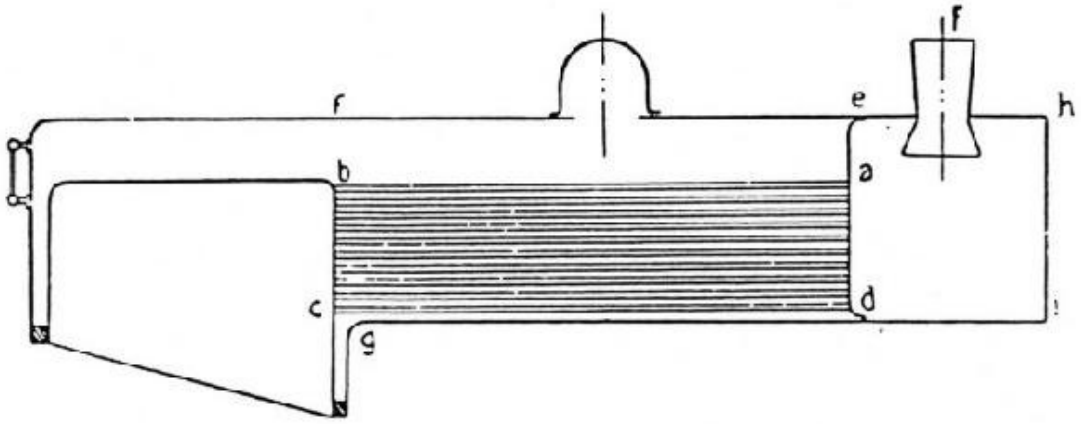
LA LOCOMOTIVA A VAPORE
Con particolare riferimento al generatore

La Caldaia di una locomotiva

Vediamo adesso com'è fatta una caldaia da locomotiva, per alto comune salvo pochi particolari anche alle locomobili. La struttura in linea generale è rimasta praticamente identica a quella inventata nel 1825 da G. Stephenson, il padre delle ferrovie, per la sua *Locomotion*.

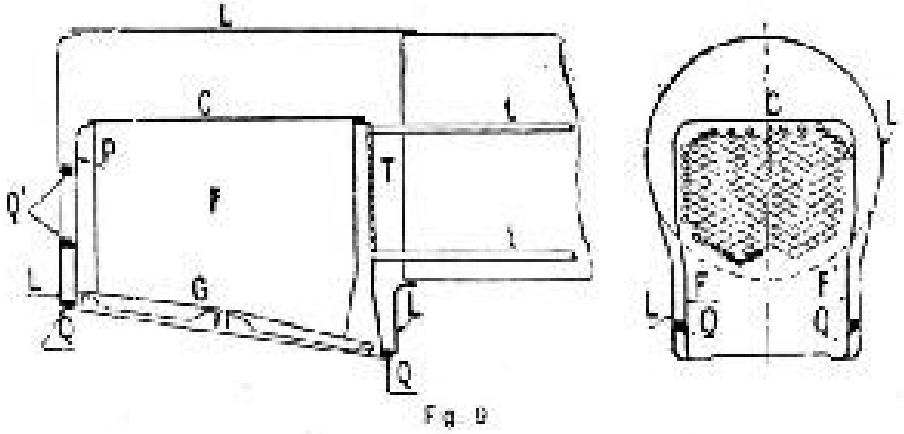
La caldaia è dunque a *tubi di fumo*, con *focolare interno* e *tiraggio forzato*. Le prime due caratteristiche rispondono all'esigenza di aumentare la superficie di riscaldamento senza eccedere nelle dimensioni, mentre l'ultima è indispensabile per poter bruciare notevoli quantità di combustibile (ed ottenere quindi la produzione di vapore richiesta) in un forno relativamente piccolo.

La caldaia è rappresentata schematicamente nella figura seguente:



Essa è costituita dal *corpo cilindrico (*f-g), che contiene il *fascio tubiero (*a-b-c-d) alla cui estremità anteriore è collocata la *camera a fumo* (h-e-d-i) ed a quella opposta il *forno* ,o *focolare.* Nella parte superiore della camera a fumo è collocato il *fumaiolo,* o *camino* (F).

Esaminiamo ora in dettaglio il forno:



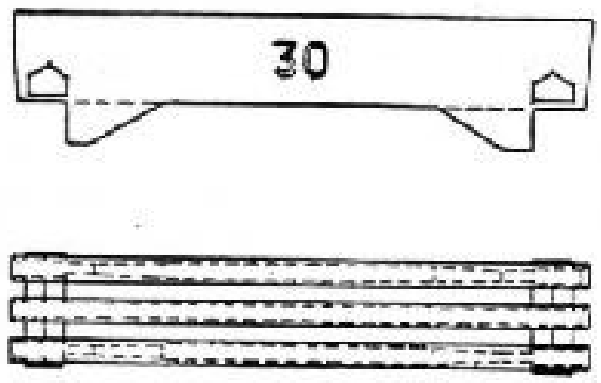
Il focolare (F) consiste in una cassa a spigoli arrotondati formata superiormente e lateralmente da lamiere di acciaio o - talvolta - di rame, fissate tra loro mediante *chiodatura a caldo;* il focolare è chiuso inferiormente dalla *griglia* G.

Le pareti laterali, o *fianchi*, la parete posteriore (P), ove si trova la *boccaporta* (Q'-Q') e quella superiore (C), detta *cielo del focolare*, sono sempre circondate interamente dall'acqua. In particolare, come vedremo, occorre sempre verificare che il livello dell'acqua non scenda MAI al

disotto di un minimo, in modo che il cielo del forno non risulti scoperto. In caso contrario, la caldaia si danneggia irreparabilmente e vi è la concreta possibilità di provocarne l'esplosione.

La parete anteriore del forno prende il nome di *piastra tubiera*, perché ad essa si fissano le teste dei tubi bollitori (t). Il focolaio è contenuto nell'*inviluppo del forno* o *portafocolaio*, al quale è collegato inferiormente per mezzo del *quadro di base* (Q).

La griglia è formata generalmente da sbarre di ferro o di ghisa; le locomotive più antiche utilizzavano sbarre lunghe come tutto il forno, sciolte o riunite in pacchetti, mentre nei tipi più moderni, comprese quelle ancor oggi in servizio storico, si usano barre in pacchetti di tre (vedi fig.13); esistono pacchetti di tre misure differenti di lunghezza, combinando opportunamente i quali è possibile coprire griglie di qualsiasi dimensione .



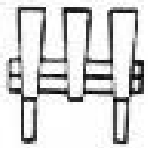


Fig. 13

Sulle locomotive la griglia è leggermente inclinata verso la piastra tubiera, allo scopo di aumentarne l'estensione senza influenzare le dimensioni del forno. La pendenza non è comunque molto elevata, perché gli scossoni della marcia provocherebbero l'accumulo del carbone verso la parte anteriore.

Al disotto della griglia è fissato il *ceneratoio.*

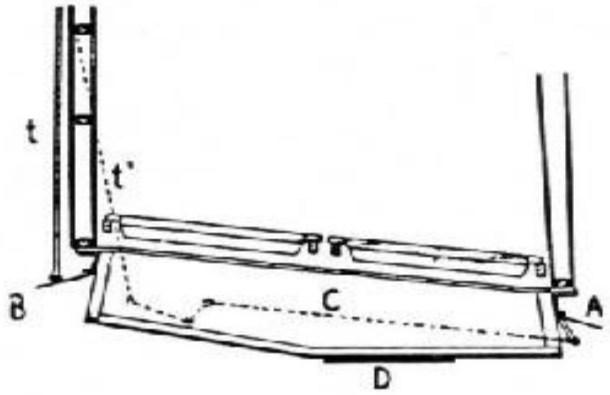


Fig. 16

Come suggerisce il nome, uno dei suoi fondamentali compiti è di raccogliere la cenere e i frammenti incandescenti di carbone (o altro combustibile) evitando che cadano liberamente sul terreno, col rischio di causare incendi. L'altra funzione, altrettanto fondamentale, è di permettere la regolazione dell'accesso dell'aria nel forno, e di conseguenza la combustione.

Il ceneratoio è costituito da una cassa di lamiera (C), le cui pareti laterali (e naturalmente il fondo) sono fisse; la parete posteriore (B) e - nelle locomotive più grosse - quella anteriore (A) sono mobili e prendono il nome di *portelle.* La portella del ceneratoio deve restare, normalmente, aperta durante il funzionamento a regime; si chiude (parzialmente o totalmente) soltanto quando è necessario moderare la combustione (di questo parleremo meglio in seguito).

L'apertura praticata nella parete posteriore del focolaio, necessaria per introdurre il combustibile, è detta *boccaporta* del forno. A essa - naturalmente - corrisponde un'apertura uguale nell'inviluppo del forno, alla quale è applicata la chiusura, o *porta* propriamente detta.

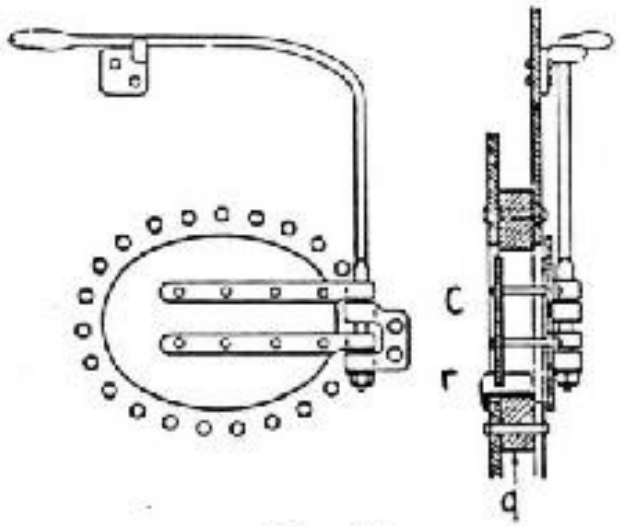


Fig. 17

La boccaporta può avere forma circolare, ovale o rettangolare ad angoli arrotondati. Nelle locomotive meno recenti, e in tutte le locomobili, la porta è in un sol pezzo di forma ovale o rettangolare e si apre a cerniera; nelle locomotive più moderne è invece costituita di due pezzi rettangolari scorrevoli in senso contrario su un'apposita rotaia. La porta è sempre provvista di una lamiera (C), detta *controporta*, che serve a difenderla dall'azione diretta del fuoco. Un riparo (r) di ghisa in due pezzi, detto *battipala,* è applicato superiormente e inferiormente alla boccaporta per difenderla dai colpi della pala - appunto - e degli altri ferri da fuoco.

L'inviluppo del forno, già citato in precedenza, costituisce la parte posteriore della caldaia; oltre che a contenere l'acqua, ha la funzione di alloggiare il forno. E' costruito in lamiera di acciaio, opportunamente piegate e inchiodate a caldo. La sua parte superiore può essere piana, cioè parallela al cielo del forno, ma più spesso ha forma cilindrica, perché questa è la foggia che meglio resiste alla pressione interna. La parete anteriore del portafocolaio termina all'altezza del punto in cui s'innesta il corpo cilindrico, ed è opportunamente sagomata per accoglierlo.

Si è visto che il focolaio è collegato inferiormente al portafocolaio mediante il *quadro di base*, che è una cornice di acciaio di grossa sezione, inchiodata come tutte le altre lamiere del forno e a cui sono fissati i sostegni della griglia e il ceneratoio.

Un telaio simile, ma più piccolo, detto *quadro della boccaporta,* assicura l'unione e la tenuta ermetica tra forno e inviluppo in corrispondenza della boccaporta.

