

Gr. 740, la locomotiva più versatile

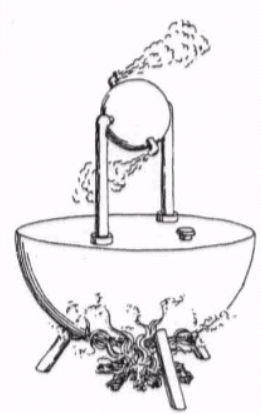


INDICE

La storia della macchina a vapore.....	pag.1
Aderenza – Sforzo di trazione – Potenza.....	pag.8
Gli apparati per la produzione del vapore.....	pag.11
Il ciclo Rankine.....	pag.14
L'apparato motore.....	pag.18
La distribuzione.....	pag.20
Il tender.....	pag.22
La storia della ferrovia in Italia.....	pag.23

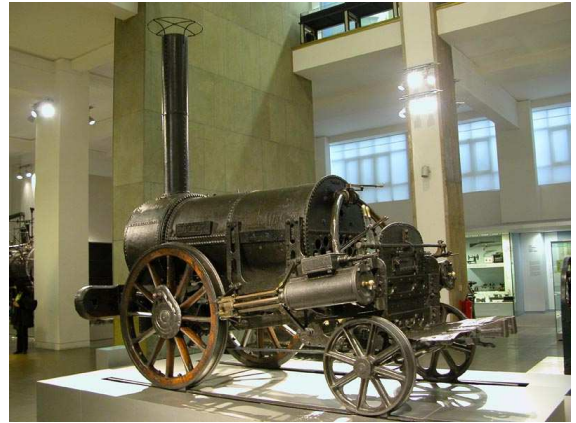
LA STORIA DELLA MACCHINA A VAPORE

La nascita della macchina a vapore: Già nel periodo ellenistico si narra di esperimenti atti a sfruttare l'espansione dei composti dovuta al cambiamento da fase liquida a fase gassosa: in particolare l'eolipila di Erone d'Alessandria, una sfera cava di metallo riempita d'acqua, con bracci tangenziali dotati di foro di uscita: quando si scaldava l'acqua, questa vaporizzava e il vapore usciva dai fori, facendo ruotare la sfera stessa. Vanno inoltre ricordati i tentativi di usare il vapore di Leonardo da Vinci con la sua macchina detta l'Architruono, e nel 1606 gli esperimenti di Giovanni Battista Della Porta che riuscirono ad utilizzarlo come forza motrice. Esperimenti analoghi a quelli di Della Porta vennero compiuti anche dall'ingegnere Salomon de Caus, che nel 1615 pubblicò un trattato sul suo sistema contenente una pompa a vapore. In tempi più recenti, le prime applicazioni del vapore si possono far risalire agli esperimenti di Denis Papin ed alla sua pentola a pressione del 1679 da cui partì per concepire idee su come sviluppare l'utilizzo del vapore. Le successive applicazioni si sono avute all'inizio del XVIII secolo, soprattutto per il pompaggio dell'acqua dalle miniere, con il sistema ideato nel 1698 da Thomas Savery utilizzando il vuoto creato dalla condensazione del vapore immesso in un recipiente (che permetteva di sollevare acqua fino a circa 10 m di altezza), e in seguito, grazie all'invenzione del sistema cilindro-pistone (probabilmente dovuta a Denis Papin), convertendo in movimento meccanico, in grado di generare lavoro, l'energia del vapore. Il primo esempio di applicazione industriale di questo concetto è la macchina di Newcomen, del 1705, che era però grande, poco potente e costosa, quindi anch'essa veniva in genere usata solo per l'estrazione di acqua dalle miniere. Solo più tardi però, grazie all'invenzione del condensatore esterno, della distribuzione a cassetti e del meccanismo biella-manovella, tutte attribuite a James Watt a partire dal 1765, si è potuti passare da applicazioni sporadiche ad un utilizzo generalizzato nei trasporti e nelle industrie. La macchina di Watt riduceva costi, dimensioni e consumi, e aumentava la potenza disponibile. Dal primo modello con 4,4 kW si è passati in meno di 20 anni a locomotive da 400 kW.



L'applicazione della macchina a vapore nella ferrovia nel mondo: La locomotiva a vapore comparve agli inizi dell'800 in Inghilterra, come sostituto meccanico del cavallo per il traino di convogli di carrelli di carbone nelle miniere. Presto se ne

intuirono le potenzialità nonostante i primi prototipi avessero molti difetti e la produzione di vapore fosse piuttosto scarsa dato che le caldaie usate, a struttura verticale, erano poco di più che una grossa pentola posta sul fuoco. La prima locomotiva a vapore che aprì l'era della società delle macchine, fu costruita dal gallese Richard Trevithick, riuscendo nel 1804 a



trainare su dei binari in ghisa 5 vagoni carichi di 10 tonnellate di ferro e 70 uomini percorrendo 16 km in 4 h e 5' a Penydarran, nel Galles; in seguito con le migliorie di produzione del vapore e la riduzione dei consumi la locomotiva a vapore. Veramente efficace fu la Rocket di George Stephenson e di suo figlio Robert che proposero nel 1829, alla gara mondiale indetta dalla Società per la Strada Ferrata da Liverpool a Manchester, una innovativa caldaia a struttura tubolare con tiraggio forzato dei fumi mediante il vapore di scarico dei cilindri. Tale macchina vinse la gara di Rainhill e venne adottata per l'esercizio della ferrovia suddetta. La Rocket era già una macchina moderna, le cui soluzioni tecniche si sarebbero riviste e migliorate in seguito sui progetti successivi, ma fondamentalmente rappresentava la classica locomotiva a vapore.

Le prime locomotive a vapore avevano una struttura piuttosto rudimentale; un carro costituito da longheroni e traverse in ferro su cui era montata la caldaia con forno e fumaiolo, una coppia di cilindri motori collegati con bielle all'unica ruota motrice e i comandi relativi alla condotta che era appannaggio del macchinista posto su un semplice predellino o una piccola piattaforma. Un carro agganciato con una grossa botte per l'acqua ed un cumulo di carbone completavano il tutto. Il gancio di trazione era costituito da una catena ed i respingenti erano solo dei tamponi di legno sulle testate.

Una delle prime caratteristiche progettuali fu anche quella dell'uso di ruote di piccolo diametro per la trazione di merci e di ruote di grande diametro per le macchine passeggeri atte a maggiore velocità. La prima scelta era dettata dalla necessità di disporre di una maggiore forza di trazione, la seconda era dettata invece dalla necessità di contenere entro limiti accettabili il numero di giri dell'albero motore. In America si affermò il carrello portante anteriore a 2 assi dando origine al rodiggio 2'A noto anche come American o American Standard. In seguito da questa architettura si

svilupparono i più noti rodiggi: per avere più potenza venne sviluppato il rodiggio 1'C Mogul che, nei primi modelli americani, si presentava con l'asse motore centrale privo di bordino; allo scopo di incrementare la superficie del focolaio e sostenerlo si aggiunse un carrello posteriore, ottenendo il rodiggio 2'A 1' (Atlantic) e così via, aggiungendo assi motori o assi al carrello portante.

