

# Le locomotive elettriche delle FS

R  
e  
37

STATO  
razione

ECA

ADERNI DELLE FERROVIE ITALIANE DELLO STATO

NUOVA SERIE N.3

FERROVIE DELLO STATO

Serv. Materiale e Trazione

R

e

37

BIBLIOTECA



RENZO MARINI



# *Le locomotive elettriche delle F S*

Questo quaderno costituisce un aggiornamento di quello realizzato nel 1970 dall'ing. M. Dard e si propone di fornire una sintesi di quanto le FS hanno fatto nel passato e stanno facendo attualmente in questo campo, anche in relazione all'impiego delle più moderne tecnologie ed all'avvento dell'elettronica di potenza.

I primi esperimenti . . . . .	pag. 5
La trazione ad accumulatori . . . . .	» 9
La corrente continua 650 V (3 <sup>a</sup> rotaia) . . . . .	» 11
La corrente trifase 3.400 V 15 periodi . . . . .	» 15
L'elettrificazione dei Giovi e gli sviluppi del parco trifase . . . . .	» 21
Vantaggi della trazione elettrica su quella a vapore . . . . .	» 27
Prevalenza iniziale della corrente trifase . . . . .	» 30
L'esperimento a corrente trifase 10.000 V 45 periodi . . . . .	» 36
Corrente trifase o continua. Orientamenti definitivi . . . . .	» 38
L'unificazione dei sistemi e le successive vicende dell'elettrificazione . . . . .	» 41
Il parco attuale e le prospettive future . . . . .	» 44
Cenni sulla struttura della locomotiva elettrica . . . . .	» 49
Le moderne apparecchiature di sicurezza . . . . .	» 56
La riparazione delle locomotive elettriche . . . . .	» 59
La locomotiva E. 626 . . . . .	» 62
La locomotiva E. 326 . . . . .	» 64
La locomotiva E. 428 . . . . .	» 66
La locomotiva E. 636 . . . . .	» 71
La locomotiva E. 424 . . . . .	» 73
La locomotiva E. 646 . . . . .	» 75
La locomotiva E. 645 . . . . .	» 78

Le locomotive E. 321 - E. 322 . . . . .	pag. 82
Le locomotive E. 323 - E. 324 . . . . .	» 85
La locomotiva E. 444 . . . . .	» 88
La locomotiva E. 656 . . . . .	» 93
Le locomotive E. 632 - E. 633 . . . . .	» 95
Cronologia . . . . .	» 98

## *I primi esperimenti*

Fu nel 1842 che Robert Davidson costruì in Gran Bretagna, già patria d'origine della trazione ferroviaria a vapore, la prima locomotiva elettrica. Impiegata sulla linea Edimburgo-Glasgow, essa sviluppava una velocità di 6 km/h e rimorchiava una vettura del peso di 6 tonnellate.

I successivi tentativi per migliorare questa applicazione della corrente elettrica non riuscirono per lungo tempo a varcare la soglia dei laboratori sperimentali.

Due di essi meritano di essere ricordati. Il primo fu fatto il 29 aprile 1851 tra Washington e Bladensburg con una piccola motrice alimentata da una batteria di 100 pile Grove. La velocità raggiunta fu di circa 30 km/h. Nello stesso anno un certo Thomas Hall, utilizzando come circuito di linea le rotaie di corsa, fece un secondo tentativo con una motrice cui era stato imposto il simbolico nome di Volta.

Solo tra il 1870 ed il 1880 il mondo poté assistere a più impegnative realizzazioni attuate dai fratelli Siemens in Germania e dallo Sprague in America.

La prima motrice elettrica per trasporto di persone fu messa in servizio il 31 maggio 1879 nel recinto dell'Esposizione Industriale di Berlino. In quell'occasione la Siemens & Halske mise in funzione un breve tratto di linea sulla quale circolavano treni di tre vetture, rimorchiate alla velocità di 12 km/h da una piccola locomotiva elettrica che derivava la corrente da una terza rotaia. Nel 1881 lo stesso trenino venne presentato alla prima Esposizione Internazionale di Parigi.

A quell'esperimento seguirono quello sulla linea del Grosslichterfeld, quello dell'Esposizione Universale di Parigi nel 1900, e quello del Prater di Vienna.

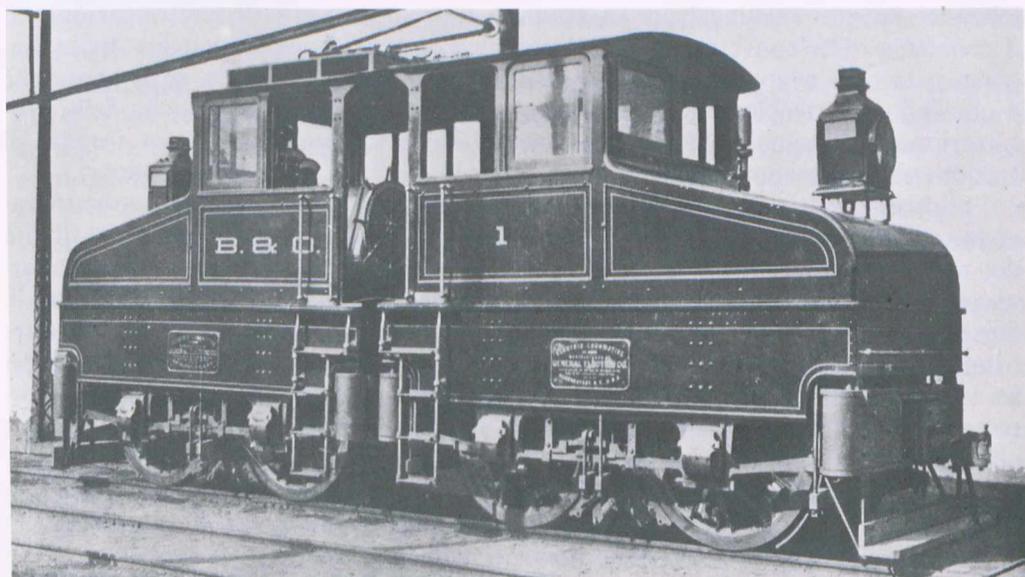


Fig.1 - Locomotiva elettrica della Baltimora - Ohio Railroad (USA - 1895)

Anche in America, specie per gli studi e le realizzazioni dello Sprague, la trazione elettrica si sviluppò notevolmente, tanto che nel 1888 si avevano in esercizio 104 km di tramvie elettriche con 133 vetture.

I tecnici italiani si interessarono vivamente a questi esperimenti e va ascritto a loro merito l'aver previsto sin da allora le grandi possibilità offerte dal nuovo sistema di trazione.

L'Italia, infatti, non produce carbone di qualità adatta alle esigenze della trazione e, d'altra parte, le risorse idrauliche, fino allora scarsamente sfruttate, offrivano possibilità enormi ai fini della produzione di energia elettrica.

Sotto l'impulso di queste considerazioni ed alla luce dei risultati degli esperimenti già fatti fu dunque deciso anche in Italia di procedere alle prime prove. La tramvia Firenze-Fiesole (fig. 2), che iniziò a funzionare nel 1890, fu la prima linea a trazione elettrica aperta al servizio in Europa. Il suo tracciato era tortuoso e le forti pendenze rendevano difficoltoso l'esercizio. Anzi, il giorno stesso dell'inaugurazione, il conducente, non sufficientemente pratico della manovra del nuovo mezzo e forse preso dal panico, che in quell'epoca spesso accompagnava ogni nuova forma di utilizzazione della corrente elettrica, ebbe un attimo di smarrimento, che fu sufficiente a provocare un grave disastro con numerose vittime nei pressi di Doccia.

L'infelice esordio raffreddò gli entusiasmi, ma per fortuna il coraggio e l'iniziativa dei tecnici ebbero ben presto la meglio e nel 1900 in Italia funzionavano già a trazione elettrica 200 km di tramvie.

Il grande campo di applicazione del nuovo sistema era però rappresentato dalle ferrovie, dove si cominciarono a studiare i primi progetti di elettrificazione ed il problema della conversione dalla trazione a vapore a quella elettrica divise ben presto i tecnici in « vaporisti » ed « elettricisti ». Ciò era naturale, se si pensa che a quell'epoca la tecnica ferroviaria aveva fatto notevoli progressi anche nella progettazione e nella costruzione delle locomotive a vapore. Dal nuovo sistema di trazione ci si attendeva aumenti di potenzialità e costi di esercizio minori.

La trazione elettrica partiva quindi con un « handicap » ed i suoi fautori trovavano, a contrastarli, la nutrita schiera dei conservatori, scettici sulle possibilità del nuovo sistema. Questi ultimi avevano certamente buon gioco allorché affermavano che sia la corrente continua quanto le semplici attrezzature industriali, fino allora adottate per gli impianti, non autorizzavano fiducia e ottimismo oltre i limiti dell'esercizio delle tramvie, per le quali occorre potenze modeste. Per un esercizio ferroviario, infatti, con convogli molto più pesanti e destinati a circolare a velocità più elevate, si sarebbero dovuti risolvere problemi tecnici di ben altro rilievo.

Inoltre, i sostenitori della trazione elettrica erano ulteriormente divisi tra loro in tre correnti, ognuna delle quali sosteneva un diverso sistema di alimentazione: accumulatori, corrente continua o corrente trifase.

Il Governo non poteva ignorare un problema di tale importanza, che riguardava così da vicino lo sviluppo economico e sociale dell'intera nazione, e quindi nel di-

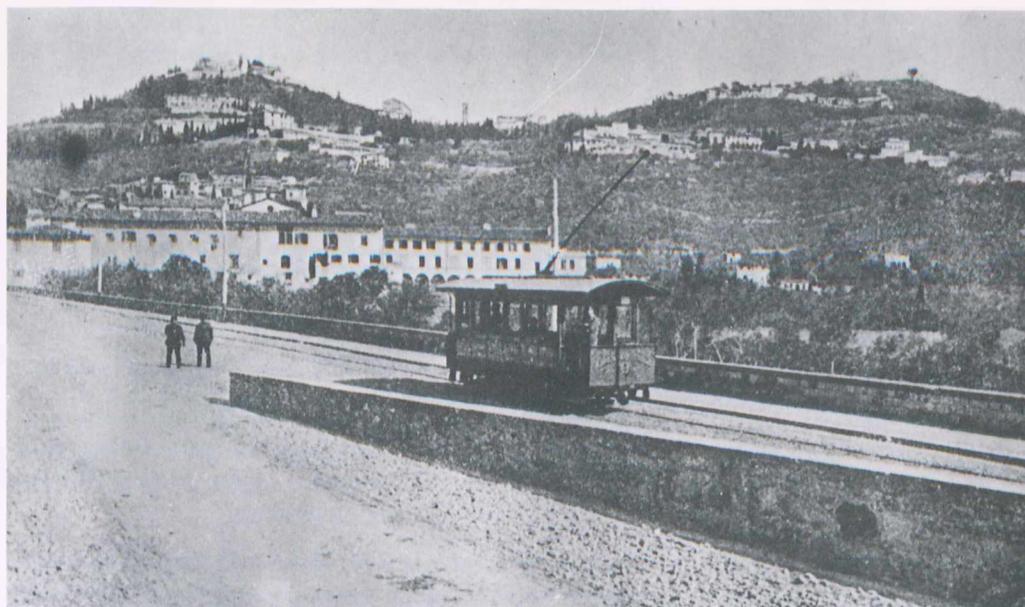


Fig.2 - La tranvia Firenze-Fiesole

cembre 1897 il Ministro dei Lavori Pubblici, Prinetti, nominò una Commissione con l'incarico di studiare gli « effetti di un'applicazione della trazione elettrica alle ferrovie di limitato traffico, con lo scopo principale di renderne più economico l'esercizio ». Ne facevano parte gli ingegneri Niccolò Nicoli ed Egisto Grismayer, delegati del R. Ispettorato Generale, Giuseppe Bertoldo, Riccardo Bianchi, Vittorio Tremontani, della Soc. Mediterranea, Rinaldo Rinaldi ed Enrico Caiaro della Società Adriatica.

La Commissione estese poi le ricerche anche al campo dei traffici ferroviari di una certa importanza ed intensità.

Terminando il suo compito, redasse una complessa relazione, che — con linguaggio fiorito ed un poco enfatico — esordiva così: « Vasto è il dominio che la corrente elettrica, nel segreto degli opifici, va sempre più conquistando in molti rami dell'industria, ma non meno importante è quello che, sotto gli occhi di tutti, sta procacciandosi nel campo della trazione, concorrendo con la sua energia, con la sua mirabile pieghevolezza alle più svariate applicazioni, al perfezionamento dei mezzi di comunicazione ».

Nel corso della relazione, si affermava il principio che la trazione elettrica dovesse essere applicata soltanto a ferrovie con traffico limitato. Questa asserzione fu dovuta alla prudenza dei commissari, i quali non ebbero il coraggio di avallare, con il loro parere favorevole, una politica di spese rilevanti, necessarie per una estesa elettrificazione, quando ancora erano incerti i risultati degli esperimenti. Ma indubbiamente a queste cautele non fu estraneo anche il timore di compromettere definitivamente, nel caso di qualche insuccesso, l'avvenire della trazione elettrica.

Solo dopo pochi anni, però, gli ottimi risultati ottenuti con l'elettrificazione delle linee dei Giovi avrebbero fugato queste riserve.

I membri della Commissione, tuttavia, non si trovarono d'accordo sul sistema di alimentazione da adottare. Dato che ognuno manteneva il proprio punto di vista

e lo diffondeva, fu deciso di attuare un esperimento per ciascuno dei tre sistemi discussi: accumulatori, corrente continua e corrente trifase.

Le linee scelte furono:

— la Bologna-San Felice e la Milano-Monza per il sistema ad accumulatori, del tipo Planté nel primo caso e del tipo Pescetto nel secondo;

— la Roma-Frascati per il sistema a corrente continua a terza rotaia alla tensione di 650 V; viceversa, l'esperimento venne poi eseguito sulla Milano-Varese, essendosi preferita una linea con più elevato traffico viaggiatori;

— le linee della Valtellina, e cioè la Lecco-Colico-Sondrio e la Colico-Chiavenna, per il sistema a corrente trifase a 3.400 V ed a bassa frequenza (15 periodi). La commissione propose ed ottenne che su questa linea l'esperimento venisse esteso anche al traffico merci.

Il Governo, allora, considerate le risultanze cui era pervenuta la Commissione, si assunse in parte gli oneri finanziari degli esperimenti. Il resto fu assunto dalle Società Adriatica e Mediterranea che si offrirono di effettuare le esperienze sulle proprie reti con gli inevitabili rischi a loro carico.

## *La trazione ad accumulatori*

Le prime automotrici ad accumulatori iniziarono a circolare l'8 febbraio 1899 sulla linea Milano-Monza, a cura della Società Mediterranea, ed il 1° Maggio 1901 sulla Bologna-San Felice (fig. 3), a cura della Società Adriatica.

L'avvenimento fu notevole, ebbe larga eco sulla stampa e fu tramandato ai posteri da una graziosa cartolina celebrativa, con disegni dal sapore lievemente romantico nel più puro stile dell'epoca.

L'esperimento diede luogo ad una serie di inconvenienti di vario genere per cui fu dapprima sospeso parzialmente e poi definitivamente abbandonato nel 1904 sulla Milano-Monza.

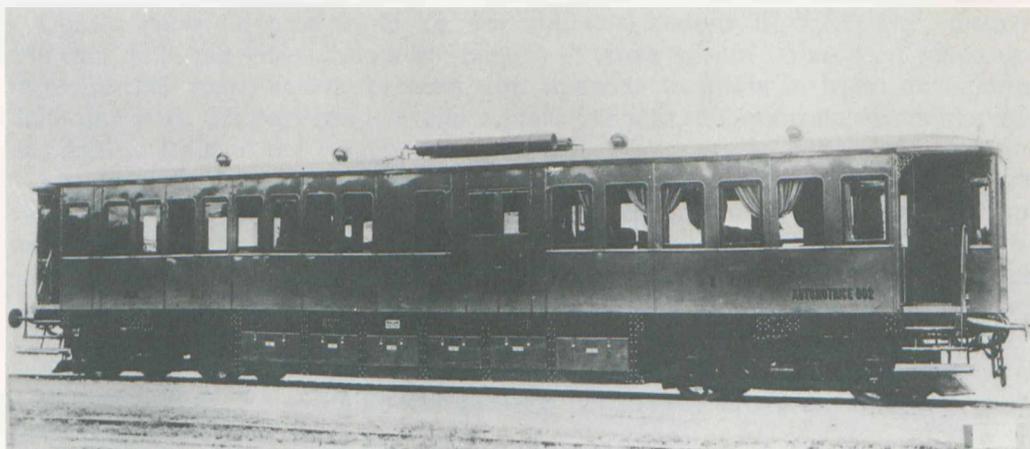


Fig.3 - Automotrice della Bologna-San Felice

Le Ferrovie Italiane dello Stato, costituite nel 1905 in seguito alla fusione delle tre Società (la Italiana per le Strade Ferrate del Mediterraneo, la Italiana per le Strade Ferrate Meridionali e la Italiana per le Strade Ferrate Sicule) che gestivano in concessione le rispettive reti, non diedero alcun seguito a questi esperimenti. Fece eccezione quello che si svolse dal 1921 al 1923 nell'interno della stazione di Milano per servizi di manovra. Ad esso era adibita una locomotiva (E. 421), costruita per essere impiegata nelle stazioni di linee elettrificate dove non convenisse estendere le catenarie a tutti i binari. Sui binari secondari doveva quindi essere adoperato questo mezzo, le cui batterie potevano venire caricate utilizzando così nel miglior modo l'energia disponibile.

L'E. 421, realizzata in un unico esemplare, aveva 4 assi, ciascuno dei quali era azionato da un motore da 48 kW, ed aveva quindi una potenza complessiva di 192 kW. Lo sforzo orario era di kg 5.250 e quello di avviamento di kg. 10.500. La sospensione dei motori era di tipo tramviario. Con questa sospensione il motore appoggia da un lato con due speciali cuscinetti sulla sala ed è sospeso elasticamente al carro dalla parte opposta.

La batteria era composta di 240 elementi da 400 Ah di capacità. Il peso totale dell'E. 421 era di 64 t. La sola batteria pesava circa 30 t.

La locomotiva era costituita da due parti staccate, collegate fra loro mediante un giunto analogo a quello che unisce il tender alle ordinarie locomotive a vapore.

Neanche l'E. 421 fornì prestazioni soddisfacenti dal punto di vista della regolarità dell'esercizio.

## *La corrente continua a 650 V (3<sup>a</sup> rotaia)*

Il 16 ottobre 1901 la Società Mediterranea iniziò, dopo un periodo di prove di oltre tre mesi, un servizio viaggiatori sulla Milano-Varese, con 7 coppie di treni elettrici intercalati fra quelli a vapore già esistenti. Il 15 giugno dell'anno successivo il servizio fu esteso fino a Porto Ceresio. Il sistema di alimentazione adottato sulle « Varesine » fu quello a corrente continua a 650 V con alimentazione mediante una terza rotaia sistemata lateralmente al binario di corsa. Questa era isolata da terra con appositi supporti e su di essa strisciavano dei pattini in ghisa o in acciaio, sporgenti lateralmente da ambedue i lati dei rotabili in vicinanza degli assi.

Ogni mezzo era fornito di almeno quattro pattini, due anteriori e due posteriori, per assicurare sempre l'alimentazione anche quando la terza rotaia veniva interrotta in corrispondenza dei deviatori oppure passava da un lato all'altro dei binari.

