Ing. AGOSTINO CAPOCACCIA

Calcolo delle pareti terminali delle caldaie cilindriche nel caso di una sola fila di tiranti di rinforzo.

ESTRATTO DEL FASCICOLO DI NOVEMBRE DE

LA·MARINA
·ITALIANA·
RASSEGNA·DELLE·INDUSTRIE·DEL·MARE
DIRETTA·DA·NAPOLEONE·ALBINI
GENOVA - PIAZZA DI FRANCIA, 3-14 - TELEF. 66-17

BIBLIOTECA
SCUOLA POLITECNICA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
D
SOP
CAP
37
INGEGNERIA

118 S

Ing. AGOSTINO CAPOCACCIA

Calcolo delle pareti terminali delle caldaie cilindriche nel caso di una sola fila di tiranti di rinforzo.

CALCOLO DELLE PARETI TERMINALI DELLE CALDAIE CILINDRICHE NEL CASO DI UNA SOLA FILA DI TIRANTI DI RINFORZO.

Le formule che i Registri di Classificazione assegnano per a verifica delle pareti piane delle caldaie cilindriche di tipo "scozzese", e quelle generalmente usate dai tecnici e dai costruttori, si basano tutte sullo stesso concetto teorico, che, partendo dalla considerazione del rettangolo di lamiera compreso fra quattro tiranti vicini, si limita implicitamente al caso (in realtà più frequente nella pratica) che i tiranti di rinforzo delle piastre stesse siano disposti ai vertici di rettangoli, il che richiede la sistemazione di almeno doppia fila di tiranti.

Ma non di rado si presenta nelle caldaie di questo tipo (piccole caldaie, calderine per servizi ausiliari di bordo, ecc.) il caso che le piastre terminali siano fra loro collegate da una sola fila di tiranti, sistemati al disopra delle casse a fuoco a circa metà altezza fra il cielo di queste e l'inviluppo cilindrico.

In tal caso viene a mancare la possibilità di considerare la lamiera suddivisa in rettangoli come sopra definiti. In base a quali concetti dovremo allora calcolare o verificare la grossezza della lamiera e la sezione dei tiranti?

Generalmente, come indica la figura 1, le pareti frontale e dorsale vengono costruite in due parti riunite fra loro con doppia chiodatura, immediatamente al disopra del cielo delle casse a fuoco.

Ora la parte inferiore della parete frontale va considerata più propriamente come piastra tubiera, e come tale potrà essere calcolata con una qualunque delle suindicate formule, che considerano il rettangolo di lamiera compresa fra quattro tubi tiranti consecutivi.

In modo analogo la parte inferiore della piastra dorsale, essendo essa collegata alla cassa a fuoco con i cosidetti tiranti corti, può essere sottoposta allo stesso metodo di calcolo.

Ma le parti superioridi ambedue le piastre sono in effetto maggiormente sollecitate delle parti inferiori, per il fatto che esse si trovano soggette ad un sistema di rinforzi meno efficace, come quello presentato dalla unica fila di tiranti lunghi colleganti fra loro le pareti terminali. E allora saremo sicuri che, assegnando a queste parti la stessa grossezza che risulta dal calcolo delle corrispondenti parti inferiori, esse sopporteranno altrettanto agevolmente la pressione del vapore?

Limitiamo le nostre considerazioni alla sola piastra frontale, dal momento che agli effetti della resistenza ambedue le pareti si trovano nelle stesse condizioni, e prendiamo in esame la porzione di tale piastra compresa fra l'involucro esterno e la chiodatura a sovrapposizione.

Consideriamo questo segmento circolare e immaginiamolo suddiviso in striscie verticali, ciascuna delle quali sia limitata fra le mezzerie di tre tiranti consecutivi; consideriamo la striscia più lunga, che è quella sistemata a lato del piano di simmetria, e facciamo ancora l'ipotesi che il tirante di rinforzo agisca a metà altezza della striscia stessa.

Indichiamo con p_e la pressione effettiva del vapore (Kg/cm²)
$2\ l$ l'altezza della striscia in cm.
λ la larghezza della striscia = distanza fra i tiranti in cm.