Nel 1906 in Baviera fu costruita la locomotiva S 2/6 dal rodiggio 2' B 2' con prestazione di tutto rispetto e una velocità di 150 km/h, ma rimase solo un prototipo: l'era delle macchine a 2 assi accoppiati volgeva ormai al tramonto dato che le composizioni richieste dal servizio ferroviario erano sempre più pesanti. L'anno dopo infatti le ferrovie bavaresi iniziarono a immettere in servizio le più prestanti (anche se meno veloci) S 3/6 dal rodiggio 2' C 1'.

Le macchine a 3 assi accoppiati furono le regine del periodo d'oro della trazione a vapore e la regina per antonomasia fu la Pacific, dal rodiggio 2'C 1' (o per le ferrovie francesi e italiane 2-3-1); solo in Nord America queste locomotive vennero più tardi soppiantate da macchine con 4 assi motori per treni rapidi. Sono Pacific le macchine più prestanti e detentrici di primati di velocità come, il gruppo 01 delle DRG, la classe A4 della LNER (di cui fa parte Mallard) e le efficientissime Chapelon.

La tecnica, contemporaneamente all'incremento degli assi, sviluppò dispositivi per aumentare il rendimento termodinamico dei motori a vapore al fine di ridurre i consumi e i costi ed aumentando l'autonomia. La prima innovazione fu l'adozione della doppia espansione, che venne realizzata in varie foggie cercando di ottenere i migliori risultati in fatto non solo di rendimento termodinamico, ma anche di economia costruttiva, bilanciamento delle parti in movimento e continuità dello sforzo di trazione. Una seconda innovazione fu l'adozione del vapore surriscaldato che permetteva economie di esercizio paragonabili alla doppia espansione, ma permetteva di usare una meccanica meno complessa e di più facile guidabilità. Di pari passo con l'adozione del vapore surriscaldato ci fu l'abbandono del cassetto di distribuzione, usato fino ad allora, in favore del cilindro in cui non erano significativi gli effetti del vapore ad elevata temperatura sul lubrificante. Infine, come ultima manovra per migliorare il rendimento termodinamico, si adottarono preriscaldatori il cui compito era sfruttare il calore dei gas di scarico per elevare la temperatura dell'acqua da immettere in caldaia; un esempio di tali dispositivi fu il preriscaldatore Franco-Crosti.

Legata invece alle economie di manutenzione fu l'adozione della distribuzione Walschaerts o Heusinger al posto della distribuzione Stephenson ad eccentrici. Ma nessuno degli espedienti individuati dai progettisti riuscì a salvare le locomotive a vapore: già nel primo dopoguerra il primato delle vaporiere iniziò ad essere minato dall'espansione delle linee elettrificate e nel secondo dopoguerra dall'avvento delle macchine diesel la cui tecnologia era ormai consolidata. In Gran Bretagna l'ultima locomotiva a vapore in servizio andò in pensione l'11 agosto 1968.

... e in Italia: Le prime locomotive a vapore italiane furono di costruzione inglese, francese e belga. Allo scopo di liberarsi dall'onere legato alla loro importazione intorno alla seconda metà del XIX secolo, anche in Italia iniziarono ad essere costruite locomotive a vapore a Pietrarsa, all'Ansaldo e nelle officine di Verona. Non ci si liberò del tutto dall'importazione che in seguito verté sulle fabbriche bavaresi e prussiane, ma con i primi decenni del nuovo secolo ci si affrancò quasi del tutto. La scuola italiana sviluppò locomotive di impostazione semplice e importanti progetti come il carrello italiano dell'ing. Giuseppe Zara (1904), la distribuzione "Caprotti" (1921) e il preriscaldatore Franco-Crosti (1938).

In Italia la produzione e l'uso delle locomotive a vapore ebbe vita più breve che all'estero soprattutto in conseguenza dell'onerosità dell'importazione del carbone che aggravava le spese di esercizio rispetto ad altri stati europei. Nel 1905 le neo-costituite Ferrovie dello Stato ereditarono un parco macchine comprendente 2769 unità di diverse caratteristiche, per lo più obsolete e 10557 km di linee. Vennero quindi sviluppati nuovi progetti e soprattutto negli anni venti videro la luce macchine di buone prestazioni. Tuttavia, i buoni risultati ottenuti con la trazione elettrica trifase e, a partire dal 1928 con quella a corrente continua, spinsero in secondo piano le macchine a vapore. L'ammodernamento del parco FS puntò su un ristretto numero di gruppi ottenuti, come evoluzione di quelli più riusciti su un limitato sviluppo di nuovi modelli e ricostruzione, con miglioramenti, di macchine esistenti. Per questo il Gruppo 695 rimase solo sulla carta, mentre il Gruppo 691 fu ottenuto per trasformazione delle macchine del Gruppo 690 con l'adozione della stessa caldaia del Gruppo 746. La regina della flotta rimase la 685, anche nella versione S con caldaia a 16 atmosfere e preriscaldatore, mentre il vero cavallo da tiro delle FS fu rappresentato dal Gruppo 740.

La nascita del Gruppo 740: Il progetto del gruppo 740, sviluppato dalla Rete Adriatica qualche anno prima della nazionalizzazione delle ferrovie del 1905, nacque allo scopo di migliorare il servizio già buono che le locomotive del gruppo 730 svolgevano sulle linee importanti: la Porrettana, la Firenze-Roma e in genere le linee del centro-nord. Il progetto venne subito ripreso e portato avanti dalle neo-costituite Ferrovie dello Stato. Vennero costruite in 470 esemplari tra il 1911 ed il 1922. I risultati del progetto furono eccellenti e lo prova l'alto numero di esemplari costruiti, la sua diffusione su tutto il territorio nazionale, il numero di locomotive trasformate in Gr.741 (81) e Gr.743 (94), la ripresa del progetto per la realizzazione di una versione loco tender reversibile Gr.940 (50) e la sopravvivenza di alcuni esemplari fino al giorno d'oggi. Le 740 derivano in particolare, per quanto riguarda il rodiggio, dalle precedenti locomotive a vapore saturo e a doppia espansione del gruppo 730, le quali costituivano a loro volta una elaborazione di un precedente abortito progetto, quello delle 460 RA, macchine con pari rodiggio e pure a doppia espansione ma dotate di un motore Plancher a quattro cilindri. La costruzione delle 730 venne completata nel 1909 con la consegna dell'ultima delle 190 unità; già da un biennio il Servizio Materiale e Trazione delle FS, nel quale erano divenuti prevalenti gli orientamenti tecnici della Rete Adriatica, si era apertamente dichiarato per l'abbandono della doppia espansione a favore dell'impiego di generatori di vapore surriscaldato e dei più semplici motori a cilindri gemelli. Pertanto, vista la necessità di macchine per servizio merci, fu naturale adottare lo stesso carro della 730, montarvi sopra un generatore di vapore surriscaldato e un motore a semplice espansione, operazione che consentì di abbassare la pressione di timbro da 14 a soli 12 bar. Per quanto riguarda il motore a due cilindri dissimmetrici delle 730, esso venne sostituito da uno a cilindri gemelli da 540 mm di diametro, posto orizzontalmente mentre il carro, il cinematismo di distribuzione sistema Walschaerts ed il rodiggio non vennero modificati. Il peso non cambiò, anzi a causa dell'applicazione del surriscaldatore, la macchina risultò più pesante di quasi una tonnellata rispetto alla precedente arrivando ai 66500 kg. Il duomo delle 740 appariva di dimensioni abbondanti in quanto era circondato dalla sabbiera che grazie al calore manteneva la sabbia sempre asciutta e priva di umidità. Il surriscaldatore portò la potenza a 980 cv (720kW) con una velocità massima di 65 km/h, rendendole atte anche a svariati servizi viaggiatori su linee acclivi come quella della Val Pusteria, della Valsugana e dell'Appennino Centrale.