Questa aveva un peso di 45 kg. per ml, una sezione di 5.750 mm<sup>2</sup>, distava 645 mm dalla più vicina rotaia del binario di corsa ed era rialzata sul piano del ferro di 143 mm. Veniva protetta con apposita custodia in legno da ognuna delle due parti dei passaggi a livello e, nelle stazioni, lateralmente ai marciapiedi destinati al transito dei viaggiatori.

L'energia elettrica per la Milano-Varese veniva prodotta dalla centrale di Tornavento, località situata ad 11 km da Gallarate ed a 19 km da Parabiago. Di qui una conduttura primaria la trasportava alla tensione di 13.500 V alle quattro sottostazioni di Musocco, Parabiago, Gallarate e Gazzada che provvedevano ad abbassare la tensione e, mediante convertitori rotanti, a trasformare la corrente alternata in continua a 650 V.

La linea aveva una lunghezza totale di 72,6 km, dei quali 13,9 a semplice binario e 58,7 a doppio. Lo sviluppo complessivo dei binari elettrificati, compresi quelli delle stazioni, era di 146 km.

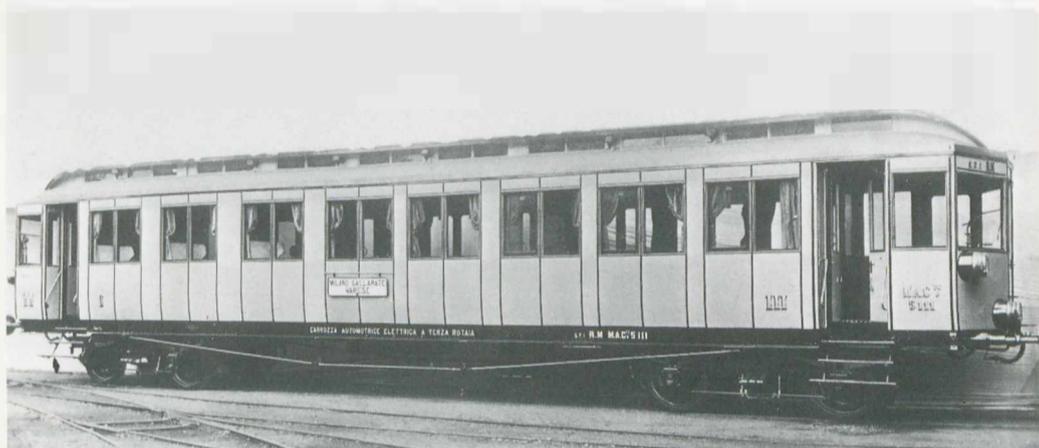


Fig.4 - Automotrice elettrica 650 Vcc terza rotaia

Il servizio, essendo destinato ai viaggiatori, fu impostato sul criterio dei « treni frequenti e leggeri » e, nei primi tempi, venne effettuato solo con automotrici elettriche.

Queste erano di tre tipi (E. 10, E. 15 ed E. 20), tutte a carrelli, dotate di freni Westinghouse ed a mano agenti su otto ceppi, di motori sospesi per il naso e di trasmissioni ad ingranaggi. La regolazione avveniva disponendo i motori in serie e in parallelo mediante controller a comando diretto di tipo tranviario.

Le E. 10, costruite in numero di 20 nel 1901, avevano 4 motori, una potenza complessiva di 440 kW e potevano viaggiare ad una velocità massima di 95 km/h. Le E. 15, costruite in numero di 5 nel 1903-4, avevano anch'esse 4 motori, una potenza complessiva di 550 kW ed una velocità massima di 60 km/h. Le E. 20, infine, costruite in numero di 16 nel 1903-4, avevano 2 soli motori, una potenza di 220 kW, una velocità massima di 95 km/h ed erano dotate di comando multiplo tipo Thomson-Houston che permetteva di comandare fino a 5 motrici da un unico banco.

Frattanto l'aumentato traffico impose la costruzione di locomotive elettriche. Fu così realizzata la E. 420 (fig. 5) a corrente continua 650 V, che aveva una potenza oraria complessiva di 440 kW, un peso di 34,1 t e poteva viaggiare ad una velocità massima di 60 km/h. I 4 motori, del tipo con eccitazione in serie, trasmettevano il moto alle ruote tramite ingranaggi con un rapporto di trasmissione di 17/56. Le ruote avevano un diametro di mm 1.040. La regolazione della velocità si otteneva con la combinazione dei motori in serie ed in parallelo.

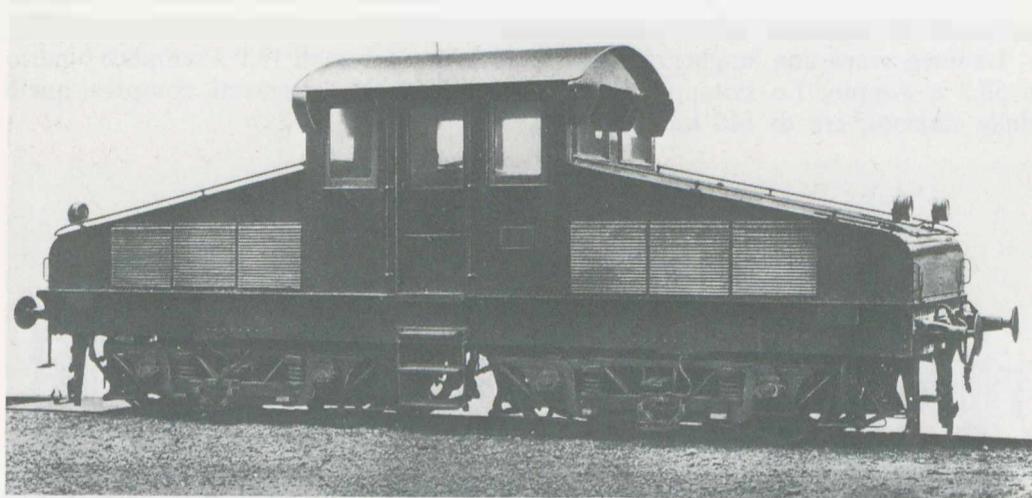


Fig.5 - Locomotiva Gr. E.420 (650 Vcc terza rotaia 1901)

L'ulteriore incremento del traffico, che richiedeva ormai circa cento coppie di treni al giorno, impose ben presto la costruzione di nuovi mezzi.

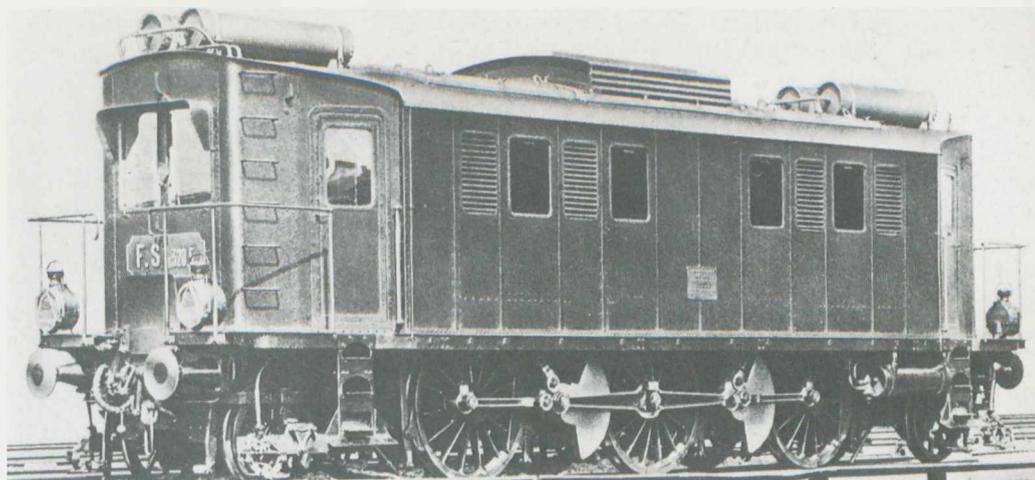


Fig.6 - Locomotiva Gr. E.320 (650 Vcc terza rotaia 1913)

Nel 1912 entrarono così in servizio le locomotive elettriche Gr E. 320 (fig. 6) con le quali fu possibile trainare treni viaggiatori del peso di 220 tonnellate alla velocità massima di 95 km/h e treni merci del peso di 400 tonnellate alla velocità massima di 45 km/h.

Esse avevano una potenza complessiva di 1200 kW, un peso totale di 71,8 t, un peso aderente di 46,8 t ed una velocità massima di 95 km/h. I 2 motori erano del tipo con eccitazione in serie e trasmettevano il moto, mediante manovelle e aste, a due assi ausiliari accoppiati fra loro mediante una biella diritta che portava al centro una finestra entro la quale poteva scorrere il cuscinetto del perno della manovella della sala centrale. Un'altra biella, articolata a ciascuna delle aste suddette, accoppiava le sale. La regolazione della velocità avveniva con gli accoppiamenti dei due motori in serie ed in parallelo. Altre regolazioni economiche si ottenevano per ognuno degli accoppiamenti, con la variazione dell'intensità del campo dei motori.

Sostanzialmente simili alle locomotive del gruppo E. 320 erano quelle del gruppo E. 321 entrate in servizio nel 1921 (fig. 7). In queste, però, la trasmissione del moto avveniva tramite una biella triangolare.

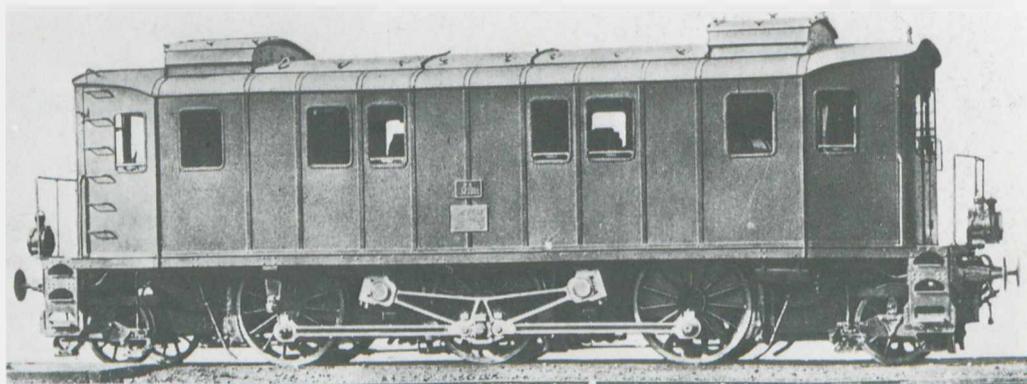


Fig.7 - Locomotiva Gr. E.321 (650 Vcc terza rotaia 1921)

Nel 1925 fu costruita la E. 620, con due carrelli a tre assi, la cui sagoma ricordava quella delle locomotive elettriche in uso nel Nord-America. Essa aveva una potenza complessiva oraria di 950 kW, un peso di 60 t ed una velocità massima di 80 km/h.

La locomotiva era divisa in due parti, ciascuna delle quali poggiava su tre assi motori, ed i due semitelai erano collegati con uno snodo sferico. Con essa si voleva sperimentare il comportamento di una macchina ad aderenza totale a 6 assi con 6 motori sospesi per il naso, in vista dell'adozione della corrente continua ad alta tensione (3000 V).

Alcune unità di questo gruppo cambiarono destinazione ed utilizzazione in epoca successiva, previa una notevole trasformazione (fig. 8). L'applicazione di una meta-dinamo consentì la conversione della tensione da 3.000 V, oggi usata per l'alimentazione delle linee di contatto, a valori convenienti per i motori preesistenti. Fu questa l'ultima locomotiva a 650 V 3ª rotaia realizzata per le Varesine.

Il sistema aveva infatti rivelato vari inconvenienti: esigeva impianti complicati, era notevolmente dispendioso e talvolta pericoloso a causa del conduttore scoperto a livello di terra, difficoltose essendo sia la sorveglianza che la manutenzione del binario. Anche la notevole sezione della terza rotaia, necessaria per il passaggio delle forti correnti richieste dall'elevata potenza e dalla bassa tensione che si poteva mandare in linea (650 V), costituiva un elemento di valutazione sfavorevole.

Fu elettrificata ancora con questo sistema la linea metropolitana Napoli-Pozzuoli, prolungata successivamente fino a Villa Literno, sulla quale il servizio venne disimpegnato con automotrici elettriche dello stesso tipo di quello delle Varesine. Ma l'esperimento non fornì risultati positivi e i due impianti furono successivamente trasformati a corrente continua 3.000 V.

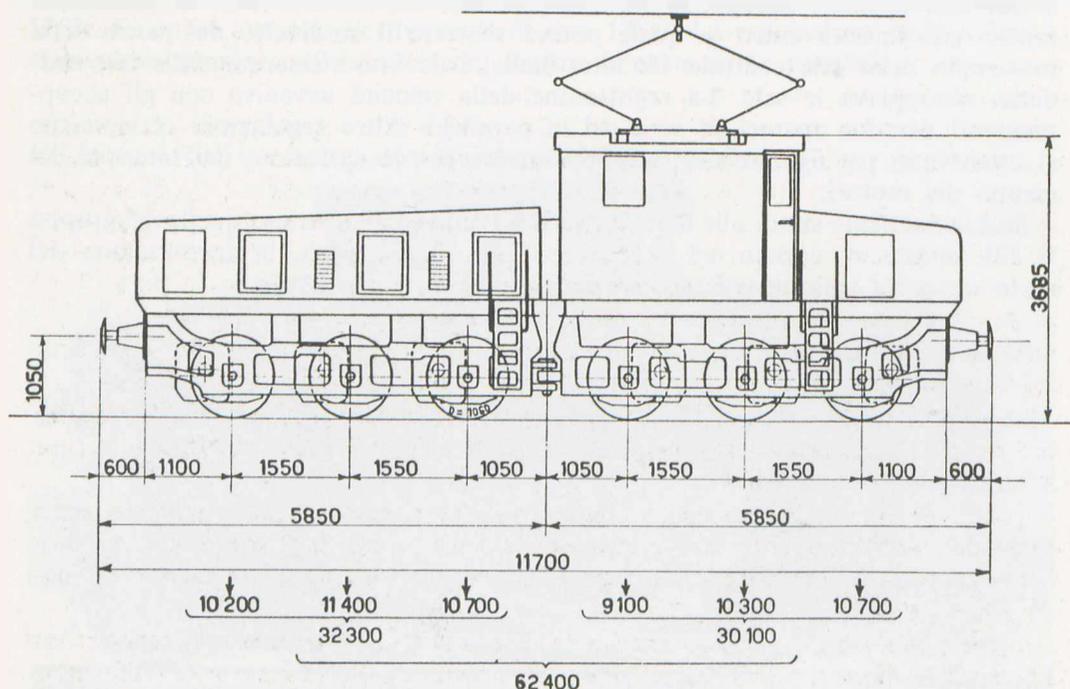


Fig.8 - Locomotiva Cir. E.620 trasformata a 3000 Vcc

## La corrente trifase 3400 V 15 periodi

Dei tre esperimenti quello a corrente trifase 3.400 V 15 periodi fu di gran lunga il più importante, e non solo per l'Italia, in quanto non potevano essere prese in considerazione le elettrificazioni fatte nella città di Lugano (1896) e sulla linea Bungdorf-Thun in Svizzera dalla Brown Boveri e C, ad Evians-Les-Bains (1898) dalla Ganz e C. di Budapest ed infine in America sulla Baltimora-Ohio. Infatti sulla Baltimora-Ohio la trazione elettrica veniva impiegata a sussidio di quella a vapore mentre sulla Bungdorf-Thun il traffico era troppo scarso.

Nell'impianto realizzato in Italia si tese a sostituire la trazione a vapore con quella elettrica su una linea sufficientemente lunga e sulla quale i treni dovevano essere relativamente pesanti e veloci. Ne derivarono problemi tecnici la cui soluzione, allo stato delle conoscenze dell'epoca, non si presentava molto semplice. Tra l'altro destavano preoccupazioni il sistema di alimentazione e la tensione della linea, la sospensione dei motori e la trasmissione del moto da questi agli assi, la variazione della velocità dei mezzi, la linea aerea e la presa di corrente che dovevano essere tali da non provocare incidenti allorché si attraversavano in velocità stazioni e parchi merci.

Tra le Ditte più quotate dell'epoca, l'unica che accettò di realizzare gli impianti fu la Ganz di Budapest che, anzi, si assunse l'onere del rischio di tutte le spese di costruzione, restando a carico della Società Adriatica le sole spese di esercizio.

Il problema del sistema di alimentazione e della tensione in linea fu risolto decidendo di adottare la corrente trifase a 3.400 V. A quell'epoca, infatti, si riteneva di non poter inviare in linea tensioni maggiori di 3.400 V, principalmente per la difficoltà di isolare sufficientemente i conduttori aerei.

Quanto alla frequenza, all'inizio del XX secolo, nelle applicazioni ad uso luce e forza motrice veniva impiegata quella di 45 periodi, che però risultava troppo elevata per essere adoperata nei motori di trazione che avrebbero richiesto, per la loro velocità, l'impiego nelle trasmissioni di ingranaggi riduttori per i quali la tecnica del tempo non offriva sufficienti garanzie dal punto di vista costruttivo. La frequenza di 15 periodi permetteva, invece, di avere motori abbastanza lenti da poter trasmettere direttamente il moto alle ruote mediante bielle.

Inoltre, mantenendosi bassa la reattanza di linea, si poteva ridurre il numero delle sottostazioni elettriche e adoperare per il filo aereo sezioni contenute.

In definitiva, la frequenza di 15 periodi appariva, in relazione alla tecnologia dell'epoca, la più adatta alle esigenze della trazione, e venne quindi adottata e definita *frequenza ferroviaria*.

Quanto, infine, alla velocità di marcia, poiché i motori trifase possono avere un'unica velocità di regime, in un primo tempo si ricorse al collegamento in cascata di due motori; solo più tardi si adoperarono motori forniti di un numero variabile di polarità.

Le prove col nuovo sistema vennero iniziate sulle linee Valtellinesi (Lecco-Colico e Sondrio-Chiavenna) il 26 luglio 1901 e durarono fino al 4 settembre 1902, mentre il servizio veniva svolto con trazione a vapore. L'esercizio con trazione elettrica ebbe inizio il 15.10.1902 (fig. 9).

Lecco - Carrozza Automotrice  
delle Ferrovie Elettriche Valtellinesi

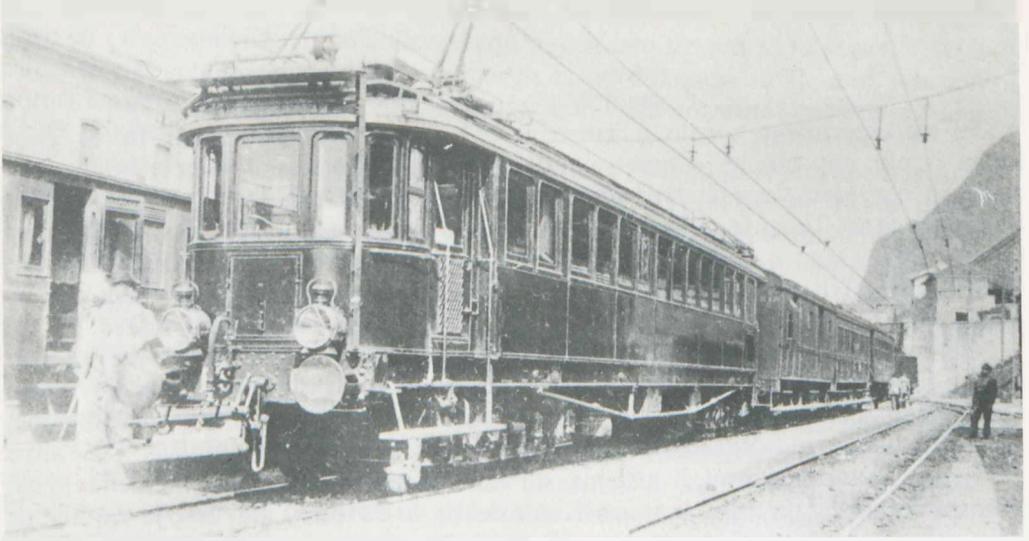


Fig.9 - Automotrice 3400 V 15 periodi delle Valtellinesi

Anche questo sistema di elettrificazione non era privo di inconvenienti. In particolare esso richiedeva due conduttori aerei e di conseguenza apparecchiature complesse; tuttavia, rispetto agli altri, esso offriva, grazie alle minori perdite, un buon rendimento e quindi un esercizio economico. Da ciò derivò la preferenza data, nelle elettrificazioni che seguirono, alla corrente trifase, fino all'avvento della corrente continua a 3.000 V.