Il *corpo cilindrico* è la parte centrale della caldaia; oltre a contenere la maggior parte dell'acqua della caldaia, racchiude il fascio dei tubi bollitori. E' costituito da vari anelli di lamiera d'acciaio, cilindrici o leggermente conici, detti *virole.*

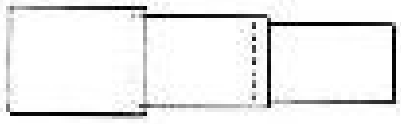


Fig. 20

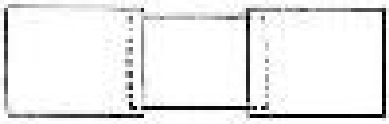


Fig. 21

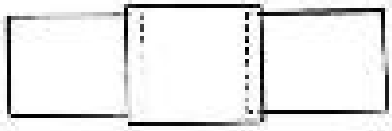


Fig. 22

Le tre figure soprastanti (fig. 20-21-22) illustrano i modi più comuni di disporre le virole, ma in molte caldaie gli anelli sono disposti "a cannocchiale", come illustrato in fig. 20, perché questa configurazione ha il vantaggio di evitare il ristagno di acqua quando si vuota la caldaia.

Come tutti sappiamo, l'acqua contiene una serie di sostanze minerali che - ad alta temperatura - depositano ed incrostano le superfici del recipiente, nel nostro caso la caldaia. Per evitarle è indispensabile trattare opportunamente le acque di alimentazione, come vedremo meglio in seguito, ma anche in questo modo è inevitabile che si formino sedimenti ed incrostazioni.

Per poter rimuovere questi depositi, che sono dannosi per la conservazione della caldaia e potrebbero pregiudicarne la sicurezza (rischio di esplosione), occorre eseguire frequenti *lavaggi*. A tal scopo sono praticate nell'inviluppo del forno e nel corpo cilindrico apposite aperture, dette *portine di lavaggio.*

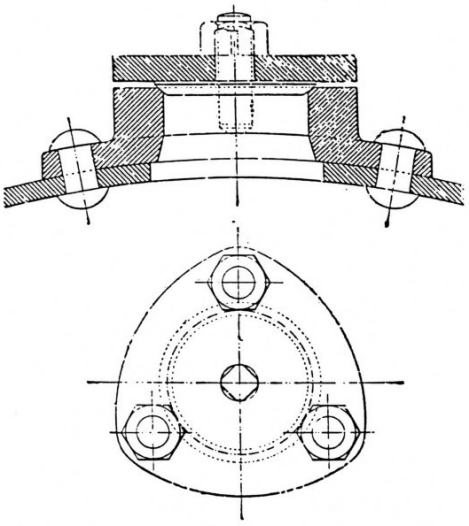


Fig. 23

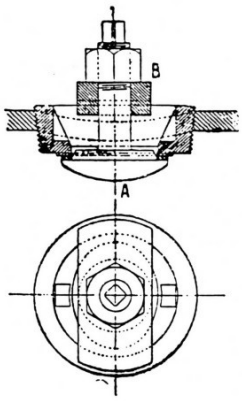


Fig. 24

Nell'inviluppo del forno se ne hanno in generale quattro, e talvolta anche sei, in corrispondenza del cielo del focolare, nonché quattro in corrispondenza degli spigoli del quadro di base. Se ne trova una anche nella parte inferiore della piastra tubiera anteriore, nella camera a fumo.

Le locomobili sono inoltre dotate di un portello di ampie dimensioni, detto *passo d'uomo,* che serve (oltre che per i lavaggi) per eseguire le visite interne. Le locomotive ne sono prive, in

quanto la funzione è assolta dal duomo, che per questo è smontabile, oppure talvolta dotato di un coperchio apribile.

La figura precedente illustra i due tipi più comuni di portine di lavaggio; quello di fig. 24 è detto *autoclave* perché la pressione stessa del vapore tende a mantenere la portina (A) contro la sua sede e contribuisce alla tenuta. La portina della piastra tubiera anteriore è anch'essa autoclave e quasi sempre del tipo illustrato qui sotto:

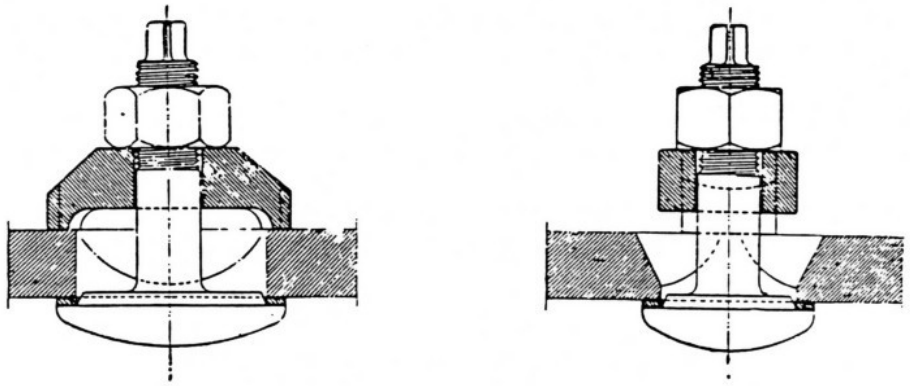


Fig. 25

Anche la porta del passo d'uomo è autoclave, in genere. Quando il generatore è in funzione, le portine di lavaggio non vanno toccate per nessun motivo.

Le portine di lavaggio sono munite, per la tenuta, di speciali guarnizioni di metallo "imbottito" con materiale resistente al calore (una volta era amianto, ora fuorilegge), che vanno sostituite ogni volta che si aprono le portine.

Le portine autoclave sono unificate ed esistono ditte specializzate che fabbricano queste guarnizioni, in misure standard che vanno tutt'ora bene per le portine delle nostre vecchie caldaie (ne esistono di due o tre misure).

Abbiamo già citato più volte i *tubi bollitori*: servono al passaggio dei prodotti della combustione dal forno alla camera a fumo, dalla quale poi escono per il camino, aumentando così la superficie di riscaldamento e di conseguenza la produzione di vapore.

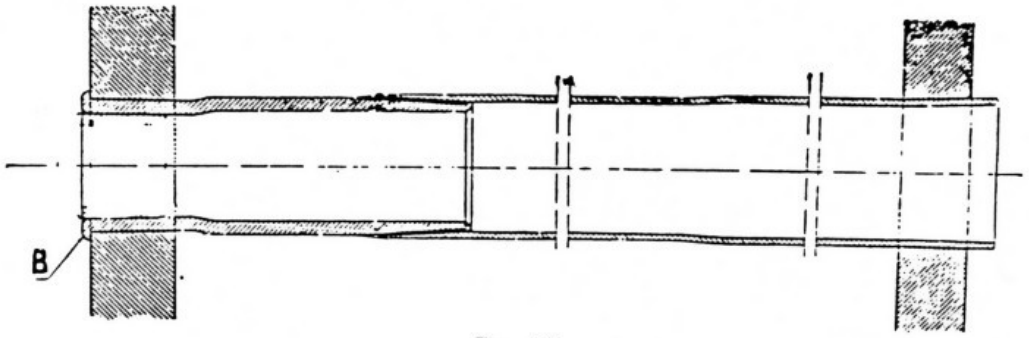


Fig. 26

Sono contenuti nel corpo cilindrico, fissati alle due piastre tubiere, e sono costituiti da tubi in acciaio speciale senza saldatura, generalmente del diametro interno di 45 mm (per le locomotive).

L'estremità dei tubi, destinata ad essere fissate alla piastra tubiera del forno, è generalmente munita di un cannotto di rame (fig. 27a), o in acciaio extradolce (fig. 27b); entrambi i tipi di canotto sono applicati ai tubi mediante saldatura.

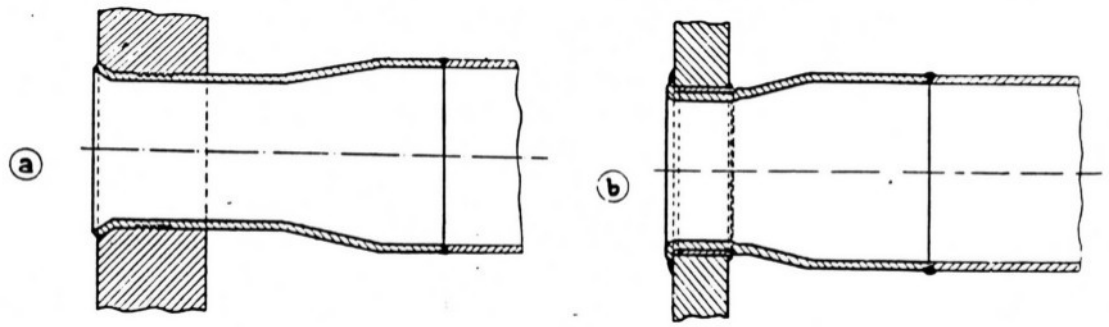


Fig. 27

I canotti in rame si usano solo sulle caldaie con forno in rame; i canotti di acciaio si usano tanto sulle caldaie con forno in rame, quanto su quelle con forno in acciaio; in queste ultime il canotto è collegato alla piastra tubiera interponendo una guarnizione di rame.

Le estremità dei tubi vengono fissate alle piastre tubiere mediante *mandrinatura*, in modo da formare un orlo (B) ben aderente ed a tenuta ermetica (fig. 26), facendolo aderire perfettamente ai fori delle piastre, che sono leggermente conici verso l'interno. Dopo la mandrinatura, gli orli dei tubi vengono saldati elettricamente alla piastra tubiera del forno.

I tubi bollitori devono essere nel maggior numero possibile, senza però ostacolare la circolazione dell'acqua all'interno della caldaia e senza indebolire troppo le piastre tubiere. La disposizione preferita è quella della figura sottostante, la quale illustra anche il modo usuale di identificare i singoli tubi, nel caso si debbano segnalare anomalie.

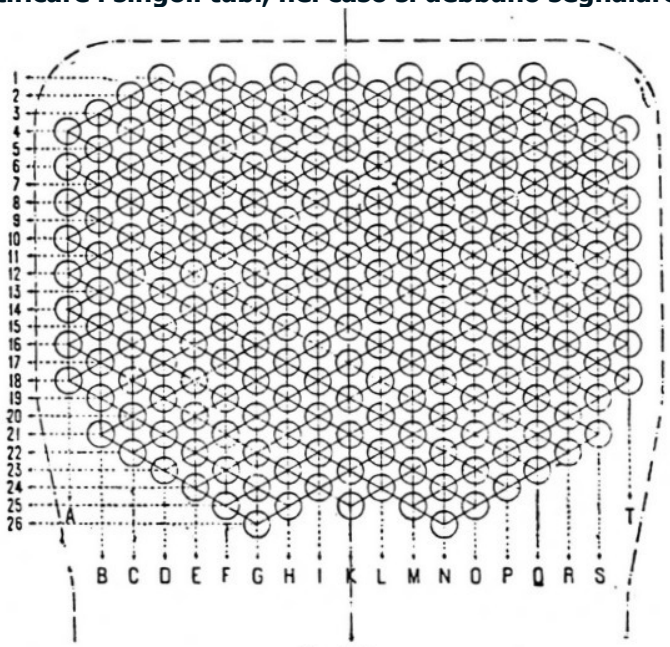


Fig. 28

Come detto all'inizio, le pareti del forno sono formate da lamiere piane, ma tale forma non è adatta a resistere alla pressione, che tende a piegarle. Inoltre, il forno non può essere fissato all'inviluppo solo mediante il quadro di base.

Per risolvere entrambi i problemi, il forno è fissato all'inviluppo mediante una fitta serie di *tiranti*, che collegano insieme le rispettive pareti: poiché la pressione tende a spingere verso l'esterno la parete del portafocolare, e verso l'interno quella del forno, ecco che mediante i tiranti esse si sostengono e rinforzano a vicenda.

