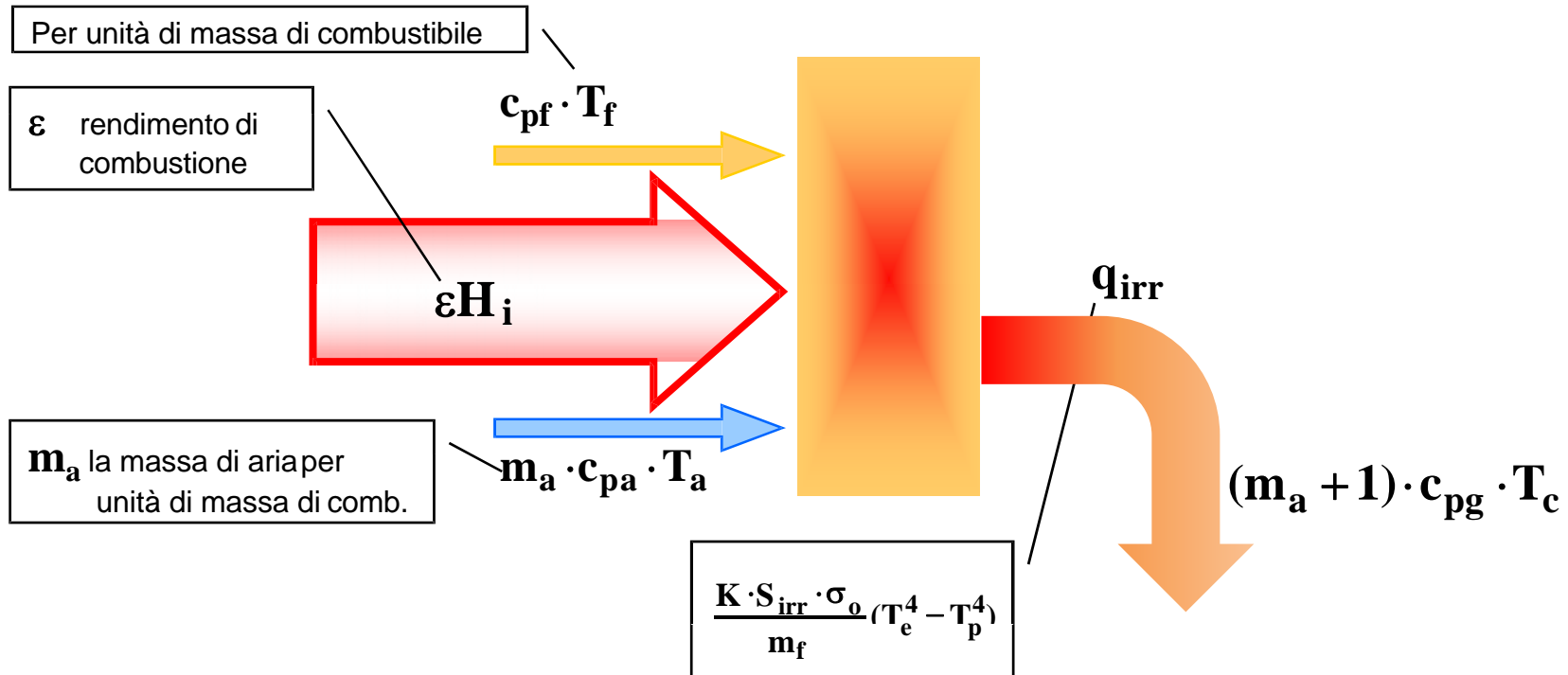
La temperatura di combustione

Il bilancio della camera di combustione impone che:

Calore fornito dall'unità di massa di combustibile
+
entalpia dei reagenti

=

Calore netto ceduto alle pareti dei tubi esposti (q_{irr})
+
entalpia dei fumi prodotti



Volendo calcolare q_{irr} si può porre $K=1$ e $T_c=T_e$ commettendo due errori che algebricamente si compensano

T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2K^4)$ ¹⁹

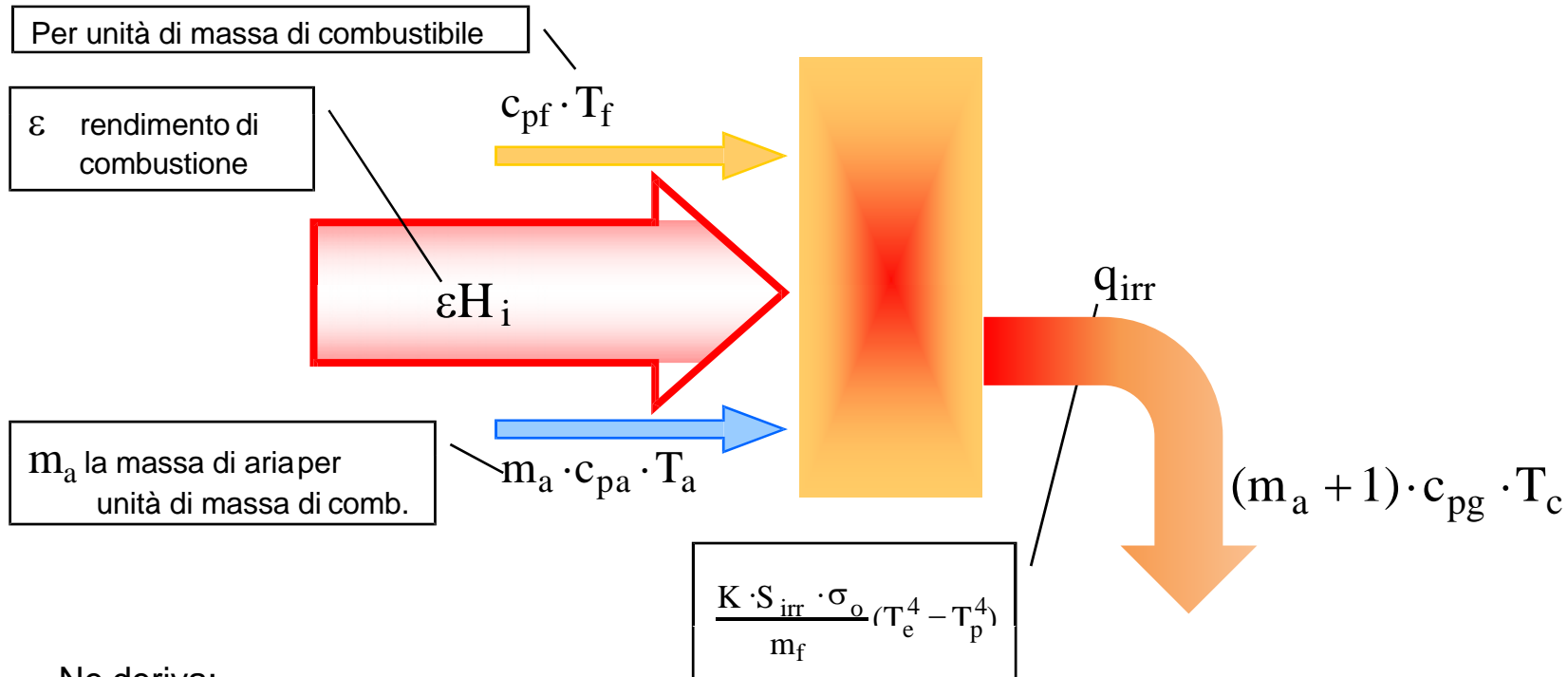
La temperatura di combustione

Il bilancio della camera di combustione impone che:

Calore fornito dall'unità di massa di combustibile
+
entalpia dei reagenti

=

Calore netto ceduto alle pareti dei tubi esposti (q_{irr})
+
entalpia dei fumi prodotti



Ne deriva:

$$\epsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{irr} + c_{pg} (m_a + 1) T_c$$

T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

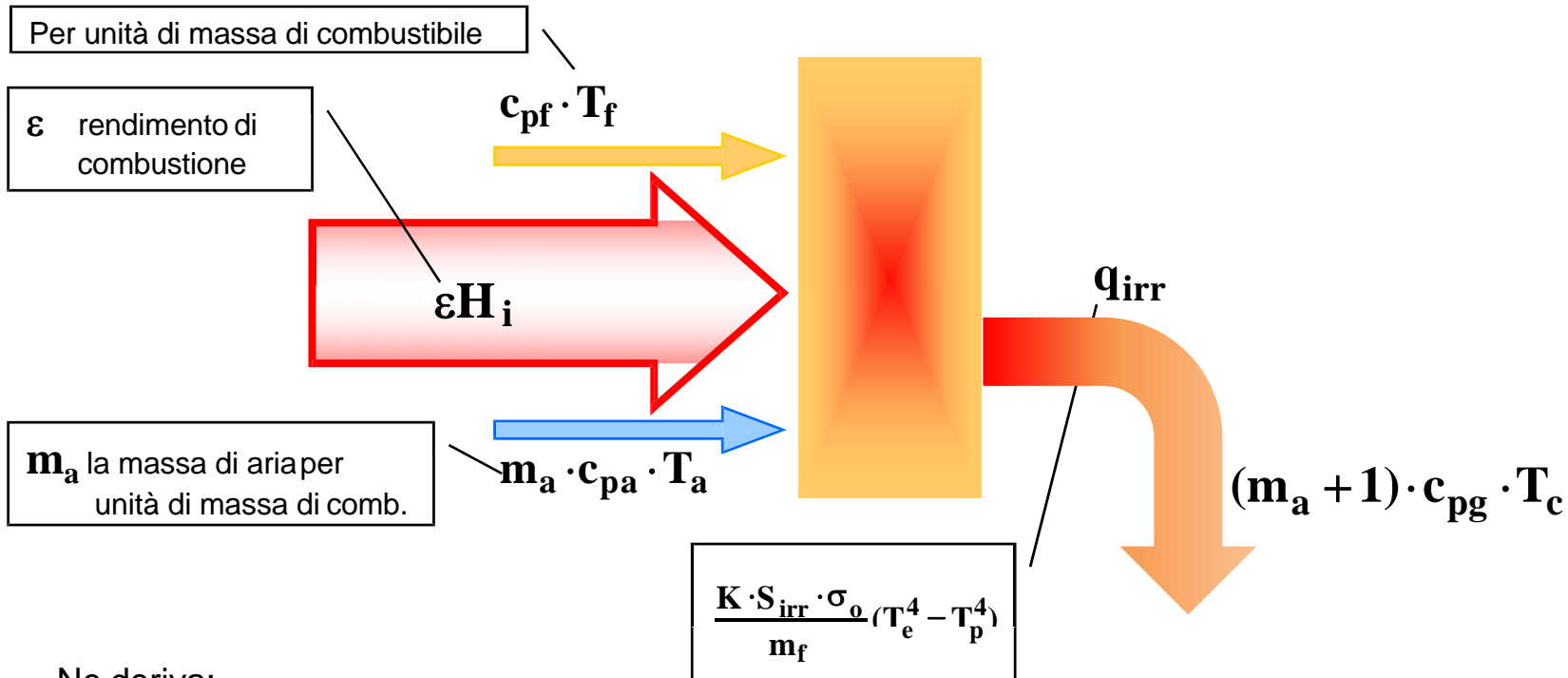
La temperatura di combustione

Il bilancio della camera di combustione impone che:

Calore fornito dall'unità di massa di combustibile
+
entalpia dei reagenti

=

Calore netto ceduto alle pareti dei tubi esposti (q_{irr})
+
entalpia dei fumi prodotti



Ne deriva:

$$\epsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{irr} + c_{pg} (m_a + 1) T_c$$

$$\epsilon H_i + h_R = q_{irr} + c_{pg} (m_a + 1) T_c$$

T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

La temperatura di combustione

Ne deriva:

$$\frac{K \cdot S_{\text{irr}} \cdot \sigma_0 (T_e^4 - T_p^4)}{m_f}$$

$$\varepsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{\text{irr}} + c_{pg}(m_a + 1) T_c$$

$$\varepsilon H_i + h_R = q_{\text{irr}} + c_{pg}(m_a + 1) T_c$$

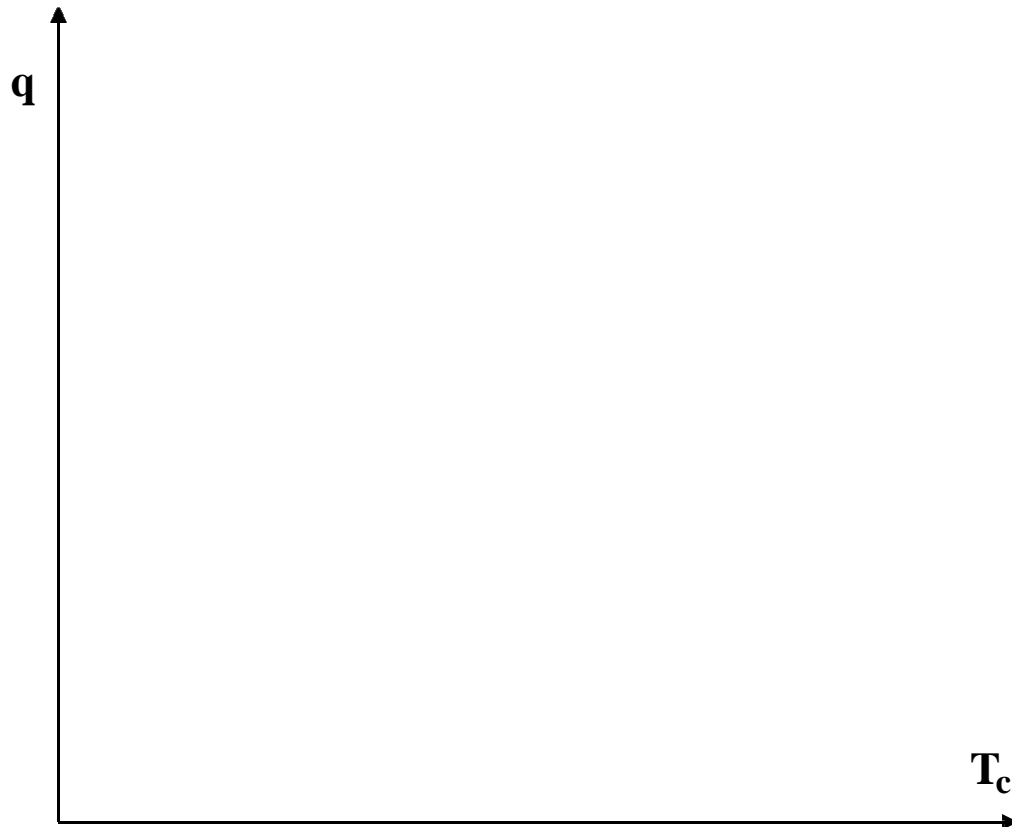
T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

La temperatura di combustione



Ne deriva:

$$\varepsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1)T_c$$

$$\varepsilon H_i + h_R = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1)T_c$$

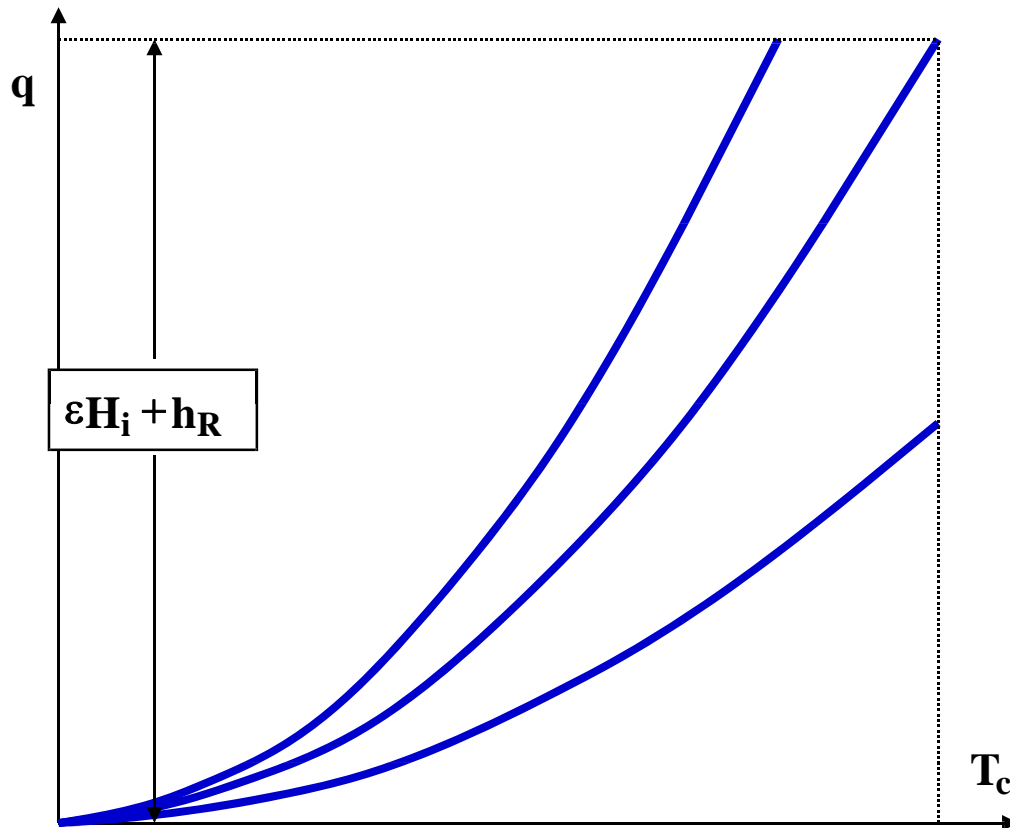
T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

La temperatura di combustione



Un esempio di soluzione dell'equazione per il calcolo della T_c può essere dato dal grafico a fianco riportato dove il valore della temperatura di combustione viene diagrammato in funzione del calore scambiato per unità di massa di combustibile

Ne deriva:

$$\epsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1)T_c$$

$$\epsilon H_i + h_R = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1)T_c$$

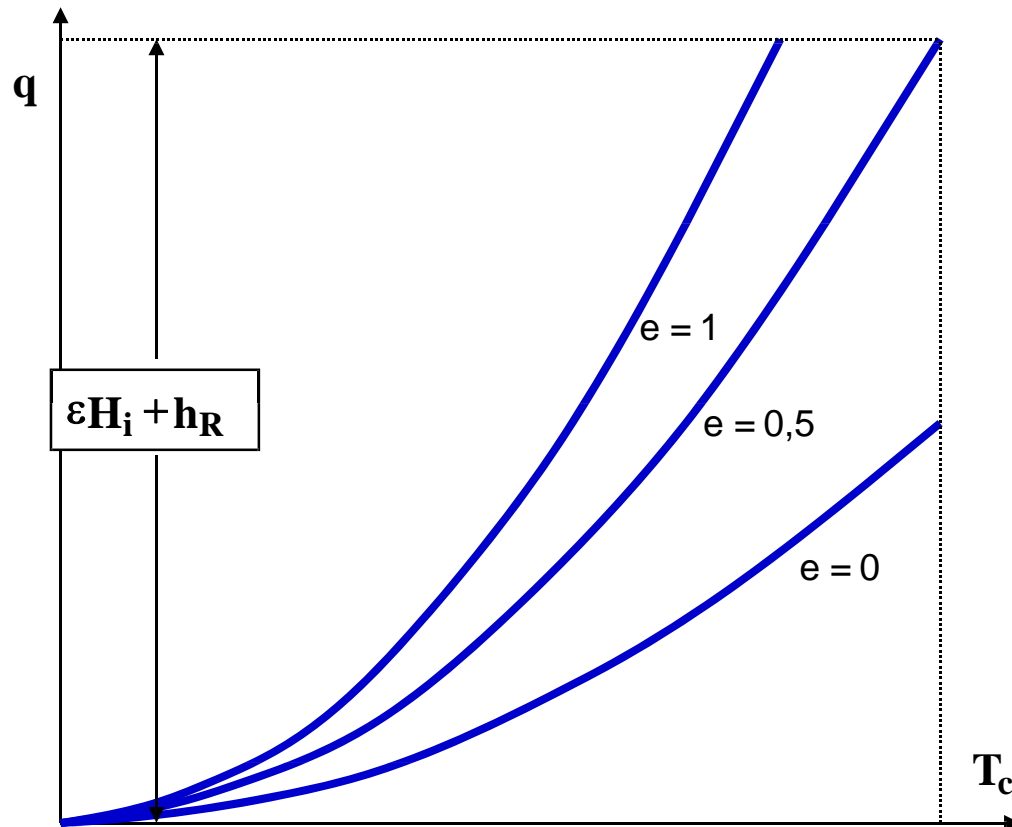
T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ ²⁴

La temperatura di combustione



Ne deriva:

$$\epsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1)T_c$$

$$\epsilon H_i + h_R = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1)T_c$$

Un esempio di soluzione dell'equazione per il calcolo della T_c può essere dato dal grafico a fianco riportato dove il valore della temperatura di combustione viene diagrammato in funzione del calore scambiato per unità di massa di combustibile

Le curve azzurre tracciano l'andamento dell'entalpia totale dei fumi prodotti da 1 kg di combustibile, parametrizzata in funzione dell'eccesso d'aria.