Allora lo sforzo totale sopportato dal rettangolo considerato sarà

$$Q = 2\ p_e\ l\ \lambda$$

Se non ci fosse il tirante questo sforzo si ripartirebbe con legge uniforme su tale rettangolo; ma poichè è necessario tener conto della presenza del tirante potremo dire che una parte Q_1 dello sforzo totale Q solleciterà la lamiera, distri-

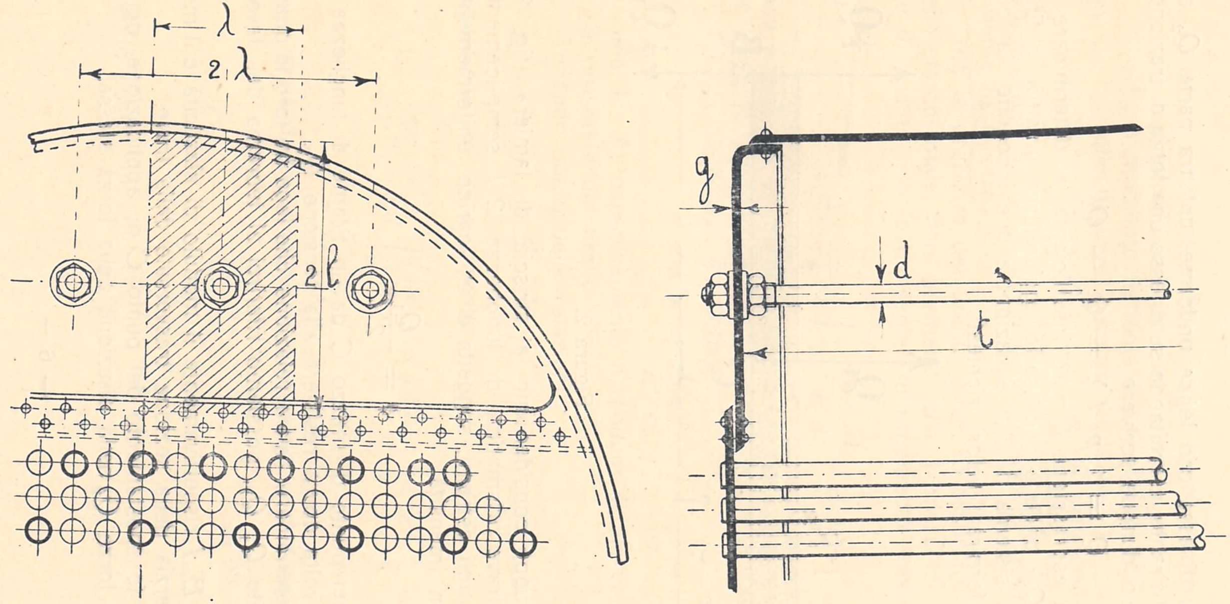

Figura 1.

buendosi su di essa con legge uniforme; un'altra parte Q_2 agirà sopra il tirante, esercitando su di esso una forza di trazione.

Potremo dunque scrivere

$$Q = 2\, p_e\, l\, \lambda = Q_1 + Q_2 \qquad (1)$$

Questa espressione è però insufficiente a determinare i valori Q_1, Q_2; onde è necessario aggiungerne un'altra, al fine di avere un sistema di due equazioni a due incognite, la cui risoluzione fornirà i valori richiesti.

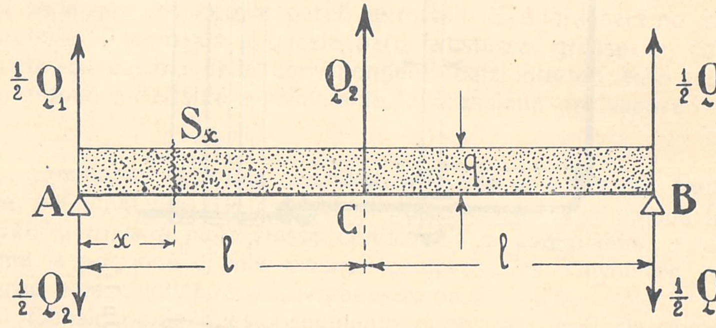

Figura 2.

A tal uopo consideriamo la striscia di lamiera (fig. 2) come una trave prismatica di lunghezza $2\, l$ semplicemente appoggiata agli estremi, soggetta a un carico uniformemente ripartito con intensità

$$q = \frac{Q_1}{2\, l}$$

sostenuta nel punto di mezzo C da un tirante di lunghezza t, che a sua volta dovrà resistere alla tensione Q_2.