La consegna iniziò nel 1911, le 740 si rilevarono subito macchine indovinate, tanto che ne vennero commissionati numerosissimi esemplari a tutti i costruttori italiani. La produzione si fermò a 203 unità poco prima dello scoppio della Prima Guerra Mondiale; tutte le unità prebelliche vennero costruite con la leva di comando della distribuzione a destra, marcature a cinque cifre (dalla 74001 alla 74203) e dotate di tender a 3 assi capace di 12000 litri d'acqua e 6000 kg di carbone. La costruzione riprese nel 1919 e continuò fino al 1923, vennero ordinate 267 locomotive, dette di seconda serie, che si differenziavano per il comando della distribuzione spostato a sinistra, ruote con diametro maggiorato di 10 mm arrivando a 1370 mm, l'introduzione del tender unificato a carrelli 2'2' T22 e provviste dall'origine di valvole multiple Del Papa. Le ultime unità prodotte numerate dalla 446 alla 470 vennero commissionate all'industria tedesca che le fornì in conto riparazione danni di guerra. Queste locomotive vennero seguite con particolare attenzione dai tecnici delle FS in quanto provviste dall'origine di preriscaldatore dell'acqua di alimento in caldaia del tipo messo a punto dalla Knorr Bremse, che utilizzava una parte del vapore di scappamento. In seguito all'aumento del prezzo del carbone nel primo dopoguerra, la necessità di risparmiare sul quantitativo, inviando in caldaia acqua preriscaldata, era divenuto di maggiore interesse. Purtroppo questa soluzione si rivelò efficace per treni viaggiatori, con lunghi intervalli tra una fermata e l'altra e non su macchine assegnate al servizio merci o ai treni locali. Le FS allora cercarono soluzioni sostituendo la tipologia di distribuzione del vapore, dopo i "buchi nell'acqua" dei progetti francesi e tedeschi, con la sperimentazione nel 1921 sulla 740 324, del sistema di distribuzione a valvole <<Caprotti>> ideata dall'ingegner Arturo Caprotti: era un sistema di distribuzione a valvole azionate da un sistema di camme oscillanti a profilo variabile. A differenza delle valvole di concezione straniera, Caprotti utilizzò la combinazione di una coppia conica e alberi telescopici collegati da giunti cardanici che azionavano le camme oscillanti, la cui fasatura era comandata dalla leva della distribuzione/inversione. I vantaggi furono una minore laminazione che il vapore subiva nell'immissione ai cilindri nonché della ridotta contropressione allo scarico, in virtù dell'apertura pressoché istantanea delle relative valvole. I risultati furono talmente lusinghieri che ben presto un gran numero di locomotive a vapore italiane adottò questa apparecchiatura. Verso la fine degli anni '30 nove modifiche riguardarono un lotto di cinque locomotive Gr.



740 che vennero equipaggiate con una nuova caldaia progettata dalla Società Locomotive Franco, in grado di erogare vapore surriscaldato ad una temperatura più elevata e munita di economizzatore - preriscaldatore montati esternamente ad essa. Le locomotive che vennero coinvolte furono 94 tutte inquadrare nel nuovo gruppo 743.

Dati tecnici della locomotiva a vapore Gr. 740 FS

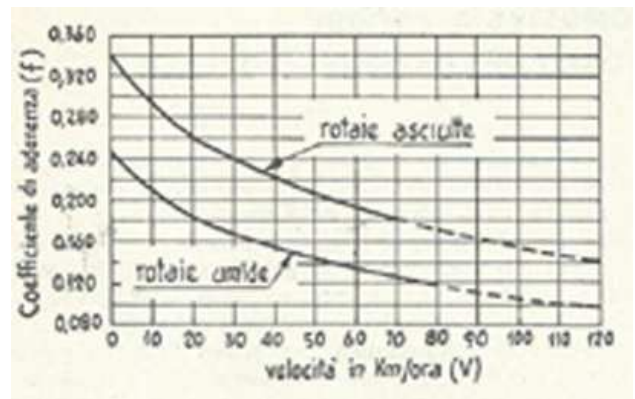
Numero di unità complessive	470
Anni di consegna della prima e dell'ultima unità	1911-1923
Rodiggio	1-4-0 (1'Dh2)
Numero cilindri (motore a semplice espansione)	2
Alesaggio cilindri	540 mm
Corsa stantuffi	700 mm
Tipo distribuzione (esterna)	Walschaerts
Massa in servizio con scorte	66500 kg
Massa aderente	56400 kg
Timbro caldaia	12 bar
Potenza continuativa al cerchione	980 cv/720 kW
Sforzo massimo di trazione	147 kN
Velocità massima	65 km/h
Diametro ruote morici	1370 mm
Lunghezza con tender a carelli	19885 mm
Generatore di vapore	Surriscaldato
Superficie di griglia	2.80 m²
Superficie di riscaldamento	152.92 m²
Superficie di surriscaldamento	41.23 m²
Freno ad aria compressa	Automatico e moderabile
Tender a carelli con massa in servizio	49000 kg
Con scorta acqua di	22 m³
Con scorte di carbone di	6000 kg

ADERENZA – SFORZO DI TRAZIONE – POTENZA

Aderenza: prima di entrare in merito a come è fatta una locomotiva a vapore è necessario capire come avviene che la trasmissione del movimento dallo stantuffo alle ruote del carro generi, oltre alla rotazione delle ruote motrici, anche il loro spostamento sulle rotaie. L'idea che balza subito alla mente è quella di collegare locomotiva e rotaie attraverso degli ingranaggi ma ben presto si scoprono delle complicazioni dannose, specialmente se si dovevano raggiungere velocità elevate. Basta in generale l'attrito radente di primo distacco che si genera tra ruota e rotaia e che in questo caso specifico si chiama aderenza.