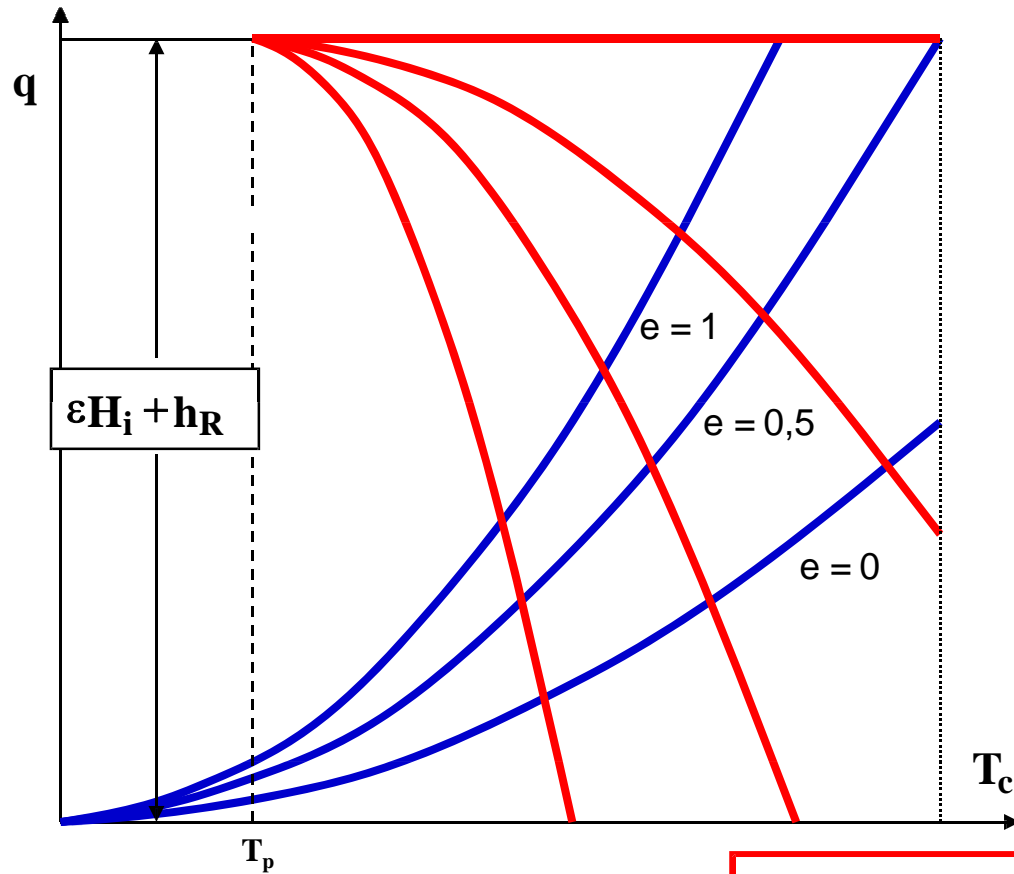
T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

La temperatura di combustione



Un esempio di soluzione dell'equazione per il calcolo della T_c può essere dato dal grafico a fianco riportato dove il valore della temperatura di combustione viene diagrammato in funzione del calore scambiato per unità di massa di combustibile

Le curve azzurre tracciano l'andamento dell'entalpia totale dei fumi prodotti da 1 kg di combustibile, parametrizzata in funzione dell'eccesso d'aria.

Le curve rosse tracciano l'andamento di q_{irr} per diversi valori del parametro:

m_f / S_{irr} [portata di combustibile / unità di superficie irraggiante]

Ne deriva:

$$\frac{K \cdot S_{irr} \cdot \sigma_0 (T_e^4 - T_p^4)}{m_f}$$

$$\epsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1) T_c$$

$$\epsilon H_i + h_R = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1) T_c$$

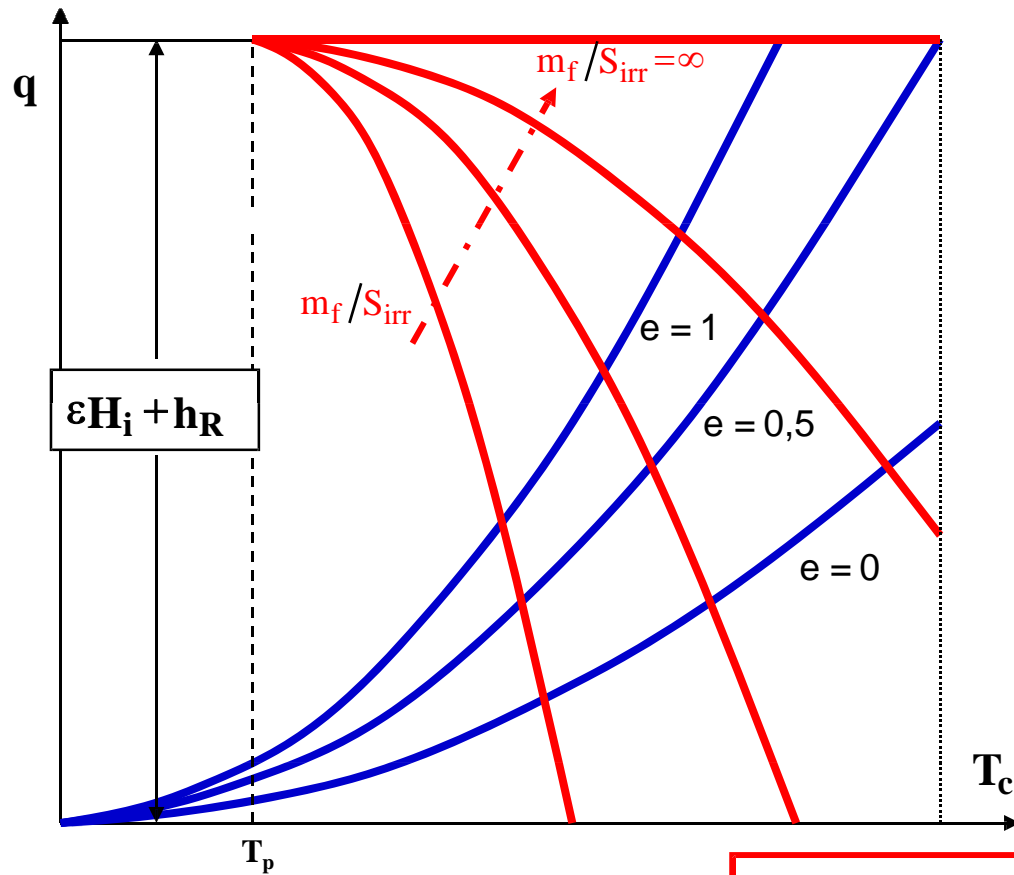
T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

La temperatura di combustione



Un esempio di soluzione dell'equazione per il calcolo della T_c può essere dato dal grafico a fianco riportato dove il valore della temperatura di combustione viene diagrammato in funzione del calore scambiato per unità di massa di combustibile

Le curve azzurre tracciano l'andamento dell'entalpia totale dei fumi prodotti da 1 kg di combustibile, parametrizzata in funzione dell'eccesso d'aria.

Le curve rosse tracciano l'andamento di q_{irr} per diversi valori del parametro:

m_f/S_{irr} [portata di combustibile / unità di superficie irraggiante]

Ne deriva:

$$\frac{K \cdot S_{irr} \cdot \sigma_0 \cdot (T_e^4 - T_p^4)}{m_f}$$

$$\epsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1) T_c$$

$$\epsilon H_i + h_R = q_{irr} + c_{pg}(m_a + 1) T_c$$

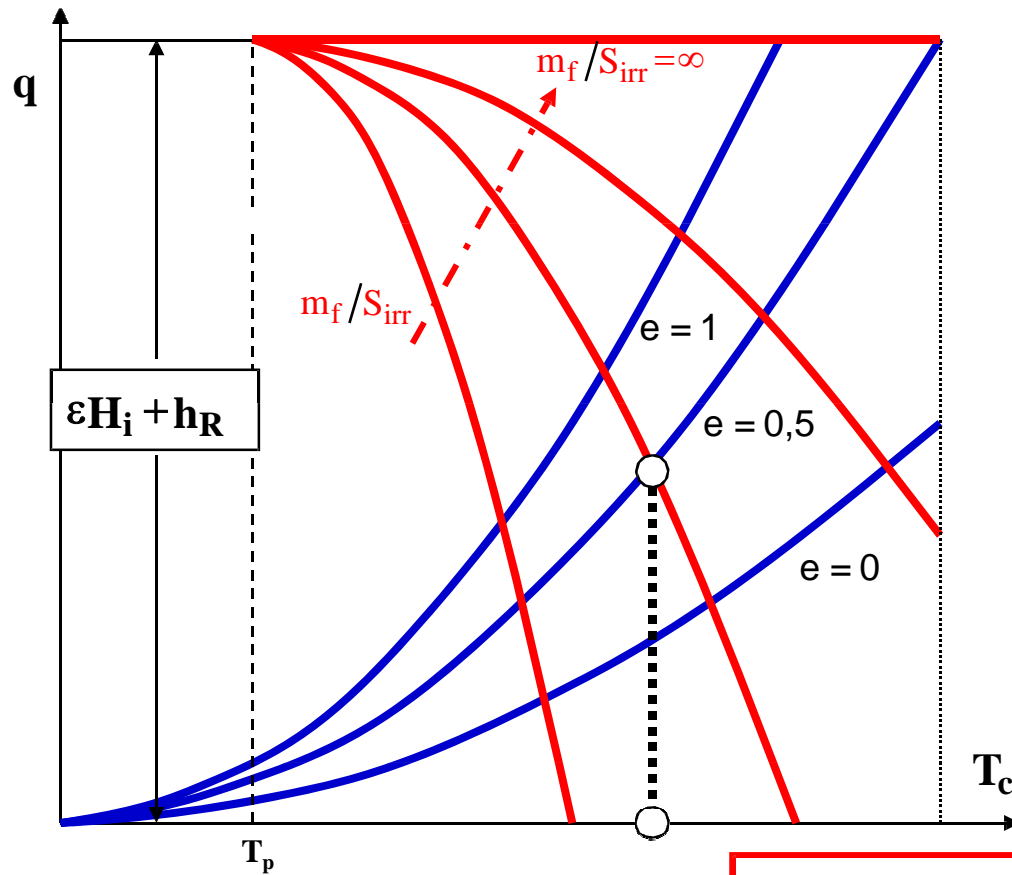
T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ ²⁸

La temperatura di combustione



Un esempio di soluzione dell'equazione per il calcolo della T_c può essere dato dal grafico a fianco riportato dove il valore della temperatura di combustione viene diagrammato in funzione del calore scambiato per unità di massa di combustibile

Le curve azzurre tracciano l'andamento dell'entalpia totale dei fumi prodotti da 1 kg di combustibile, parametrizzata in funzione dell'eccesso d'aria.