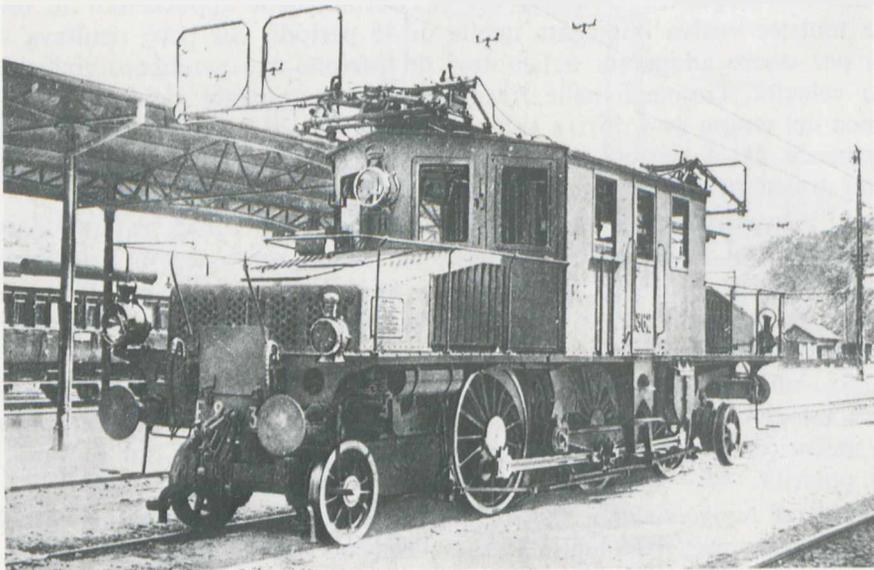


Fig.10 - Locomotiva Gr. E.360 sulla linea del Sempione

Con questo sistema venne anche elettrificata la linea del Sempione, inaugurata nel 1906 e comprendente una galleria di circa 20 km tra Briga e Iselle. Essa doveva essere esercitata a vapore, ma i positivi risultati conseguiti sulle Valtellinesi ed emersi durante una visita ufficiale di rappresentanti del Governo Elvetico fecero mutare questa decisione. La Brown Boveri realizzò in soli sei mesi gli impianti fissi ed il 1° giugno il Sempione fu attivato con trazione elettrica, adottata per la prima volta su una linea internazionale a grande traffico. Le locomotive erano le E. 360 destinate alle Valtellinesi, di cui si dirà in seguito, che le Ferrovie Italiane cedettero in prestito a quelle Elvetiche.

Con l'avvento dell'elettrificazione sulle linee Valtellinesi il servizio viaggiatori veniva disimpegnato con automotrici e quello merci con locomotive, (gruppo RA 341-342, poi E. 430 FS). Quest'ultime (figg. 11 e 12) avevano una potenza di 440 kW, pesavano 48 t e potevano trainare treni di 300 tonnellate superando la prestazione delle precedenti locomotive a vapore.

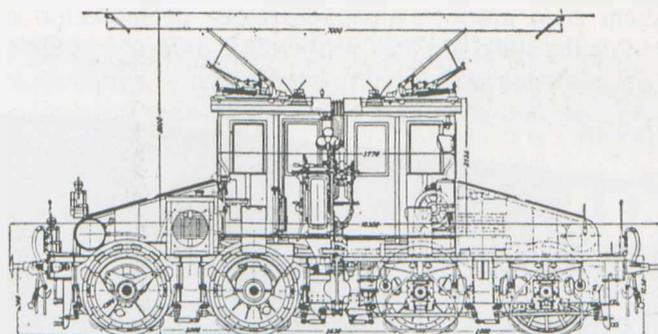


Fig.11 - Locomotiva RA 341-342 (poi Gr. E.430 FS) delle Valtellinesi

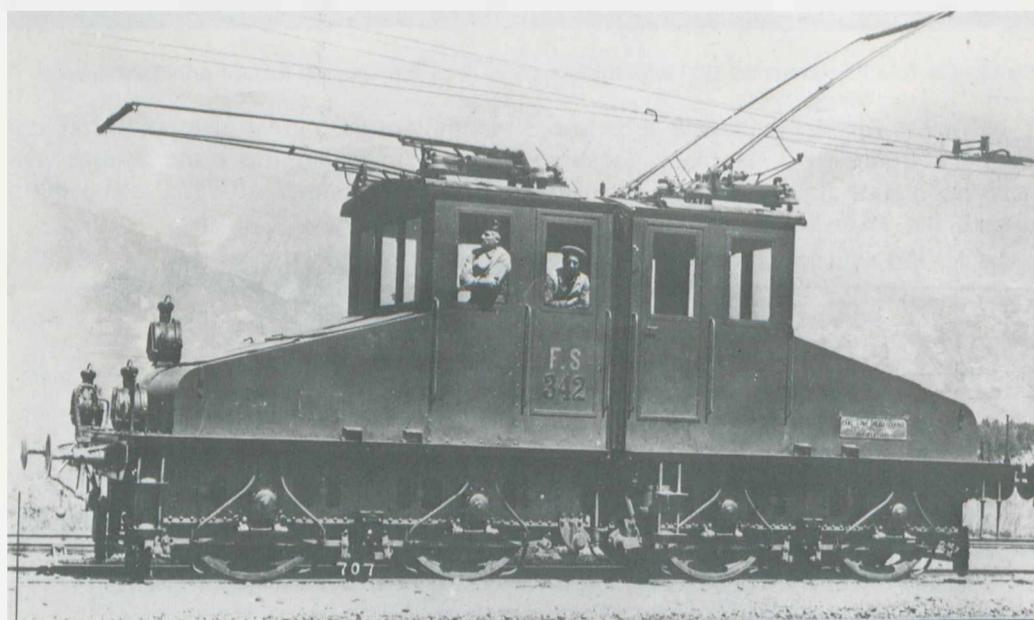


Fig.12 - Locomotiva RA 342 (poi Gr. E.430 FS) delle Valtellinesi

Esse avevano rodiggio B. + B. ed erano costituite da due semicasce, ciascuna delle quali poggiava su due assi, azionati da motori con asse del rotore cavo, da 110 kW. Su ciascun carrello erano montati due motori, uno ad 8 poli e l'altro a 6 poli, cioè un motore ad alta tensione (primario) ed uno a bassa tensione (secondario).

Col collegamento in parallelo degli statori dei due motori si otteneva la velocità maggiore (60 km/h) e con quello in cascata dello statore del secondario col motore del primario si otteneva la riduzione a metà della velocità (30 km/h).

La trasmissione del movimento dai motori alle sale motrici avveniva con assi cavi e parallelogrammi articolati.

Le automotrici elettriche ben presto si mostrarono di potenza insufficiente per il traino dei treni viaggiatori. D'altra parte le dimensioni dei motori erano rigidamente fissate dal diametro e dallo scartamento delle ruote per cui la loro potenza non poteva essere aumentata. In epoca successiva esse furono private dei motori e degli equipaggiamenti elettrici e trasformate in carrozze (fig. 13).



Fig.13 - Carrozza FS ricavata nel 1927 dalla trasformazione di un'elettromotrice RA 324 delle Valtellinesi

Nel 1904 furono realizzate le prime 3 locomotive del nuovo gruppo E. 360, costruite a Budapest dalla Ganz. Destinate al servizio viaggiatori e merci, esse vennero noleggiate dalle FS alle Ferrovie Federali Svizzere per attivare, come detto dianzi, nel 1906 l'esercizio della linea del Sempione.

Le E. 360 avevano le seguenti caratteristiche principali:

Rodiggio	1'CI'
Lunghezza tra i respingenti	11540 mm
Passo totale	9500 mm
Passo rigido	2400 mm
Diametro ruote motrici	1500 mm
Numero di motori	2 doppi
Potenza oraria	4 × 300 kW
Velocità con motori in cascata o in parallelo	32/64 km/h
Sforzo di trazione orario corrispondente ai cerchioni	52/87 kN
Massa totale	63 t
Massa aderente	42 t

I motori erano doppi, del tipo ad anelli, sospesi elasticamente nei due spazi tra le sale accoppiate.

L'asse motore centrale era fisso, mentre quelli estremi potevano spostarsi trasversalmente di 25 mm e formavano carrello con quelli portanti adiacenti.

La trasmissione del moto avveniva con una « biella triangolare retta simmetrica » ideata e brevettata dall'ing. Kando della Ganz. Essa aveva due vertici collegati ai bottoni-manovella dei due rotori ed il terzo alla manovella condotta, il cui bottone, collegato alla ruota motrice, scorreva verticalmente in una feritoia di guida. Questa soluzione fu successivamente adottata nella maggior parte delle macchine trifasi delle FS, fino all'avvento della « biella Bianchi ».

Su uno dei tre esemplari venne montato, in via sperimentale, un reostato metallico la cui esclusione era manovrata dal macchinista con un regolatore azionato da una trasmissione meccanica.

Gli organi di presa dell'energia erano due trolley a rulli, a comando pneumatico, di cui uno solo era in azione, secondo il senso di marcia.

I trasformatori per i servizi ausiliari erano due, con potenza complessiva di 8 kW e rapporto di trasformazione 3000/110 V.

Nel 1906 entrarono in servizio le E. 380 (fig. 14), costruite in numero di 4 dalla Ganz e dotate di parte meccanica analoga a quella delle E. 360.

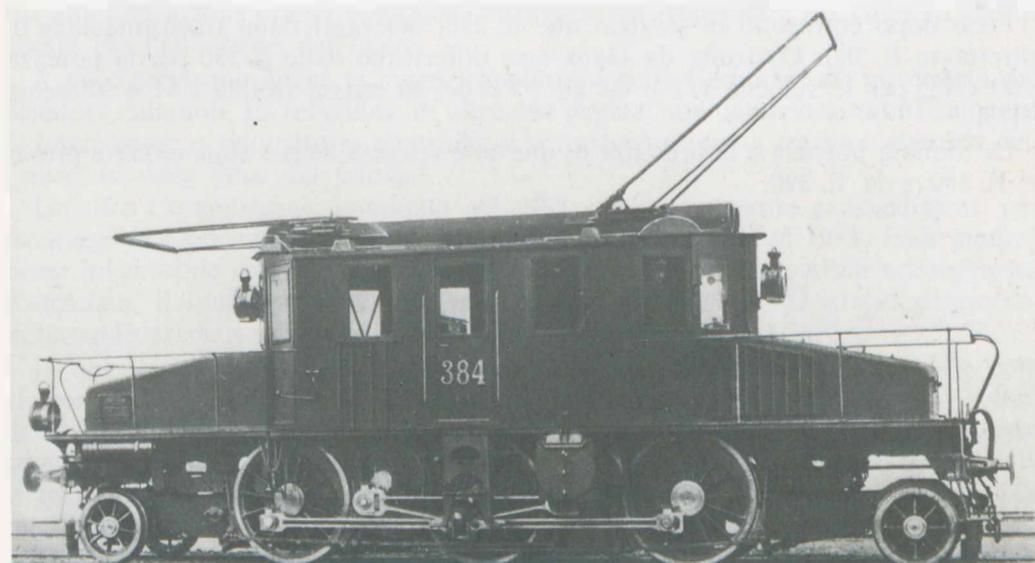


Fig.14 - Locomotiva Gr. E.380 delle Valtellinesi

Esse avevano le seguenti caratteristiche principali:

Rodiggio	1° C 1°
Lunghezza tra i respingenti	11540 mm
Passo totale	9500 mm
Passo rigido	2400 mm
Diametro ruote motrici	1500 mm
Numero di motori	2
Potenza complessiva	1250 kW
Velocità con motori in cascata o in parallelo	32/64 km/h
Sforzo di trazione corrispondente ai cerchioni	65/92 kN
Massa totale	64,6 t
Massa aderente	44 t

I motori erano collegati meccanicamente tra loro e con la sala motrice mediante biella triangolare.

Gli organi di presa dell'energia erano costituiti, anche qui, da trolley a rulli.

Gli apparecchi di sicurezza erano costituiti da due spirali d'impedenza, da uno scaricatore atmosferico trifase, da un interruttore automatico in olio e da valvole varie per i circuiti secondari.

I servizi ausiliari erano alimentati da due trasformatori trifase con rapporto di trasformazione 3000/110 V.

Poco dopo entrarono in servizio due E. 390, derivanti dalla trasformazione di altrettante E. 380. Costruite da Ganz esse differivano dalle E. 380 per la potenza (800 kW), per le velocità (22 e 44 km/h) e per la massa (totale t 61 e aderente t 41,4).

La limitata potenza e la presenza di due sole velocità fecero abbandonare presto le E. 380 e le E. 390.

## *L'elettrificazione dei Giovi e gli sviluppi del parco trifase*

Con legge 22 aprile 1905 n. 137 il Legislatore stabilì che l'esercizio delle Ferrovie dovesse essere affidato ad un'Amministrazione autonoma di Stato, sotto la responsabilità del Ministro dei Lavori Pubblici (quello dell'epoca era il prof. Carlo Francesco Ferraris). Tale Amministrazione fu poi costituita con Regio Decreto del 15 giugno 1905 ed in essa furono riunite le reti gestite fino a quel momento dalla Società Italiana per le Strade Ferrate del Mediterraneo, dalla Società per le Strade Ferrate Meridionali e dalla Società Italiana per le Strade Ferrate Sicule. Primo Direttore Generale fu l'ing. Riccardo Bianchi, già direttore della rete Sicula.

I tecnici preposti alla dirigenza delle Ferrovie Italiane dello Stato trovarono sul tappeto rilevanti problemi, tra i quali quello delle comunicazioni del porto di Genova col retroterra attraverso il valico dei Giovi.

La prima linea che univa Genova al Piemonte risaliva al febbraio 1854 e su di essa i traffici avevano cominciato a svolgersi sempre più intensamente, per cui era stato successivamente deciso di costruire tra Genova e Ronco una linea succursale a quella principale; la prima passava per Busalla, l'altra per Mignanego. Tuttavia nel 1905 l'assoluta insufficienza delle linee adducanti al porto aveva ormai determinato una situazione di crisi, dato il continuo crescere del traffico.

Il movimento del porto che nel 1872 si limitava a circa 873.000 tonnellate, nel 1905 era di 13.081 navi con una stazza di 12.950.703 tonnellate e di merci per 5.635.609 tonnellate. Il traffico ferroviario nell'esercizio 1905-1906 fu di 3.786.000 tonnellate e di 326.449 carri.

Numerosi studi furono eseguiti senza una soluzione soddisfacente. Si pensò anche alla costruzione di una terza linea attraverso gli Appennini, ma l'idea fu accantonata per l'alto costo dell'opera.

A poco servirono anche le magre conclusioni della Commissione presieduta dal Senatore Adamoli. La relazione, di oltre 460 pagine, non conteneva infatti alcunché di interessante e, addirittura, sconsigliava la trasformazione a trazione elettrica dell'esercizio delle linee dei Giovi.

Un'altra Commissione, nominata nel 1903, doveva suggerire provvedimenti per fronteggiare i prevedibili aumenti di traffico del porto fino al 1923. Essa giudicò come invalicabile con la trazione a vapore, pur con tutti i possibili accorgimenti d'esercizio, il limite di 2000 carri/giorno, pari a circa 36.000 tonnellate/giorno, utilizzando sia la vecchia linea dei Giovi che la succursale.

In questo contesto, tenuto conto delle crescenti difficoltà d'esercizio, delle conclusioni cui era pervenuta la suddetta Commissione (1904), dei favorevoli risultati dell'elettrificazione in trifase delle Valtellinesi, positivamente valutata da illustri trazionisti, come il Thompson, che la visitò con una delegazione di 100 elettrotecnici inglesi nel 1903, l'ing. Bianchi decise di adottare tale sistema anche sulle due linee dei Giovi, da Genova per Busalla e Mignanego.

Tra l'altro era ancora viva in quegli anni l'impressione provocata dal grave disastro causato da un treno a vapore l'11 agosto 1898 in stazione di Piano dei Giovi, presso la galleria di Busalla, in cui perirono 10 persone e vi furono numerosi feriti.

I lavori furono iniziati ai primi del 1907 sulla Pontedecimo-Busalla, caratterizzata da pendenze del 35‰ e curve con raggio minimo di 400 m, e l'esercizio elettrico vi fu attivato il 1° marzo 1911. Esso fu successivamente esteso il 1° dicembre 1911 da Busalla a Bivio Rivarolo e Campasso, il 1° novembre 1913 da Bivio Rivarolo a Sampierdarena, il 21 giugno 1915 da Ronco a Busalla ed il 15 maggio 1916 da Sampierdarena a Genova Porta Principe.

L'elettificazione delle linee dei Giovi risolse il problema ferroviario del porto di Genova, dando luogo a risultati che andarono anche oltre il previsto. Infatti, le condizioni di esercizio migliorarono enormemente e la potenzialità delle linee risultò quadruplicata, essendosi constatata la possibilità di far salire treni in doppia trazione, del peso rimorchiato di 380 t, a 50 km/h ogni 10'. Il traffico annuo che prima dell'elettificazione non raggiungeva i 500 milioni di T.K.V.T.C. (1) salì a circa 1,2 miliardi di T.K.V.T.C., con punte di circa 3.000 carri al giorno.

Gran parte di questi risultati fu dovuto alle prestazioni della locomotiva elettrica gruppo E. 550 (figg. 15 e 16), che permise di realizzare tutte le condizioni poste a base del progetto di elettificazione, che si possono così sintetizzare:

- adozione della frenatura elettrica a recupero per ridurre l'usura di ceppi e cerchioni;
- instradamento di tutto il traffico merci sulla vecchia linea;
- impiego della doppia trazione per tutti i treni;
- peso rimorchiabile da ogni locomotiva pari a 190 t, limite per treni sprovvisti di freno continuo e per lo sforzo al gancio su linee a forte pendenza;
- velocità di 45 km/h sia in salita che in discesa.

Pertanto, per trainare 380 t a 45 km/h sul 35‰ occorre una potenza di 1840 kW, pari a 920 kW per ciascuna locomotiva.

Questa doveva adottare le principali soluzioni costruttive delle E. 380 delle Valtellinesi, in particolare per quanto riguarda l'inserzione dei motori e la trasmissione del moto.

La prima doveva realizzare, mediante il collegamento in cascata, una seconda velocità di marcia pari a  $45 : 2 = 22,5$  km/h. Quindi in uno dei motori le bobine in serie a stella dell'avvolgimento statorico dovevano essere commutabili, in parallelo, a triangolo, per essere alimentate dal rotore del primo motore.

Per il rodiggio fu adottata una soluzione a cinque assi accoppiati, con passo di 6 m e ruote dell'asse centrale prive di bordino per favorire l'iscrizione in curva. Tale soluzione era analoga a quella della nuova locomotiva a vapore gr. 470 a cinque assi accoppiati destinata alla Porrettana. Il diametro delle ruote fu fissato in 1070 mm, dovendosi realizzare una velocità di 45 km/h con due motori ad 8 poli in parallelo.