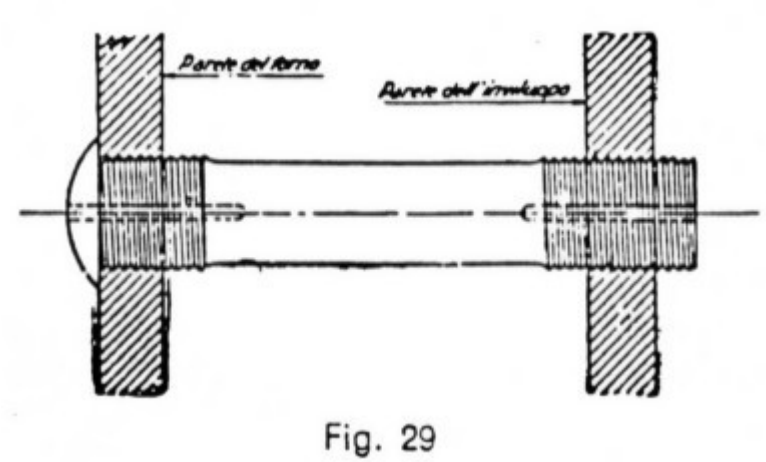


Fig. 29

I tiranti sono filettati e ribaditi ad entrambe le estremità, per assicurarne la tenuta; sono generalmente realizzati in rame (per caldaie con forno in rame), od in acciaio speciale (caldaie con forno in rame o in acciaio) e sono attraversati, per buona parte della lunghezza, da un foro longitudinale, che ha lo scopo di evidenziarne la rottura.

I tiranti sono infatti soggetti a rompersi, più che altro a causa delle differenze di dilatazione tra la parete del forno, soggetta alla fiamma, e quella dell'inviluppo, più fredda. Oggigiorno, con l'impiego esclusivamente saltuario delle caldaie, altro grande fattore di stress è dato dai cicli di accensione e spegnimento, che devono quindi essere eseguiti con particolare cautela.

Quando un tirante si rompe, dal foro inizia una piccola perdita di acqua o di vapore, che svela appunto la rottura. La rottura di più tiranti consecutivi può essere pericolosa, perché permette ingobbature delle lamiere, con conseguente formazione di cretti e quindi di esplosione per cedimento strutturale. Per questo non bisogna tardare a far cambiare i tiranti (operazione come tutte quelle da eseguire sui generatori di vapore riservata a personale specializzato) prima che le incrostazioni riempiano il foro e facciano cessare la perdita.

Soprattutto sulle locomotive a vapore, ed al solo scopo di terminare il servizio (il getto di vapore o d'acqua in forno può causare problemi a mantenere la pressione), si usava e talvolta si usa ancora l'espediente di chiudere il foro mediante una spina; per quanto deprecato, questo trucco ha tuttavia il merito di mantenere evidente il tirante rotto: non bisogna infatti MAI saldare un tirante che perde, perché altrimenti diventerà impossibile individuarlo in seguito, mettendosi in condizione di pericolo.

Dei tiranti di forma speciale, detti *tiranti a collo d'oca*, collegano la piastra tubiera al fondo del corpo cilindrico, sotto l'ultima fila di tubi.

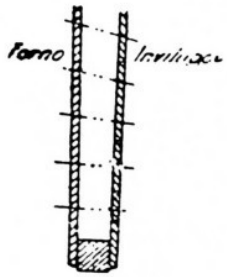


Fig. 31

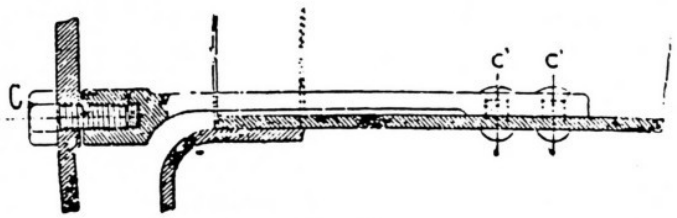


Fig. 32

Similmente alle pareti è fissato il cielo del forno.

Le piastre tubiere sono invece collegate tra loro dai tubi bollitori, anche se questi essendo soggetti ad una temperatura più alta delle lamiere esterne del corpo cilindrico, perché sono

lambiti dai gas della combustione - tendono a dilatarsi maggiormente e pertanto ad allontanare tra loro le piastre. Per questo motivo le piastre tubiere sono soggette a cretti, in particolare quella del forno, per salvaguardare la quale è necessario adottare sempre opportune cautele durante la condotta del fuoco. Per sopperire almeno in parte a questo effetto i tubi di fumo cono leggermente centinati.

Il corpo cilindrico e l'inviluppo del forno sono ricoperti generalmente con foderine metalliche o, in qualche macchina più antica, in legno. Esse hanno il duplice scopo di limitare le perdite per irraggiamento, formando uno strato di aria immobile e quindi coibente tra il fasciame caldaia e le fodere.

Inoltre le fodere rendono meno pericolosa la vicinanza delle persone alle parti calde, evitando il contatto diretto con quelle a temperatura più alta (non eliminano del tutto il pericolo di ustioni, però) ed hanno, infine, una non trascurabile funzione estetica.

Talvolta, specie sulle locomotive estere, si usava interporre della lana di roccia tra caldaia e fodere, allo scopo di migliorare la funzione coibente; tuttavia si è dimostrato che il vantaggio non è rilevante e per l'uso odierno la presenza di un materiale coibente è addirittura dannosa: catturando l'umidità atmosferica e/o le infiltrazioni di pioggia, il coibente mantiene umidità a diretto contatto con le lamiere della caldaia, per un lungo periodo di tempo (specie nel periodo di inattività), accentuando i fenomeni corrosivi esterni ed abbreviando perciò la vita del generatore.

La camera a fumo, abbiamo detto, si trova dal lato opposto del forno. E' costituita dal prolungamento del corpo cilindrico ed è limitata posteriormente dalla piastra tubiera anteriore, ed anteriormente da un portello apribile, che deve essere a tenuta ermetica, poiché i trafilamenti d'aria esterna riducono il tiraggio e possono provocare l'accensione del polverino di carbone che vi si raccoglie durante l'esercizio.

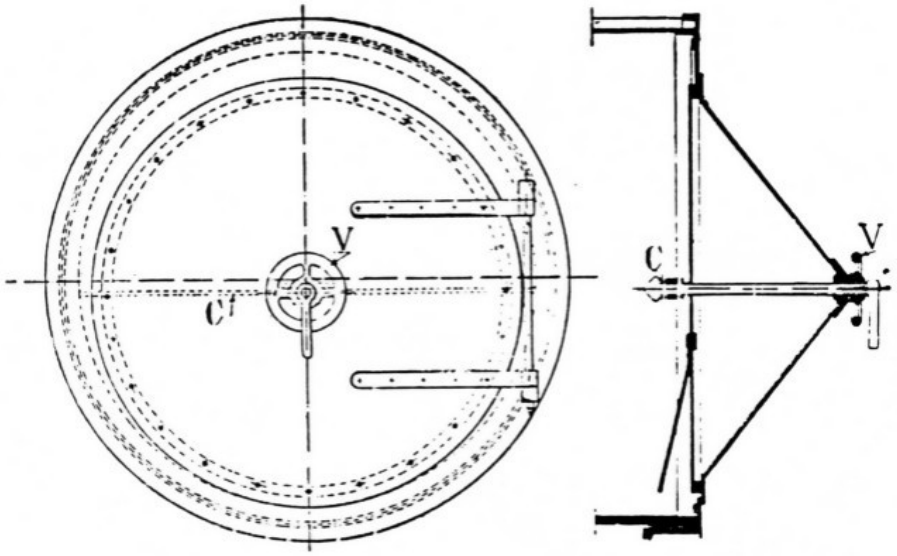


Fig. 35

La maggior parte dei portelli ora adottati è del tipo ad imposta singola, circolare (conico o a calotta sferica), con vitone e volantino di chiusura; si trovano ancora, però, caldaie con portello della camera a fumo a doppio battente piano (vedi quello della 728 022 o della 200.5 delle FNM).

Nella parte superiore della camera a fumo si trova il *camino* o *fumaiolo;* sulle locomotive è a forma tronco-conica, con il diametro minore in basso, e la sua lunghezza è limitata dalla sagoma; nelle locomobili invece di solito è molto lungo, per allontanare il più possibile i fumi dal suolo, e difatti per consentire il trasporto deve essere abbattuto, poiché eccede la sagoma stradale.

In tutti i casi, poiché le particelle incandescenti di carbone lanciate all'esterno per effetto del è tiraggio possono causare incendi, è sempre dotato di un *parascintille* di forma opportuna.

All'interno della camera a fumo termina lo *scappamento*. Il vapore, dopo aver lavorato nei cilindri, percorre un tubo che termina al disotto del fumaiolo, allineato con esso.

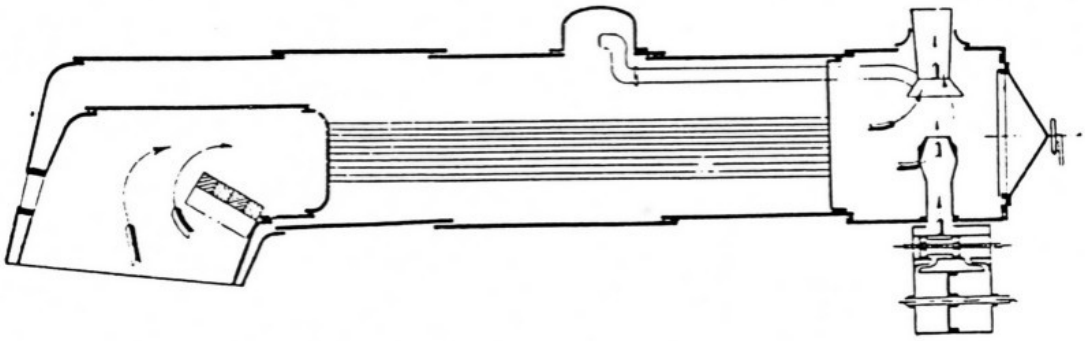


Fig. 38

Ne esce a grande velocità e fuoriesce quindi dal camino, trascinando con se i gas della combustione che riempiono la camera stessa. Ciò provoca una forte depressione, che provoca un altrettanto forte richiamo di aria nel forno; questa è così costretta ad attraversare lo strato di carbone acceso, attivando la combustione. In tal modo si realizza il *tiraggio forzato*, indispensabile - come già detto - per ottenere la produzione di vapore necessaria.

Perché l'effetto del tiraggio forzato sia efficace, occorre curare che l'ugello di scappamento sia ben allineato con l'asse del camino; in caso contrario, infatti, la camera a fumo potrebbe riempirsi di vapore, come si vede bene dalla figura sottostante, annullando così l'effetto di depressione.

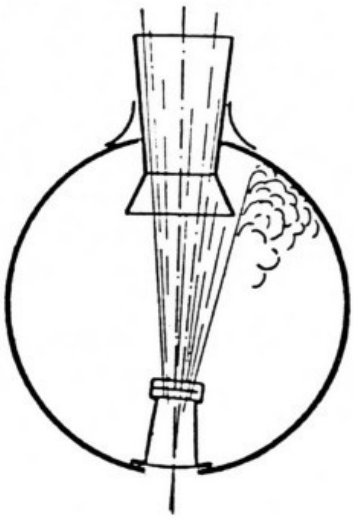


Fig. 42

Sempre all'interno della camera a fumo si trova il *soffiante,* che serve ad attivare la combustione quando la macchina non lavora e perciò si usa specialmente per mettere in pressione la caldaia dopo l'accensione o la fase che nelle locomotive è detta *stazionamento*: quando la macchina è in sosta, in attesa di riprendere servizio, la caldaia non è spenta, ma mandata a basso regime per ragioni di economia.