Il valore dell'aderenza (A) è dato dal prodotto del coefficiente di attrito radente di primo distacco, definito coefficiente d'aderenza (f_a), per il peso gravante sui punti in cui le ruote motrici toccano le rotaie che si definisce peso aderente (p_a). $A = p_a \times f_a$

Il valore medio del coefficiente di attrito è di $1/7$



Per poter aumentare l'aderenza esistono diversi metodi: o aumentare il peso aderente o il coefficiente d'attrito. In genere ogni locomotiva ha più di una coppia di ruote motrici ed il peso aderente è limitato alle coppie di ruote motrici. Quindi si sente a collegare le bielle motrici ad un singolo asse, detto motore, e questo è collegato ad altre ruote attraverso bielle, dette accoppiate. Invece per poter aumentare il coefficiente d'attrito si utilizza di solito la sabbia che viene sparsa sulle rotaie e che aumenta la scabrosità delle superfici di contatto e perciò anche la resistenza allo slittamento.

calcolo aderenza = $56400 \text{ kg} \times 1/7 = 8060 \text{ kg}$

Sforzo di trazione: lo sforzo esercitato da una locomotiva alla periferia delle due ruote motrici (ed accoppiate) chiamasi Sforzo di Trazione della locomotiva. Tale sforzo serve a vincere la resistenza della locomotiva e del treno che presentano al movimento di traslazione e sarà uguale e contrario alla resistenza medesima se la velocità si mantiene costante (moto uniforme); sarà invece maggiore o minore di tale

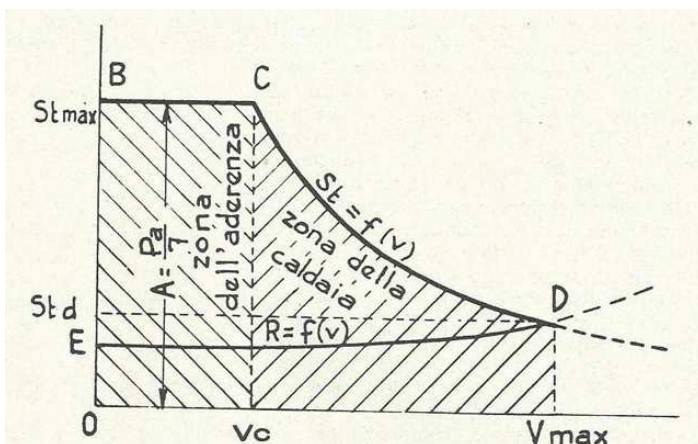
resistenza, se la velocità aumenta o diminuisce (moto accelerato o decelerato). Lo sforzo di trazione si calcola con la seguente formula $St = \eta \times P \times A_{st} \times \left[\frac{2xc}{\pi x D} \right] \times N$ dove η = rendimento del meccanismo; A_{st} = area dello stanfuffo; c = corsa degli stantuffi; D = diametro delle ruote motrici; N = numero dei cilindri e P = pressione di timbro della caldaia.

semplificata la formula diventa $St = 0.8P \times \left[\frac{d^2xc}{D} \right]$

calcolo Sforzo trazione: $St =$

calcolo Sforzo di trazione : $St = (0.8 \times 12 \times 54^2 \times 0.7) / 1.33 = 147 \text{ kN}$

Curva caratteristica meccanica:

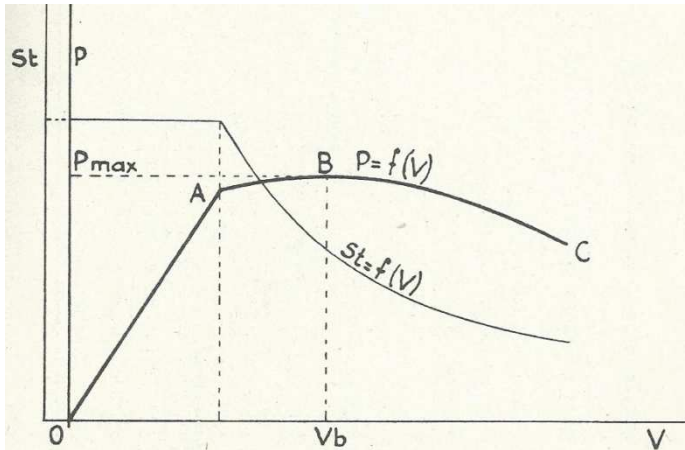


Sulle ordinate vi sono i valori dello sforzo di trazione (St) e sulle ascisse quelli della velocità (V), con questa unione si definisce la curva meccanica caratteristica della locomotiva.

Questo diagramma ha origine in B, punto a cui corrisponde lo sforzo di trazione massimo, limitato all'aderenza A che si manterrà costante fino alla velocità V_c (punto C); raggiunta questa velocità tutto il vapore prodotto dalla caldaia viene utilizzato dall'apparato motore e pertanto la locomotiva sviluppa tutta la sua potenza. Dopo di che all'aumento della velocità dovrà corrispondere una diminuzione del grado d'introduzione, in modo da mantenere costante il consumo di vapore e pari a quello prodotto dalla caldaia. Il rendimento invece varia sensibilmente con la velocità pertanto anche la potenza subisce variazioni. La velocità massima, che potrà raggiungere la locomotiva, sarà quella corrispondente all'equilibrio tra sforzo di trazione e resistenza del treno (punto D). La curva caratteristica della locomotiva a vapore si può dividere in due parti: la prima interessa il tratto B C, lungo il quale lo sforzo di trazione si mantiene costante e pari all'aderenza e si definisce zona dell'aderenza; la seconda interessa il tratto C D, lungo il quale la potenza varia di

poco, essa dipende dalla produzione di vapore della caldaia e si definisce zona della caldaia.

Potenza della locomotiva: la potenza di una locomotiva (da non confondersi con lo sforzo di trazione) è il lavoro che essa può compiere nell'unità di tempo. Questa potenza dipende unicamente dalla potenzialità della caldaia.



La potenza massima di una locomotiva è rappresentata dalla figura a lato, formata dal primo tratto OA rettilineo in corrispondenza della zona dell'aderenza; nel tratto A B si ha generalmente un aumento della potenza per l'effetto del rendimento termico e meccanico; poi superato il

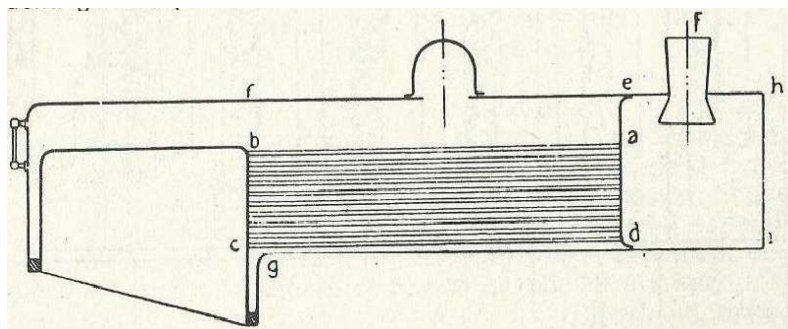
valore massimo che corrisponde alla velocità V_b di massimo rendimento, la potenza va gradualmente diminuendo. La potenza è espressa in kiloWatt ed data dalla formula: $P = St \times V$

Calcolo potenza a 45 km/h $\rightarrow P = 57.5 \text{ kN} \times 12.5 \text{ m/sec} = 720 \text{ kW}$

GLI APPARATI PER LA PRODUZIONE DEL VAPORE

LA CALDAIA

Disposizioni generali della caldaia: Le caratteristiche principali della caldaia da locomotiva sono quelle di avere il focolaio interno, di essere a sistema tubolare ed avere il tiraggio forzato: le prime due rispondono alla necessità di aumentare la superficie di riscaldamento senza eccedere nelle dimensioni della caldaia; la terza è indispensabile per poter bruciare molto carbone in un forno piccolo.