La E. 550 venne progettata per la parte meccanica dall'Ufficio Studi del Servizio Materiale e Trazione delle FS e per quella elettrica dalla Società Italiana Westinghouse di Vado Ligure, presso la quale lavoravano molti tecnici della Ganz, tra i quali il Kando.

(1) S'intende per T.K.V.T.C. (tonnellata-chilometro-virtuale di treno completo, cioè locomotiva più carri) una tonnellata di treno completo trasportata per un chilometro virtuale.



Le E. 550 avevano le seguenti caratteristiche principali:

Rodiggio	E
Lunghezza tra i respingenti	9500 mm
Passo totale	6120 mm
Passo rigido	3840 mm
Diametro ruote motrici	1070 mm
Numero di motori	2
Potenza oraria alla velocità di 50 km/h	2 × 750 kW
Velocità con motori in cascata o in parallelo	25/50 km/h
Sforzo di trazione ai cerchioni a 50 km/h	120 kN
Massa totale e aderente	
dalla 001 alla 085	60,1 t
dalla 086 alla 110	61,4 t
dalla 111 in poi	62,3 t

Le E. 550 erano dotate di motori di trazione smontabili dal basso, in fossa, previo abbassamento della sala centrale. Il moto veniva trasmesso agli assi con un sistema di manovelle motrici montate a 90° tra loro e bielle d'accoppiamento, equilibrate con contrappesi sulle ruote e sugli alberi dei motori. In particolare gli alberi dei due motori erano collegati tra loro ed all'asse centrale con due bielle triangolari (giogo scozzese). Le bielle d'accoppiamento erano collegate, a loro volta, alla biella motrice con snodi sferici. Gli assi estremi potevano spostarsi trasversalmente di 15 mm per parte.

La cassa era costituita da un corpo centrale che racchiudeva i due posti di manovra alle estremità e le apparecchiature di comando e regolazione, e da due avancorpi, contenenti rispettivamente il reostato a liquido di avviamento con i relativi accessori ed i servizi ausiliari (2 trasformatori, i ventilatori dei motori di trazione e 2 compressori elettrici).

I freni erano dei tipi a mano, Westinghouse ad aria compressa automatico e moderabile ed elettrico a recupero nelle discese.

Il « piccolo gigante dei Giovi », come venne soprannominata dai ferrovieri la E. 550, realizzò un sostanziale miglioramento nella trazione dei treni su linee acclivi. Basti pensare che essa pesava solo 60 t e consentiva di trainare, come detto dianzi, 190 t a 45 km/h sul 35‰. La locomotiva a vapore gruppo 470, costruita nella stessa epoca e dotata anch'essa di 5 assi accoppiati, pesava 103 t e poteva trainare sulla stessa pendenza 170 t a 25 km/h.

L'esperienza particolarmente significativa acquisita con le E. 550 e quella delle precedenti E. 360, E. 380 ed E. 390 mostrarono però l'insufficienza di due sole velocità di marcia. Pertanto sulle successive macchine, a partire dalle E. 330, si ricorse al sistema della commutazione dei poli, che consentì di elevare il numero delle velocità a quattro.

Nel 1914 furono costruite 16 locomotive E. 330 (fig. 17) dalla Società Italiana Westinghouse (parte elettrica) e dalla Breda (parte meccanica).

In esse si ricorse ad un brevetto dell'ing. Milch di Budapest che consentiva di trasformare con un unico avvolgimento statorico un motore a campo rotante trifase ad 8 poli in uno bifase a 6 poli.

Le E. 330 erano dotate di rodiggio 1' C 1' ed erano destinate al servizio viaggiatori su linee poco acclivi. L'asse centrale poteva spostarsi trasversalmente di 5-10 mm per parte e quelli ad esso accoppiati potevano spostarsi di 10-15 mm per parte; inoltre, ciascun asse portante costituiva con quello motore attiguo un carrello tipo Zara, con richiamo mediante molle a bovolo. In tal modo il passo rigido veniva ridotto a zero. Un dispositivo meccanico consentiva di scaricare gli assi portanti ed elevare il peso aderente fino a 48 t (16 t per ciascun asse motore).

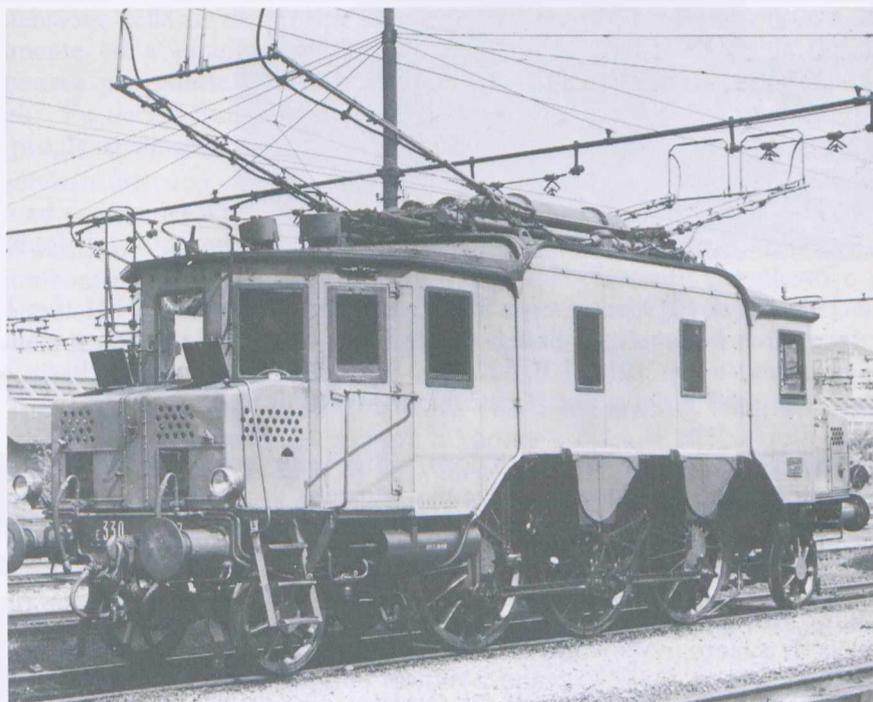


Fig.17 - Locomotiva Gr. E.330

Le E. 330 avevano le seguenti principali caratteristiche:

Rodiggio	1' C 1'
Lunghezza tra i respingenti	11000 mm
Passo totale	8400 mm
Passo rigido	zero
Diametro ruote motrici	1630 mm
Diametro ruote portanti	960 mm
Numero di motori	2
Potenza oraria alla velocità di 75 km/h	2 × 1000 kW
Velocità ottenibili mediante collegamento cascata-parallelo e commutazione trifase 8 poli-bifase 6 poli	37,5 50 75 100 km/h
Sforzi di trazione corrispondenti ai cerchioni	60 / 90 / 95 kN
Massa totale	73 t
Massa aderente	45-48 t

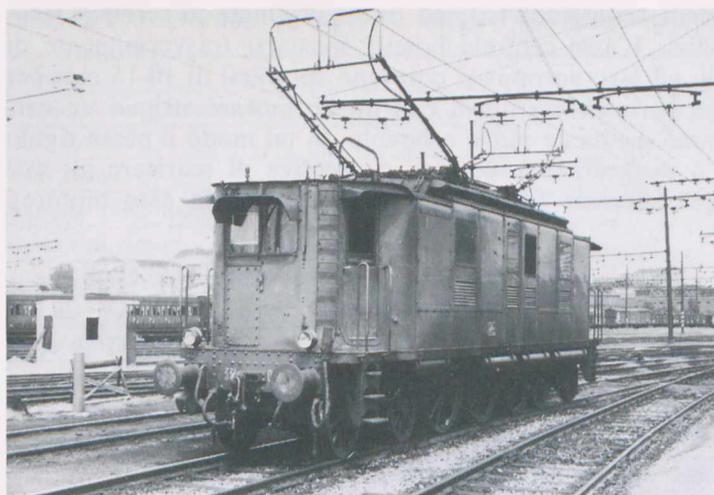


Fig.18 - Locomotiva Gr. E.331

Tra il 1916 ed il 1919 entrarono in servizio 18 locomotive E. 331 (fig. 18) costruite dalla Brown Boveri di Baden (parte elettrica) e dalla Breda e dalla OM (parte meccanica) e nel 1917 6 E. 332 (fig. 19) realizzate dalla Oerlikon di Zurigo (parte elettrica) e dalla Soc. Costruzioni Meccaniche di Saronno (parte meccanica).

Queste macchine, molto simili tra loro, differivano notevolmente dalle E. 330. Esse avevano, infatti, due carrelli a due assi, anzichè un solo asse di guida, a ciascuna estremità. I motori, ubicati in posizione elevata, erano smontabili dall'alto e trasmettevano il moto con bielle ed assi ausiliari e non più con bielle triangolari.

Dal punto di vista elettrico si aveva una commutazione da 8 a 6 poli che però, a differenza di quanto avveniva nelle E 330, risultavano sempre alimentati in trifase.

Sia le E. 331 che le E 332 avevano 2 motori con potenza oraria di 1000 kW ciascuno e potevano viaggiare, mediante collegamento dei motori in cascata e in parallelo e commutazione dei poli, alle velocità di 37,5-50-75 e 100 km/h.



Fig.19 - Locomotiva Gr. E.332

## *Vantaggi della trazione elettrica su quella a vapore*

I favorevoli risultati ottenuti sulle linee dei Giovi ebbero un'influenza decisiva sull'estensione della trazione elettrica. Infatti, contrariamente a quanto era sembrato inizialmente ed a quanto indicato dalla Commissione Ministeriale del 1897, la TE apparve più adatta alle grandi linee caratterizzate da onerose condizioni di esercizio. Fu deciso quindi che l'elettificazione, uscendo dal campo sperimentale, fosse progressivamente estesa.

L'esercizio elettrico, infatti, consentiva di realizzare un complesso di vantaggi tecnici ed economici il cui risultato finale era quello di accrescere, a parità di altre condizioni, la potenzialità di una linea.

Il confronto economico tra i due sistemi è relativamente complesso e richiede la valutazione di numerosi parametri. Gli elementi di partenza per un calcolo sono essenzialmente i diversi rendimenti delle macchine ed i diversi costi del combustibile e dell'energia.

Se si considerano i soli motori si trova che il rendimento (rapporto tra l'energia assorbita e quella resa) del motore a vapore è circa il 10% e solo nei tipi più perfezionati supera, ma di poco, il 12% mentre quello del motore elettrico è di circa il 90% e talvolta anche maggiore.

Il rapporto cambia, ma non molto, se si considera, anziché un solo motore, un'intera locomotiva con i meccanismi di trasmissione e gli accessori, che determinano perdite meccaniche. Per una locomotiva a vapore si registra un rendimento del 10% circa e per una locomotiva elettrica dell'86% circa.

Tenendo conto anche delle perdite che si verificano nella fase di produzione idraulica o termica dell'energia stessa e del suo trasporto dalle centrali fino alla locomotiva si trovano i seguenti rendimenti complessivi approssimati:

locomotive a vapore		10%
locomotive	} con energia di origine termica	21%
elettriche		} con energia di origine idraulica

Le differenze appaiono già meno forti che nel caso del motore isolato, ma ancora favorevoli alla trazione elettrica.

Occorre ancora tenere nel debito conto le spese per la manutenzione ed il rinnovo degli impianti, i relativi costi di personale, ecc, e man mano si osserva che la differenza di costi tra i due sistemi si attenua pur restando, in certe condizioni, favorevole alla TE. Questa, comunque, presenta importanti vantaggi pratici e consente economie indirette che si possono così sintetizzare:

- una locomotiva elettrica, non dovendo produrre a bordo l'energia necessaria al suo funzionamento, ha una potenza specifica molto più elevata di quella di una macchina a vapore o anche Diesel; in una E. 550, per esempio, si avevano già allora circa 25 kW/t, contro 16,2 kW/t di una moderna D. 345;

- i costi di manutenzione di una locomotiva trifase, comprensivi delle riparazioni cicliche, erano pari a circa  $\frac{1}{3}$  di quelli di una locomotiva a vapore; questo rapporto diviene pari a circa  $\frac{1}{2}$  nel confronto tra macchine a corrente continua e Diesel-elettriche;
- quanto detto al punto precedente è dovuto anche alla grande differenza esistente nell'intervallo tra due riparazioni cicliche di locomotive elettriche ed a vapore; le unità più moderne percorrono, tra due riparazioni generali, finanche un milione di km, (1.200.000 km nel caso delle E. 444), mentre nelle macchine a vapore tale intervallo era dell'ordine dei 150.000 km;
- risultano eliminati gl'inconvenienti ed i relativi oneri dovuti al fumo in galleria e nelle stazioni;
- la frenatura elettrica (reostatica o a recupero) consente di ridurre l'usura dei ceppi e dei cerchioni e di accrescere la sicurezza dell'esercizio;
- una locomotiva elettrica ha una migliore aderenza grazie all'uniformità dello sforzo alla periferia delle ruote durante la rotazione e quindi può trainare, a parità di peso aderente, convogli più pesanti di una macchina a vapore;
- la possibilità di sovraccarico dei motori elettrici di trazione consente una maggiore elasticità d'impiego della potenza disponibile, soprattutto all'avviamento e nel superamento di livellette in salita;
- le locomotive elettriche consentono, per la loro diversa natura, una più intensa utilizzazione; basti pensare al fatto che una macchina a vapore deve rifornirsi d'acqua ogni 150-200 km e dopo una decina di ore di servizio deve ricoverarsi in deposito per l'accudienza, la pulizia del fuoco, della camera a fumo, dei tubi bollitori ecc;
- deriva da quanto detto al punto precedente che a parità di treni km da effettuare e di potenza dei mezzi, con la trazione elettrica occorre un minor numero di locomotive; anche con la trazione Diesel il confronto resta favorevole, sia pure in minor misura, alla TE;
- queste possibilità di utilizzazione più spinta permettono alle locomotive elettriche di raggiungere percorrenze mensili dell'ordine dei 25.000 km ed oltre, con punte per certi gruppi, di 1.200 km/giorno, mentre per quelle a vapore si era nell'ordine dei 6.000 km/mese;
- le locomotive elettriche, essendo bidirezionali, possono marciare indifferentemente nei due sensi senza essere girate al termine di ogni corsa, e possono essere dotate delle apparecchiature per il telecomando da una carrozza pilota (treni navetta) e per il comando in multiplo; esse riducono, quindi, l'impegno delle manovre nelle stazioni terminali, consentendo, a parità d'impianti, l'effettuazione di un maggior numero di treni;
- la concentrazione della produzione dell'energia nelle centrali elettriche consente di utilizzare combustibili meno pregiati con conseguenti economie.

A fronte di questi vantaggi occorre però considerare gli elevati costi d'impianto dell'elettificazione, gli oneri di manutenzione che essa comporta e le potenziali possibilità di guasti. A ciò va aggiunta, ovviamente, la dipendenza della locomotiva elettrica dalla linea di contatto.

Queste considerazioni conservano la loro validità anche nei confronti della trazione Diesel, che costituisce oggi l'alternativa a quella elettrica, e che viene adottata laddove non ricorrono esigenze di potenzialità e particolari condizioni di esercizio.

Tra queste, intervengono talvolta a favore dell'elettrificazione quelle dovute alla limitata lunghezza di talune linee comprese tra arterie già elettrificate. Su di esse l'esercizio elettrico richiede in qualche caso spese limitate per l'infrastruttura, non dovendosi costruire nuove sottostazioni, e può essere effettuato con modesti aumenti della dotazione dei mezzi elettrici dei depositi di giurisdizione e contemporanea eliminazione dell'organizzazione afferente alla trazione Diesel, (rifornimento combustibile, personale di manutenzione, pezzi di ricambio, personale di condotta in possesso delle necessarie abilitazioni, ecc.)

Un elemento fondamentale da cui dipende la convenienza di un'elettrificazione è comunque la possibilità, dipendente dall'utilizzazione, e quindi dall'intensità del traffico, di ammortizzare in tempi ragionevoli i costi dell'infrastruttura. Il limite di convenienza si colloca attualmente per linee a semplice binario attorno ai 5-6 milioni di T.K.V.T.C./km anno (circa il 50% in più per linee a doppio binario).

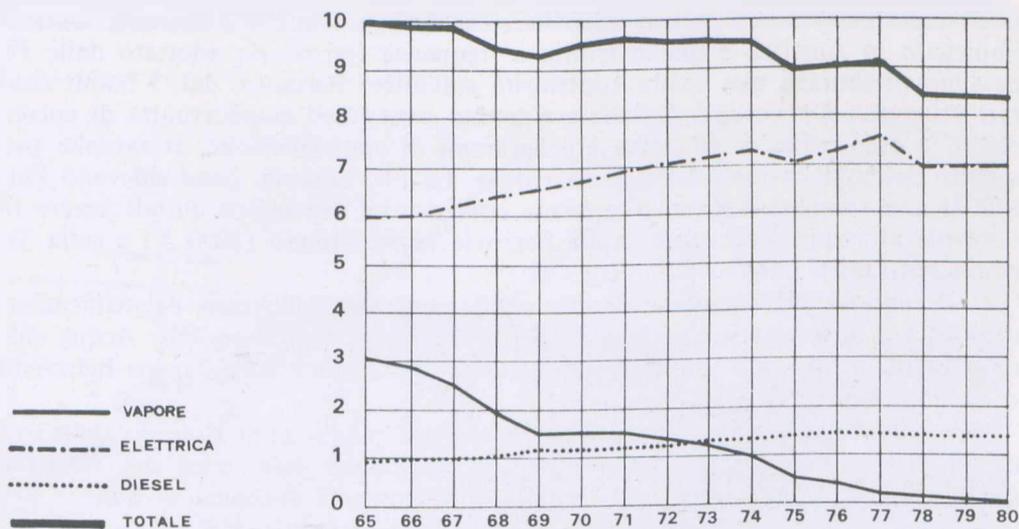


Fig.20 - Consumi di energia primaria nei trasporti ferroviari (miliardi di thermies)

## *Prevalenza iniziale della corrente trifase*

Alle prime elettrificazioni seguirono quelle, sempre in trifase, della Savona-Ceva (1914), della Sampierdarena-Savona (1916), della Torino-Modane (1920) e delle linee ad esse collegate. La tensione alla linea di contatto venne ulteriormente elevata da 3400 a 3600 V. Inoltre, dato che nelle applicazioni industriali la frequenza era stata portata a 50 periodi, anche quella ferroviaria venne elevata a 16,7 periodi.

Una prima fase di elettrificazione della rete italiana può considerarsi conclusa nel 1920, con 913,4 km di binari elettrificati, di cui 767,4 in trifase.

Nel frattempo lo sviluppo di altri sistemi di trazione elettrica negli Stati Uniti, in Svizzera, in Germania ed in Francia fece affiorare qualche dubbio sul fatto che il sistema trifase a bassa frequenza, definito a giusto titolo « sistema italiano », fosse il più adatto alle esigenze dell'esercizio ferroviario.

Nel 1919 la XXIII riunione dell'AEI (Associazione Elettrotecnica Italiana) fu dedicata in gran parte alla trazione.

Emerse in quell'occasione che dei tre sistemi in lizza, e cioè il monofase prescelto in Svizzera per l'elettrificazione delle Ferrovie Federali, quello a corrente continua impiegato in America e quello trifase a frequenza ferroviaria adottato dalle FS, nessuno presentava una sicura superiorità sull'altro. Pertanto, dati i buoni risultati ottenuti col « sistema italiano » e tenuto conto dell'inopportunità di correre rischi, o comunque di ritardare i programmi di elettrificazione, si sarebbe proseguito nell'applicazione del sistema trifase. Le FS, tuttavia, condividevano l'utilità di una sperimentazione in corrente continua ed espressero quindi parere favorevole all'impiego di questa sulle Ferrovie Nord Milano (3000 V) e sulla Torino-Ciriè-Lanzo (4000 V).