Per determinare l'altra relazione che lega fra loro le quantità incognite Q_1 Q_2, possiamo riferirci al teorema dei lavori virtuali.

Siano E, I rispettivamente il modulo di elasticità e il momento d'inerzia della sezione trasversale della trave.

$\Delta\, t$ lo spostamento del punto C di applicazione della forza Q_2 nella direzione della forza stessa.

M_x il momento flettente della sezione corrente per la effettiva condizione di carico.

M'_x il momento flettente della stessa sezione per la sollecitazione ipotetica $Q_2 = -1$.

L'equazione dei lavori virtuali per la sollecitazione ipotetica $Q_2 = -1$ e per gli spostamenti effettivi, trascurando le deformazioni dovute al taglio e nell'ipotesi di appoggi assolutamente fissi, sarà

Ma la presenza del tirante oltre ad assorbire una parte dello sforzo totale, non permette alla lamiera di deformarsi più di quanto non lo consenta l'allungamento totale Δt, che

$$\Delta t = 2 \int_o^l \frac{M'_x \, M_x}{E \, I} \, d \, x.$$

esso subirà per effetto dello sforzo Q_2, cosicchè lo spostamento del punto di applicazione di Q_2 coinciderà con l'allungamento del tirante, ossia avrà il valore

$$\Delta \, t = \frac{Q_2 \, t}{E' \, F'}$$

essendo E', F' rispettivamente il modulo di elasticità e la sezione resistente del tirante.

Tenendo conto delle relazioni

$$M_x = \frac{Q_1}{2} \, x - q \, \frac{x^2}{2} - \frac{Q_2}{2} x \qquad M'_x = \frac{\partial \, M_x}{\partial \, (-Q_2)} = \frac{x}{2}$$

l'equazione dei lavori diventa

$$1 \times \frac{Q_2 \, t}{E' \, F'} = \frac{2}{E \, I} \int_o^l \left(\frac{Q_1}{2} \, x - q \, \frac{x^2}{2} - \frac{Q_2}{2} \, x \right) \frac{x}{2} \, d \, x =$$

$$= \frac{5}{48} \; \frac{Q_1 \, l^3}{E \, I} - \frac{1}{6} \; \frac{Q_2 \, l^3}{E \, I}.$$

dalla quale dopo semplici trasformazioni si deduce

$$Q_2 = \frac{\frac{5}{48} \, Q_1}{\frac{E \, I}{E' \, F'} \; \frac{t}{l^3} + \frac{1}{6}} = \frac{\frac{5}{48} \, Q_1}{\psi + \frac{1}{6}}$$

avendo posto $\psi = \dfrac{E \, I}{E' \, F'} \; \dfrac{t}{l^3}$.

Ora è facile persuadersi che questo rapporto ψ è trascurabile rispetto alla frazione $\frac{1}{6}$. Per i nostri scopi possiamo ritenere il modulo E della lamiera = al modulo E' del tirante, cosicchè ponendo nell'espressione di ψ

$$E = E' \qquad I = \frac{1}{12} \lambda g^3$$

in cui g è la grossezza della lamiera, si ottiene

$$\psi = \frac{1}{12} \left(\frac{g}{l}\right)^3 \frac{\lambda t}{F'}$$

Ora nei limiti delle ordinarie proporzioni delle caldaie di questo tipo, si ha

$$\frac{g}{l} = \frac{1}{25} \div \frac{1}{30} \qquad \frac{1}{12}\left(\frac{g}{l}\right)^3 = \frac{1}{187.500} \div \frac{1}{324.000}$$

Inoltre se d è il φ del tirante

$$\lambda = \sim 10\, d \qquad \lambda\, t = \sim (650 \div 700)\, d^2$$

$$t = (65 \div 70)\, d \qquad F' = \frac{\pi\, d^2}{4} = 0{,}785\, d^2$$

$$\frac{\lambda\, t}{F'} = 828 \div 890$$

onde risulterà (dalle piccole alle grandi caldaie)

$$\psi = \frac{1}{225} \div \frac{1}{365}$$

quindi assolutamente trascurabile rispetto alla frazione $\frac{1}{6}$, che figura al denominatore dell'espressione precedentemente considerata.