Le curve rosse tracciano l'andamento di q_{irr} per diversi valori del parametro [portata di combustibile per unità di superficie irraggiante]

Potendo calcolare agevolmente $\epsilon H_i + h_R$ si ricava il valore di T_c dall'intersezione delle curve per assegnati valori dei parametri

Ne deriva:

$$\frac{K \cdot S_{irr} \cdot \sigma_0 (T_e^4 - T_p^4)}{m_f}$$

$$\epsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = q_{irr} + c_{pg} (m_a + 1) T_c$$

$$\epsilon H_i + h_R = q_{irr} + c_{pg} (m_a + 1) T_c$$

T_e la temperatura dei corpi emittenti

T_p la temperatura delle pareti dei tubi irraggiati

K parametro che dipende dai coefficienti di irraggiamento delle parti emittenti e riceventi e dal fattore d'angolo

σ_0 costante di Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 K^4)$

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot h_v}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico

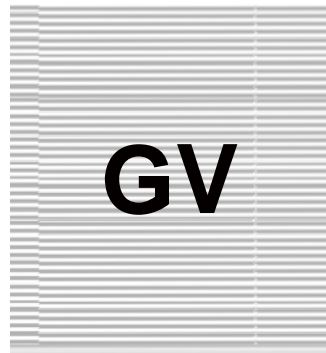
Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot \Delta h_v}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico

Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

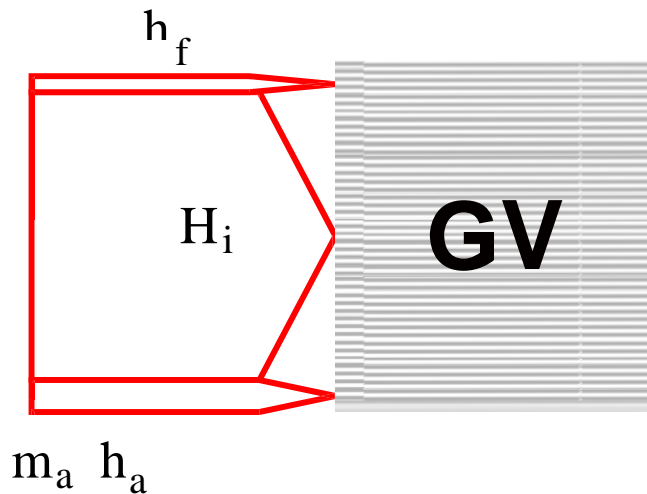
- ε il rendimento di combustione
- q_d il calore disperso attraverso le pareti,



Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot h_v}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico



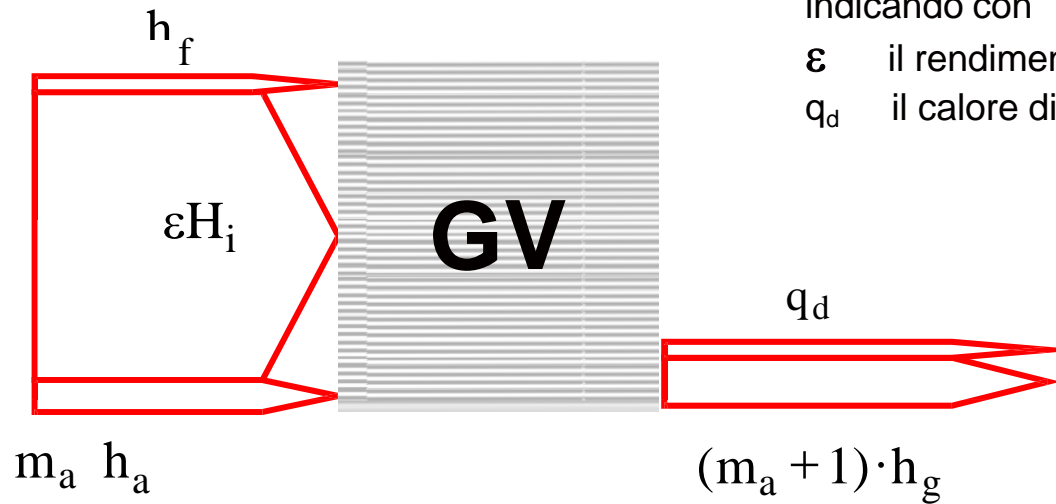
Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

- ε il rendimento di combustione
- q_d il calore disperso attraverso le pareti,

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot h_v}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico



Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

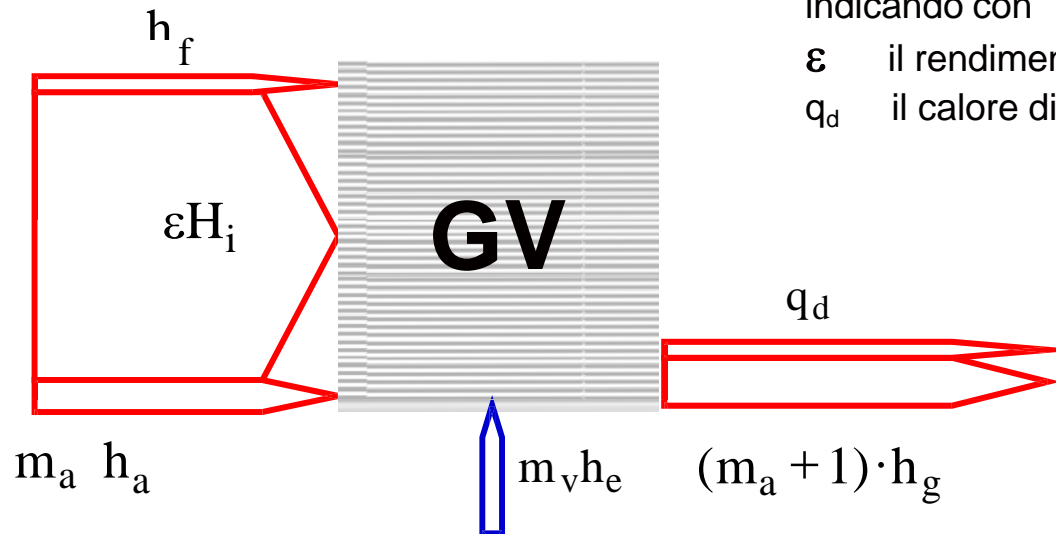
ε il rendimento di combustione

q_d il calore disperso attraverso le pareti,

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot h_v}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico



Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

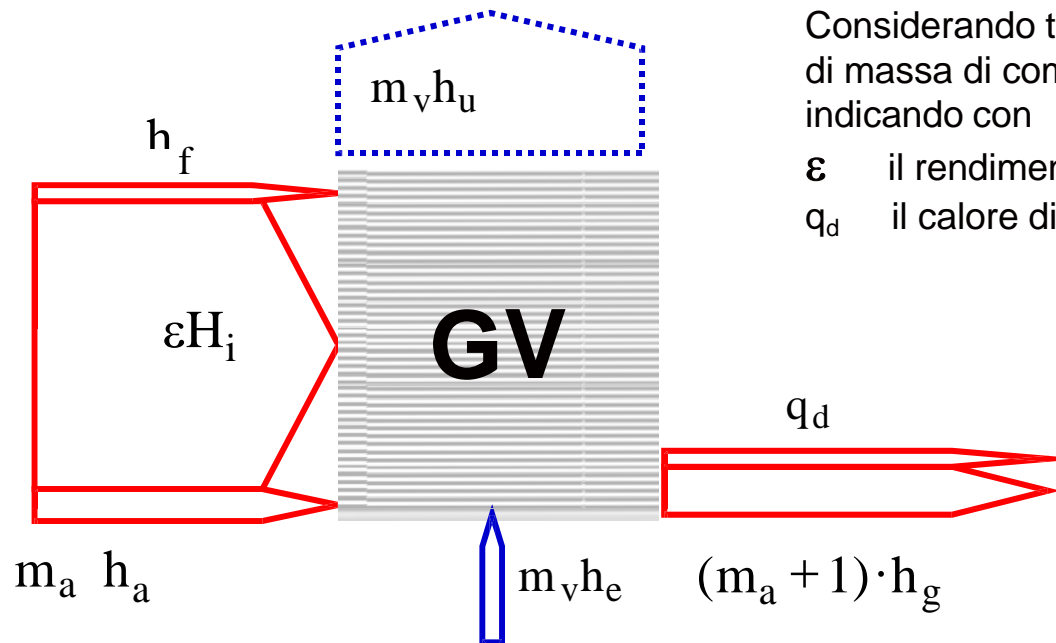
ε il rendimento di combustione

q_d il calore disperso attraverso le pareti,

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot h_u}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico



Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

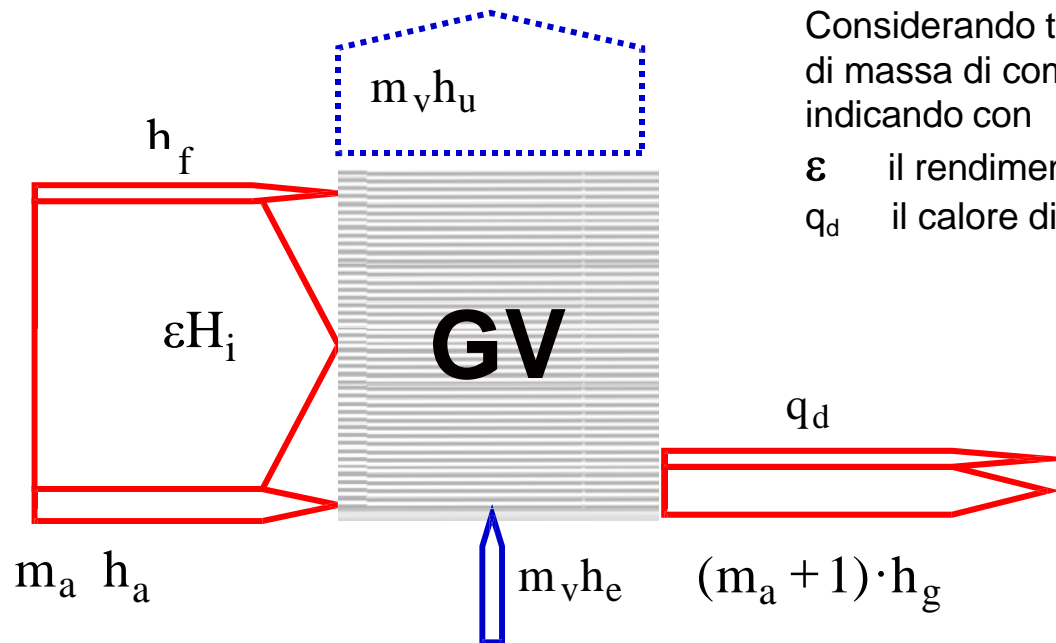
ε il rendimento di combustione

q_d il calore disperso attraverso le pareti,

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot h_u}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico



Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

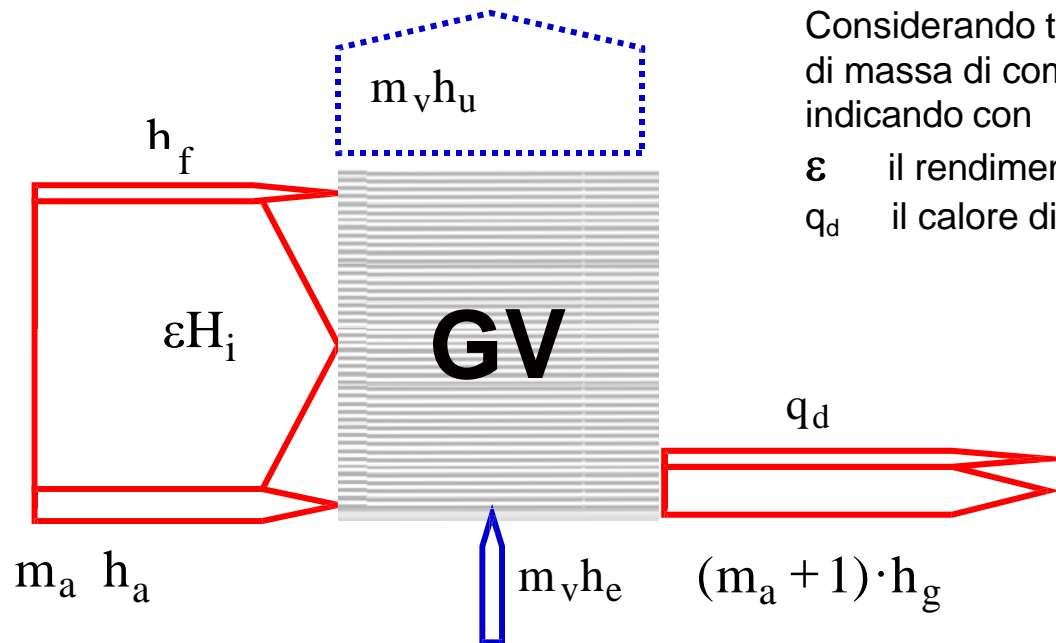
ε il rendimento di combustione
 q_d il calore disperso attraverso le pareti,

Con
 $m_a + 1 = m_g$

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \Delta h_v}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico



Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

ε il rendimento di combustione
 q_d il calore disperso attraverso le pareti,

Con

$$m_a + 1 = m_g$$

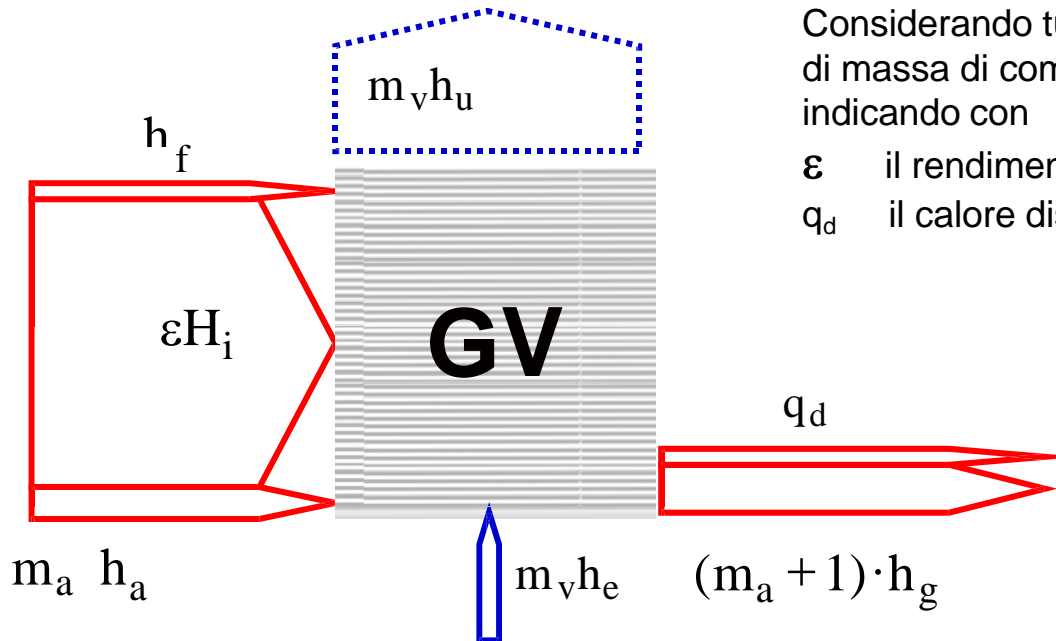
$$h_u - h_e = \Delta h_v$$

si ha:

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot h_u}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico



Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

ε il rendimento di combustione

q_d il calore disperso attraverso le pareti,

Con

$$m_a + 1 = m_g$$

$$h_u - h_e = \Delta h_v$$

si ha:

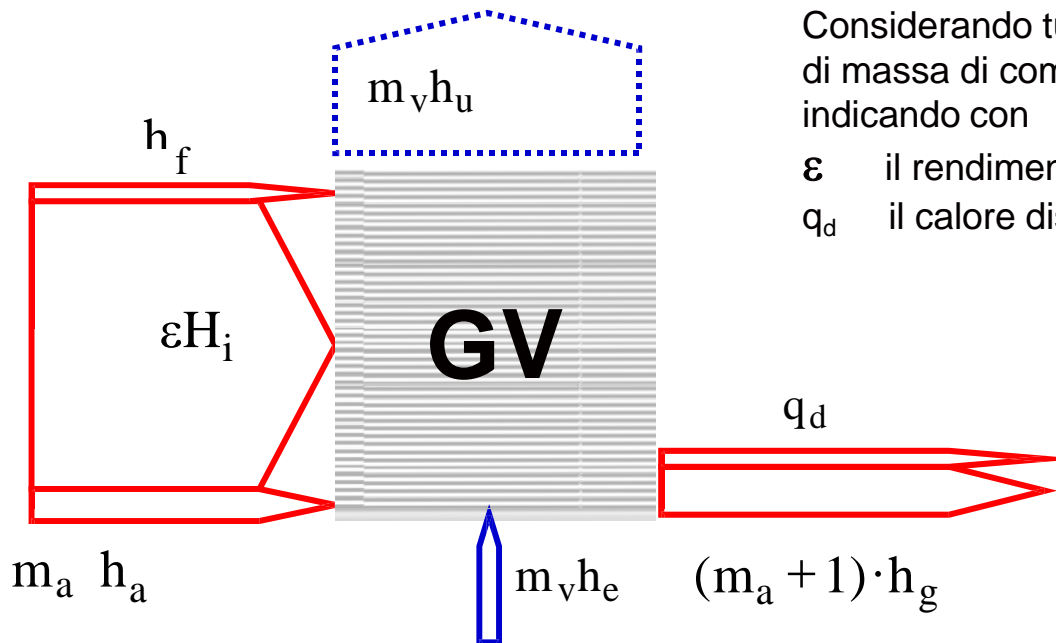
$$\varepsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = m_v \Delta h_v + q_d + m_g c_{pg} T_g$$

In prima approssimazione si può considerare ininfluente il contributo entalpico del combustibile

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

$$\eta_g = \frac{m_v \cdot h_u}{m_f \cdot H_i}$$

Per non incorrere in errori derivanti dall'incertezza di valutazione di alcune delle grandezze della formula si può adottare un procedimento indiretto basato sul bilancio energetico



Considerando tutte le grandezze per unità di massa di combustibile utilizzato ed indicando con

ε il rendimento di combustione
 q_d il calore disperso attraverso le pareti,

Con

$$m_a + 1 = m_g$$

$$h_u - h_e = \Delta h_v$$

si ha:

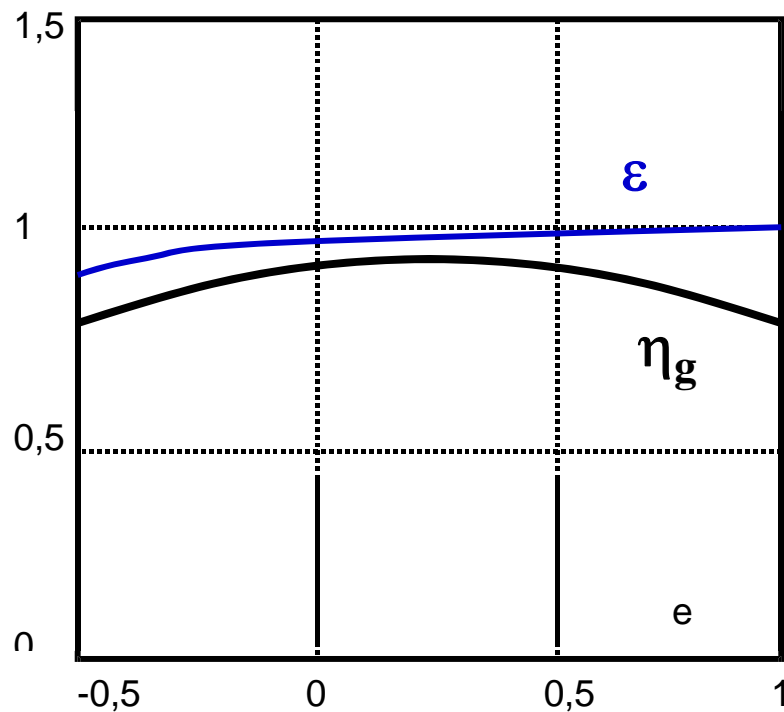
$$\varepsilon H_i + m_a c_{pa} T_a + c_{pf} T_f = m_v \Delta h_v + q_d + m_g c_{pg} T_g$$

In prima approssimazione si può considerare ininfluenza il contributo entalpico del combustibile

$$\eta_g = \varepsilon - \frac{m_g c_{pg} (T_g - T_a) + q_d}{H_i}$$

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

Forte influenza viene esercitata dall'eccesso d'aria sia tramite ϵ e la massa m_g di gas prodotti