Il 25 agosto 1919 venne emanato un decreto che deliberava l'elettrificazione di 6000 km di linee e nel luglio del 1920 il Consiglio Superiore delle Acque chiedeva l'elettrificazione in corrente continua ad alta tensione della Foggia-Benevento e di altre linee del Sud.

Derivava da ciò quello che sarebbe stato per lunghi anni l'assetto della rete elettrificata, e cioè completamento dell'elettrificazione delle linee del Nord col sistema trifase ed adozione sperimentale della corrente continua al Sud.

Frattanto si procedeva alla costruzione di altre locomotive. Nel 1921 era entrato in servizio il gr. E. 551 (fig. 21), simile al gr. E. 550 di cui si è detto dianzi, dal quale differiva per la potenza oraria complessiva (2000 kW), per il peso (75 t) e per lo sforzo orario ai cerchioni (11500 kg a 25 km/h e 13500 kg a 50 km/h).

L'elettrificazione di linee a grande traffico, come la Modane-Genova, rese necessaria la costruzione di locomotive a quattro assi accoppiati, per treni pesanti diretti e direttissimi.

Nel 1922 venne realizzata, pertanto, la E. 431 (fig. 22), con rodiggio 1'D1'.

L'equipaggiamento elettrico era lo stesso delle locomotive gr. E. 330: unica variante, i motori erano sospesi elasticamente al telaio e smontabili dal basso anziché dall'alto.



Fig.21 - Locomotiva Gr. E.551

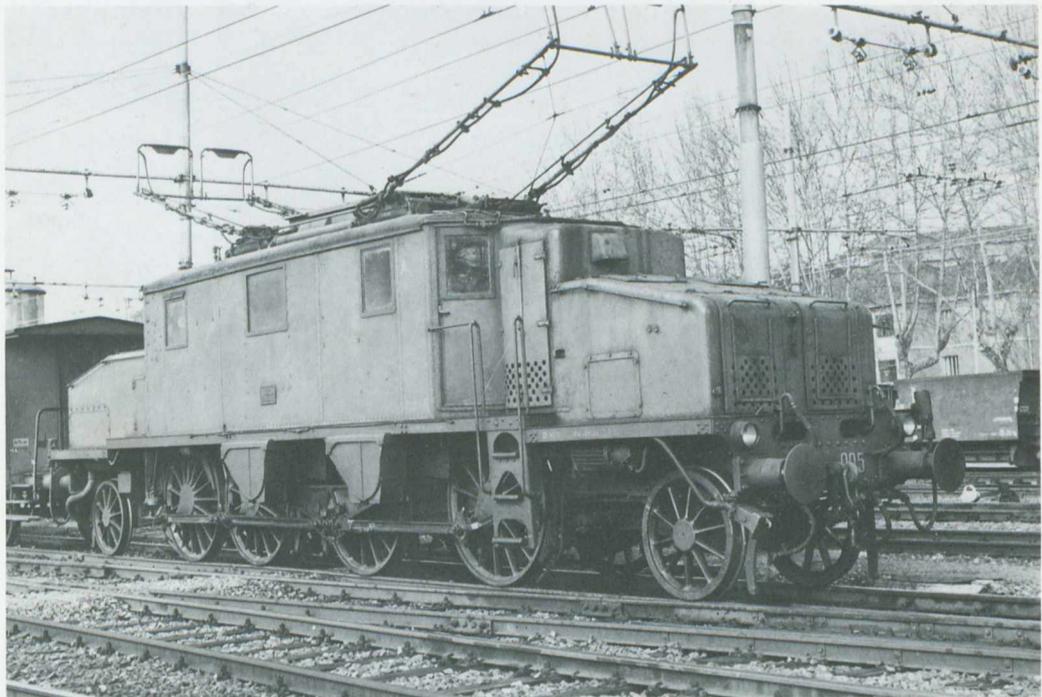


Fig.22 - Locomotiva Gr. E.431

Nello stesso anno entrò in servizio anche il gr. E. 333 (fig. 23). Esso disponeva, all'inizio, di quattro velocità, ma per insufficienza della «coppia motrice» fu abolita quella di 37,5 km/h. Il rodiggio era l'«C1».

A differenza del gr. E. 330, al quale assomigliava per lo schema meccanico, aveva una sola cabina di guida, posta ad un'estremità della locomotiva, mentre tutto il restante spazio della cassa era occupato dalle apparecchiature ad alta tensione e dal reostato a liquido.

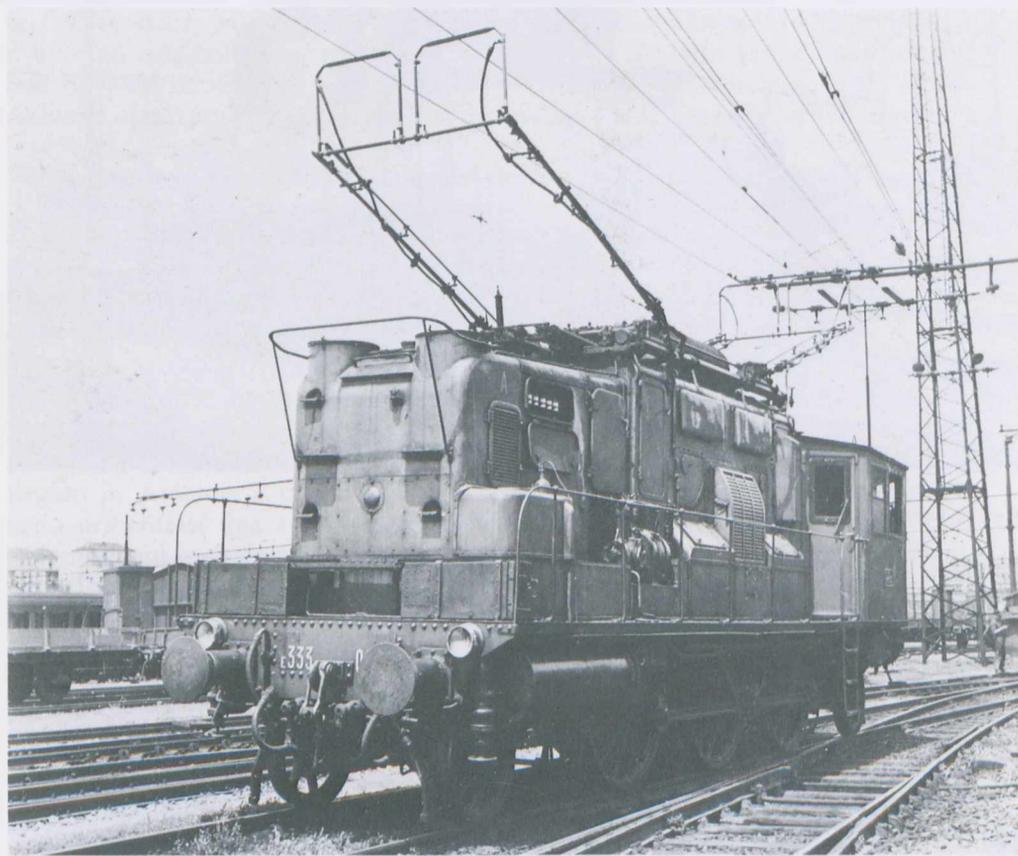


Fig.23 - Locomotiva Gr. E.333

La E. 552, entrata in servizio pure nel 1922, aveva cinque assi accoppiati ed era destinata prevalentemente al servizio merci.

Anche qui le velocità di regime si ottenevano mediante la commutazione dei poli ed il collegamento dei motori in cascata ed in parallelo.

Successivamente furono realizzate le locomotive dei gruppi E. 554 ed E. 432 che, studiate dal Servizio Materiale e Trazione delle FS, furono le prime di progettazione completamente italiana. Infatti, pur definendosi il sistema trifase come «italiano», in realtà dai locomotori delle Valtellinesi a quelli più recenti dei gruppi E. 550, E. 552, E. 330, E. 331, E. 332 ed E. 333 i progetti erano stati fatti, almeno per la parte elettrica, da tecnici ungheresi o svizzeri. Anche i gruppi E. 551 ed E. 431, di cui si è detto dianzi, derivavano direttamente, per la parte elettrica, dagli E. 550 e dagli E. 330.

Le E. 554 (fig. 24) a due velocità erano destinate al traffico di montagna e le E. 432 a quattro velocità erano studiate per treni pesanti e veloci. Entrambi questi tipi di locomotive presentavano, rispetto ai precedenti, rilevanti modifiche, studiate in modo da adottare soluzioni analoghe e realizzare, per quanto possibile, una certa unificazione.

Le E. 554, costruite nel 1928 in numero di 183, avevano lo stesso rodiggio delle E. 550 ed E. 551, a cinque assi accoppiati, sui quali il telaio poggiava attraverso molle a balestra collegate da bilancieri, in modo da ripartire i carichi sulle sale in modo equilibrato.

I motori di trazione erano smontabili dall'alto, per contenere il passo rigido e consentire l'iscrizione della locomotiva in curve di raggio minimo di 100 m. I motori primario e secondario erano uguali tra loro, a differenza di quelli delle E. 550 ed E. 551, erano dotati di cuscinetti registrabili e di ventilazione forzata fornita da un gruppo motoventilatore da  $100 \text{ m}^3/\text{min}$ . Essi trasmettevano il moto agli assi con una biella triangolare che, data la distanza esistente tra motori e ruote non era più rigida, come nelle E. 550 ed E. 551, ma articolata (biella Bianchi). Le ruote dell'asse centrale erano prive di bordino e gli assi estremi potevano spostarsi trasversalmente per favorire l'iscrizione in curva.

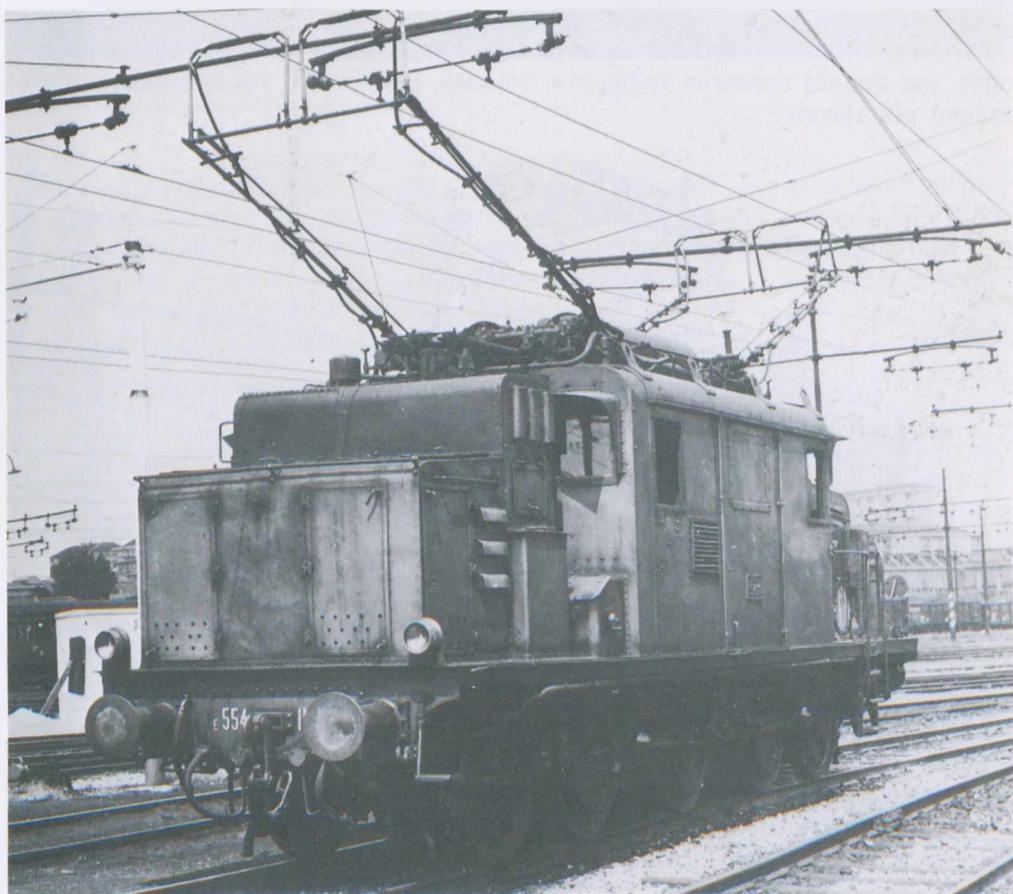


Fig.24 - Locomotiva Gr. E.554

La cassa era costituita da un corpo centrale, contenente i motori, le apparecchiature e le due cabine di guida, e da due avancorpi, in cui erano sistemati il reostato a liquido ed una caldaia a nafta per il riscaldamento del treno.

I servizi ausiliari erano alimentati da due trasformatori da 20 kVA con rapporto di trasformazione 3600/1200 V.

Le E. 554 avevano le seguenti caratteristiche principali:

Rodiggio	E
Lunghezza tra i respingenti	10800 mm
Passo totale	6600 mm
Passo rigido	3700 mm
Diametro ruote motrici	1070 mm
Numero di motori	2
Potenza oraria alla velocità di 50 km/h	2 × 1000 kW
Velocità con motori in cascata o in parallelo	25/50 km/h
Sforzo di trazione corrispondente ai cerchioni	120/140 kN
Massa totale e aderente	76 t

Le E. 432 (fig. 25), costruite dalla Breda in numero di 40 nel 1927, erano analoghe, per quanto concerne rodiggio e velocità, alle E. 431, ma consentivano prestazioni più elevate.

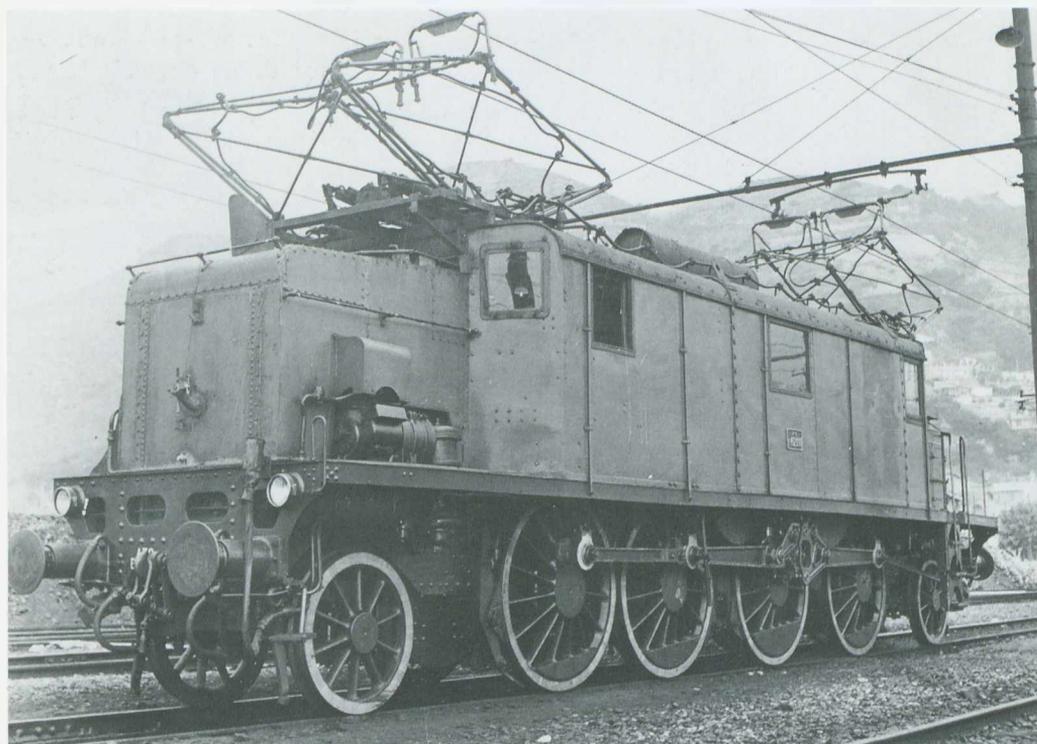


Fig.25 - Locomotiva Gr. E.432



Fig.26 - Locomotive Gr. E.333, E.431 ed E.554

Gli assi portanti formavano con quelli motori adiacenti due « carrelli italiani ». I motori, fissati al telaio, erano dotati di cuscinetti registrabili, comuni alle E. 554, ed erano smontabili dall'alto per gli stessi motivi indicati per queste ultime.

Gli organi di presa della corrente erano a pantografo. Le E. 432 avevano, inoltre, le seguenti caratteristiche principali:

Rodiggio	1' D 1'
Lunghezza tra i respingenti	13910 mm
Passo totale	12810 mm
Diametro ruote motrici	1630 mm
Diametro ruote portanti	1110 mm
Numero di motori	2
Potenza oraria alla velocità di 75 km/h	2 x 1100 kW
Velocità ottenibili mediante commutazione di poli (12, 8 e 6 poli) e collegamento cascata-parallelo (8 poli)	37,5/50/ 75 /100 km/h
Sforzi di trazione continuativi corrispondenti ai cerchioni	80/83/100/140 kN
Massa totale	93 t
Massa aderente	71 t

## *L'esperimento a corrente trifase 10.000 V 45 periodi*

La cosiddetta frequenza ferroviaria (16,7 periodi) presentava l'inconveniente di richiedere appositi impianti per la produzione e la trasmissione dell'energia. Essa consentiva, d'altro canto, di realizzare motori non eccessivamente veloci e di evitare quindi le trasmissioni ad ingranaggi, non ancora sufficientemente affidabili. Inoltre permetteva di contenere le cadute di tensione in linea e quindi di mantenere in limiti ragionevoli le distanze tra le sottostazioni.

Nel 1927, però, i risultati degli studi e degli esperimenti fatti sia all'estero che in Italia avevano dimostrato la possibilità di elevare la tensione in linea a valori molto al di sopra dei 3.000-3.600 V, fino ad allora consentiti. Ciò permetteva di compensare le cadute di tensione derivanti dall'eventuale adozione di una frequenza superiore ai 16,7 periodi.

Nello stesso tempo i progressi raggiunti nelle costruzioni meccaniche avevano consentito la realizzazione di ingranaggi riduttori di velocità sufficientemente affidabili.

Da queste cause derivò la decisione, attuata nel 1927, di sperimentare il sistema di trazione elettrica a frequenza industriale (45 periodi) (1), 10.000 V sulla linea Roma-Sulmona, con forti pendenze e lunga km 172, dei quali 20 in galleria.