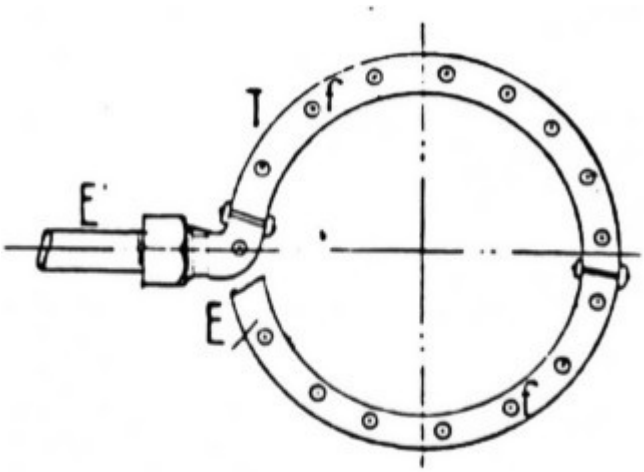


Fig. 43

Il soffiante serve anche per evitare la fuoriuscita di gas caldi dalla boccaporta del forno durante la *pulizia del fuco* o nel caso si debba ispezionare il forno a caldaia accesa. Nelle locomotive, serve ad evitare di molestare i viaggiatori col fumo, durante la sosta nelle stazioni.

IL soffiante è normalmente costituito da un tubo ricurvo (T), chiuso ad un'estremità e provvisto di fori (f) da cui fuoriesce il vapore. E' collocato coassialmente allo scappamento , a piccola distanza sopra di esso e riceve il vapore direttamente dalla caldaia, a mezzo di apposito rubinetto. Alla tubazione del soffiante è sovente applicato un *rubinetto a tre vie*, che permette di attingere vapore per vari scopi, oppure il riempimento iniziale della caldaia a freddo.

ACCESSORI DELLA CALDAIA

Apparecchi di alimentazione

Per *apparecchi di alimentazione* si intendono quei dispositivi che permettono di introdurre altra acqua in caldaia, man mano che questa si consuma per via del vapore che viene prelevato. Il loro perfetto funzionamento è essenziale, giacché come vedremo la mancanza d'acqua in caldaia è causa di gravissimo pericolo. Per questo motivo la legge impone che la caldaia sia sempre dotata di due sistemi indipendenti di alimentazione, ciascuno dei quali deve essere in grado dal solo di provvedere al rifornimento del generatore.

Gli apparecchi di alimentazione si dividono in due grandi categorie: le *pompe* e gli *iniettori*. Mentre sulle locomotive ed i moderni impianti fissi le pompe sono alimentate a vapore (ancor oggi è usatissimo il cosiddetto "cavallino", geniale apparecchio che accoppia un motore a vapore ad una pompa, e tutto senza alcun organo in rotazione). Inoltre, nelle locomotive e negli impianti fissi l'uso di pompe è sempre accoppiato ad apparecchi preriscaldatori od economizzatori, mentre le locomobili generalmente ne sono prive.

INIETTORI

Lo schema generale di un iniettore è illustrato nello schizzo seguente:

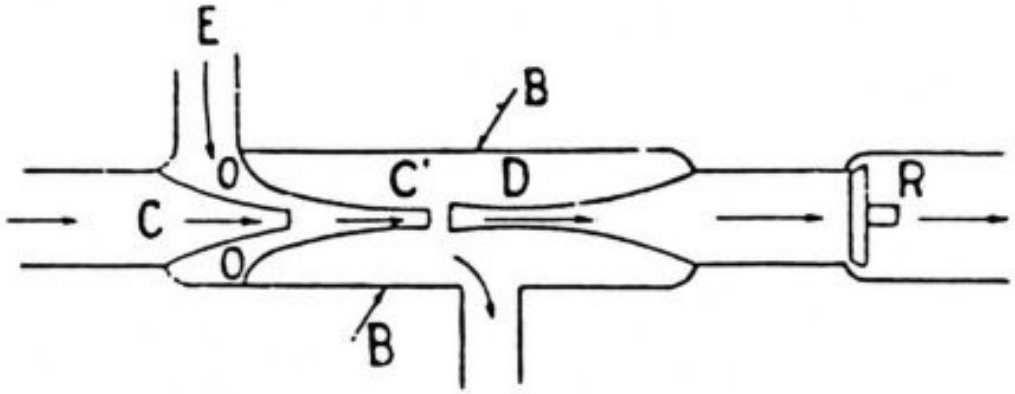


Fig. 48

E' composto da un corpo di bronzo B, che alloggia al suo interno tre coni disposti lungo l'asse longitudinale: due convergenti, C e C', ed uno divergente D.

Il cono C è detto *cono di espansione*, perché viene percorso dal vapore (che deve essere il più asciutto possibile), il quale trovandosi di fronte ad una sezione che via via si restringe sempre più, è costretto ad assumere una velocità elevatissima (dell'ordine dei 500 m/s ed anche di più), fino a sfociare nel cono C'.

Questo è detto *cono di condensazione* perché lì si trova l'acqua che - nelle locomotive - proviene dal tender o dalle casse acqua. Quando il vapore proveniente dal cono C la incontra, si condensa e quindi cede tutto il suo calore (calore latente di condensazione) ed assume un volume pressoché trascurabile. La depressione che si genera richiama altra acqua dal tender e permette di "pompare" così un rilevante quantitativo d'acqua in caldaia.

Il miscuglio acqua-vapore assume quindi un'elevatissima velocità e viene perciò sospinto attraverso il cono D, il quale viene detto *cono di compressione* perché la miscela, percorrendo un condotto di sezione che via via si allarga sempre più, perde in velocità e guadagna in pressione (principio di Bernoulli), sino a raggiungere e superare largamente la pressione che si trova in caldaia. La miscela può quindi sollevare la valvola di ritenuta R ed entrare nel generatore. Con vapore alla pressione di circa 12 bar è infatti possibile raggiungere una prevalenza intorno ai 25 bar.

Quindi il lavoro di immissione dell'acqua in caldaia si compie a spese dell'energia totale posseduta dal vapore, e non è necessario che si tratti di energia di pressione, perché difatti l'iniettore trasforma l'energia termica del vapore prima in energia di moto, permettendo al vapore di espandersi, e successivamente in energia di pressione.

Per questa ragione l'iniettore non può funzionare se l'acqua di alimentazione è troppo calda, tale da non consentire la condensazione di tutto il vapore, oppure se il vapore che giunge all'iniettore è troppo umido (trascinamento).

La dimensione caratteristica di un iniettore è costituita dal diametro più ristretto del suo cono divergente D, che determina la portata. Il *numero* dell'iniettore non è altro che tale diametro, in millimetri.

Un primo tipo di iniettore, inventato da Giffard intorno alla metà dell'Ottocento, era aspirante; poteva perciò prelevare acqua ad un livello più basso del proprio, ma per far questo era dotato di una spina mobile, che conferiva difficoltà di manovra ed una certa inaffidabilità quando la tenuta della spina diventava precaria.

In tempi successivi ed al giorno d'oggi si usano esclusivamente iniettori non aspiranti (che perciò necessitano che l'acqua vi giunga per gravità, od altro), derivati dall'iniettore Friedmann, che vedremo in seguito.

Adesso vediamo l'applicazione pratica nell'iniettore Friedmann, capostipite dei moderni iniettori ancora oggi adottati sui generatori di vapore attuali.

Iniettore non aspirante - E' anche comunemente detto *Friedmann* dal nome dell'inventore.

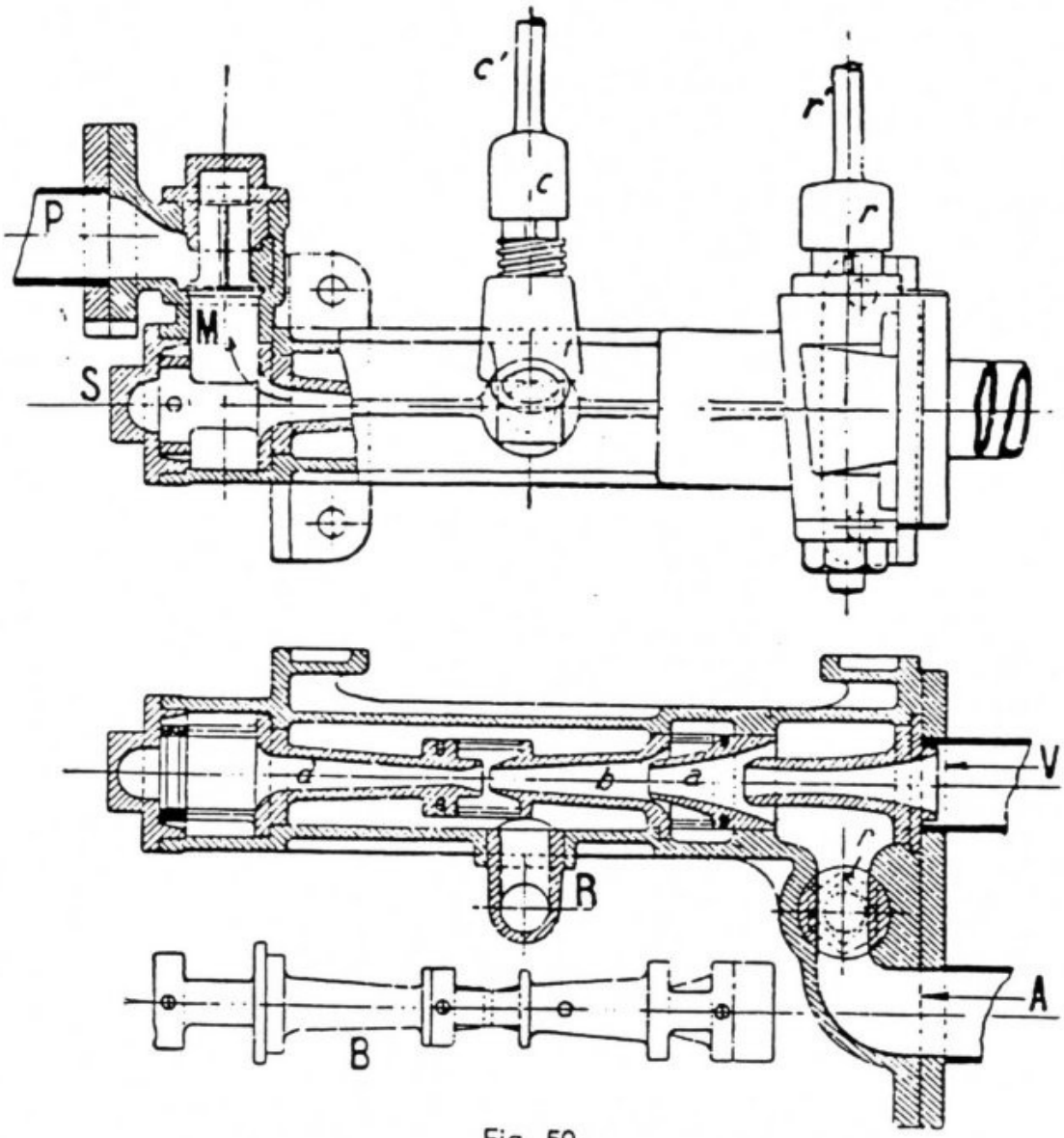


Fig. 50

Si compone di tre coni di bronzo, due convergenti ed uno divergenti, tutti fissi. I tre coni sono riuniti insieme in un unico gruppo chiamato, in gergo, *clarinetto* per via della forma che ricorda vagamente lo strumento musicale. Il clarinetto è facilmente smontabile attraverso il tappo S per le necessarie verifiche periodiche.

L'efflusso del vapore si ottiene aprendo l'apposita valvola di presa situata in caldaia, mentre quello dell'acqua si regola tramite un rubinetto *r* di cui è provvisto l'apparecchio.