$$\eta_g = \epsilon - \frac{m_g c_{pg} (T_g - T_a) + q_d}{H_i}$$

Il Rendimento di un GENERATORE di VAPORE

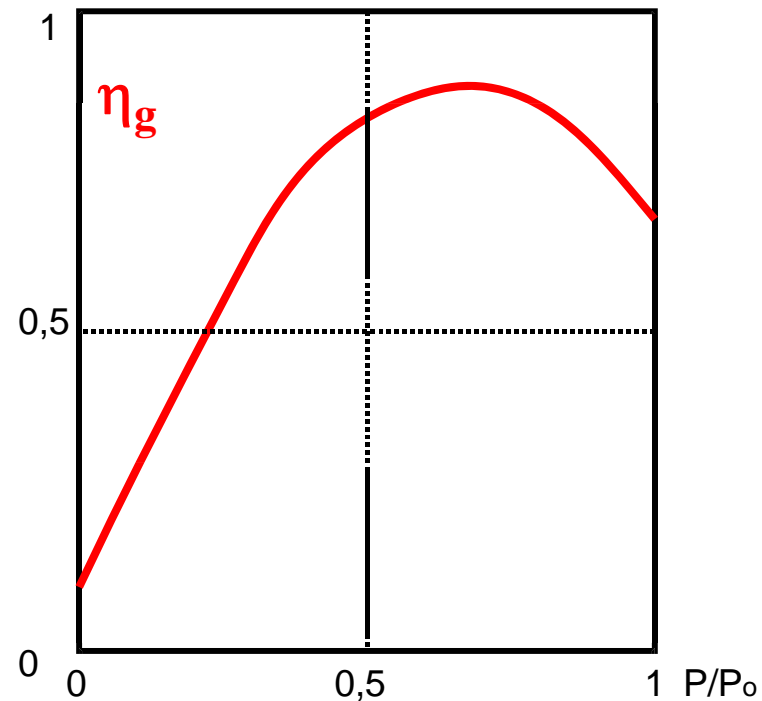
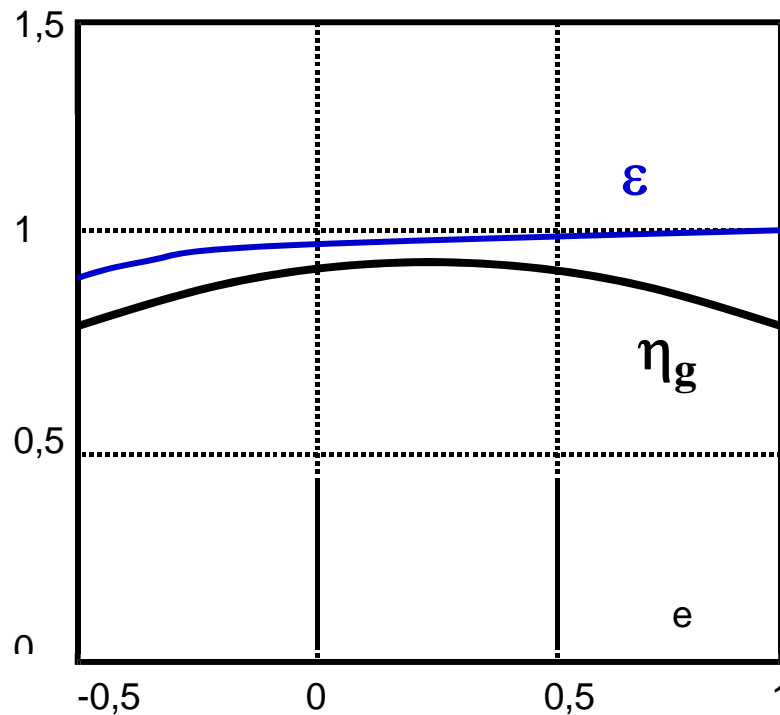
Forte influenza viene esercitata dall'eccesso d'aria sia tramite ε e la massa m_g di gas prodotti

In funzione del carico si nota un massimo del rendimento attorno al 70% del carico MAX.

Le perdite dipendono:

bassi carichi
alti carichi

incidenza del calore disperso q_d
eccessiva temperatura dei fumi al camino



$$\eta_g = \varepsilon - \frac{m_g c_{pg} (T_g - T_a) + q_d}{H_i}$$

Il Carico Termico

Si definisce CARICO TERMICO di una camera di combustione

La **POTENZA SVILUPPATA** da una determinata **PORTATA di COMBUSTIBILE**

per UNITA' di VOLUME di camera di combustione

Il Carico Termico

Si definisce **CARICO TERMICO** di una camera di combustione

La **POTENZA SVILUPPATA** da una determinata **PORTATA di COMBUSTIBILE**
per **UNITA' di VOLUME** di camera di combustione

$$C_t = \frac{m_f \cdot H_i}{V}$$

Il Carico Termico

Si definisce **CARICO TERMICO** di una camera di combustione

La **POTENZA SVILUPPATA** da una determinata **PORTATA di COMBUSTIBILE**
per **UNITA' di VOLUME** di camera di combustione

$$C_t = \frac{m_f \cdot H_i}{V}$$

E' influenzato dal tempo di permanenza
della singola particella in C.C.

Il Carico Termico

Si definisce CARICO TERMICO di una camera di combustione

La **POTENZA SVILUPPATA** da una determinata **PORTATA di COMBUSTIBILE**
per **UNITA' di VOLUME** di camera di combustione

$$C_t = \frac{m_f \cdot H_i}{V}$$

E' influenzato dal tempo di permanenza della singola particella in C.C.

A area della sezione trasversale
h la lunghezza nella direzione del moto
V_g Volume specifico dei fumi

$$\tau_P = \frac{A \cdot h}{m_f \cdot V_g} = \frac{V}{m_f \cdot V_g}$$

Volume della C.C.

essendo $\frac{V_g}{V_0} = \frac{T_g p_0}{p_g T_0}$ sostituendo $V = \tau_P \cdot m_f \cdot V_0 \frac{T_g p_0}{p_g T_0}$

Il Carico Termico

Si definisce **CARICO TERMICO** di una camera di combustione

La **POTENZA SVILUPPATA** da una determinata **PORTATA di COMBUSTIBILE**
per **UNITA' di VOLUME** di camera di combustione

$$C_t = \frac{m_f \cdot H_i}{V}$$

E' influenzato dal tempo di permanenza della singola particella in C.C.

A area della sezione trasversale
h la lunghezza nella direzione del moto
 V_g Volume specifico dei fumi

$$\tau_P = \frac{A \cdot h}{m_f \cdot V_g} = \frac{V}{m_f \cdot V_g}$$

Volume della C.C.

essendo $\frac{V_g}{V_0} = \frac{T_g p_0}{p_g T_0}$ sostituendo $V = \tau_P \cdot m_f \cdot V_0 \frac{T_g p_0}{p_g T_0}$

$$C_t = \frac{H_i}{\tau_p} \frac{T_0}{V_0 \cdot p_0} \frac{p_g}{T_g}$$

Il Carico Termico

Si definisce CARICO TERMICO di una camera di combustione

La **POTENZA SVILUPPATA** da una determinata **PORTATA di COMBUSTIBILE**
 per **UNITA' di VOLUME** di camera di combustione

$$C_t = \frac{m_f \cdot H_i}{V}$$

E' influenzato dal tempo di permanenza della singola particella in C.C.

A area della sezione trasversale
 h la lunghezza nella direzione del moto
 V_g Volume specifico dei fumi

$$\tau_P = \frac{A \cdot h}{m_f \cdot V_g} = \frac{V}{m_f \cdot V_g}$$

Volume della C.C.

$$\varphi = \frac{S_{irr}}{S}$$

$$\frac{C_t \cdot V}{H_i} = m_f \frac{\varphi \cdot S}{S_{irr}}$$



$$\frac{C_t \cdot L}{\varphi} \propto \frac{m_f}{S_{irr}}$$

$$C_t = \frac{H_i}{\tau_p} \frac{T_0}{V_0 \cdot p_0} \frac{p_g}{T_g}$$

Il Carico Termico

Si definisce CARICO TERMICO di una camera di combustione

La **POTENZA SVILUPPATA** da una determinata **PORTATA di COMBUSTIBILE**
 per **UNITA' di VOLUME** di camera di combustione

$$C_t = \frac{m_f \cdot H_i}{V}$$

E' influenzato dal tempo di permanenza della singola particella in C.C.

A area della sezione trasversale
 h la lunghezza nella direzione del moto
 V_g Volume specifico dei fumi

$$\tau_P = \frac{A \cdot h}{m_f \cdot V_g} = \frac{V}{m_f \cdot V_g}$$

Volume della C.C.

$$C_t = \frac{H_i}{\tau_p} \frac{T_0}{V_0 \cdot p_0} \frac{p_g}{T_g}$$

$$\varphi = \frac{S_{irr}}{S}$$

$$\frac{C_t \cdot V}{H_i} = m_f \frac{\varphi \cdot S}{S_{irr}}$$



$$\frac{C_t \cdot L}{\varphi} \propto \frac{m_f}{S_{irr}}$$

Per ridurre T_c tramite la riduzione di $\frac{m_f}{S_{irr}}$
 occorre ridurre C_t od aumentare φ

Il Carico Termico

Si definisce **CARICO TERMICO** di una camera di combustione

La **POTENZA SVILUPPATA** da una determinata **PORTATA di COMBUSTIBILE**
 per **UNITA' di VOLUME** di camera di combustione

$$C_t = \frac{m_f \cdot H_i}{V}$$

E' influenzato dal tempo di permanenza della singola particella in C.C.

A area della sezione trasversale
 h la lunghezza nella direzione del moto
 V_g Volume specifico dei fumi

$$\tau_P = \frac{A \cdot h}{m_f \cdot V_g} = \frac{V}{m_f \cdot V_g}$$

Volume della C.C.

$$C_t = \frac{H_i}{\tau_p} \frac{T_0}{V_0 \cdot p_0} \frac{p_g}{T_g}$$

$$\varphi = \frac{S_{irr}}{S}$$

$$\frac{C_t \cdot V}{H_i} = m_f \frac{\varphi \cdot S}{S_{irr}}$$

$$\frac{C_t \cdot L}{\varphi} \propto \frac{m_f}{S_{irr}}$$

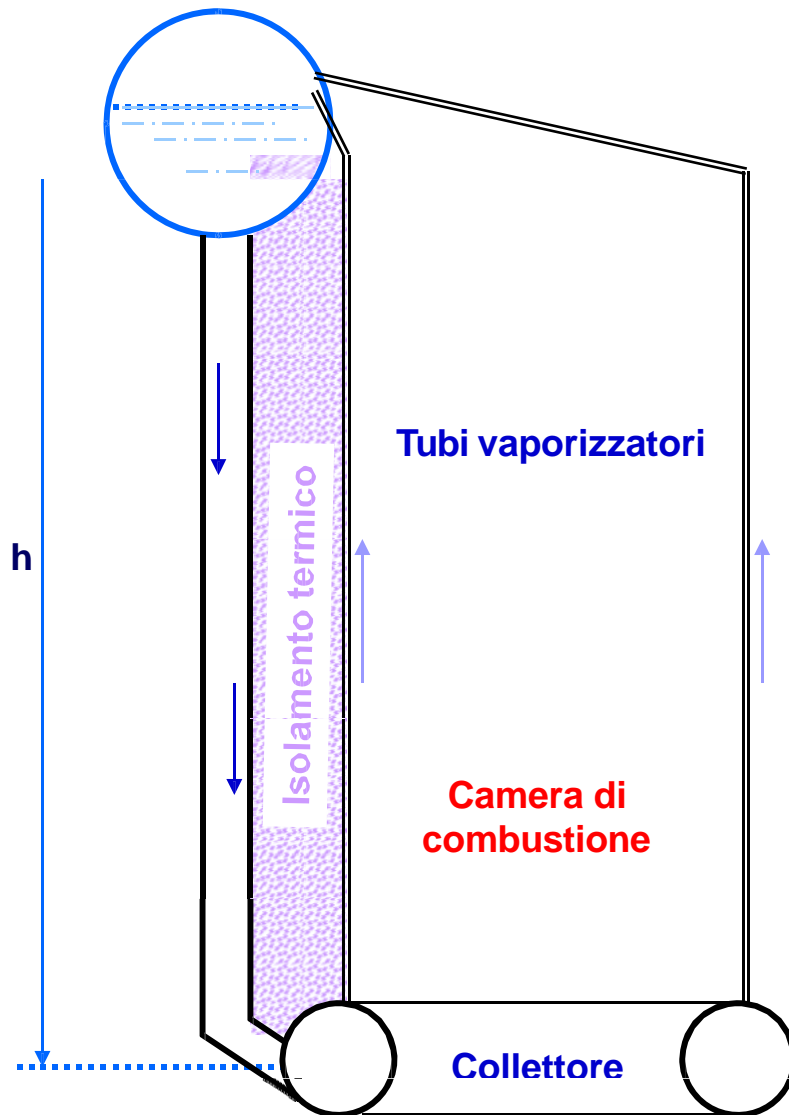
Per ridurre T_c tramite la riduzione di $\frac{m_f}{S_{irr}}$
 occorre ridurre C_t od aumentare φ

Pannellare la C.C. con i vaporizzatori

La circolazione del fluido evaporante nei GENERATORI di VAPORE

Nelle caldaie a tubi d'acqua è molto importante curare la circolazione per accrescere la produzione di vapore per unità di superficie del fascio tubiero.