La caldaia da locomotiva è schematicamente rappresentata nella figura sopra. Il fascio dei tubi bollitori costituisce la tubiera a b c d, compresa nel corpo cilindrico f g ed avente ad una estremità il focolaio e dall'altra la camera a fumo e h d i nella quale è installato il fumaiolo. Il focolaio consiste in una cassa a spigoli arrotondati formata da lamiere di acciaio o di rame avente spessore tra i 10 e i 16.5 mm inchiodate o saldate tra loro che rimangono interamente circondate dall'acqua; ed inferiormente dalla graticola. Nella parte anteriore si trova la piastra tubolare dove si innestano i tubi bollitori, mentre il focolaio è collegato all'involuppo della caldaia attraverso dei tiranti che impediscono l'incurvatura dei materiali prodotta dal calore. I tiranti sono costruiti o in rame o in acciaio speciale, per evitare che essi si rompano a causa dei differenti coefficienti di dilatazione è necessario non aumentare bruscamente la temperatura della caldaia.



Graticola: Nella parte inferiore si trova la graticola costituita dalla riunione di più sbarre fabbricate in ghisa o ferro. La graticola è inclinata in modo da aumentare la estensione senza eccedere nelle dimensioni del focolaio e di produrre una più grande e completa combustione del carbone.

Ceneratoio: Sotto la graticola si trova il ceneratoio che serve a regolare l'accesso dell'aria nel focolaio, e conseguentemente la combustione, ad impedire che le piccole scorie ed i frammenti che passano attraverso la griglia cadano sulla via, causando rischio di incendi. Sotto la piastra tubiera si trovano i voltini in muratura che permettono di aumentare il rendimento della macchina. Infatti il tiraggio forzato rende possibile un'attività di combustione in poco spazio, ma non è certo favorevole al rendimento perché una parte del combustibile e dei gas viene trascinato dalla corrente prodotta dalla forte aspirazione ed espulsa ancora incombusta. Per questo si ricorre all'uso dei voltini che trattengono più a lungo i gas e le particelle leggere affinché subiscano una combustione più completa.

Duomo: le caldaie delle locomotive sono provviste di duomo, un cilindro verticale in lamiera in acciaio inchiodato alla parte superiore della caldaia; esso serve a raccogliere il vapore meno umido ed è quindi la sede dell'apparecchio di presa vapore. Spesso attorno al duomo si trova la sabbiera.

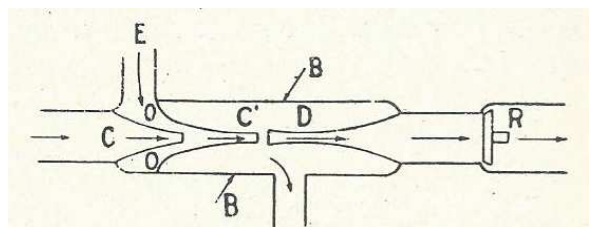
Iniettori: gli iniettori hanno lo scopo di alimentare la caldaia con acqua e funzionano indipendentemente dai cinematismi e possono alimentare la caldaia anche se ferma. Esso si compone di un corpo B di bronzo che alloggia lungo il suo asse tre coni:

1° cono convergente del vapore o di espansione C

2° cono convergente di condensazione C'

3° cono divergente o di compressione D.

Una massa di vapore asciutta arriva dal duomo, percorrendo il 1° cono si espande e raggiunge una velocità elevatissima investendo una massa d'acqua nel 2° cono convergente. Il vapore cede tutto il calore latente di condensazione e cambia stato; l'urto tra le 2 masse fa sì che le particelle liquide cedano una parte della loro energia cinetica spingendo in avanti tutto il liquido, la velocità può arrivare fino



a 500 m/secondi. La miscela entra nel 3° cono divergente, lungo il quale per effetto dell'aumento graduale della sezione l'energia cinetica accumulata si trasforma in energia di pressione in grado di raggiungere e superare largamente la pressione esistente in caldaia in modo da far penetrare la miscela aprendo la valvola di ritenuta.

Dispositivi di sicurezza della caldaia: la caldaia possiede una serie di dispositivi di sicurezza, i primi sono le valvole di sicurezza che possono essere a bilancia e/o di Coale; esse sono costituite da molle proporzionali alla pressione massima della caldaia, quando quest'ultima supera i 12 bar (parlando della Gr.740) la forza che agisce sulle molle è maggiore a quella resistente e quindi fa aprire le valvole, dette di sicurezza.



Altri dispositivi sono i tappi fusibili, essi si trovano all'interno del forno, tra il fuoco e l'acqua della caldaia, e sono generalmente costruiti di materiale con una bassa temperatura di fusione: quando per esempio viene a mancare l'acqua all'interno della caldaia oppure non è sufficiente, questi tappi si fondono e fanno passare la poca acqua rimasta.

Per evitare ciò esiste un metodo per misurare il livello dell'acqua della caldaia: sono 3 rubinetti posti uno sopra l'altro (come in figura) e che dall'ultimo in basso deve sempre uscire solo acqua, altrimenti il livello è troppo basso e c'è il rischio che i tappi si fondano.



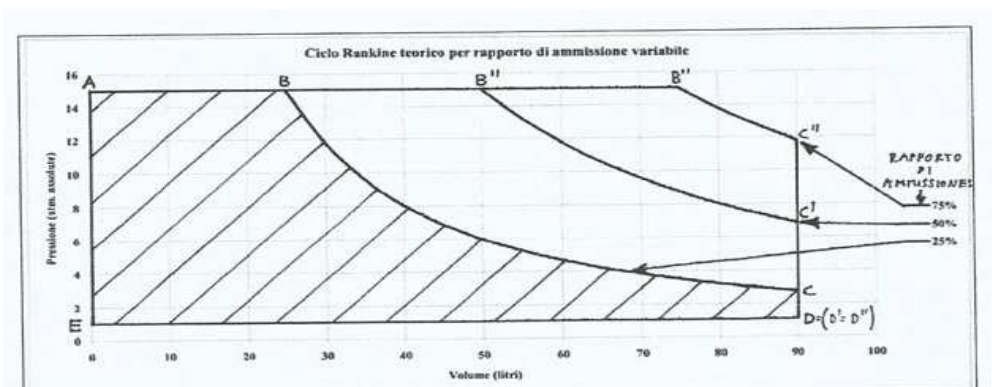
Altri dispositivi di sicurezza sono i vari manometri che misurano la pressione in caldaia, la pressione dei serbatoi dell'acqua, la pressione mandata ai cilindri.