Non avendo, a differenza dell'iniettore aspirante citato in precedenza, alcun organo mobile, questo iniettore non è autoadescante e pertanto occorre che l'acqua vi giunga con un minimo di pressione, o per gravità. Deve perciò trovarsi sempre al disotto del livello minimo dell'acqua nel

serbatoio/tender, ecc., oppure essere collegato ad una condotta in pressione, come l'acquedotto, per esempio.

Il tubo di rifiuto R è provvisto di una valvola a cappello che si apre verso l'esterno ed ha un duplice scopo: innanzitutto, impedisce che dal rifiuto sia aspirata dell'aria che, se immessa in caldaia, sarebbe assai nociva per le lamiere. In secondo luogo, questa valvola si può bloccare chiusa; in questo modo, aprendo le valvole di mandata di acqua e vapore, non si forma la corrente d'acqua necessaria alla condensazione del vapore (e quindi all'innesco dell'iniettore), né può uscire l'acqua, che non ha la necessaria velocità e pressione. Si forma allora una pressione nell'iniettore che spinge indietro l'acqua nella tubazione ed il vapore si scarica nel tender.

Sulle locomotive questa caratteristica risulta molto utile d'inverno per evitare il congelamento dell'acqua. Risulta però sempre pratico quando si sospetta che qualche detrito o impurità ostruisca i clarinetti, per cui il getto di vapore in senso inverso sovente può liberare un iniettore intasato.

Un iniettore Friedmann del n. 9 (cioè con il diametro minimo del cono divergente di 9 mm) può fornire un'alimentazione di circa 12 mc/ora, con vapore alla pressione di 12 bar. Un iniettore Giffard dello stesso numero e nelle stesse condizioni può fornire da 3,5 a 7 mc/ora.

Manovra degli iniettori

Per la manovra degli iniettori è sufficiente:

1) **aprire i rubinetto dell'acqua *r*;**
2) **aprire gradualmente la valvola di presa del vapore;**
3) **se necessario, ad iniettore innescato, regolare il rubinetto *r* fino a far cessare eventuali perdite dal tubo di rifiuto.**

Naturalmente ci si deve accertare di avere acqua nel tender/serbatoio, oppure che sia stato eseguito l'allacciamento alla tubazione di rifornimento, e che tutte le valvole di intercettazione siano regolarmente aperte. Ci si deve accertare pure che la valvola di rifiuto non sia bloccata chiusa.

INIETTORE *RESTARTING*

Un tipo più perfezionato dell'iniettore Friedmann è quello cosiddetto "Restarting". Gli iniettori Restarting sono leggermente aspiranti e quindi possono essere installati anche al disopra del livello minimo dell'acqua nel serbatoio/tender; inoltre, qualunque sia il grado di apertura del rubinetto dell'acqua, funzionano con sicurezza appena si apre (anche all'improvviso - cosa che comunque non è mai bene fare) il vapore, sopprimendo le perdite d'acqua al rifiuto. Essi presentano pure il vantaggio di riadescarsi automaticamente (cioè senza bisogno di manovrare i comandi) dopo un'eventuale interruzione nell'arrivo dell'acqua o del vapore, ed anche di poter regolare la portata, riducendola fino alla metà della massima.

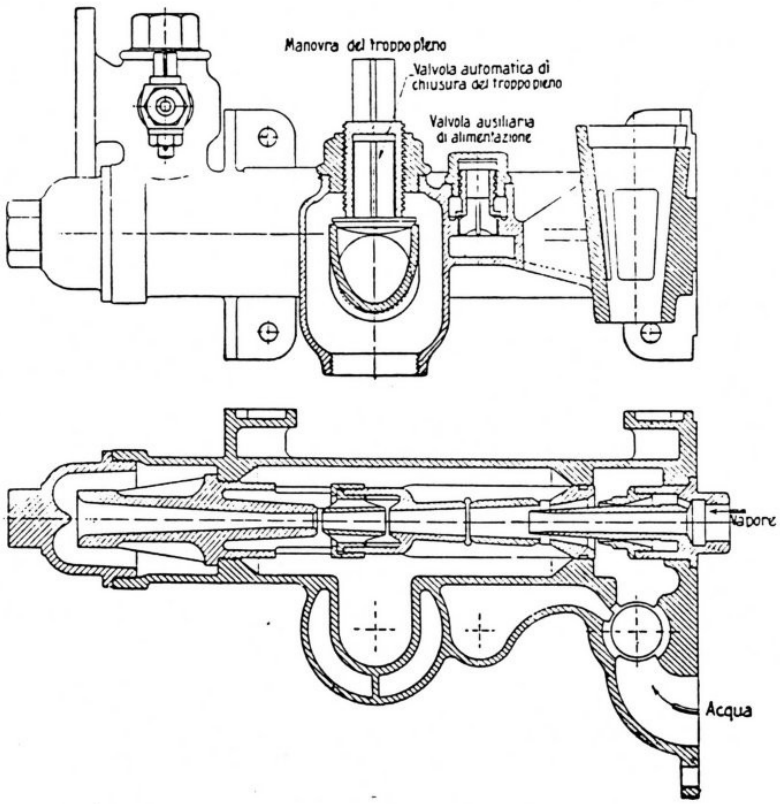


Fig. 52

I vantaggi degli iniettori Restarting derivano:

1) da un secondo getto di vapore a sezione anulare, concentrico col cono d'espansione, che consente loro di essere leggermente aspiranti e di portata regolabile

2) Dai fori ricavati lungo il cono di condensazione, che permettono lo sfogo al primo flusso di vapore e che consentono poi all'acqua, proveniente dalla valvola di alimentazione ausiliaria, di affluire nel cono medesimo

Anche gli iniettori Restarting hanno una valvola automatica di chiusura del troppo pieno (o rifiuto) che si apre verso l'esterno, consentendo lo sfogo dell'acqua e del vapore in eccesso. Normalmente le locomotive a vapore dispongono di due iniettori in quanto l'uno è di riserva all'altro, pertanto in caso di guasto di uno di essi si può proseguire il servizio dato che un solo iniettore è in grado di rifornire di acqua la caldaia.

Valvole di sicurezza

Hanno l'intuibile scopo di impedire che la pressione nel generatore di vapore salga oltre un limite pericoloso, che potrebbe provocare il cedimento e l'esplosione della caldaia. Le valvole di sicurezza vengono quindi tarate alla cosiddetta *pressione di timbro* o *di esercizio* della caldaia, che è la massima pressione alla quale è stato stabilito che il generatore funzioni. La pressione di timbro, talvolta detta anche "di bollo" ha questo nome perché oltre ad essere riportata sui libretti della caldaia è punzonata su una targhetta inchiodata in una posizione ben visibile su una parte fondamentale ed inamovibile del generatore.

Per legge i generatori di vapore devono essere dotati di almeno due valvole di sicurezza, ciascuna delle quali deve essere in grado di smaltire da sola l'eccesso di pressione.

Tutte le valvole di sicurezza devono essere costruite in modo, oppure essere munite di idonei dispositivi atti ad impedire le manomissioni da parte del personale.

Le valvole di sicurezza si dividono in quattro tipi fondamentali: a *peso diretto,* a *peso e leva*, a *bilancia* ed *a molla diretta o Coale.*

Valvole a peso diretto - Sono il tipo più semplice ed antiquato: sull'otturatore mobile viene posto direttamente un opportuno peso, che contrasta la pressione interna del generatore. Il vapore si scarica quando la forza esercitata dal vapore supera quella del peso gravante sull'otturatore.

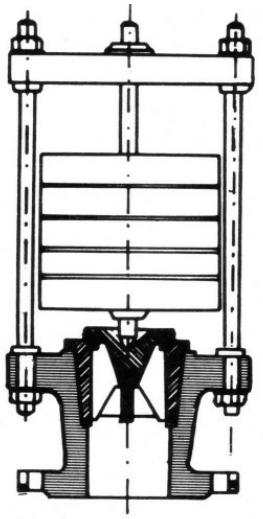


Fig. 7.1 — Valvola di sicurezza a peso diretto

Il calcolo del peso da applicare sull'otturatore si fa con semplici calcoli di fisica, partendo dalla sezione della valvola, considerandone il diametro aumentato di 2 mm per tenere conto della larghezza della sede.

Le valvole a peso diretto sono oggi praticamente in disuso, perché decisamente poco pratiche; sono inoltre ammesse solo per generatori aventi pressione di esercizio sino ad 1 bar.

Valvole a peso e leva - Per pressioni già di poco maggiori di 1 bar il peso da applicare alle valvole a peso diretto diventa pressoché ingestibile; ma applicando, molto semplicemente, una leva che ne amplifichi l'azione si ottiene di poter utilizzare pesi limitati per sopportare pressioni anche rilevanti.

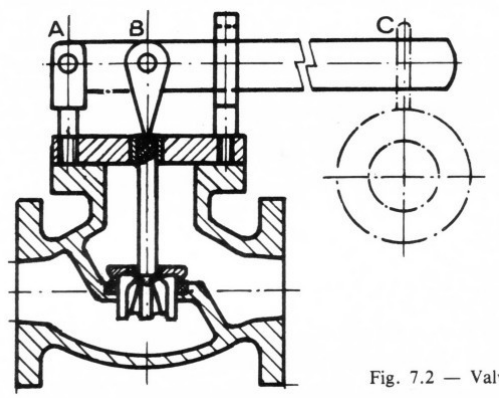


Fig. 7.2 — Valvola di sicuressa a peso e leva

Come si vede, in questo tipo di valvola il carico sull'otturatore è portato mediante una leva, che Permette di ridurre di molto il peso da applicare.

VALVOLA A BILANCIA

I due tipi di valvola visti sopra sono troppo limitati e di difficile gestione e taratura, per essere adottati su un mezzo mobile, quale una locomotiva. Su queste pertanto si adotta una ingegnosa variante della valvola a peso e leva, detta *valvola a bilancia*

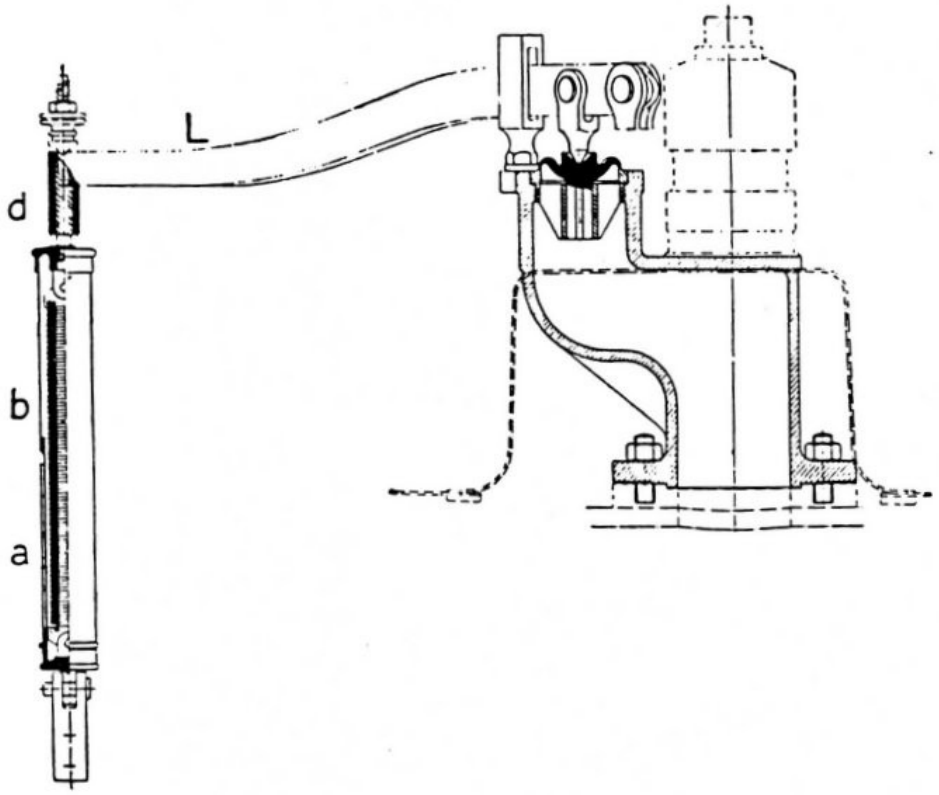


Fig. 66

In tale tipo di valvola la forza resistente non è più costituita da un peso applicato alla leva L, bensì da una doppia molla a spirale, contenuta in una custodia a cannocchiale, la cui parte inferiore *a* è fissa e la superiore *b* invece è collegata ad una vite, la quale - mediante una chiocciola che si appoggia all'estremità della leva - permette di caricare la molla sino al punto da fare equilibrio alla pressione massima di caldaia.