La circolazione del fluido evaporante nei GENERATORI di VAPORE



Nelle caldaie a tubi d'acqua è molto importante curare la circolazione per accrescere la produzione di vapore per unità di superficie del fascio tubiero.

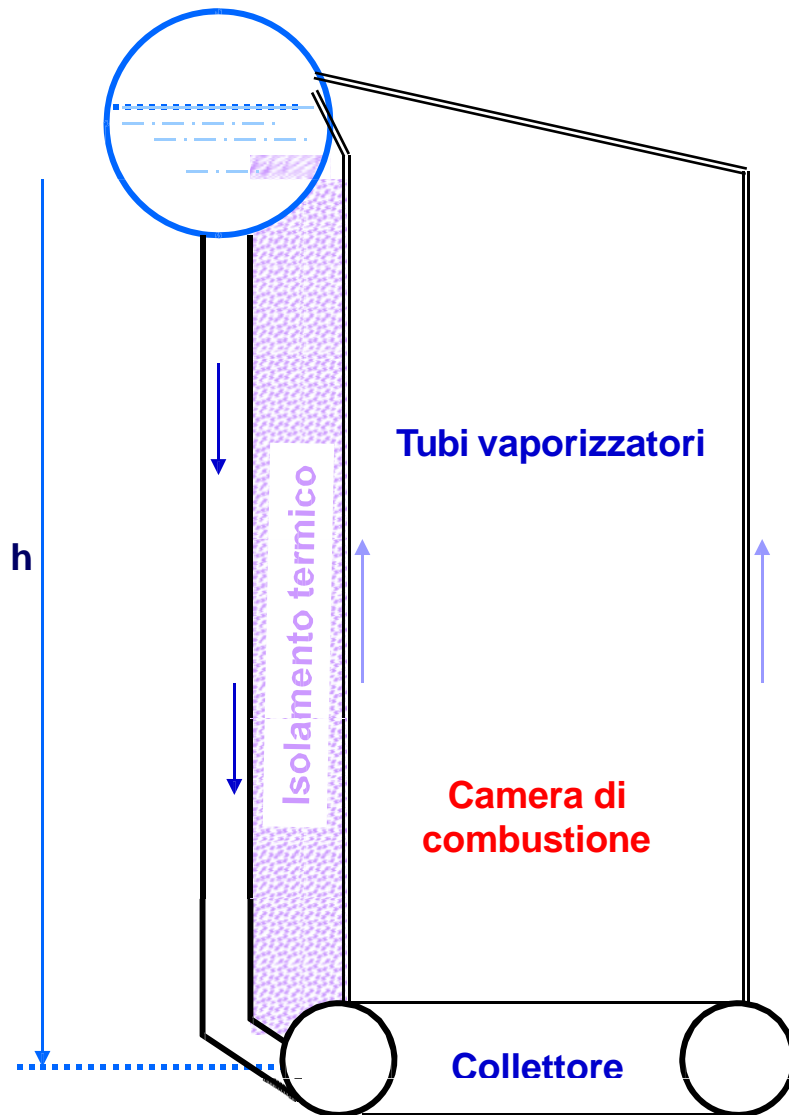
Le pareti sono costituite da fasci tubieri vaporizzatori riscaldati per IRRAGGIAMENTO e per CONVEZIONE.

La discesa del liquido è assicurata da pochi e grossi tubi esterni ed isolati.

Il vapore prodotto risale verso il corpo separatore di liquido per la minore densità.

Sulla base del fascio tubiero agirà infatti una differenza di pressione (Δp) ~~per~~ da tale differenza di densità ($\Delta \rho$):

La circolazione del fluido evaporante nei GENERATORI di VAPORE



Nelle caldaie a tubi d'acqua è molto importante curare la circolazione per accrescere la produzione di vapore per unità di superficie del fascio tubiero.

Le pareti sono costituite da fasci tubieri vaporizzatori riscaldati per IRRAGGIAMENTO e per CONVEZIONE.

La discesa del liquido è assicurata da pochi e grossi tubi esterni ed isolati.

Il vapore prodotto risale verso il corpo separatore di liquido per la minore densità.

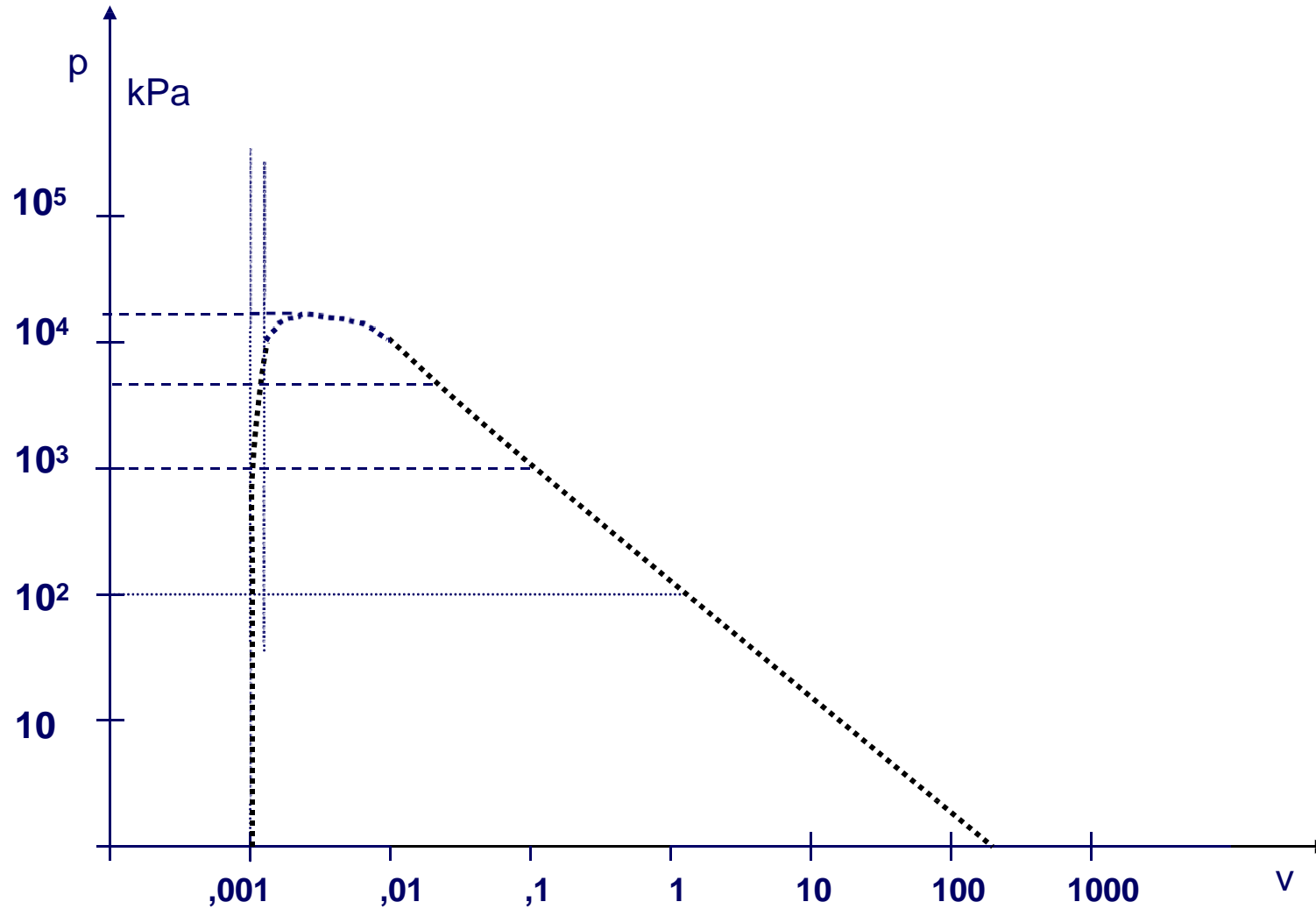
Sulla base del fascio tubiero agirà infatti una differenza di pressione (Δp) ~~provata~~ da tale differenza di densità ($\Delta \rho$):

$$\Delta p = gh \cdot \Delta \rho$$

Ovviamente all'aumentare dell'altezza si agevola la circolazione naturale, spiegando la disposizione dei tubi verticalmente