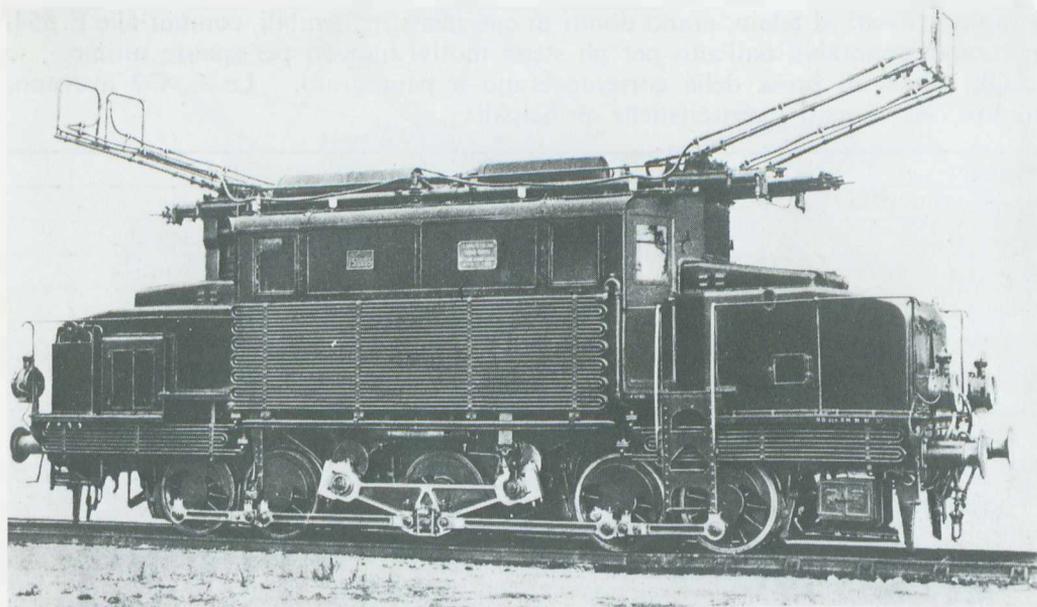


Fig.27 - Locomotiva Gr. E.570 (10000 V 45 periodi)

(1) Solo in epoca relativamente recente nell'Italia centro-meridionale la frequenza industriale è stata portata a 50 periodi analogamente a quanto praticato già da tempo nelle regioni settentrionali.

Le sottostazioni risultarono notevolmente semplificate per il minor peso del macchinario e per l'identità della frequenza a quella delle reti di distribuzione e maggiormente distanziate in ragione del più elevato valore della tensione e quindi delle più limitate cadute.

Per l'esercizio di questa linea furono realizzate le locomotive E. 472 (1925), E. 470 (1927) ed E. 570 (1927), concettualmente analoghe alle unità a bassa frequenza, da cui differivano per la presenza di un trasformatore riduttore e di ingranaggi tra motori e ruote motrici.

Le E. 570 (fig. 27), destinate al servizio merci, erano analoghe alle E. 554 a 16,7 periodi. Costruite in numero di 4 dal TIBB esse erano dotate di 5 assi motori, azionati mediante biella triangolare da due motori di trazione fissati al telaio. Le due velocità di 50 e 25 km/h si ottenevano collegando rispettivamente i motori in parallelo e in cascata. La potenza oraria era di  $2 \times 850$  kW ed il peso era di 73 t.

Le E. 470 (fig. 28) e le E. 472 erano destinate al servizio viaggiatori. Le prime erano state costruite in numero di 4 dal TIBB e le altre in numero di 10 dalla Breda. Entrambi questi gruppi avevano rodiggio 1-D-1 con ciascun asse portante collegato a quello motore contiguo per formare un carrello Zara. I motori di trazione erano collegati al telaio ed azionavano mediante ingranaggi ed alberi ausiliari una biella triangolare.

La regolazione della velocità avveniva mediante commutazione cascata-parallelo e variazione del numero dei poli. Si avevano per le E. 470 37,5 - 50 - 75 e 100 km/h e per le E. 472 37,5 - 50 - e 75 km/h. La potenza oraria era di  $2 \times 1000$  kW. Fu sperimentata anche una locomotiva di concezione diversa dalle altre, destinata al servizio viaggiatori e merci, la E. 471, dotata di trasformatore a spostamento di fase sistema Kando, che rimase, però, allo stato di prototipo.

I risultati dell'esercizio a 10 kV furono discreti, anche se non eccellenti, ed il sistema rimase in esercizio fino alla seconda guerra mondiale, che ne distrusse gli impianti.

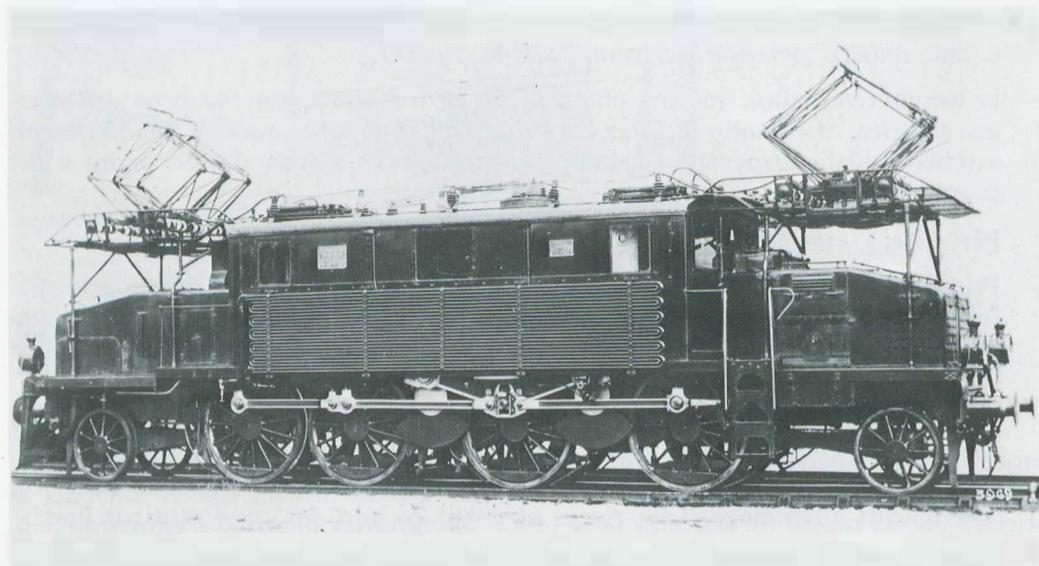


Fig.28 - Locomotiva Gr. E.470 (10000 V 45 periodi)

## Corrente trifase o continua

### Orientamenti definitivi

Il 1928 fu un anno decisivo per la storia dell'elettrificazione italiana. Fu infatti in quell'anno che, nella discussione fra corrente trifase e corrente continua, intervenne un elemento nuovo che decise a favore della seconda.

Mentre per la corrente trifase le realizzazioni datavano già da alcuni decenni, i primi esperimenti a corrente continua ad elevate tensioni furono effettuati solo negli anni 1915-20. Infatti, una delle prime realizzazioni di un certo rilievo era stata l'elettrificazione a 3000 V cc di 440 miglia della ferrovia delle Montagne Rocciose (Chicago-Milwaukee). In Italia, nel 1920, era stata elettrificata a 4000 V cc la Torino-Lanzo-Ceres, concessa all'industria privata.

Si era quindi riusciti ad inviare in linea tanto la corrente trifase che quella continua ad alto potenziale; tuttavia, anteriormente al 1928, la situazione si presentava ancora incerta per il difficile bilancio tra vantaggi e svantaggi propri di ciascun sistema.

Militavano a favore del trifase diversi elementi:

- le sottostazioni elettriche erano molto semplici, in quanto necessitavano di soli trasformatori statici, collocati spesso all'aperto;
- il rendimento del complesso centrale di produzione-linea di contatto era elevato;
- le locomotive avevano una buona potenza massica (potevano sviluppare 2.000 kW con un peso di sole 75 tonn.);
- la velocità dei treni era pressoché costante e risultava, entro certi limiti, indipendente dal peso dei convogli, dipendendo dalla frequenza della tensione e dal numero dei poli dei motori di trazione;
- le locomotive trifasi, inoltre, effettuavano la frenatura con recupero dell'energia elettrica, sfruttando la forza viva dei treni in discesa, energia che altrimenti sarebbe andata dispersa in calore con dispendiosi logorii dei cerchioni e dei ceppi dei freni.

Per contro, rilevanti erano gli inconvenienti propri del sistema trifase.

- Primo era quello della grande difficoltà di ottenere con motori asincroni trifasi molteplici velocità di regime e potenze costanti, in modo da poter ricavare caratteristiche di avviamento e di marcia non molto dissimili da quelle fornite da una locomotiva a vapore;
- vi era poi la necessità di usare una frequenza inferiore a quella industriale per avere motori non troppo veloci, ricorrendo ad un numero limitato di poli, e di contenere in limiti accettabili le cadute di tensione e le perdite induttive conseguenti all'impiego delle rotaie al posto di uno dei conduttori di linea;
- quasi insolubile si presentava, infine, il problema della captazione dell'energia da una linea di contatto con due fili a velocità superiore a 100 km/h, data la complessità della stessa, soprattutto in corrispondenza di incroci e scambi.

La corrente continua, invece, presentava a suo vantaggio:

- facilità di costruzione delle linee di contatto, dotate di un solo conduttore aereo;
- grande elasticità di marcia delle locomotive ed adattabilità a qualsiasi tracciato, dovute alla possibilità del motore a corrente continua di adottare tutte le velocità comprese tra zero e quella massima.

Gli svantaggi erano:

- complessità delle sottostazioni che devono servire oltre che all'abbassamento della tensione anche alla conversione della stessa da alternata a continua;
- difficoltà di costruzione, specialmente per l'isolamento, dei motori a corrente continua ad alta tensione;
- impossibilità di recuperare l'energia nelle discese, in quanto le macchine di conversione non erano reversibili.



Fig.29 - Convoglio trainato da una E.554

I progressi tecnici non riuscirono mai ad eliminare gli svantaggi della trazione a corrente trifase mentre invece, intorno al 1928, le difficoltà e gli inconvenienti della trazione a corrente continua potevano dirsi superati. In primo luogo, proprio in quell'anno, la conversione della corrente trifase in continua divenne più facile e conveniente, grazie alla pratica applicazione dei raddrizzatori a vapori di mercurio, anche per le forti potenze, positivamente sperimentati dalle FS sulla linea

Benevento-Foggia. Nella sottostazione di Apice, infatti, fu messo in esercizio il primo raddrizzatore a vapori di mercurio per elevate potenze e tensioni, che fornì ottimi risultati.

I successivi perfezionamenti di questi raddrizzatori giunsero a consentire, teoricamente, anche ai locomotori a corrente continua il recupero dell'energia nelle discese.

Anche le difficoltà di costruzione dei motori a corrente continua per elevate tensioni, derivanti dalla presenza del collettore, furono risolte sia con l'adozione degli avvolgimenti compensatori che ponendo almeno due motori in serie, in modo che la tensione effettiva ai capi di ciascuno di essi non superasse i 1500 V (3000/2 V).



Fig.30 - Convoglio trainato da una E.625 (3000 Vcc)

I risultati furono talmente favorevoli da determinare l'adozione della corrente continua nelle nuove elettrificazioni in tutta la zona a sud della trasversale Pisa-Firenze-Faenza, mentre la trifase resisteva nell'Alta Italia dove le linee erano già quasi tutte elettrificate con quel sistema. Si può affermare che la vera elettrificazione della rete italiana cominciò allora.

La decisione di procedere ad un vasto programma di elettrificazione a 3000 V cc fu accompagnata da quella di realizzare un parco di rotabili atto a far fronte a tutte le esigenze della rete. Stabilito il peso massimo per asse in 20.000 kg furono progettate le seguenti locomotive elettriche:

- E. 626 per treni viaggiatori e merci su linee di montagna;
- E. 326 per treni rapidi e leggeri su linee di pianura;
- E. 428 per treni viaggiatori pesanti e rapidi su linee di pianura a forte traffico.

## *L'unificazione dei sistemi e le successive vicende dell'elettrificazione*

L'estendersi dell'elettrificazione a 3000 V cc al disotto della trasversale Pisa-Firenze-Faenza ed a corrente trifase 3600 V al disopra mostrò i limiti inaccettabili di questa rigida separazione tra i due sistemi. Si convenne quindi di elettrificare anche le principali linee di collegamento in continua.

Nella seconda metà degli anni trenta l'esigenza di uniformare i sistemi di elettrificazione si fece più pressante avendo l'esperienza dell'esercizio mostrato le difficoltà di utilizzare appieno le due diverse dotazioni di rotabili, di esercire le stazioni di confine tra le due reti, che vedevano sensibilmente ridotta la propria potenzialità per le manovre di cambio trazione, e di dover gestire officine, magazzini ed impianti specializzati per ciascuno dei due sistemi.

Nel 1939 fu deciso quindi di trasformare tutte le linee a 3000 V cc iniziando da quelle a terza rotaia, ma l'avvento della seconda guerra mondiale arrestò questi programmi.

Furono distrutti o danneggiati 5.000 km di linee elettrificate (89%), 10.800 km di linee aeree di contatto (90%) e 4.400 km di elettrodotti. Vennero, inoltre, danneggiate 313 locomotive a corrente alternata e 523 a corrente continua. Di esse 86 a corrente alternata e 18 a corrente continua furono successivamente demolite per l'entità dei danni subiti.

Dopo il 1945 la preoccupazione immediata fu quella di ricostruire per far circolare comunque i treni. In questa fase però si tenne sempre presente la direttiva dell'unificazione, per cui linee prima esercitate in corrente trifase furono ricostruite in continua. Rientrarono tra queste la Viareggio-La Spezia-Genova, la Monza-Lecco, la Fornovo-Vezzano, la Sarzana-S.Stefano di Magra, la Porto Ceresio-Milano P.N., e la Mandela-Avezzano-Sulmona.

In cinque anni fu realizzato quello che i tecnici di tutto il mondo avevano previsto non si potesse fare in meno di dodici. Terminato il primo, grande lavoro necessario al ripristino della circolazione, si provvide a completare le opere eseguite sotto l'imperio della fretta ed a proseguire la trasformazione del sistema di elettrificazione da corrente trifase a continua (ad esempio la Verona-Bolzano-Merano). Le linee a corrente continua con terza rotaia scomparvero definitivamente.

Infine si continuò, compatibilmente con le disponibilità finanziarie, ad elettrificare col sistema unificato a 3.000 V cc le linee già decise prima della guerra e per le quali i lavori erano stati sospesi, appunto, a causa degli eventi bellici: Messina-Palermo, Bologna-Padova-Venezia, Milano-Padova-Venezia, Messina-Catania, Bari-Foggia-Pescara.

Nel 1958, in seguito all'impostazione di una prima serie di programmi di potenziamento ed ammodernamento della rete, le nuove elettrificazioni e le trasformazioni da corrente alternata in continua ebbero un deciso impulso.

Furono infatti elettrificate la Catania-Siracusa, la Pescara-Ancona, la Mestre-Cervignano, la Bergamo-USmate, la Gallarate-Laveno-Luino-Pino-Confini Italo-Svizzero, la Voghera-Piacenza, con diramazione Bressana-Broni, la Pescara-Sulmona, la Foligno-Terontola, la Alessandria-Novara-Oleggio-Arona, con di-

ramazione Lucca-Pisa, la Castelbolognese-Ravenna, la Mestre-Udine, la Torino-Novara-Rho (Milano).

Vennero inoltre trasformate in cc le linee Modane-Torino-Alessandria, Bussoleno-Susa, Trofarello-Carmagnola, Bivio Sangone-Torre Pellice, Alessandria-Voghera-Genova, Novi-Tortona, Genova-Savona e Ronco-Busalla.

**PROSPETTO STORICO DELL'ELETTRIFICAZIONE  
IN C.A. TRIFASE 16,7 Hz**

Linea	km di linea	Doppio binario	Attivazione	Disattivazione
Lecco - Sondrio	79,3	—	1902	1952
Colico - Chiavenna	26,3	—	1902	1952
Genova P. - Ronco	61,1	61,1	1911/15	1961
Torino - Modane	104,4	79,3	1912/20	1961
Savona - Ceva	45,6	—	1914	1973
Lecco - Monza	37,3	6,9	1914	1950
Sampierdarena - Savona	39,9	29,9	1916	1965
Torino B. Sangone - Torre P.	54	—	1917/21	1961
Bussoleno - Susa	8	—	1919	1961
Bricherasio - Barge	11,7	—	1921	1961
Trofarello - Chieri	8,6	—	1921	1961
Torino Dora - Torino P.N. - Ronco	150,4	146,7	1921/22	1961
Ronco - Arquata - Tortona	36,3	36,3	1923	1961
Alessandria - Tortona - Voghera	38,1	38,1	1924	1961
Novi - Tortona	20,4	20,4	1924	1961
Scali marittimi porto di Genova	22,3	—	1924/26	1961
Genova P. - Viareggio	193,5	153,5	1925/26	1961
Bologna - Pistoia - Firenze	131,8	38,8	1927	1934
Sampierdarena - Ovada - Alessandria	73,7	9,4	1928	1961
Bolzano - Brennero	89,3	89,3	1928	1965
Trento - Bolzano	56	56	—	1952
Savona - Ventimiglia	108	18	1936	1968
Fossano - Cuneo (Ventimiglia)	122	—	1931/35	1973
Trofarello - Ceva (Via Bra)	86	15	1935	1961/73
Carmagnola - Ceva (Via Fossano)	73	73	1935	1973
Bivio Madonna Olmo - Borgo S. D.	12	—	1937	1960
Alessandria - S. Giuseppe di C.	82	7	1937	1976
Asti - Acqui - Ovada	60	—	1937	1974/76
Ceva - Ormea	35	—	1938	1973
S. Giuseppe - Altare - Savona	21	—	1954	1973
Totale	1887	878,7		

(Da « Il ciclo della trazione trifase in Italia si è concluso » di U. Cantutti, *Ingegneria Ferroviaria*, N. 7-8, 1976).

La trasformazione fu proseguita nel quadro del Piano Decennale di riclassamento, ammodernamento e potenziamento della Rete (1962-1972), sulle linee Bolzano-Brennero, Genova-Ovada-Alessandria, Savona-Ventimiglia, Savona-Carmagnola, Fossano-Cuneo-Limone e Carmagnola-Ceva e fu conclusa il 25 maggio

1976 con la cessazione dell'esercizio trifase e la contemporanea attivazione di quello in corrente continua sulla Alessandria-S. Giuseppe di Cairo.

Successivamente l'elettrificazione si è ulteriormente estesa interessando, tra l'altro, la Ciampino-Cassino-Caserta, che ha permesso di realizzare una seconda linea ad elevata potenzialità tra Roma e Napoli, la Treviso-Vicenza, che ha consentito di realizzare un collegamento diretto senza cambio di trazione tra la Mestre-Udine-Treviso e la Milano-Venezia, alcune linee afferenti al nodo di Cremona, interessate da importanti traffici pendolari e dall'itinerario alternativo medio-padano, la Rimini-Ferrara e la Bari-Taranto.

Contemporaneamente anche il parco delle locomotive si è arricchito di nuovi gruppi, di cui si dirà in dettaglio successivamente, che hanno avuto una costante evoluzione sia in termini di prestazioni che di affidabilità. La potenza per asse, che sulle E. 626 era di 315 kW, si è raddoppiata nelle E. 645-646 passando a 630 kW ed è giunta nelle E. 444 al valore, ragguardevole per una locomotiva a corrente continua, di 1100 kW.

Meritano un cenno gli studi e le prove realizzati negli anni settanta per la costruzione di una locomotiva di concezione tradizionale da 6000 kW, dotata di due carrelli a tre assi ed atta a circolare ad una velocità massima di 200 km/h, che avrebbe dovuto costituire il gruppo E. 666. Per la sua messa a punto furono costruiti due carrelli motori che, sistemati sotto una cassa provvisoria, venivano azionati attraverso l'equipaggiamento elettrico di una E. 444 che viaggiava accoppiata a questo «simulacro» (fig. 31). Il progetto venne abbandonato con l'avvento, anche sulle locomotive FS, dell'elettronica di potenza.



Fig.31 - Simulacro della locomotiva Gr. E.666

## Il parco attuale e le prospettive future

Al 31.12.1980 l'estensione complessiva delle linee elettrificate era di 8743 km (fig. 32), pari al 54% dell'intera rete (16067 km) e su di esse si svolgeva un traffico di 221,8 milioni di treni km, pari al 74% del totale. Di questo 186,4 milioni di treni km, pari all'84% circa (fig. 33), veniva assicurato con locomotive, ed il resto con elettrotreni ed elettromotrici.