Una *cannetta* di rame o di ottone *d*, interposta tra la leva e l'astuccio, impedisce di manomettere la taratura della molla (in particolare, di aumentarne la tensione e quindi la pressione d'intervento). Tale cannetta porta punzonata la sua lunghezza in millimetri e questo dato viene anche riportato sul libretto della caldaia.

Occorre che ogni valvola sia aggiustata perfettamente sulla propria sede e sia perfettamente equilibrata, in modo da staccarsi contemporaneamente su tutta la superficie di contatto; altrimenti non sarà possibile regolarla a dovere: essa comincerà a "soffiare" prima che sia raggiunta la Pressione massima e ciò non di meno questa potrà essere superata.

La custodia interna della molla porta sovente una graduazione, in modo da poter impostare approssimativamente in modo rapido la taratura.

Su molte locomotive la valvola a bilancia è applicata al coperchio del duomo, ma questa disposizione obbliga a smontare la valvola (e quindi a ritararla) tutte le volte che sia necessario accedere all'interno del duomo stesso; più opportunamente, quindi, su altre macchine le valvole sono collocate su un apposito duometto ausiliario.

VALVOLA COALE

Più pratica e perfezionata delle valvole precedenti, le valvola tipo Coale è generalmente installata su tutte le locomotive a vapore oggi esistenti, sovente in sostituzione di una valvola a bilancia, come si vede dalla figura precedente.

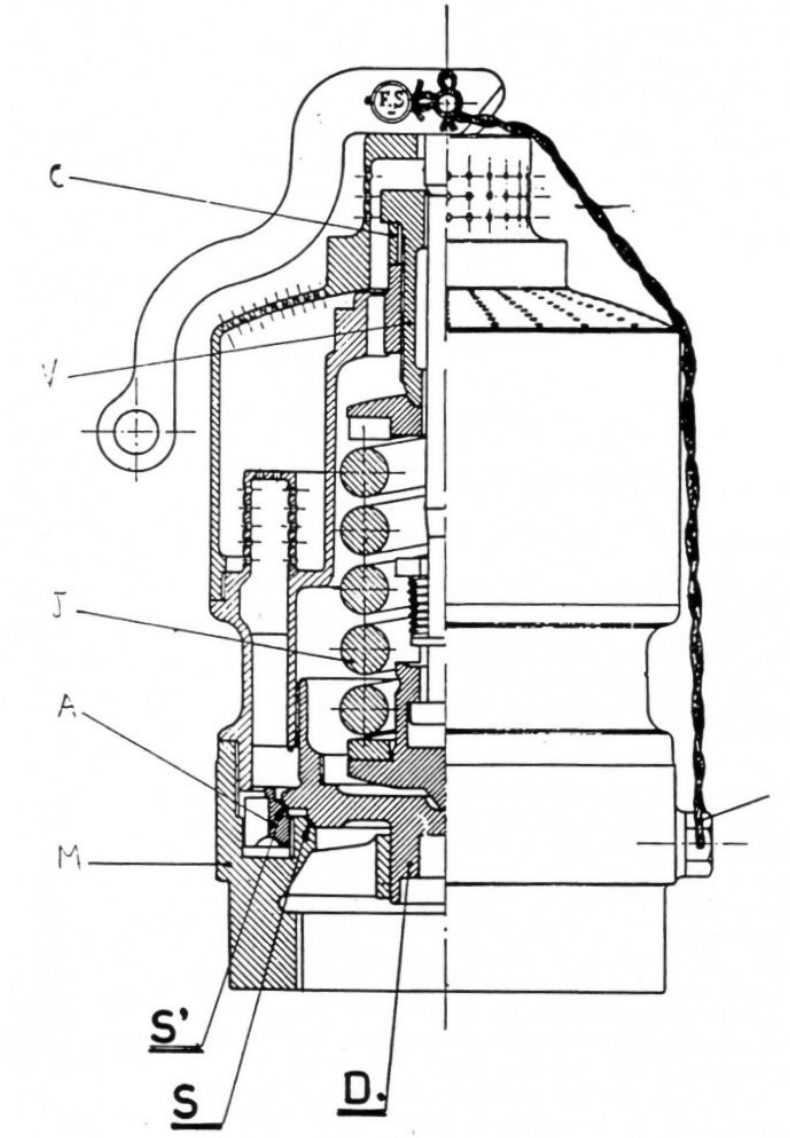


Fig. 67

Si tratta di un tipo di valvola a molla diretta, da cui derivano le moderne valvole di sicurezza adottate oggi sui moderni generatori di vapore. Essa consiste in una valvola *D* a doppia sede, direttamente caricata mediante una molla *J* , che agisce per compressione. La tensione della molla si regola per mezzo della vite *V,* sotto la cui testa viene applicata la cannetta *c* per evitare manomissioni. Tutta la valvola è racchiusa in un involucro speciale, bucherellato per attutire il rumore del vapore di scarico.

Nel tipo di valvola rappresentato in figura, la parte mobile *D* forma chiusura ermetica con la parte fissa *M* a mezzo della sede conica *S;* ma vi è anche un'altra piccola sede conica *S'* che non è a tenuta tra la parte mobile e la fissa e la cui distanza può essere regolata facendo ruotare l'anello *A* che è avvitato sulla parte fissa *M* e pertanto si alza o si abbassa, entro certi limiti. In questo modo, appena la pressione interna della caldaia supera il limite imposto dalla molla *J,*

l'otturatore *D* comincia a sollevarsi, cioè la sede conica *S* si discosta dalla controsede; poiché però attraverso *S'* si ha adesso una piccola fuga di vapore, la superficie della parte mobile esposta alla pressione diretta del vapore aumenta improvvisamente di tutta la zona anulare compresa tra *S* e *S'* e pertanto la valvola "scatta", come si dice, perché il sollevamento dell'otturatore è rapidissimo e completo.

Proporzionando correttamente l'altezza della superficie conica *S',* cioè regolando precisamente l'anello *A*, si può giungere a rendere la valvola assai sensibile sia per una pronta apertura che per una pronta chiusura, e ciò fino a raggiungere una sensibilità di appena 0,2 bar al di sopra della pressione di esercizio.

Il modello rappresentato in figura è munito di una leva che permette di sollevare manualmente l'otturatore quando, in occasione delle visite periodiche, si effettua la *prova di scatto* della valvola di sicurezza: non appena la pressione in caldaia è salita di poco, in modo da essere agevolati nell'operazione e rendere visibile la fuga di vapore, si aziona la leva al fine di accertarsi del regolare funzionamento della valvola; dopodiché si può portare il generatore a regime e verificare l'intervento della valvola alla pressione prescritta.

La verifica di funzionamento deve essere eseguita con una pressione in caldaia particolarmente bassa, per evitare ustioni; proprio per l'intrinseca pericolosità dell'operazione, in modelli successivi la leva di scatto manuale è stata soppressa.

In alcuni tipi di valvole moderne si trova ancora, ma il suo azionamento è previsto solo a distanza.

La valvola Coale elimina perciò tutti i difetti delle valvole viste in precedenza, principalmente quello di non avere una apertura, per così dire, istantanea. Nelle valvole a leva, infatti, man mano che la pressione interna si avvicina a quella di taratura, si comincia ad avere una perdita di tenuta dell'otturatore, che comincia perciò a "soffiare", ovvero si ha una fuga di vapore, dapprima piccola, poi sempre maggiore man mano che la pressione aumenta, sino ad avere l'apertura completa della valvola.

Siccome per motivi di economia e di rendimento termodinamico è conveniente mantenere la pressione di esercizio il più vicino possibile a quella di bollo, nelle valvole a leva si ha una fuga pressoché continua di vapore dall'otturatore, il quale a lungo andare si logora , perdendo la propria funzionalità.

Indicatori di livello. Altro fondamentale accessorio della caldaia è l'*indicatore di livello*, o semplicemente "il livello" come si dice in gergo. Anzi: la legge impone che sul generatore di vapore siano installati sempre almeno due sistemi di controllo del livello dell'acqua di caldaia, ciascuno indipendente dall'altro.

Lo scopo dell'indicatore di livello è intuibilmente di permettere al fuochista di sorvegliare costantemente il livello dell'acqua in caldaia, la quale non deve scendere mai al disotto di un minimo, prescritto dalla legge in 40 mm al disopra del cielo del focolare. In caso contrario, o peggio ancora se il cielo del focolare si scoprisse, si correrebbe il serio rischio di far esplodere il generatore.

Sui generatori moderni si trovano oggi degli apparecchi detti "livellostati", che tramite un sensore a galleggiante controllano costantemente il livello dell'acqua ed in caso di bisogno lo reintegrano oppure in emergenza spengono il bruciatore. Ma è e resta obbligatorio almeno un indicatore di livello a cristallo spia fatto esattamente come quelli che descrtti più sotto.

Livello a tubo. La figura sottostante illustra il tipo di livello a tubo di vetro che è installato su molte locomotive praticamente tutte quelle di fabbricazione nazionale.

Fig. 68

Esso è costituito dal *tubo di livello* vero e proprio, V, e dai *rubinetti di prova,* r; il tutto è racchiuso da una *custodia protettiva* (non mostrata in figura) che ha lo scopo di difendere il personale dalla rottura accidentale del tubo di vetro.

L'unione ermetica del tubo di vetro con i raccordi in bronzo R e R' è realizzata tramite anelli di gomma (gli OR sono più antichi di quel che non si creda...).

Il raccordo inferiore è provvisto di un *rubinetto di spurgo* S, che serve a ripulire l'interno del tubo e ad assicurarsi che il medesimo comunichi sempre liberamente con la caldaia: aprendolo, dal tubo di scarico deve uscire un violento getto d'acqua che vaporizza immediatamente, mentre il livello dell'acqua all'interno del tubo deve scomparire; richiuso, l'acqua deve tornare prontamente visibile nel livello. In caso contrario c'è un'ostruzione nei raccordi, per cui occorre intervenire quanto prima (naturalmente a generatore spento e freddo).

I *rubinetti di isolamento* r servono invece per interrompere la comunicazione con la caldaia in caso di rottura del tubo di vetro. Nelle locomotive FS sono generalmente collegati tra loro e comandati a distanza tramite un opportuno leverismo, in modo che il macchinista possa chiuderli senza ustionarsi (il fuochista è già stato investito dal getto di vapore bollente...).

Il rubinetto inferiore è installato in corrispondenza del cielo del focolare; l'altezza del limite inferiore della parte visibile del tubo sulla parte più alta del cielo del forno (40 mm, cica) viene determinata applicando sul dado R un canotto C, in modo che quando si vede che il livello dell'acqua sfiora il bordo del canotto, si sa che restano ancora 40mm d'acqua sul cielo ed

occorre fare assolutamente attenzione a che tale livello non si abbassi ancora, pena danni al forno ed alla caldaia o peggio una disgrazia.

Talvolta sui livelli di questo tipo è presente in alto la briglia a, che costituisce l'attacco per il *manometro campione* che si applica in occasione delle prove periodiche. Tale briglia, che è obbligatoria per legge, può però essere ubicata anche altrove.