IL CICLO TERMODINAMICO DELLA MOTRICE ALTERNATIVA A VAPORE

Nel caso della trazione ferroviaria a vapore, la motrice è quasi esclusivamente una macchina termica descritta come "macchina alternativa a vapore a ciclo aperto e semplice espansione". Il ciclo termodinamico che descrive le trasformazioni del fluido motore (il vapore) viene indicato come ciclo Rankine. Nel diagramma Pressione/Volume, il ciclo Rankine si compone di queste fasi successive:

- Una ammissione isobara, alla pressione di caldaia (più esattamente, la pressione netta di alimentazione al cilindro), che inizia al punto morto anteriore della corsa dello stantuffo, e prosegue fino ad un punto di chiusura che risulta modulabile (da circa il 25% della corsa dello stantuffo a circa il 75% della corsa), con produzione di lavoro meccanico
- Una espansione adiabatica del vapore ammesso al cilindro, dalla chiusura dell'ammissione fino al punto di scarico (circa al 90% della corsa) con produzione di lavoro meccanico
- L'espansione del vapore dalla pressione di scarico alla pressione atmosferica dal punto di scarico fino al punto morto posteriore dello stantuffo, senza produzione di lavoro utile
- Lo scarico del vapore residuo dal cilindro all'atmosfera, durante l'intera corsa di ritorno dello stantuffo, fino al punto morto anteriore, a spese di lavoro meccanico

Il ciclo Rankine ideale:



in figura è rappresentato il ciclo termodinamico ideale della motrice, per la pressione teorica di 15 bar, scarico alla atmosfera a 1 bar, rapporti di ammissione del

25%,50%,75%. Nel grafico si può dire che il lavoro meccanico prodotto è proporzionale alla area sottesa dal ciclo.

Successioni delle fasi:

A: apertura della valvola di ammissione del cassetto di distribuzione

A-B: ammissione (espansione) isobara-la motrice produce una parte di lavoro meccanico a spese della pressione di ammissione, che rimane costante

B: chiusura della valvola di ammissione del cassetto di distribuzione

B-C: espansione adiabatica- la motrice produce una parte di lavoro meccanico a spese del calore della massa di vapore ammessa al cilindro durante la fase A-B; la temperatura e la pressione del vapore diminuiscono durante l'espansione

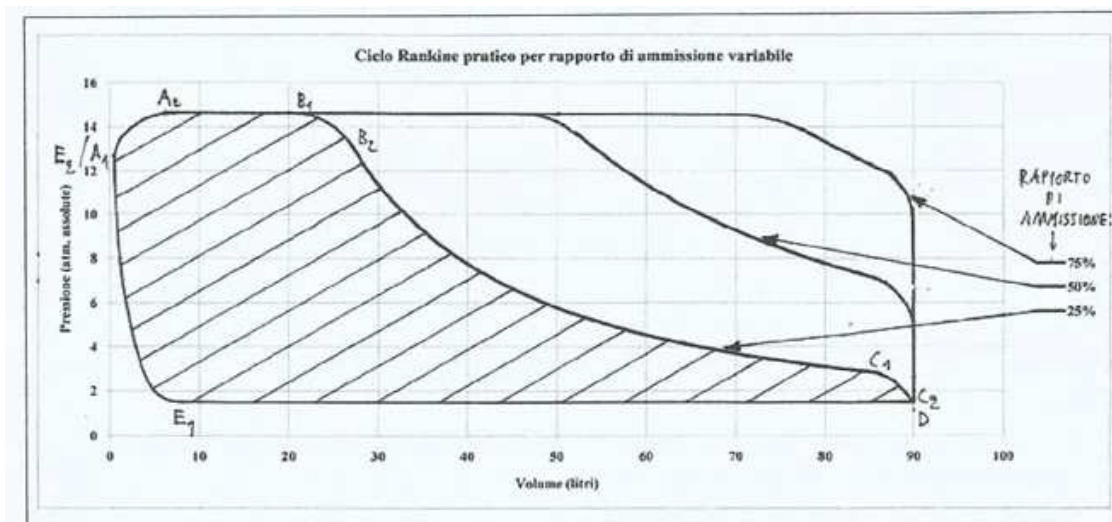
C: apertura della valvola di scarico del cassetto di distribuzione

C-D: perdita della pressione di fine espansione_ scarico alla atmosfera di una parte del vapore esausto

D-E:scarico: lo stantuffo espelle il vapore esausto

E-A: apertura della valvola di ammissione del cassetto di distribuzione, innalzamento istantaneo della pressione del cilindro fino alla pressione di ammissione

Il ciclo Rankine Pratico



in figura è rappresentato il ciclo termodinamico ideale della motrice, per la pressione teorica di 15 bar, scarico alla atmosfera a 1 bar, rapporti di ammissione del 25%,50%,75%. Nel grafico si può dire che il lavoro meccanico prodotto è proporzionale alla area sottesa dal ciclo.

Successioni delle fasi:

A1: apertura (progressiva e con un certo anticipo rispetto al p.m.a.) della valvola di ammissione del cassetto di distribuzione; il vapore inizia a fluire al cilindro

A2: la valvola del cassetto di distribuzione raggiunge la massima apertura (la pressione effettiva di alimentazione ai cilindri risulta inferiore di circa 0.5 bar rispetto alla pressione della caldaia, questo per effetto delle perdite di carico e strozzature nei condotti di ammissione e della valvola stessa)

A2-B1: ammissione (espansione) isobara- la motrice produce una parte di lavoro meccanico a spese della pressione di ammissione.

B1: chiusura (progressiva) della valvola di ammissione del cassetto di distribuzione

B2: la valvola di ammissione è chiusa completamente, inizia la fase di espansione

B1-B2-C1: espansione adiabatica- la motrice produce una parte di lavoro meccanico a spese del calore della massa di vapore ammessa al cilindro, la temperatura e pressione del ciclo pratico diminuiscono durante l'espansione

C1: apertura progressiva della valvola di scarico del cassetto di distribuzione

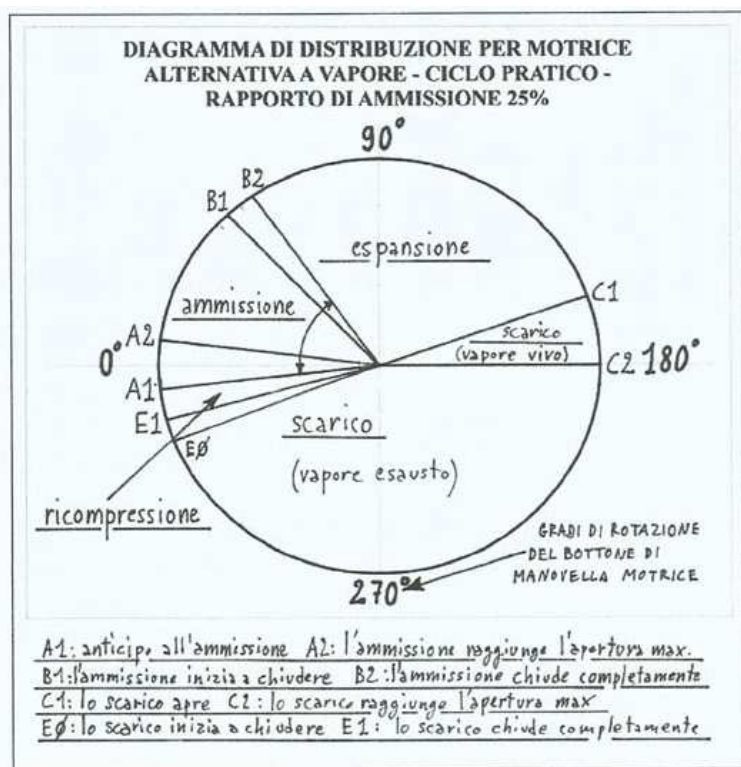
C2: la valvola di scarico è completamente aperta (l'apertura della valvola di scarico risulta anticipata rispetto all'ipotetica espansione fino al 100% della corsa (stantuffo al p.m.p), questo perché: 1) per espellere efficacemente il vapore, occorre che questo abbia una pressione di almeno 0.5 bar superiore a quella atmosferica, 2) l'espulsione del vapore non è istantanea ; specialmente nel caso di motrici veloci, occorre anticipare lo scarico (ed anche l'ammissione), per ottenere un rendimento volumetrico accettabile (un corretto riempimento e svuotamento dei cilindri)