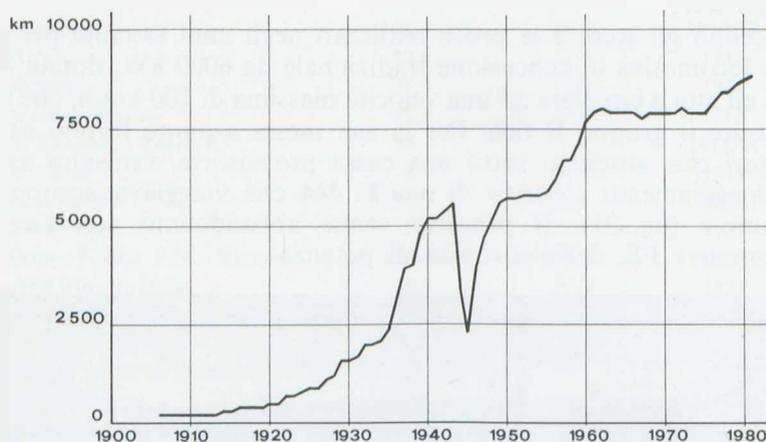


Fig.32 - Sviluppo della rete elettrificata

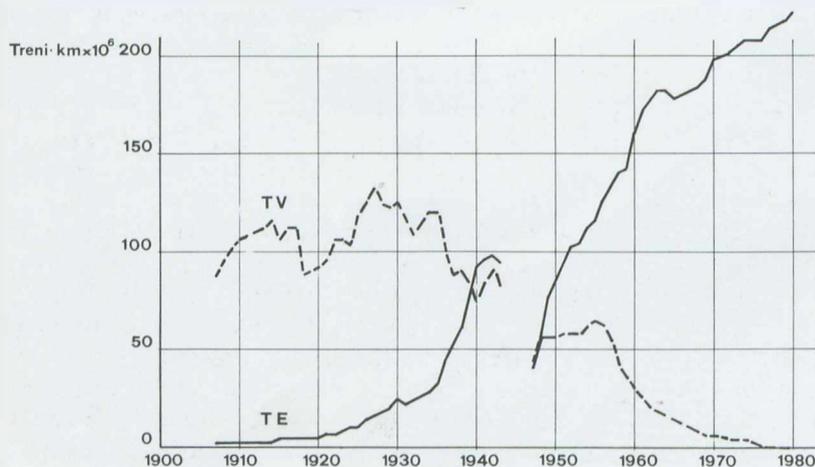


Fig.33 - Percorrenze treni a vapore ed elettrici

Il parco TE comprendeva alla stessa data 1975 locomotive, di cui alla tabella di pag. 47 ed alla fig. 34, 24 elettrotreni e 594 elettromotrici.

Dal diagramma di fig. 34 si rileva una certa flessione del parco dopo il 1964, parzialmente recuperata in seguito, dovuta alla demolizione delle locomotive trifasi. D'altronde la potenzialità del parco deve essere valutata non solo attraverso il numero complessivo delle locomotive ma anche in relazione alle prestazioni delle stesse che, specialmente nel confronto tra le unità più recenti e quelle ormai obsolete, risalenti agli albori dell'elettificazione, sono molto diverse.

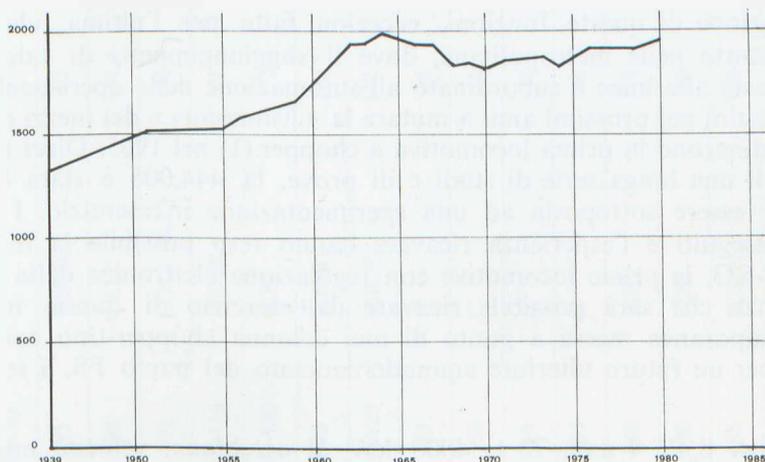


Fig.34 - Evoluzione del parco delle locomotive elettriche

Circa un terzo delle locomotive elettriche FS ha un'età superiore a 40 anni e quindi, essendo la « vita media » di una locomotiva pari a poco più di 40 anni, dovrà essere progressivamente sostituito. A ciò va aggiunto un maggior fabbisogno di mezzi di trazione elettrici derivante da un lento ma costante aumento del traffico, e della progressiva estensione dell'elettificazione.

Le unità obsolete, pur offrendo sempre un'ampia affidabilità, grazie all'effettuazione periodica delle riparazioni cicliche, dette anche « grandi riparazioni », vengono sostituite per avere delle prestazioni più elevate, e quindi più consone alle moderne esigenze dell'esercizio ferroviario.

La longevità del materiale ferroviario, e delle locomotive in particolare, pone rilevanti problemi nella progettazione di nuovi mezzi, dovendosi conciliare l'adozione di soluzioni costruttive moderne con una sicura affidabilità delle stesse. In altri termini una locomotiva di concezione tradizionale, dotata di componenti largamente sperimentati, non offre « rischi » particolari. Al contrario, un mezzo dotato di soluzioni fortemente innovative potrebbe comportare delle « sorprese », cui l'elevata longevità e la conseguente lentezza del ricambio impedirebbero di porre rapidamente rimedio. Ciò spiega una certa prudenza, comune del resto anche a Reti estere, nel mutare talune impostazioni di progetto e di costruzione.

In questi ultimi anni si è andato progressivamente affermando l'impiego del-

l'elettronica di potenza sui mezzi di trazione. Esso consente, tra l'altro, l'automazione di talune funzioni di condotta, tra cui in particolare:

- la regolazione della corrente di trazione e quindi dell'accelerazione;
- la regolazione della velocità;
- il controllo del pattinamento;
- il controllo della marcia dei treni con consumo minimo di energia.
- l'arresto automatico di precisione;

L'automazione di queste funzioni, eccezion fatta per l'ultima, che ha interesse soprattutto nelle metropolitane, dove il raggiungimento di talune potenzialità richieste alle linee è subordinato all'automazione delle operazioni di frenatura, contribuirà nei prossimi anni a mutare la « fisionomia » dei mezzi di trazione.

Le FS ordinarono la prima locomotiva a chopper (1) nel 1965. Dieci anni dopo, al termine di una lunga serie di studi e di prove, la 444.005 è stata consegnata alle FS per essere sottoposta ad una sperimentazione in esercizio. I favorevoli risultati conseguiti e l'esperienza ricavata hanno reso possibile la realizzazione delle E. 632-633, le prime locomotive con regolazione elettronica della potenza.

L'esperienza che sarà possibile ricavare dall'esercizio di queste macchine e dalla contemporanea messa a punto di una colonna chopper-tipo consentirà di realizzare, per un futuro ulteriore ammodernamento del parco FS, i seguenti tipi di rotabili:

- locomotiva B<sub>0</sub>B<sub>0</sub> 4 assi, 72 t, 4000 kW al cerchione, velocità max 120-160 km/h, per treni viaggiatori reversibili e traino in doppia trazione di treni merci pesanti su linee di valico;
- locomotiva B<sub>0</sub>B<sub>0</sub>B<sub>0</sub> 6 assi, 120 t, 6000 kW al cerchione, velocità max 120-160 km/h, per treni viaggiatori pesanti e merci, dotati degli stessi carrelli di quella di cui sopra;
- locomotiva B<sub>1</sub>B<sub>1</sub> 4 assi, 80 t, 6000 kW al cerchione, velocità max 220 km/h, per treni comprendenti tratte ad alta velocità, come la Roma-Firenze.

Per quest'ultima è allo studio la possibilità di adottare la conversione a bordo da corrente continua a corrente alternata trifase mediante inverter e la regolazione tensione/frequenza. Ciò consentirebbe di ottenere quei vantaggi derivanti dall'introduzione del motore asincrono trifase come motore di trazione, al posto di quello a corrente continua, che costituiscono l'obiettivo degli esperimenti in atto ormai da quasi un decennio su alcune reti europee. Tali vantaggi, riconducibili in larga misura all'eliminazione del collettore, si possono sintetizzare in maggiore robustezza dei motori, minori esigenze di manutenzione, possibilità di più elevate velocità di rotazione e quindi, a parità di peso, maggiore potenza.

Merita un cenno, infine, il progetto di elettrificazione a 25 kV 50 Hz delle linee principali della Sardegna (legge n. 17 del 12.2.81). Le locomotive saranno con rodiggio B<sub>0</sub>B<sub>0</sub> e potenza dell'ordine dei 3500 kW.

---

(1) Il chopper è un alimentatore con regolazione elettronica che sostituisce la tradizionale apparecchiatura elettromeccanica di una locomotiva.

**DATI ESSENZIALI DELLE LOCOMOTIVE ELETTRICHE FS**  
(situazione al 31-12-1982)

Gruppo	Anni di costruz.	Numero di unità	Potenza cont. (kW)	Potenza oraria (kW)	Velocità max. (km/h)	Rodiggio	Massa totale (t)	Massa aderente (t)	Lunghezza tot. (mm)
E. 626	1927-39	385	1.890	2.100	95	B <sub>3</sub> 'B <sub>0</sub> 'B <sub>0</sub> '	93	93	14.950
E. 326	1930-33	1 (1)	1.890	2.100	90	2'C <sub>0</sub> 2'	114,4	60,6	16.300
E. 428	1934-43	233	2.520	2.800	100	(2'B <sub>0</sub> ) (B <sub>0</sub> 2')	136	78	19.000
E. 636	1940-62	460	1.890	2.100	110-120	B <sub>3</sub> 'B <sub>0</sub> 'B <sub>0</sub> '	101	101	18.250
E. 424	1943-52	158	1.500-1.260	1.660-1.400	100-120	B <sub>3</sub> 'B <sub>0</sub> '	72,4	72,4	15.500
E. 646	1958-67	198	3.780	4.320	140	B <sub>3</sub> 'B <sub>0</sub> 'B <sub>0</sub> '	110	110	18.290
E. 645	1959-65	97	3.780	4.320	110-120	B <sub>3</sub> 'B <sub>0</sub> 'B <sub>0</sub> '	112	112	18.290
E. 321	1960-64	40	190		50	C	36	36	9.280
E. 322	1961-64	20	190		50	C	36	36	9.280
E. 323	1966-71	30	190		65	C	46	46	9.240
E. 324	1966-71	10	190		65	C	45	45	9.240
E. 444	1967-68	4	3.240	3.660	180	B <sub>3</sub> 'B <sub>0</sub> '	78	78	16.840
E. 444	1970-75	113	4.020	4.440	200	B <sub>3</sub> 'B <sub>0</sub> '	80	80	16.840
E. 656	1975-i.c.	248	4.200	4.800	150	B <sub>3</sub> 'B <sub>0</sub> 'B <sub>0</sub> '	120	120	18.290
E. 632	1980-i.c.	4	4.330	4.900	160	B'B'B'	102	102	17.800
E. 633	1979-i.c.	21	4.330	4.900	130	B'B'B'	102	102	17.800

(1) Le E. 326 sono state definitivamente radiate dal servizio il 31-12-1982.

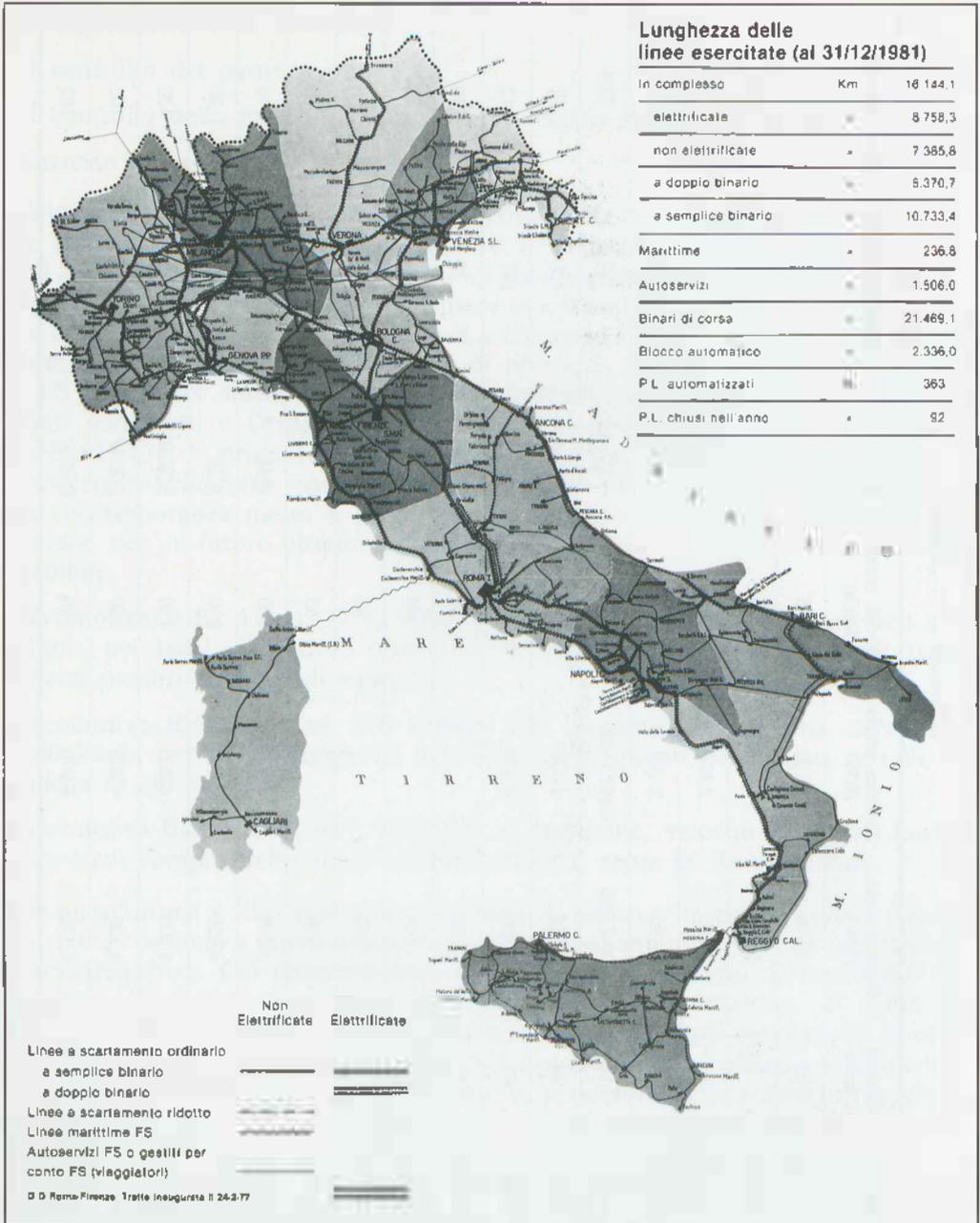


Fig.35 - La rete delle FS al 31.12.1981

## Cenni sulla struttura della locomotiva elettrica

In una locomotiva si distinguono una parte elettrica, comprendente l'insieme dei circuiti elettrici ad alta ed a bassa tensione con i rispettivi componenti, i motori di trazione ed i servizi ausiliari, ed una parte meccanica, comprendente, a sua volta, cassa, carrelli, meccanismi per la trasmissione del moto. ecc.

La locomotiva elettrica preleva l'energia necessaria al suo funzionamento dalla linea di contatto, attraverso il pantografo (fig. 36), azionato da un dispositivo ad aria compressa. Quest'organo, apparentemente modesto, richiede un'accurata progettazione, soprattutto nelle unità più moderne, dove è chiamato a derivare in modo affidabile potenze e quindi correnti sempre maggiori, a velocità sempre più elevate.

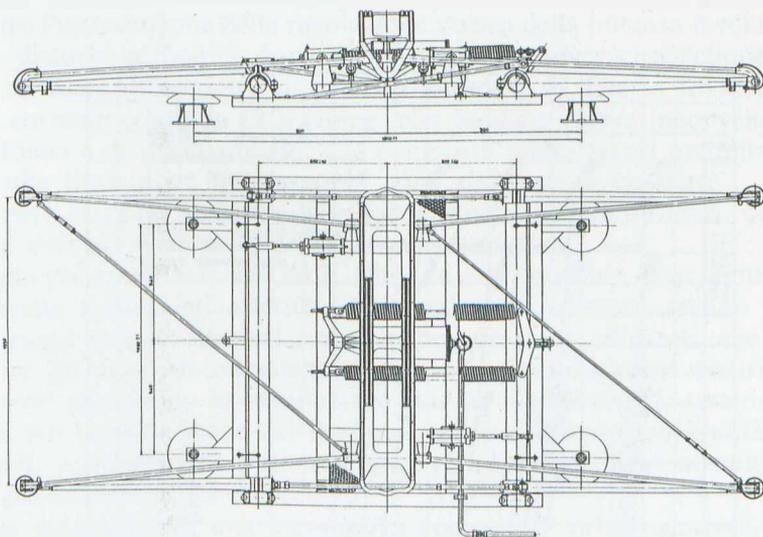


Fig.36 - Pantografo tipo 52 FS

A valle del pantografo si trova un interruttore extrarapido, caratterizzato da elevate rapidità e capacità di rottura, che protegge la locomotiva da sovracorrenti. La sua apertura può avvenire automaticamente, quando la corrente che lo attraversa supera il suo valore di taratura, ma può essere anche comandata direttamente dal banco di manovra o indirettamente da relè di massima esterni all'interruttore e posti a protezione di particolari circuiti o apparecchi.

Valori di taratura dell'interruttore extrarapido

Gruppo loc.	626	326	428	636	424	645	646	444	656	632	633
I max (A)	1500	1500	1500	1500	1500	2000	2000	2400	2950	3300	3300

La regolazione della velocità (fig. 37) si effettua sulle locomotive tradizionali, che costituiranno ancora per molti anni la maggioranza del parco FS, variando la tensione di alimentazione ed il flusso d'induzione dei motori.

La prima si gradua disponendo in serie ai motori stessi una resistenza variabile di elevato valore (regolazione reostatica) che determina una caduta di tensione, e ricorrendo a varie combinazioni dei motori.

All'avviamento essi vengono disposti in serie e la corrente, e quindi la coppia motrice, possono essere mantenuti prossimi ai valori massimi consentiti dall'aderenza riducendo la resistenza del reostato al crescere della velocità, fino alla sua completa esclusione. A questo punto la combinazione viene cambiata passando da un'unica serie di  $n$  motori a due di  $n/2$ , disposte in parallelo tra loro (serie-parallelo) e facendo ancora uso del reostato fino alla sua esclusione. Il procedimento può essere ripetuto fino a ridurre il numero dei motori in serie per ciascun ramo a due, onde avere ai capi di ciascuno di essi una tensione massima di 1500 V. L'esclusione del reostato durante l'avviamento avviene mediante contattori elettropneumatici comandati dal banco di manovra, dal quale si effettua anche la combinazione dei motori attraverso un servomotore (combinatore).