La fig. 69 qui sotto illustra un livello a tubo munito della custodia già citata, detta *paralivello*, che è costituito da un coperchio di vetro retinato curvo, di forte spessore. Come detto, lo scopo è di difendere il personale in caso di rottura del tubo, per cui esso deve essere sempre tenuto in opera quanto la caldaia è accesa.

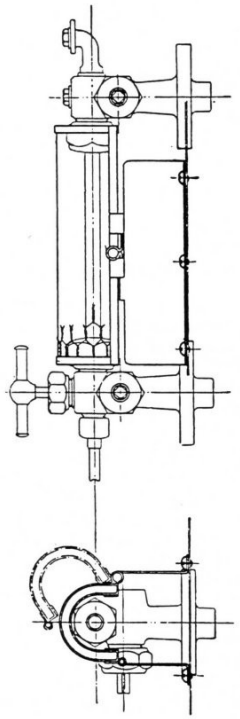


Fig. 69

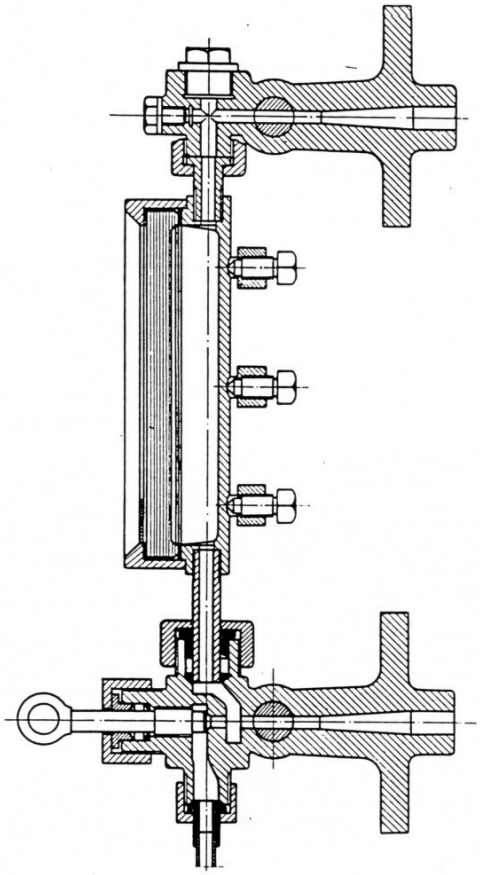


Fig. 70

Livello a vetro piano - *La* fig. 70 illustra un tipo di livello più evoluto del precedente; gli indicatori di questo tipo sono tuttora montati, tali e quali, sui generatori di vapore moderni. Questo tipo di livello, come si vedrà dalla descrizione è migliore, perché di più facile lettura e soprattutto assolutamente sicuro perché il vetro spia, essendo molto spesso e praticamente tutto racchiuso in un involucro metallico, di fatto non corre alcun rischio di rottura. Tanto è vero che nei livelli di questo tipo manca il paralivello - con indubbio vantaggio per la visibilità.

In questi livelli, infatti, il tubo di vetro è sostituito da un astuccio metallico a scatola, il cui coperchio è munito di un vetro piano di spia; il vetro è inserito tra il corpo del livello ed il coperchio sfinestrato mediante ponticelli a vite ed una guarnizione speciale.

La spia è costituita da un cristallo speciale di grande spessore, non attaccabile dalle sostanze alcaline presenti nell'acqua a seguito del trattamento per l'abbattimento dei depositi. La superficie del vetro è rigata in senso verticale, dimodochè la zona occupata dall'acqua assume un colore scuro - praticamente nero -, mentre la zona al disopra del pelo liquido (occupata dal vapore) appare, a causa delle riflessioni della luce sugli spigoli, come argentata.

Per togliere qualsiasi dubbio sulla situazione dell'indicatore di livello rispetto al cielo del focolaio, sulla parete posteriore del portafocolaio è applicata, al livello del cielo, una apposita targhetta d'ottone, portante una riga orizzontale con l'indicazione: "Cielo del focolaio".

Rubinetti prova - Sulle locomotive costituiscono il sistema di riserva per la sorveglianza del livello dell'acqua in caldaia, quando il livello di vetro sia inservibile.
Sono generalmente tre (mai meno di due, comunque) ed il più basso deve essere sempre collocato ad almeno 40 mm dal cielo del focolare.

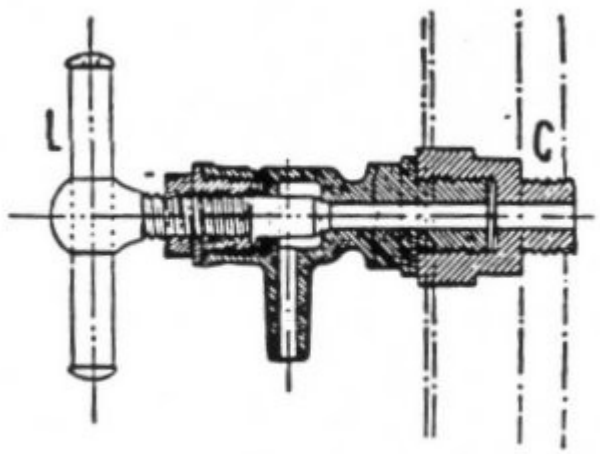


Fig. 71

Il livello dell'acqua viene accertato aprendoli, con precauzione, uno per volta dall'alto verso il basso: se dal rubinetto esce acqua mista a vapore, si ha la certezza che il livello dell'acqua sia all'altezza del rubinetto manovrato.

I rubinetti di prova, come pure i rubinetti di isolamento del livello di vetro devono essere manovrati di tanto in tanto per evitare che si blocchino o si ostruiscano.
All'indicatore di livello a vetro deve essere obbligatoriamente applicato un fanaletto od una lampadina, perché deve sempre essere illuminato, in modo che il livello dell'acqua di caldaia sia sempre chiaramente visibile.

Manometro - La caldaia deve essere dotata di almeno un manometro metallico del tipo Bourdon. Esso è costituito da un tubo metallico a sezione ellittica molto schiacciata, piegato ad arco. Una delle estremità viene posta in comunicazione con il generatore; l'altra è chiusa e libera di muoversi.

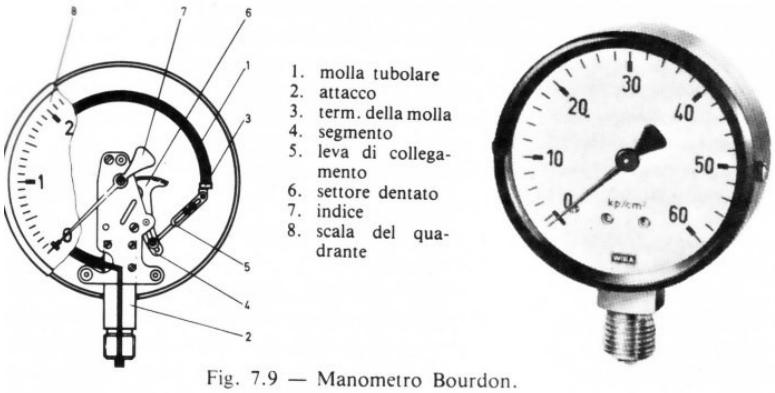


Fig. 7.9 — Manometro Bourdon.

La pressione, agendo all'interno del tubo, tende a raddrizzarlo facendo muovere l'estremità libera che , attraverso un sistema di leve, fa ruotare l'indice.

Il manometro di caldaia deve essere fissato in posizione ben visibile e sulla scala graduata deve essere indicata in modo evidente la pressione di bollo (ad esempio con una tacca rossa).

Il manometro è sempre corredato di un rubinetto di isolamento, al quale è collegato per il tramite di un tubo a sifone, affinché l'organo sensibile non sia a diretto contatto con il vapore, che lo danneggerebbe, ma acqua liquida, e quindi più fredda.

TAPPI FUSIBILI

La fig. 72 rappresenta un tappo fusibile montato sulle locomotive a vapore FS. Le locomotive più grosse ne montano generalmente due, mentre sui modelli più piccoli ve ne può essere anche uno solo.

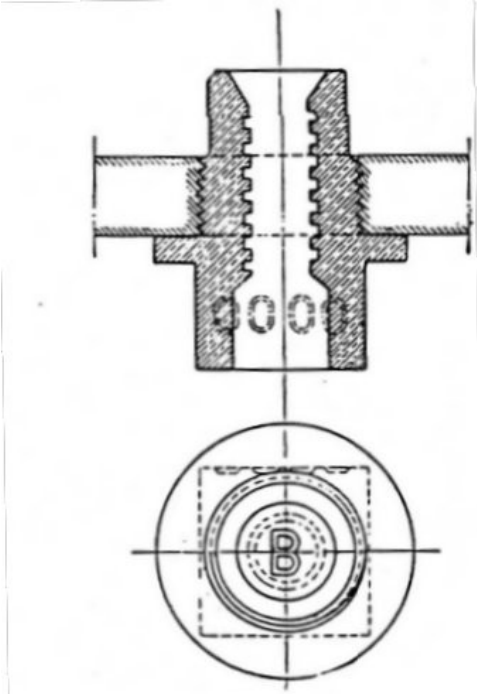


Fig. 72

I tappi fusibili sono costruiti di bronzo, forati internamente e riempiti con un'apposita lega fusibile di metallo bianco ("lega P", si chiamava) resistente alla corrosione alcalina dell'acqua di caldaia.

Sono avvitati nella lamiera del cielo del forno e, qualora questo rimanga scoperto d'acqua, assumono ben presto una temperatura tale da produrre la fusione della lega; il foro reso libero dà allora sfogo al vapore ed all'acqua che questo trascina con se, ed in tal modo il fuoco viene spento; inoltre il forte rumore avverte immediatamente del pericolo che corre la caldaia.

I tappi fusibili devono essere periodicamente ispezionati allo scopo di accertare che non siano ricoperti di incrostazioni, che la lega fusibile sia ben fissata e riempia tutto il vano centrale ed in generale che il tutto sia in buone condizioni ed in grado di funzionare.

Ad evitare (o meglio: a rendere evidenti) eventuali manomissioni tendenti ad occultare le gravi responsabilità del fuochista, si imprimeva nella lega, dalla parte che resta all'interno della caldaia, la sigla del deposito o officina che ha revisionato il tappo.

Ovvero: se in sede di revisione dei tappi fusibili si scopriva che la lega non portava sigla, oppure recava la sigla di un deposito diverso da quello della locomotiva, automaticamente significava che il fuochista aveva provocato la fusione della lega e l'aveva sostituita da se, oppure che aveva rimpiazzato il tappo con uno "rubato" ad un'altra macchina.

Siccome le locomotive a vapore erano assegnate stabilmente ad una ed una sola coppia di macchinisti (oggi invece si va in deposito e si prende la prima macchina che viene...), il responsabile in pratica non aveva scampo.

REGOLATORE

Non è da confondere con il regolatore di Watt, di cui tutte le locomobili sono dotate, e che serve per mantenere costante il regime di rotazione del motore al variare del carico.

Il regolatore di cui parlo è quello della locomotiva, così denominato perchè si usa per regolare la corsa, che altro non è che la valvola di presa, che serve a lasciar passare il vapore dalla caldaia al motore. Nelle locomotive è manovrata a mano dal macchinista; nelle locomobili, è l'organo su cui agisce il regolatore di Watt ed ora ne esaminiamo il funzionamento.