C1-C2_D: perdita della pressione di fine espansione, scarico alla atmosfera di una parte del vapore esausto

D-E1: scarico: lo stantuffo espelle il vapore esausto fino ad un punto in cui la valvola di scarico inizia a chiudersi. Lo scarico avviene a spese di energia meccanica, occorre spingere lo stantuffo fino ad una contropressione di circa 0.5 bar, per contrastare la perdita nelle valvole di scarico. (la chiusura anticipata della valvola di scarico (in E1) ha diverse giustificazioni: a) nel cassetto di distribuzione le fasi non si susseguono in

modo istantaneo, ma seguono il moto progressivo dato dalla combinazione(nel manovellismo Walschaerts) dei moti dello stelo dello stantuffo e della biella eccentrica, sfasata di 90° di rotazione rispetto al bottone della manovella motrice. Quindi occorre evitare nel modo più assoluto che esista una fase in cui le aperture delle valvole di ammissione e di scarico si sovrappongono. Questo porterebbe ad uno scarico immediato all'atmosfera, senza produzione di alcun lavoro utile. b) le tolleranze tra il cielo dello stantuffo ed il cilindro sono tenute ad un minimo, per evitare la perdita di rendimento dovuta allo "spazio morto e nocivo" rimanente al termine della corsa, quindi massimizzare il rendimento volumetrico del ciclo. C) la ricompressione (adiabatica) incrementa la temperatura del vapore esausto fino a valori simili a quelli del vapore vivo. Questo limita la perdita di calore e gli scambi termici durante la successiva fase di ammissione, e comporta un limitato recupero di efficienza)

E1-A1: ricompressione del vapore esausto residuo, fino all'inizio dell'ammissione del vapore vivo (in A1)



la figura rappresenta la successione delle fasi del ciclo in funzione dell'angolo del bottone di manovella, dal p.m.a (punto morto anteriore) al p.m.p (punto morto posteriore) per il ciclo pratico di una motrice a vapore. Risulta chiaro, anche graficamente, come tutte le perdite sopra menzionate tolgono parecchia efficienza al ciclo pratico.

L'APPARATO MOTORE

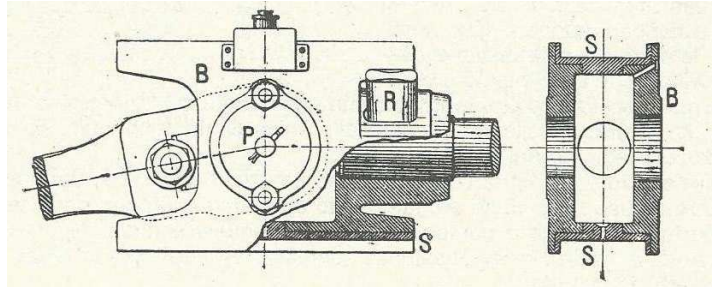
Cilindri: la maggior parte delle locomotive è provvista di 2 cilindri che funzionano indipendentemente, ma agiscono sullo stesso asse motore. Per rendere possibile il movimento della macchina, anche quando una delle due bielle si trova in uno dei suoi punti morti, le due manovelle dell'asse motore sono calettate a 90° fra loro. Ogni cilindro è comandato da un distributore cilindrico



(Gr.740), indipendenti tra loro. All'interno dei cilindri si genera dell'acqua dovuta alla condensazione, per evitare danni ai coperchi dei cilindri, essi sono muniti di 2 rubinetti di scarico, uno per ciascuna estremità, collegati tra loro e comandabili tra loro dalla cabina. Inoltre ogni coperchio è munito di una valvola di anticompressione comandata da una robusta molla regolabile che permette di evitare rotture o inconvenienti causate da un'elevata pressione provocata dalla compressione di acqua che potrebbero danneggiare il cilindro. Si hanno anche le valvole di rientrata d'aria, utili per impedire l'aspirazione nei cilindri di prodotti della combustione dalla camera a fumo durante la marcia a regolatore chiuso. Successivamente tutte queste apparecchiature sono state raggruppate in un unico sistema denominato valvole multiple o Del Papa, in quanto sono una modifica costruttiva della valvola ideata dall'ing. Del Papa.

Stantuffi: lo stantuffo è formato dal disco, sul quale si esercita la pressione del vapore e dallo stelo o asta, su cui il disco è fissato, che serve a trasmettere lo sforzo alla testa crociata. La superficie cilindrica del disco è sempre provvista di scanalature, destinate a ricevere gli anelli elastici (fasce elastiche) costruiti in ghisa e aventi un diametro esterno maggiore rispetto a quello interno del cilindro. Viene fissato al disco dello stantuffo e per l'effetto elastico tende a ritornare al suo diametro originale, tenendosi aderente alle pareti del cilindro; si ha così una buona tenuta che si manterrà anche con l'usura delle parti a contatto.

Testa Crociata e guide parallele: la testa crociata serve a congiungere l'asta dello stantuffo con la biella motrice. Siccome il moto dello stantuffo è rettilineo alternativo, è necessario che la testa crociata segua



lo stesso movimento: a tal fine essa viene fatta scorrere su apposite guide. Essa è costituita da un blocco B di ferro o acciaio al quale viene fissata mediante una zeppa R l'estremità dell'asta dello stantuffo e dall'altra viene collegata l'estremità della biella motrice mediante il perno di articolazione P. Superiormente ed inferiormente il blocco è provvisto di



slitte S di bronzo o acciaio mediante le quali la testa crociata scorre fra le guide parallele, due robuste sbarre d'acciaio, fissate anteriormente al coperchio posteriore del cilindro e posteriormente ad un supporto speciale inchiodato al telaio della locomotiva.

Bielle motrici ed accoppiate: si chiamano bielle motrici quelle che danno moto all'asse motore, mentre quelle accoppiate collegano quest'ultimo cogli assi accoppiati. Le bielle sono generalmente d'acciaio: in ognuna di esse si distinguono il corpo cioè la parte centrale e le teste, che ne formano le estremità. Nelle bielle motrici le due teste hanno dimensioni differenti: la maggiore detta testa grossa

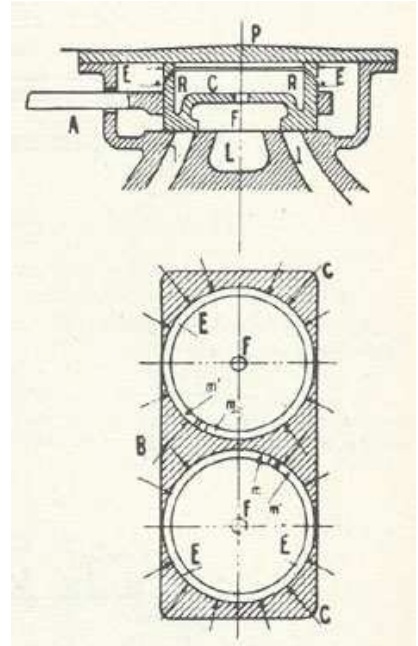


si articola sul bottone della manovella motrice, la testa piccola sul perno di articolazione della testa crociata. Nelle bielle di accoppiamento non è opportuno articolare più teste di bielle sul perno motore perché bisognerebbe dare al perno una eccessiva lunghezza, quindi si provvede a innestare sulla manovella un supporto in grado di collegare le altre bielle accoppianti con quella motrice.

