

Prof. Ing. FRANCO DI MAJO

ISTITUTO DI COSTRUZIONI DI MACCHINE DEL POLITECNICO DI TORINO

COSTRUZIONI DI MATERIALE FERROVIARIO

**LIBRERIA EDITRICE UNIVERSITARIA LEVROTTO & BELLA
CORSO VITTORIO EMANUELE 26/F - TORINO - C. LUIGI EINAUDI 57**

I N D I C E

<u>PREMESSA</u>	pag. 1
CAP. I <u>FERROVIE PROPRIAMENTE DETTE E FERROVIE SPECIALI</u>	
1. Ferrovie non convenzionali	" 5
2. Trasporti guidati su gomma	" 6
3. Sistemi monorotaia	" 7
CAP. II <u>CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE ROTABILE</u>	
1. Materiale rimorchiato Carrozze, carri, veicoli speciali	" 13
2. Locomotive Locomotive autonome, elettriche, ad accumulazione	" 14
3. Automotrici Rimorchi ordinari, pilota, semipilota	" 15
CAP. III <u>GLI ELEMENTI CHE CONDIZIONANO IL PROGETTO DEL MATERIALE ROTABILE</u>	
1. Vincoli dovuti al treno Organi di attacco, servomezzi, carichi longitudinali	" 17
2. Vincoli dovuti alle condizioni esterne	
2.1 Scartamento	" 18
2.2 Sagoma limite	" 20
2.3 Condizioni della linea	" 25
2.4 Impianti fissi	" 26
2.5 Situazioni climatiche	" 27
CAP. IV <u>ELEMENTI COSTRUTTIVI DEI ROTABILI FERROVIARI</u>	
1. Organi di collegamento Agganci, respingenti, aggancio automatico, freno continuo, riscaldamento, comandi, segnalazioni	" 29

2. Organi di rotolamento	
2.1 Sale montate Assi, ruote, cerchioni. Contatto ruota-rotaia, pseudo- slittamento. Rodiggi speciali	pag. 40
2.2 Boccole	" 53
2.3 Guide alle boccole Vincoli al moto delle boccole. Parasale, guide sospen- sioni in gomma; guida con lame, con bracci	" 60
3. Sospensione	
3.1 Funzione della sospensione	" 69
3.2 Materiali Lavoro elastico specifico per molle a balestra, ad elica, a barre di torsione	" 70
3.3 Flessibilità e frequenza Limiti alla flessibilità, sospensioni ad aria, livello costante	" 74
4. Trasmissione del moto	
4.1 Bielle	" 77
4.2 Ponti e cardani Trasmissione omocinetica	" 80
4.3 Sospensione tramviaria	" 86
4.4 Asse cavo	" 86
5. Carrelli	" 88
5.1 Funzione del carrello Sospensione primaria e secondaria, traversa oscillante, articolazione cassa-carrello	" 89
5.2 Moti relativi cassa-carrello	" 100
5.3 Esempi di carrelli Per carrozze, per locomotive, per carri	" 101
5.4 Dinamica del carrello Beccheggio, sussulto, rullio, serpeggio	" 113
5.5 Verifica di stabilità	" 116

6. Freni	
6.1 Equilibrio della ruota frenata Freni a ceppi, a disco, block-frein	pag. 126
6.2 Timoneria del freno Vuoto-carico, regolatore autocontinuo. Ricupero del consumo ceppi	" 131
6.3 Il comando della frenatura Freno a vuoto; freno ad aria compressa, diretto, auto- matico, inesauribile; propagazione della frenatura, di spositivo contro il sovraccarico, freno ad alta inten- sità	" 138
6.4 Metodi per accelerare l'azione frenante Freno elettropneumatico. Tipo automatico e tipo diretto	" 153
6.5 Peso frenato	" 157
7. Struttura portante Materiali: acciaio al carbonio, acciai speciali, inox, lega leggera	" 162
CAP. V <u>PROBLEMI SPECIALI DEI VEICOLI PASSEGGERI</u>	
Esigenze di qualità e di comfort delle carrozze moderne	
1. L'ossatura metallica	
1.1 Telaio portante o cassa portante	" 171
1.2 Procedimenti costruttivi	" 174
1.3 Accorgimenti di saldatura; la revisione della lamiera- tura, la verniciatura	" 178
1.4 Esempi di realizzazioni	" 181
1.5 Metodi di calcolo La trave Vierendel	" 187
2. Arredamento	
2.1 Componenti dell'arredamento Porte esterne, d'accesso frontali e laterali, pavimen- ti, pareti, porte interne, sedili, accessori	" 202
2.2 Carrozze speciali Carrozze letto, cuccette	" 215