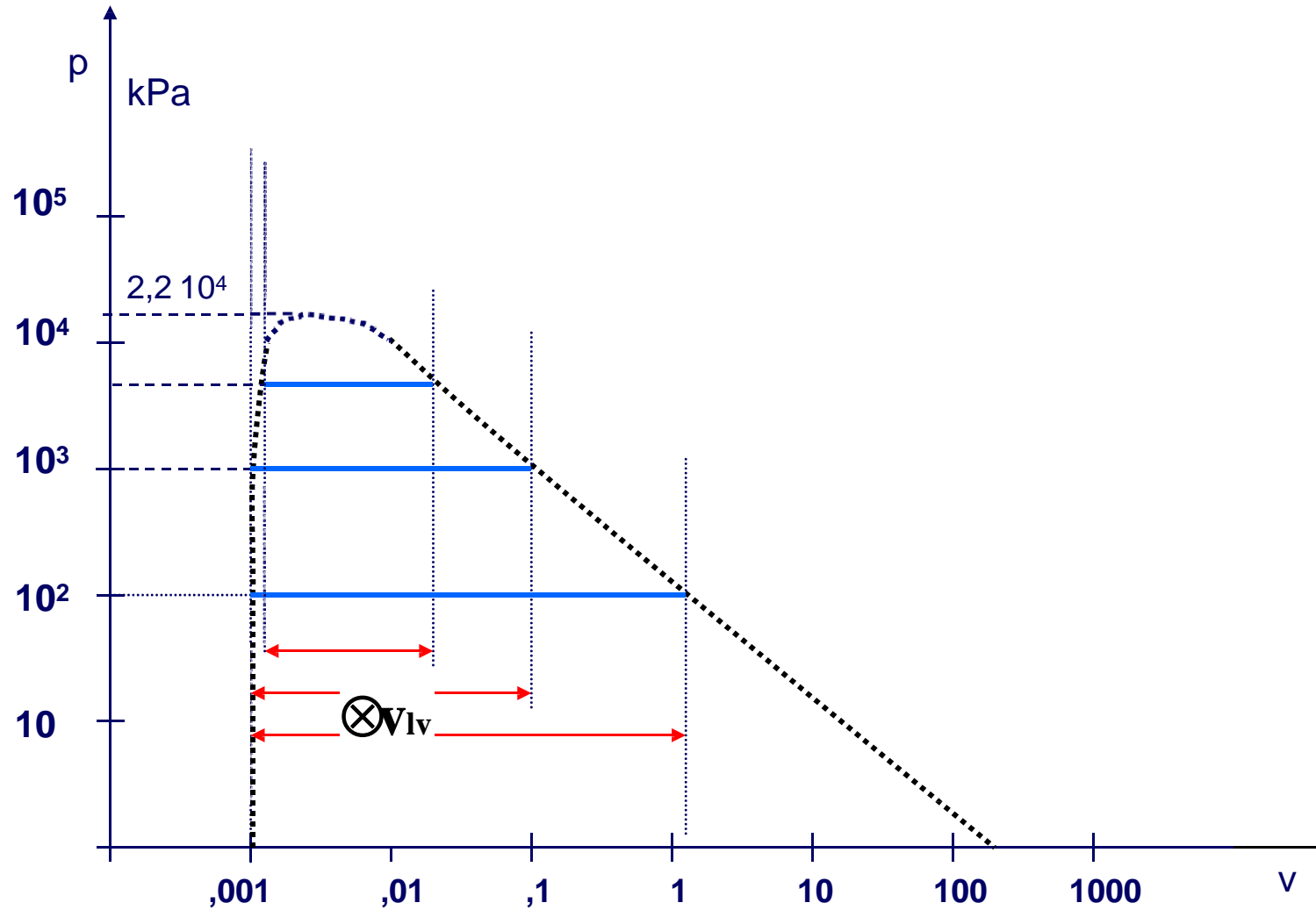
La circolazione del fluido evaporante nei GENERATORI di VAPORE

Al crescere della pressione di esercizio si restringe la differenza tra le proprietà del vapore e del liquido



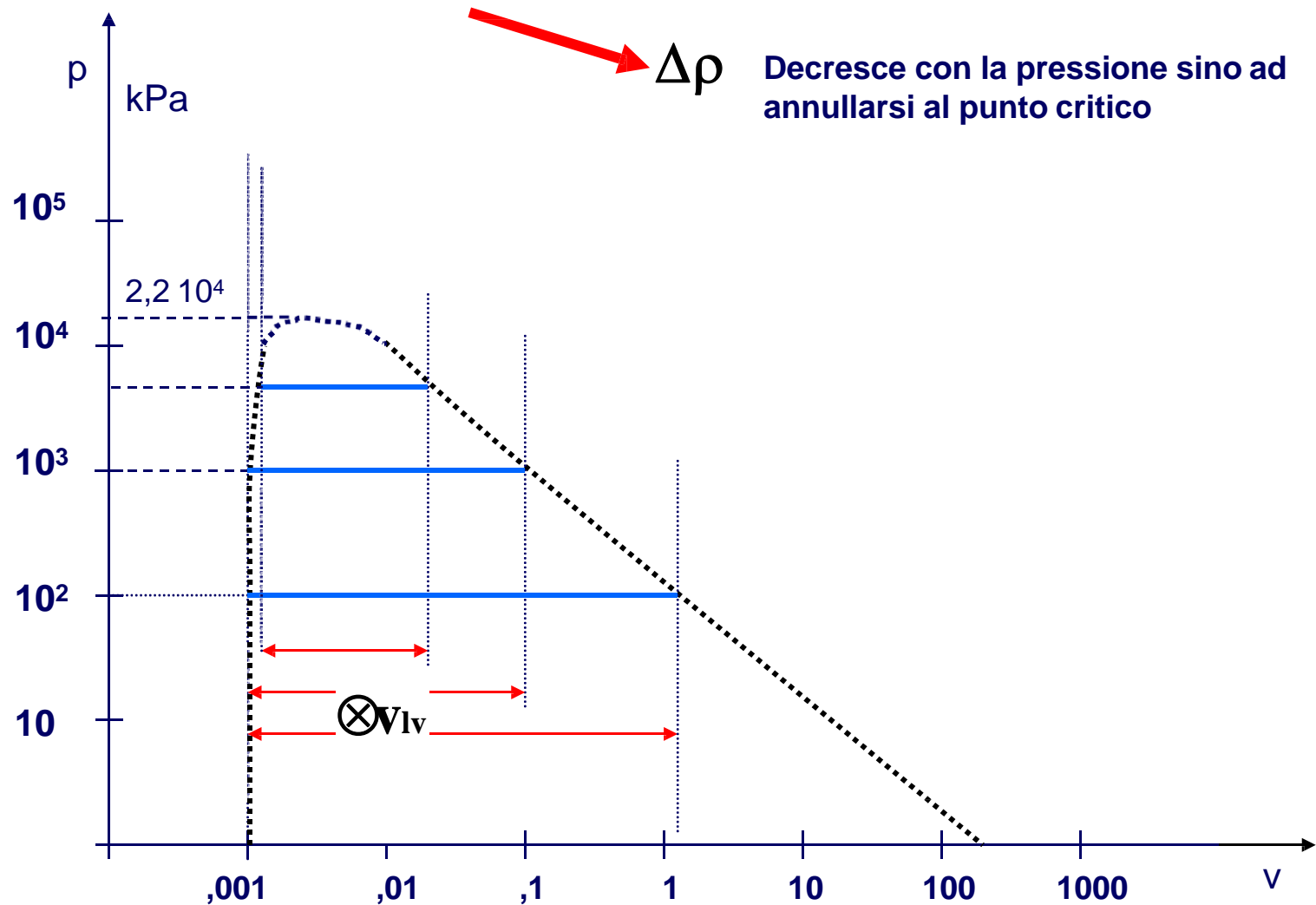
La circolazione del fluido evaporante nei GENERATORI di VAPORE

Al crescere della pressione di esercizio si restringe la differenza tra le proprietà del vapore e del liquido



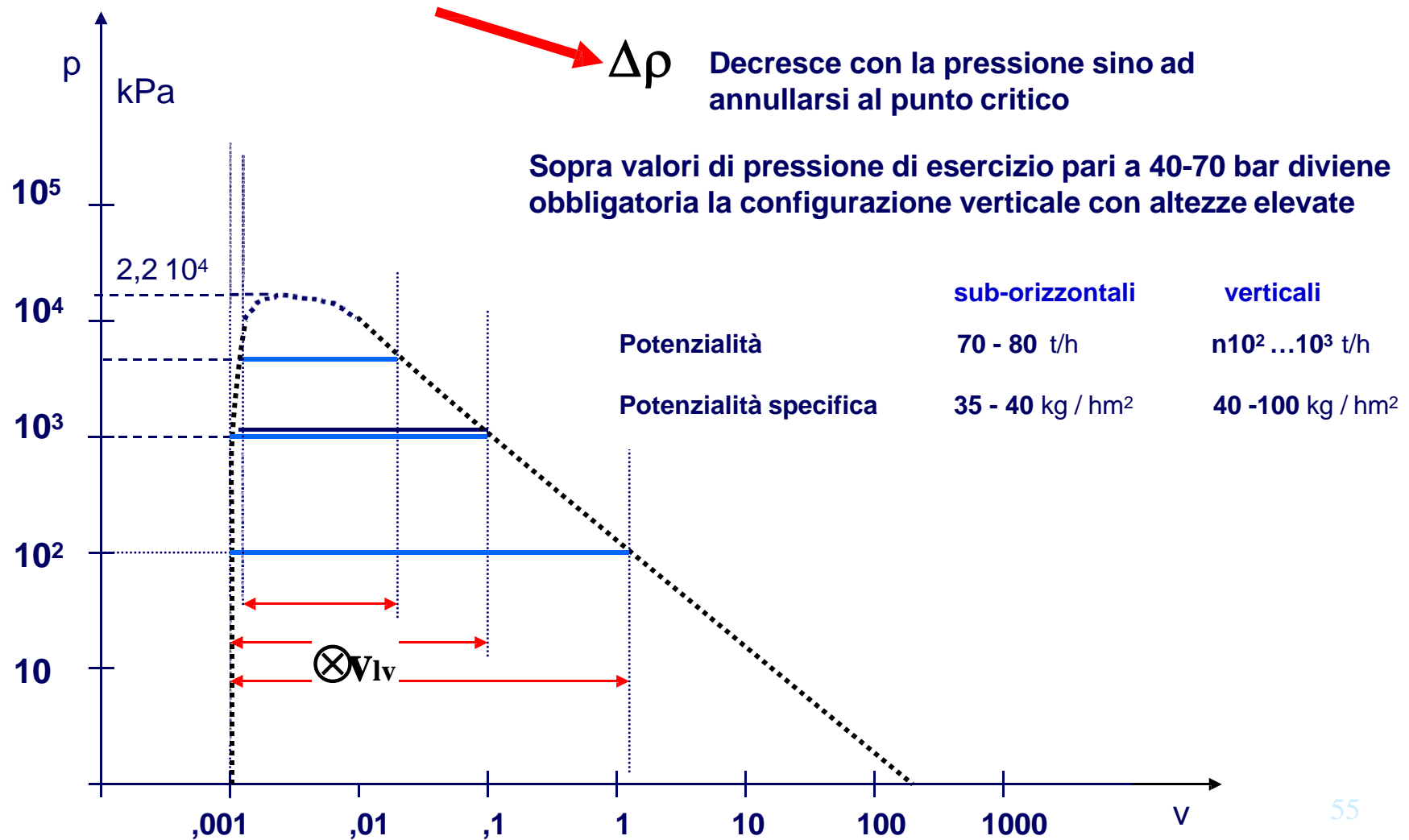
La circolazione del fluido evaporante nei GENERATORI di VAPORE

Al crescere della pressione di esercizio si restringe la differenza tra le proprietà del vapore e del liquido



La circolazione del fluido evaporante nei GENERATORI di VAPORE

Al crescere della pressione di esercizio si restringe la differenza tra le proprietà del vapore e del liquido



La circolazione del fluido evaporante nei GENERATORI di VAPORE

Al crescere della pressione di esercizio si restringe la differenza tra le proprietà del vapore e del liquido