Manovelle e perni di manovella: nelle locomotive a cilindri esterni la manovella motrice fa corpo col mozzo della ruota, del quale è un prolungamento radiale. All'estremità è calettato il perno o bottone d'acciaio che riceve la testa grossa della biella motrice e quella della biella accoppiata.

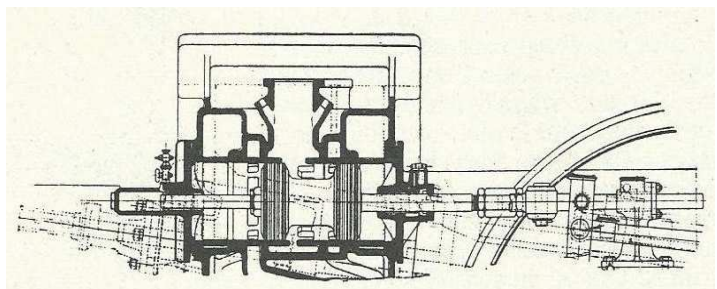
LA DISTRIBUZIONE:

Cassetti equilibrati: un tipo di cassetto è quello rappresentato in figura. Al cassetto C vengono fissate superiormente due piastre di ghisa munite di risalti conici ai quali sono applicati due anelli elastici di ghisa E, analoghi alle fasce elastiche degli stantuffi, torniti però all'interno secondo una superficie pure conica, grazie alla quale vengono spinti all'insù e mantenuti dalla pressione del vapore contro una piastra di ghisa P. La piastra P è tenuta ferma con robuste viti di pressione avvitate nel coperchio della camera stessa; i due spazi mobili compresi fra ciascun anello elastico, la piastra superiore P e le piastre R, R fissate al cassetto, sono tenuti costantemente isolati dalla camera di vapore per mezzo



degli anelli suddetti e sono in costante comunicazione con lo scappamento mediante i fori F. Dunque negli spazi mobili regna la pressione di scappamento e attraverso questo riceve sfogo quel poco vapore che può sfuggire dalla camera di distribuzione per mancanza di tenuta delle fasce E.

Distributori cilindrici: con l'avvento del vapore surriscaldato i cassetti piani vennero abbandonati, infatti tutte le locomotive moderne si presentano munite di distributori cilindrici costituiti ciascuno di due tamburi montati con opportuno distanziamento e sulla medesima asta e fissati mediante dado e chiavetta. In seguito vennero adottati gli attuali distributori (figura a lato)

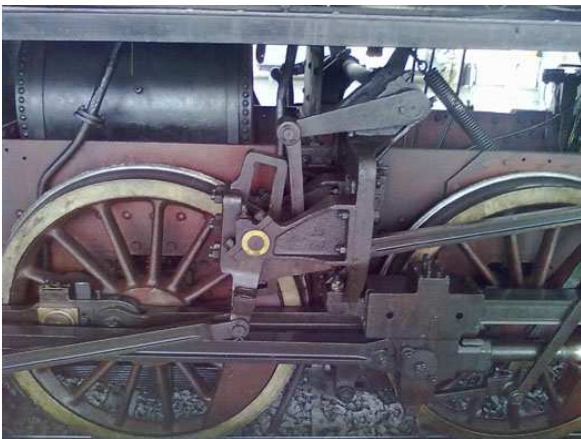


ad anelli multipli di piccolo spessore, sei per ogni tamburo. Con questi distributori invece di fare l'ammissione dal bordo esterno delle luci e lo scarico dall'interno, si usa

far entrare il vapore dalla caldaia nello spazio compreso fra i due stantuffi, scaricandolo dalla parte esterna. In questo modo le pareti della camera di distribuzione subiscono un minore raffreddamento e perciò si ha una minor condensazione del vapore e meno di rischi che si crei dell'acqua all'interno del cilindro che potrebbe causarne la rottura.

Aste dei distributori e loro supporti: il distributore riceve il moto mediante un' asta scorrevole in un supporto e costruita in modo da evitare ogni tendenza a rotazione. Le aste scorrevoli sono sostenute generalmente da guide quadre o tonde. La tendenza alla rotazione è impedita dalla particolare costruzione delle aste stesse (caso delle aste quadre) e dal particolare collegamento con le leve del meccanismo distributore. Le guide o supporti sono costituiti di ghisa o acciaio fuso; questi supporti sono fissati al telaio della locomotiva e sui supporti delle guide delle teste crociate.

Vite d'inversione: il cambiamento della marcia del treno è comandato da una vite d'inversione nella quale l'asta di collegamento con l'albero trasversale è articolata nell'estremità superiore ad una chioccola mobile su di una vite orizzontale di conveniente lunghezza. Essa è utilizzata oltre che per la direzione della macchina anche per regolare la quantità di vapore che entra nel cilindro. Durante la partenza questa quantità deve essere maggiore per far iniziare a muovere sia la locomotiva sia le carrozze. Una volta vinto l'attrito iniziale di partenza (attrito di 1° distacco), non è più necessario tutta la potenza del vapore e quindi si riduce la quantità immessa nel cilindro, in tale modo si ha un risparmio di carbone e di acqua.



Posizione di marcia indietro



posizione di marcia avanti, l'ammissione è massima in quanto il treno sta per partire da Padova, e come detto prima è necessaria la maggior quantità di vapore.

IL TENDER

Scopo e descrizione: il tender o carro scorta ha lo scopo di trasportare l'acqua e il carbone occorrenti al funzionamento della locomotiva, nonché gli attrezzi di normale dotazione. Si tratta dunque di un veicolo ferroviario composto, come gli altri, di cassa, telaio, ruote e sospensioni adeguate robustezza in ragione del carico da sopportare. Il carbone è contenuto nella parte centrale e circondato dalla cassa dell'acqua. La cassa stessa è munita anteriormente, sul fondo, di 2 valvole manovrabili dall'esterno e atte a comandare la comunicazione con gli iniettori; comprende inoltre 3 rubinetti che, posti a diversa altezza sulla parte anteriore, permettono di valutare all'incirca il quantitativo d'acqua disponibile. In passato i tender avevano due o tre assi; quelli delle locomotive moderne sono tutti a quattro assi, distribuiti in due carrelli. I tender hanno la capacità di 22 m³ di acqua e 6 tonnellate di carbone.



Sentiti ringraziamenti al Professore Nicola Adinolfi e al Sig. Lionello Signori, presidente dell'Associazione Veneta Treni Storici di Verona, per la loro cortesia e disponibilità alla visita del deposito di Verona Santa Lucia e della macchina a vapore e per aver fornito documenti e materiale inerenti che mi hanno consentito di svolgere il lavoro nei migliori dei modi.