3. Condizionamento	
3.1 Elementi di calcolo	pag. 218
Condizioni di comfort, calcolo del coefficiente globale di trasmissione, coefficiente a vettura ferma e in moto, prove	
3.2 Ventilazione	" 226
Ricambio d'aria, filtri, aerotermi, canali; rumorosità	
3.3 Riscaldamento	" 233
Fonti di calore; tipi di riscaldamento; potenza necessarie, curve di variazione della temperatura	
3.4 Refrigerazione	" 237
4. Insonorizzazione	" 248
Origine dei rumori, misura del livello sonoro, provvedimenti per migliorare l'insonorizzazione	
5. Illuminazione	" 265
Esigenze di illuminazione, luci accessorie, regolazione della tensione	
6. Impianto elettrico	
6.1 Norme	" 257
6.2 Fonti di energia	" 259
6.3 Batterie	" 263
CAP. VI <u>LA MACCHINA DI TRAZIONE</u>	
0.1 Caratteristica meccanica della locomotiva	" 266
0.2 Potenza continuativa, oraria, istantanea	" 268
0.3 Schema generale della locomotiva	" 269
1. Captatori o generatori d'energia primaria	" 273
Energia esterna o generata a bordo: meccanica, termodinamica. Pile a combustibile; accumulatori	
2. Generatori secondari	" 274
Elettrici a corrente continua od alternata, termodinamici, idrodinamici, idrovolumetrici	
3. Modulazione dell'energia	

3.1 Dissipativa o conservativa Reostato. Commutazione serie parallelo. Autotrasformatore a gradini, raddrizzatori a diodi semplici od a diodi controllati. Modulazione della portata. Postcombustione.	pag. 277
3.2 L'elettronica di potenza	" 279
4. Motori di trazione Proprietà del motore ideale Motori reali: alternativi a vapore, idrovolumetrici a combustione interna, rotanti elettrici, a turbina	" 291
5. Complementi al motore di trazione Inversore, giunto di distacco, giunto slittante, commutatori di rapporti	" 295
6. Trasmissioni del moto fra il motore di trazione e gli assi Importanza del diametro delle ruote	" 298
7. Assi Assi motori, portanti, accoppiati. Carrelli monomotori. Notazioni	" 302
8. Trasmissione dello sforzo dagli assi motori al gancio di trazione	
8.1 Locomotive a bielle	" 309
8.2 Variazioni di carico sugli assi Momenti di cabraggio, conseguenze sull'aderenza, movimenti del telaio carrello	" 312
8.3 Squilibri nel piano trasversale nel caso di motori longitudinali	" 324
9. Alimentazione e scarico aria e gas combusti Fabbisogno d'aria. Prese frontali e laterali	" 326
10. Fornitura di servomezzi per il treno Energia per il riscaldamento. Fabbisogno d'aria per la frenatura	" 329

CAP. VII AUTOMOTRICI E AUTOTRENI

1. Classificazione Automotrici ferroviarie, tramviarie, metropolitane elettriche e Diesel. Autotreni ed elettrotreni	" 335
---	-------

2.	Impiego Motivazioni economiche e successo tecnico	pag. 336
3.	Confronto con il treno convenzionale Costi d'acquisto e d'esercizio. Pesì. Prestazioni servizi ausiliari. Abitabilità e comfort	" 338
4.	Caratteristiche costruttive Sistemazione delle motorizzazioni. Resistenza della struttura metallica	" 343