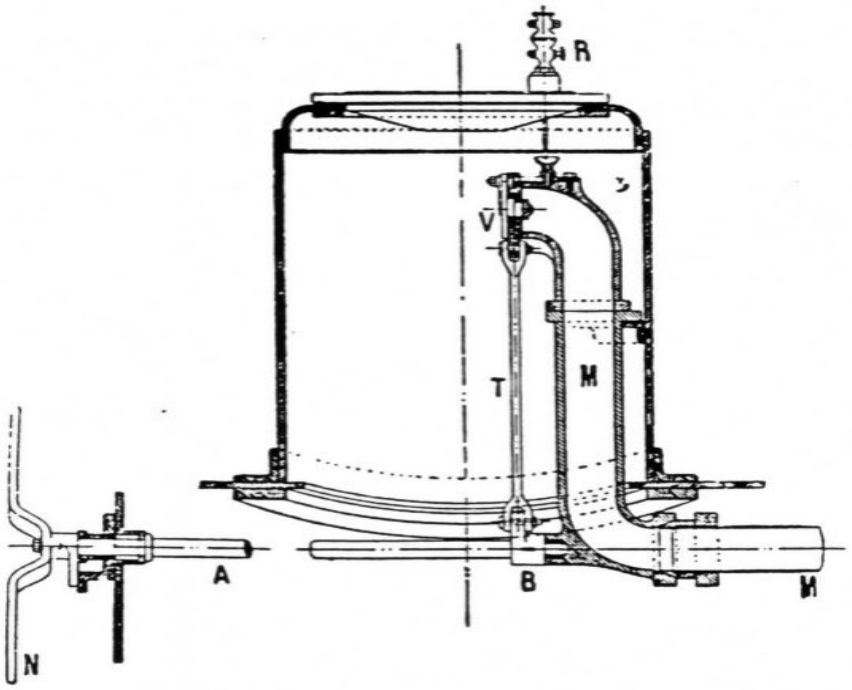


Fig. 74

L'apparecchio di presa vapore (fig. 74) consta della valvola di presa propriamente detta, V, la quale viene situata nella parte più alta del duomo, per far sì che il vapore prelevato sia il più asciutto possibile; della leva di comando N, situata alla portata del macchinista; nonchè degli organi intermedi, cioè dell'asta A, che comanda la manovella B e la bielletta T.

Un ungitore a doppio rubinetto R permette di lubrificare la valvola anche quando la caldaia è in pressione: non si deve però abusarne, per non introdurre troppe sostanze grasse in caldaia, poiché queste sono causa di deterioramento delle lamiere e di irregolarità nel funzionamento della macchina.

Alcune valvole di presa sono a scorrimento rettilineo (cosiddette "a registro"), in cui una piastra rettangolare, munita di due o più luci, si sposta su un'altra piastra fissa, chiudendone o scoprendone le luci corrispondenti.

Se la piastra mobile è unica, le luci di quella fissa difficilmente potranno essere aperte in modo graduale - cosa che evidentemente è necessaria per mettere in moto il meccanismo senza strattoni e per evitare danni. Ma anche se fosse possibile, resterebbe sempre l'inconveniente di una forte *laminazione* del vapore, durante l'apertura e la chiusura.

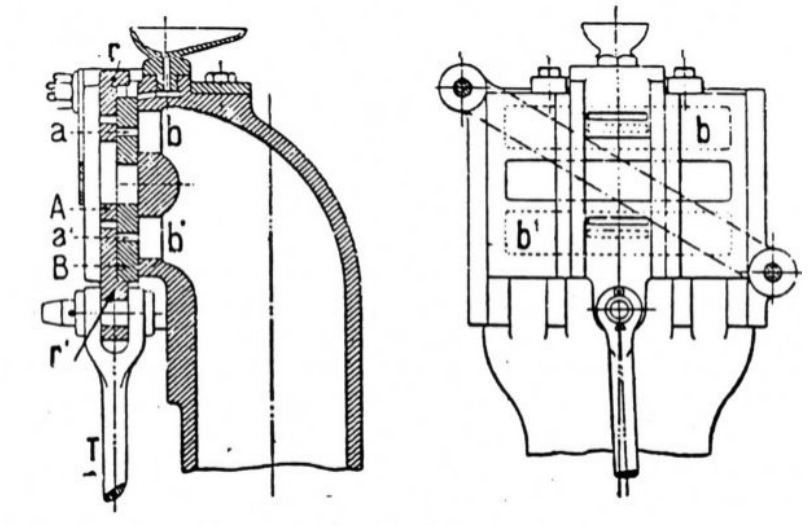


Fig. 75

Si usano quindi generalmente le valvole dette *a doppio registro* (fig. 75), costituite da due piastre mobili, A e B, che scorrono una sull'altra ed entrambe sulla parte fissa.

La piastra esterna A, scorrendo sulla piastra intermedia B, scopre le due luci piccole *a* e *a'*, determinando così quella che si chiama la *prima apertura del* regolatore. Dopodiché essa trascina con se anche la piastra sottostante B, la quale scopre le luci grandi *b* e *b'* della piastra fissa, ottenendo la *seconda apertura*.

La valvola a doppio registro ottiene pure di diminuire la resistenza che oppone all'aprirsi, a causa della pressione del vapore che preme sulle piastre mobili. Poichè con la prima apertura (che è di limitata estensione) si apre un primo passaggio al vapore, che va a compensare sull'altra faccia della piastra la spinta presente, resta assai ridotta la resistenza durante il secondo movimento, che è di maggiore ampiezza.

La valvola a registro appena descritta è di concezione piuttosto antiquata; sulle locomotive costruite a partire dagli anni Venti è stata generalmente adottata la valvola *Zara* (dal nome dell'inventore), la quale ha il pregio rispetto alla precedente di essere perfettamente equilibrata, e cioè non presenta sensibile resistenza all'apertura o chiusura, pur essendo circondata da vapore ad alta pressione.

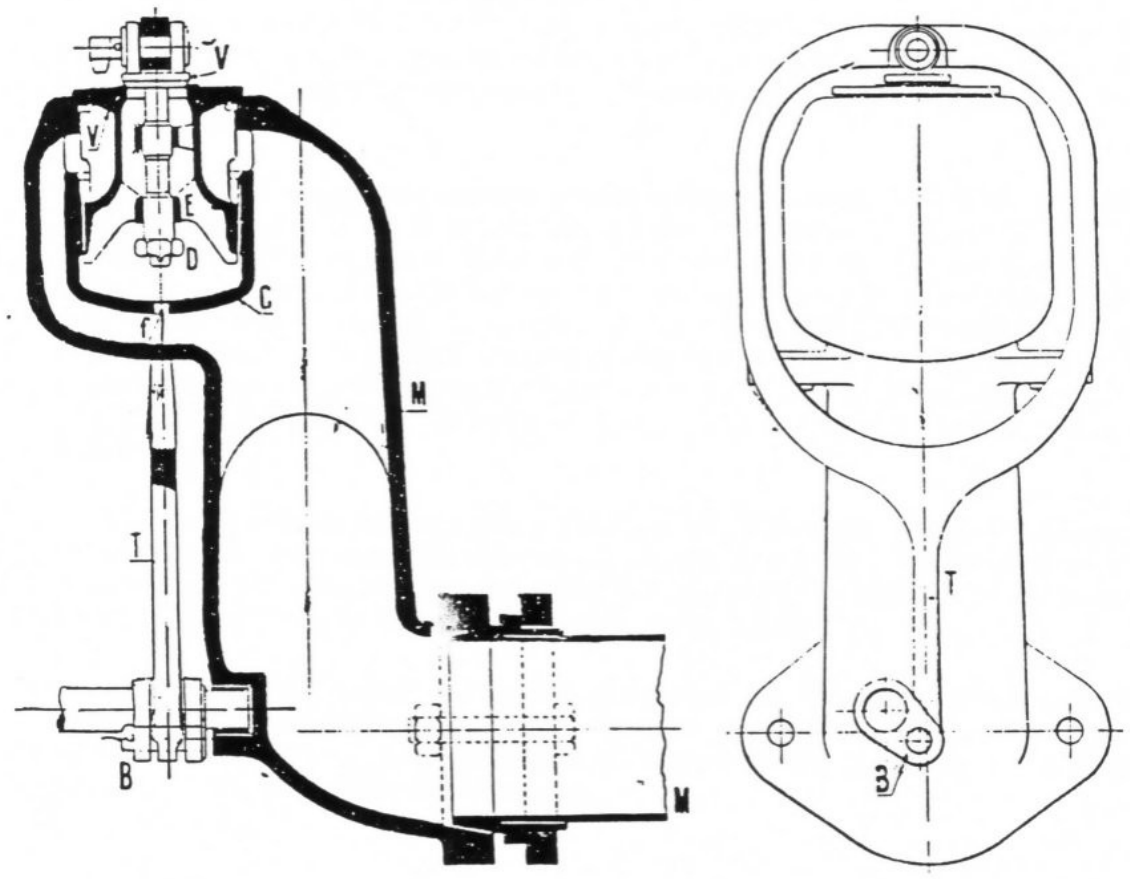


Fig. 76

E' costituita (fig. 76) da una valvola grande a sezione circolare e sede conica V, e da una seconda valvola più piccola V', che trova sede nella valvola grande. La parte inferiore di questa, di diametro di poco più piccolo di quello della parte conica superiore, si presenta come uno stantuffo che scorre, con un leggero gioco, nel cilindro C, esistente nel corpo del regolatore.

Il tirante T si attacca direttamente alla valvola V', che di conseguenza viene sollevata, quando si aziona l'apposita leva. Questo sollevamento, date le piccole dimensioni della valvola, non dà luogo a sensibile resistenza; d'altra parte il vapore, penetrando entro il cilindro C circonda tutta la valvola V e rende possibile il sollevamento di questa senza sforzo notevole.

La prima apertura si ha quando è sollevata la sola valvola V' : il vapore entrato in C passa al tubo M attraverso al foro *f* ed al gioco esistente tra valvola V' e cilindro C; continuando a sollevare la valvola V' fino a che il dado D giunga a toccare il fondo E della valvola grande V, si ottiene l'inizio della seconda apertura.

Altro vantaggio di questo tipo di valvola è la tendenza a richiudersi spontaneamente per gravità, cosa molto importante ai fini della sicurezza in caso di rottura degli organi di comando. Per compensare il peso degli organi, alla leva di comando è applicata una molla, in modo che sia possibile lasciare il regolatore aperto in una posizione a piacere.

Tubi di presa vapore e d'introduzione - La condotta che dalla valvola del regolatore porta il vapore verso i cilindri è detto *tubo di presa vapore*; è generalmente in ghisa o in ferro, ed interno alla caldaia (fig. 76). La sua estremità posteriore si ripiega a gomito per sollevarsi nel duomo e l'ultimo pezzo ove si fissa la valvola di presa è detta *testa di morto*.

L'estremità anteriore attraversa la piastra tubiera anteriore e termina nella camera a fumo in un tubo a Y, in ghisa, dal quale partono i *tubi d'introduzione*, di rame o di ferro, che vanno alle camere di vapore dei distributori.

Rubinetto di scarico della caldaia - Il corpo cilindrico della caldaia è provvisto, nella sua parte più bassa, di un rubinetto di scarico, detto valvola *defangatrice*. E' generalmente provvisto di uno smorzatore/silenziatore del getto, e si utilizza (a caldaia accesa!) per l'espulsione dei fanghi che si depositano come conseguenza del trattamento delle acque. E' anche utilizzato per svuotare la caldaia (a freddo) per le operazioni di pulizia e manutenzione.

Altri accessori - sulla caldaia sono infine applicati altri accessori minori quali la presa di vapore per l'emulsionatore dell'olio di lubrificazione del motore; sulle caldaie da locomotiva sono inoltre presenti le prese per il vapore della pompa del freno, per il riscaldamento del treno, per gli iniettori, per il fischio, ecc..

Carlo Pezzini

Bibliografia:

CIFI: La locomotiva a vapore ristampa 1975;

CIFI: Norme pratiche per la condotta delle locomotive, ristampa 1974;

www.tractorum.it : notizie e disegni sulle caldaie e relativi accessori.