Potremo dunque scrivere

$$Q_2 = \frac{\frac{5}{48}}{\frac{1}{6}} Q_1$$

$$Q_2 = \frac{5}{8} Q_1 \qquad (2)$$

che è la relazione cercata fra Q_1 e Q_2. Dalla (1) e dalla (2) si deduce immediatamente

$$\begin{cases} Q_1 = \frac{8}{13}\ Q = 0.615\ Q \\ Q_2 = \frac{5}{13}\ Q = 0.385\ Q \end{cases} \tag{3}$$

Determinata così l'intensità delle forze Q_1 Q_2 sollecitanti la lamiera ed il tirante sarà facile dedurre le formule per il calcolo della grossezza della lamiera e del diametro del tirante.

Calcolo del diametro del tirante

Indicando con k_t il carico di sicurezza a tensione per il materiale di cui è costituito il tirante, la relazione

$$F' = \frac{Q_2}{k_t}$$

fornisce la sezione resistente minima. E allora tenendo presente che il tirante è filettato agli estremi per potersi unire alle piastre con dadi e rosette, sceglieremo nelle tabelle Withworth la sezione a fondo filetto immediatamente superiore ad F', alla quale corrisponderà un certo valore d, che è quello richiesto. A tutto il tirante verrà perciò assegnato il diametro d.

Calcolo della grossezza della lamiera

Il momento flettente nel punto di mezzo C della trave precedentemente considerata, vale

$$M_c = \frac{Q_1\, l}{2} - q\,\frac{l^2}{2} - \frac{Q_2\, l}{2} = \frac{l}{2}\left(\frac{Q_1}{2} - Q_2\right)$$

e tenendo conto delle (3)

$$M_c = -\ 0{,}039\ Q\ l$$

Il momento massimo analitico per la stessa trave è dato da

$$M_o = \frac{A^2}{2\ q}$$

essendo A il valore comune delle reazioni degli appoggi. Dalla (fig. 2) si ricava

$$A = \frac{Q_1 - Q_2}{2}$$

onde

$$M_o = \frac{1}{2q}\left(\frac{Q_1 - Q_2}{2}\right)^2 = \frac{Q_1^2 - \frac{10}{8} Q_1^2 + \frac{25}{64} Q_1^2}{8 . q} = \frac{9}{256} Q_1 \, l$$

ed essendo $Q_1 = \frac{8}{13} Q$ risulterà $M_o = 0{,}0215 \, Q \, l.$

Dalle espressioni di M_c ed M_o si deduce che è in ogni caso $M_c > M_o$ ossia il massimo momento flettente solleci tante la trave si verifica nella sezione di mezzo, per la quale il modulo di resistenza vale

$$W = \frac{1}{6} (\lambda - d_e) \, g^2$$

essendo d_e il ψ esterno della filettatura.

Indicando con k il carico di sicurezza a flessione per il materiale di cui è costituita la lamiera, la relazione

$$M_c = K \, W$$

permetterà di calcolare o verificare la grossezza g della lamiera stessa.

Formule dirette

a) Per il tirante - L'espressione

$$F' = \frac{Q_2}{K_t}$$

tenendo conto di alcune relazioni precedenti può essere scritta come segue

$$F' = \frac{0{,}385}{K_t} Q = \frac{2 \times 0{,}385}{K_t} p_e \, \lambda \, l$$

ed infine

$$F' = 0{,}770 \, \frac{p_e \, \lambda \, l}{K_t} \qquad (4)$$

Questa formula permette di ricavare la sezione resistente del tirante, e conseguentemente il diametro interno ed esterno della filettatura in funzione di quantità note e del carico di sicurezza K_t.

b) Per la lamiera - L'espressione del momento flettente massimo

$$M_c = 0{,}039\ Q\ l$$

può essere messa sotto la forma

$$M_c = 2 \times 0{,}039\ p_e\ \lambda\ l^2 = 0{,}078\ p_e\ \lambda\ l^2$$

e dovendo essere $M_c = K\ W$

sarà $$0{,}078\ p_e\ \lambda\ l^2 = K\ \frac{1}{6}\ (\lambda - d_e)\ g^2$$

dalla quale si deduce

$$g = 0{,}684\ l \sqrt{\frac{p_e}{K}\ \frac{\lambda}{\lambda - d_e}} \qquad (5)$$

Questa formula permette di ricavare immediatamente la grossezza della lamiera in funzione di quantità note e del carico di sicurezza a flessione per il materiale di cui è costituita la lamiera stessa.

Ing. AGOSTINO CAPOCACCIA