CAP. VIII PROBLEMI SPECIALI DELLA TRAZIONE DIESEL

1.	Il motore Diesel	
1.1	Caratteristiche del Diesel ferroviario Forma. Dimensioni. Numero dei cilindri. Velocità. Ciclo termico. Struttura del motore	" 346
1.2	La regolazione della potenza Regolazione di coppia. Regolazione a tutti i regimi. Regolazione di coppia, giri e carico	" 361
1.3	Avviamento Elettrico a batteria; uso del generatore a corrente continua o delle macchine ausiliarie. Avviamento ad aria compressa	" 367
1.4	Raffreddamento Potenza assorbita; regolazione del raffreddamento; termostato di circolazione; intervento sulla velocità dei ventilatori; pompe a capacità variabile; bypass nel circuito olio; giunto elettromagnetico	" 369
2	La trasmissione	
2.1	Trasmissione meccanica Giunto di distacco. Ruota libera. Giunto slittante. Commutatore di rapporti. Cambio ad ingranaggi sempre in presa. Cambio epicicloidale. Manovra del cambio marcia, sincronizzazione	" 370
2.2	Trasmissione idrovolumetrica Variazione di capacità della pompa e del motore, funzionamento in frenatura	" 421
2.3	Trasmissione termodinamica	" 425

- 2.4 Trasmisione idrocinetica pag. 426
Convertitori di coppia. Concetto di grandezza e di momento specifico. Trasmissioni Voith, Mekydro SRM
- 2.5 Trasmisione elettrica " 443
Generatori secondari in corrente continua od in alternata. La regolazione, rapporti fra il carico esterno ed il flusso di eccitazione. Regolazione interna ed esterna. Caratteristiche dei motori di trazione; resistenza equivalente. Potenza di dimensionamento. Souplesse della locomotiva

P R E M E S S A

Per la maggior parte del secolo passato la ferrovia ha rappresentato l'unico sistema di trasporto terrestre meccanizzato, in quanto esclusivamente una strada particolarmente robusta, una "strada di ferro", poteva sostenere il peso del solo motore allora disponibile e cioè del motore a vapore.

Tentativi di veicoli stradali mossi dal vapore hanno storicamente preceduto la locomotiva di Stephenson, ma, come é ovvio, non hanno avuto nessuna fortuna.

Fu soltanto la realizzazione del motore endotermico che permise sul finire del secolo di sviluppare anche su strada i trasporti meccanizzati.

L'aver posseduto, sia pure per ragioni tecniche, l'esclusività (o il monopolio, come impropriamente si dice) dei trasporti terrestri per tre quarti di secolo, non ha giovato alle ferrovie. Accanto a linee di importanza fondamentale, che ancora oggi costituiscono nei vari paesi le più importanti arterie del traffico di viaggiatori e di merci, si sono costruite un po' dovunque linee che avevano un significato ed uno scopo solo in quanto unico collegamento possibile al servizio di certe località.

Nessuna di queste linee sarebbe stata costruita in tempi più recenti in un assurdo tentativo di far concorrenza ai trasporti stradali.

La diffusione degli autocarri pesanti ha completamente tolto a queste linee secondarie il traffico merci a corta distanza e ne ha resa pesantemente passiva la gestione economica.

Il problema dei "rami secchi" (così si chiamano con espressione molto appropriata queste linee sopravvissute all'epoca dell'esclusività dei trasporti) é più o meno sentito in tutti i paesi del mondo ed é oggetto di frequenti dibattiti sia sulla stampa d'opinione, sia negli stessi parlamenti.

L'eliminazione dei rami secchi, la cui opportunità non é ormai più discutibile, urta peraltro contro tali difficoltà umane e politiche, che solo alcune amministrazioni ferroviarie ed in forma parziale si sono orientate verso questo ordine di provvedimenti.

Il danno che questi rami secchi cagionano va ben al di là della passività economica che da essi deriva, in quanto esercita una sfavorevole influenza su parte dell'opinione pubblica che viene portata a credere che la malattia non si fermi ai rami, ma che abbia ormai colpito il tronco o le stesse radici.

Non sono infrequenti considerazioni pessimistiche sulla situazione attuale e soprattutto sull'avvenire dei trasporti ferroviari, quasi che il treno, dopo aver soppiantato la diligenza a cavalli, debba ora a sua volta soccombere di fronte alla insostenibile concorrenza dei moderni mezzi stradali.

I provvedimenti governativi che in certi paesi sono stati presi per scoraggiare i trasporti con autocarri a grande distanza hanno contribuito a diffondere la convinzione che la ferrovia non sia più in grado di fornire servizi economicamente interessanti.

Di fronte a queste preoccupazioni dei profani il tecnico vede la situazione sotto un aspetto completamente diverso.

La concorrenza stradale e, per i trasporti viaggiatori anche la concorrenza aerea, hanno progressivamente ridimensionato il campo di convenienza tecnica ed economica di impiego delle ferrovie. Questo campo di impiego é peraltro tuttora vastissimo ed importante anche se più non comprende i trasporti di merci a breve distanza, i radi collegamenti fra centri che hanno scarso intercambio, i viaggi sulle grandi distanze che richiedono un giorno e più di treno.

Purché esista un volume di traffico tale da giustificare gli imponenti investimenti di capitale, la locomozione su strada ferrata presenta così importanti elementi a suo favore da rendere sicura anche in avvenire la sua superiorità sugli altri sistemi.

La possibilità di sostenere grandi pesi concentrati ha portato per lunghi decenni al "monopolio" della ferrovia, ma ancora oggi permette di installare su di una locomotiva motori di potenza di gran lunga superiore a quelli che la strada ordinaria può accettare.

Alla possibilità di concentrare grandi potenze motrici si aggiunge il vantaggio che la resistenza al rotolamento dell'accoppiamento "ruota d'acciaio-rotai" è circa la decima parte di quella fra ruota gommata e strada di cemento o d'asfalto.

Si possono dunque muovere dei treni di grandissimo peso, trasportando con un unico convoglio il materiale che su strada impiegherebbe decine o centinaia di autocarri. Si pensi che in America ed in Russia il peso normale dei treni merci è fra le cinque e le ottomila tonnellate e che in molti altri paesi anche europei si fanno treni sulle 3.000 tonnellate. Il massimo peso per dei treni mossi da una sola locomotiva è stato di circa 14.000 tonnellate sulla Pennsylvania Rail-Road. Con due o più locomotive si raggiungono in certi casi anche le 17-18.000 tonnellate per treno.

La terza caratteristica, che conferisce alla ferrovia vantaggi non raggiungibili dagli altri mezzi, è la guida direzionale dei rotabili, affidata alla stessa via e non all'abilità e capacità di un pilota. Ci troviamo di fronte ad un movimento unidimensionale, incomparabilmente più sicuro dei movimenti bidimensionali (veicoli stradali) e tridimensionali (aerei).

Vedremo più avanti come proprio su questa caratteristica di unidimensionalità del moto si basa la distinzione fra la ferrovia in senso lato e gli altri mezzi di trasporto.

Solo il trasporto su rotaia può in tutta sicurezza e regolarità raggiungere certe dimensioni di traffico come p.es.: spostare 60.000 viaggiatori all'ora in una direzione (metropolitana), ricevere in un'ora 50.000 viaggiatori in una sola stazione, trasportare 100 milioni di tonkm in un anno su di una sola linea; produrre 600.000 tonkm all'ora con una locomotiva, ecc.

Anche le velocità che già si raggiungono in ferrovia (250 Km/h) sulla nuova rete Giapponese dello Skinkansen e sulla Parigi Sud Est) non sono pensabili con altri mezzi terrestri.

Negli anni del dopoguerra la tecnica ferroviaria ha compiuto progressi enormi sia nel campo della trazione che in quelli della via, dell'elettificazione e della circolazione.

Le ferrovie hanno stimolato 150 anni fa il sorgere dell'industria meccanica; oggi attingono a tutte le tecniche, non escluse le più moderne, i ritrovati che permettono di raggiungere risultati sempre migliori nella sicurezza, nella velocità e nella potenzialità dei trasporti.

Se vi é una giustificata preoccupazione per l'avvenire delle ferrovie, questa non é di ordine tecnico od economico, ma di natura umana ed é determinata dallo scarso interesse dei giovani per questa disciplina; le leve dei giovani tecnici ferroviari sono sempre meno numerose nel mondo occidentale e potrebbe non essere molto lontano il momento in cui l'insufficienza di ingegneri competenti rallenterà il progresso della ferrovia.

Mi sia consentito rivolgere un appello ai giovani studenti che scelgono l'indirizzo dei loro studi; sappiano che la tecnica ferroviaria di oggi richiede conoscenze in tutti i campi, mette a profitto gli studi di tutte le discipline: meccanica, scienza delle costruzioni, elettrotecnica ed elettronica, idraulica, termotecnica ecc. - C'è poco campo per l'improvvisazione e molto invece per gli studi seri e per gli esami comparati delle soluzioni possibili; chi cerca un'attività che dia sfogo allo spirito di inventiva, alla capacità di calcolo, alla passione di ricerche e di esperienze, non sarà deluso se uedicherà ai problemi ferroviari la sua intelligenza e la sua iniziativa.