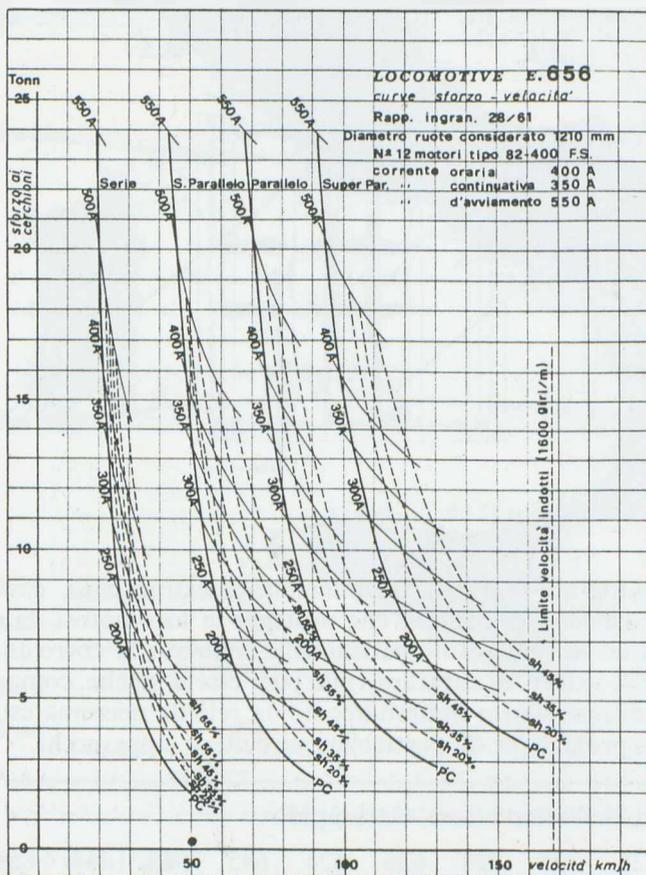


Fig.37 - Curve sforzo di trazione - velocità di una locomotiva Gr. E.656

La variazione del flusso d'induzione si effettua escludendo alcune spire degli avvolgimenti di campo o disponendo in parallelo agli stessi delle induttanze.

I motori di trazione, che sono collegati attraverso la trasmissione agli assi della locomotiva, possono essere utilizzati, quando vengono trascinati da questi e possono quindi funzionare da generatori, per la frenatura. L'energia viene dissipata in tal caso in calore attraverso le resistenze del reostato (frenatura reostatica).

Negli ultimi anni l'evoluzione dei diodi di potenza controllati (tiristori) ha permesso di introdurre nella trazione ferroviaria l'elettronica di potenza e con essa la regolazione interamente economica, cioè senza dissipazione d'energia attraverso il reostato.

Viene usato a tale scopo un circuito, denominato «chopper», che consente di derivare energia dalla linea sotto forma di impulsi di tensione di ampiezza e durata variabile. Ciò permette di variare in modo continuo velocità e sforzo di trazione da zero ai valori massimi, prescindendo da un numero finito di velocità economiche, proprio delle macchine tradizionali, e di utilizzare al massimo l'aderenza, grazie all'eliminazione delle discontinuità nello sforzo di trazione che si hanno durante le varie fasi di esclusione del reostato.

Per contro l'introduzione della regolazione statica della potenza mediante chopper determina disturbi armonici dovuti alla contemporanea circolazione nei binari e nella linea aerea di contatto di correnti alternate di diversa frequenza, sovrapposte alla corrente continua di trazione, che possono recare inconvenienti agli impianti telefonici e di segnalamento. Ciò comporta taluni lavori preliminari di adattamento sulle linee dove queste unità sono destinate a circolare.

Completano la parte elettrica della locomotiva i servizi ausiliari, comprendenti dinamo o alternatori, ventilatori e compressori.

Sui gruppi più recenti (E. 444 ed E. 656), dove gli ausiliari sono alimentati in corrente alternata trifase, gli alternatori, inizialmente adottati, stanno lasciando il posto ai gruppi statici, divenuti ormai sufficientemente affidabili, che consentono di eliminare gli oneri di manutenzione propri delle macchine elettriche rotanti.

I ventilatori assicurano la ventilazione forzata dei motori di trazione ed, in alcuni mezzi più recenti, anche del reostato, con conseguente possibilità di lavorare con correnti, e quindi con potenze, maggiori. I compressori alimentano, infine, i circuiti pneumatici e del freno.

La parte meccanica di una locomotiva comprende principalmente, come detto dianzi, cassa, carrelli e meccanismi per la trasmissione del moto.

La cassa è costituita da un telaio e da robuste lamiere d'acciaio collegati tra loro nelle unità meno recenti con chiodature ed in quelle più moderne con saldature; essa può essere rigida o articolata. Quest'ultima soluzione è stata adottata per lungo tempo dalle FS. Essa consente una ripartizione dei carichi su tre carrelli staticamente determinata ed un'agevole iscrizione in curva, ma preclude velocità superiori ai 150 km/h e comporta ovvie complicazioni costruttive, soprattutto di carattere meccanico.

Sulle locomotive meno recenti, che risentirono nella progettazione di tecniche proprie della trazione a vapore, i motori e gli assi, portanti e motori, sono ubicati su un telaio realizzato con lamiere di elevato spessore ed elementi fusi collegati tra loro con chiodature.

Gli assi portanti sono scomparsi, prima sulle E. 626 e poi sulle E. 636 e successive, essendosi preferito, secondo una tendenza largamente adottata anche all'estero, utilizzare l'intero peso della locomotiva ai fini dell'aderenza. Gli assi,

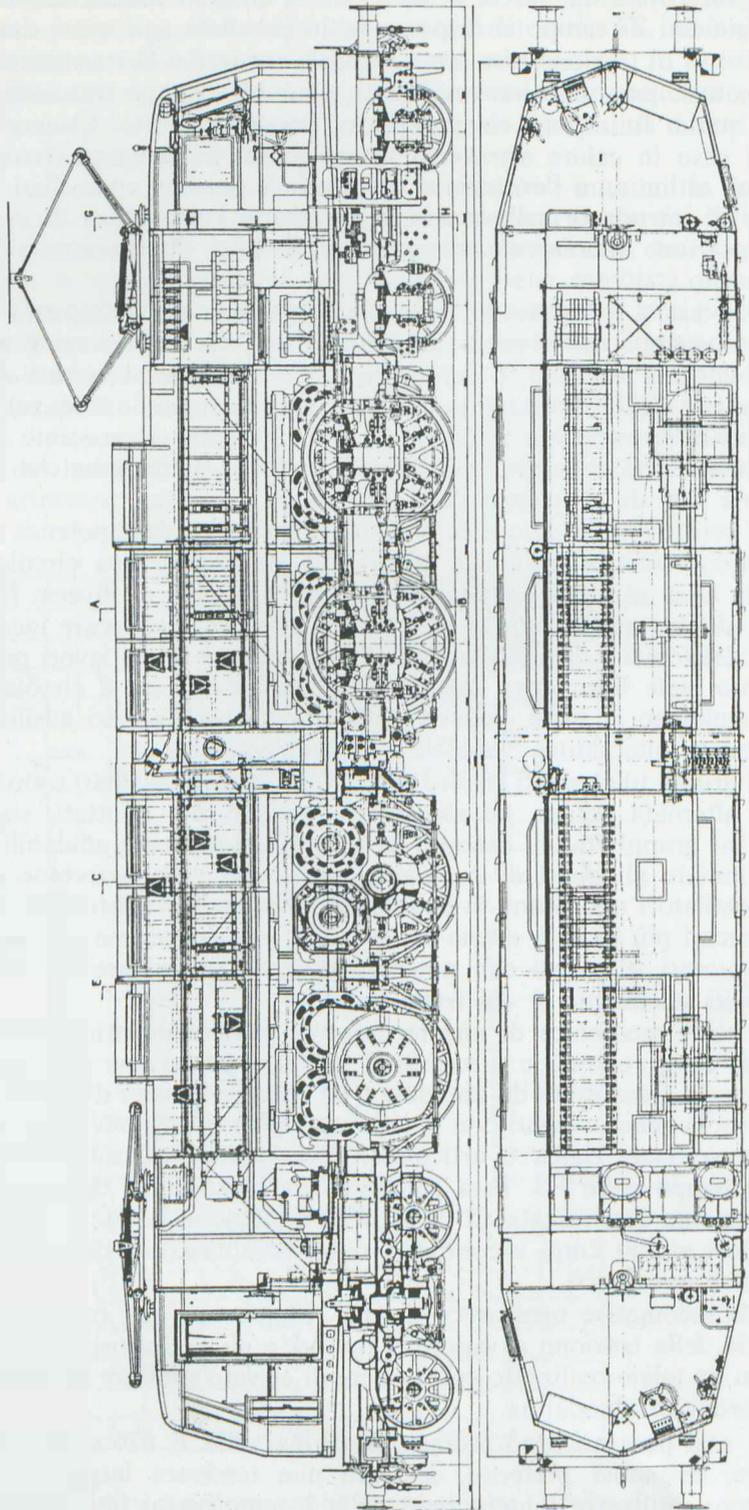


Fig.38 - Locomotiva Gr. E.428 (123 - 241)

tutti motori, sono stati quindi raggruppati a due a due su carrelli biassiali, dove vengono azionati da motori singoli o doppi (fig. 39).

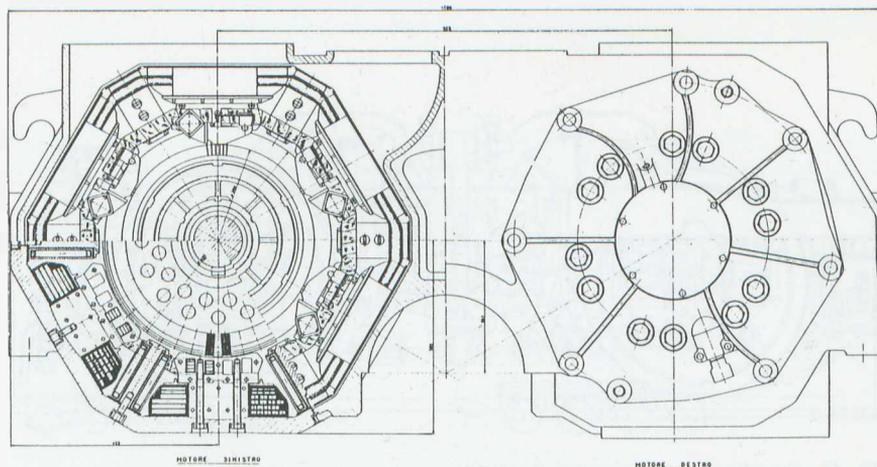


Fig.39 - Sezione trasversale e vista esterna di un motore di trazione doppio tipo 82-333 FS

Nei gruppi E. 632 ed E. 633, attualmente in costruzione, sono stati adottati, in seguito a quanto già favorevolmente sperimentato sulle locomotive Diesel-elettriche D. 343, D. 443, D. 345 e D. 445, carrelli monomotori. Con tale soluzione costruttiva un solo motore di trazione aziona entrambi gli assi, permettendo una riduzione dei pesi e dell'ingombri, a parità di potenza, ed un migliore sfruttamento dell'aderenza. Il minore ingombro del motore unico, inoltre, riducendo lo spazio necessario tra i due assi del carrello, permette di contenere il passo del medesimo, riducendone l'aggressività nei confronti del binario. Negli E. 632 - E. 633, infatti, il passo dei carrelli è di 2150 mm, contro i 2850 degli E. 645, E. 646 ed E. 656 ed i 3150 degli E. 424 ed E. 636.

Tutti i carrelli delle locomotive FS (fig. 40) sono dotati di due stadi di sospensione (primaria tra boccole e telaio del carrello e secondaria tra questo e trave oscillante) realizzati con molle a balestra. Nelle unità più recenti (E. 444 fig. 41, E. 632 ed E. 633) le molle sono del tipo ad elica e la trave oscillante è stata soppressa affidando anche la rotazione cassa-carrello alla deformazione radiale delle molle ad elica della sospensione secondaria, con evidenti semplificazioni costruttive e di esercizio.

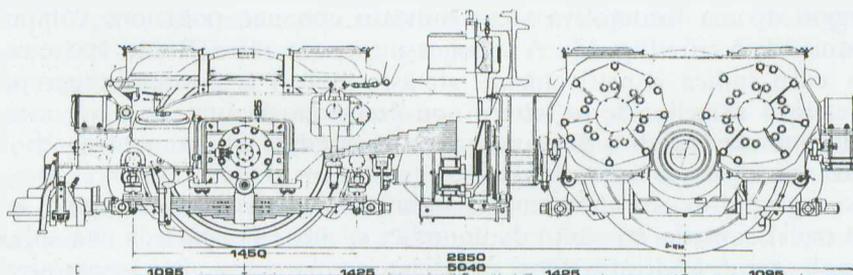


Fig.40 - Carrello di una locomotiva Gr. E.656

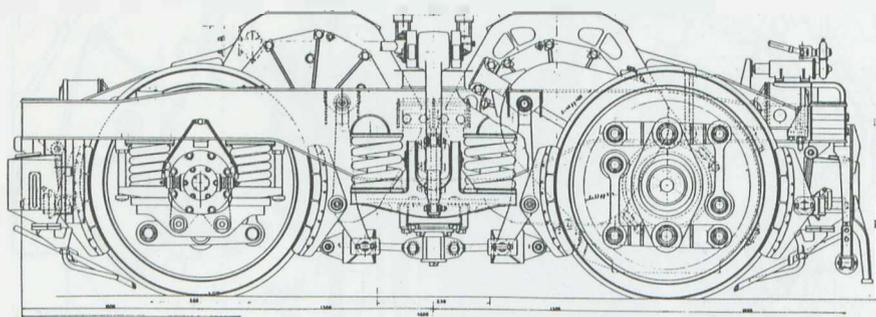


Fig.41 - Carrello di una locomotiva Gr. E.444

La trasmissione del moto dai motori agli assi nelle locomotive trifasi si effettuava con bielle. Questo sistema fu abbandonato dalle FS nelle macchine a corrente continua a vantaggio di quelli con ingranaggi. I perfezionamenti conseguiti nella costruzione di questi consentivano, infatti, di realizzare sistemi più affidabili, soprattutto alle alte velocità, alle quali le sollecitazioni in gioco nelle bielle avrebbero posto problemi di un certo rilievo. La trasmissione a bielle ha trovato tuttavia ancora qualche recente applicazione, per esempio in Svezia, su unità non molto veloci (70-80 km/h) destinate al traino di treni di minerale di ferro con peso dell'ordine di 5000 t, dove consente di realizzare, grazie al reciproco vincolo degli assi, elevati valori di aderenza.

Attualmente la maggior parte delle locomotive elettriche FS è dotata di trasmissione ad asse cavo. Infatti, su rotabili relativamente veloci non si può adottare la sospensione tranviaria, o per il naso, dei motori, perché circa la metà del loro peso graverebbe, senza l'interposizione di elementi elastici, sugli assi, sollecitando eccessivamente il binario. I motori sono quindi interamente sospesi al telaio del carrello e trasmettono il moto ad una corona solidale, appunto, con l'asse cavo. Questo è tubolare e, in condizioni di riposo, è concentrico alla sala motrice, alla quale è collegata con elementi elastici che, deformandosi, consentono durante la marcia piccoli spostamenti relativi nel piano verticale.

Il rodiggio di una locomotiva viene indicato con una notazione composta da lettere maiuscole e cifre (fig. 42). A significa un asse motore, B due, ecc. e ciascuna lettera o cifra indica rispettivamente gli assi motori o portanti raggruppati in ciascun telaio o carrello. Se la lettera non è seguita da una «<sub>o</sub>» gli assi corrispondenti sono accoppiati e possono essere comandati da un numero di motori diverso dal loro (spesso solo uno).

Per assi o gruppi di assi appartenenti ad un telaio secondario si usano le stesse notazioni ma il simbolo è seguito da un indice «'» se è formato da una sola lettera o da un solo numero, diversamente è indicato in parentesi. Per locomotive costituite da più casse separabili ed autonome le notazioni relative a ciascuna cassa sono separate da un segno «+».

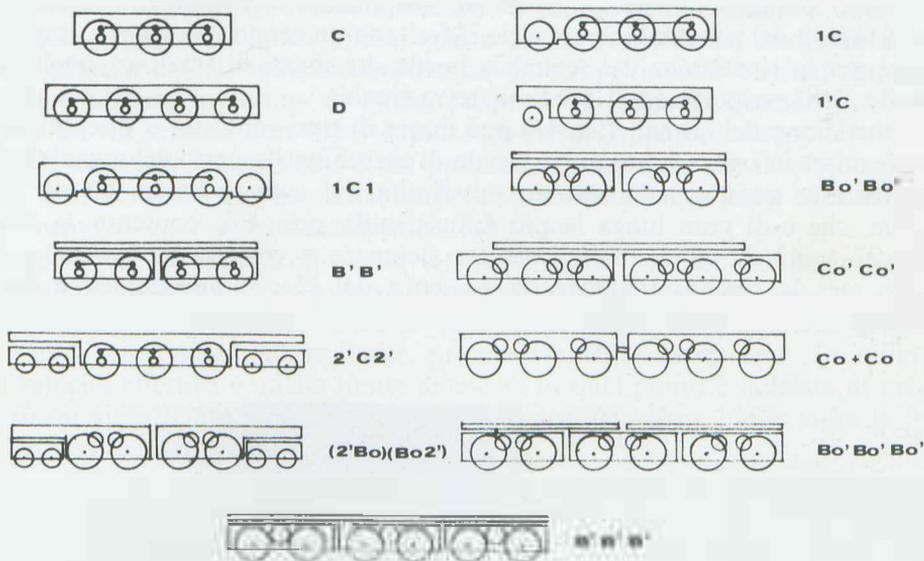


Fig.42 - Principali schemi di rodiggio

Le locomotive FS sono suddivise in gruppi contraddistinti da numeri di tre cifre preceduti dalla lettera E, abbreviazione di « Elettrica ».

Nella trazione trifase la prima cifra indica il numero degli assi motori, la seconda la destinazione al traffico viaggiatori (3) o a quello merci (5), la terza, a partire da zero, il numero progressivo di progettazione del gruppo rispetto agli analoghi che presentavano la stessa quantità di assi motori.

Il gruppo E. 554, ad esempio, aveva cinque assi motori, era destinato prevalentemente al traino dei treni merci ed era il quinto progettato tra quelli con cinque assi motori (E. 550, E. 551, E. 552, progettati e costruiti ed E. 553, progettato ma non realizzato).

Nelle locomotive a corrente continua, invece, la prima cifra indica ancora il numero degli assi motori, la seconda, a partire da 2, indica il numero progressivo di progettazione del gruppo rispetto agli analoghi aventi le stesse caratteristiche e la terza, infine, indica il numero dei motori.

In tal modo il gruppo E. 636, per esempio, ha sei assi motori, è il secondo progettato tra quelli con sei assi motori, (il primo fu l'E. 626), ed è dotato di sei motori.

Questa classificazione non ha un valore assoluto ed ammette, anzi, frequenti eccezioni.

## *Le moderne apparecchiature di sicurezza*

Negli ultimi anni l'aumento della densità di circolazione e della velocità dei treni ha posto su alcune linee delle FS nuovi problemi di sicurezza che sono stati risolti con l'estesa adozione di apparecchiature basate sull'impiego di nuove tecnologie. Esse hanno permesso, talvolta, anche un sostanziale miglioramento delle condizioni di lavoro del personale ferroviario. Meritano un cenno, tra queste, le apparecchiature per la ripetizione dei segnali a bordo dei mezzi di trazione, quelle per il controllo della velocità ed il telefono terra-treno.

La ripetizione dei segnali (fig. 43) può essere di tipo continuo o discontinuo. La prima fornisce in ogni istante al personale di macchina l'aspetto del segnale a valle; l'altra fornisce quest'aspetto solo in prossimità del segnale stesso. La ripetizione continua, che è di gran lunga la più diffusa sulla rete FS, consente la circolazione dei treni in condizioni di elevata sicurezza a velocità di 180-200 km/h e richiede, per la sua installazione, la presenza del blocco automatico a correnti codificate.

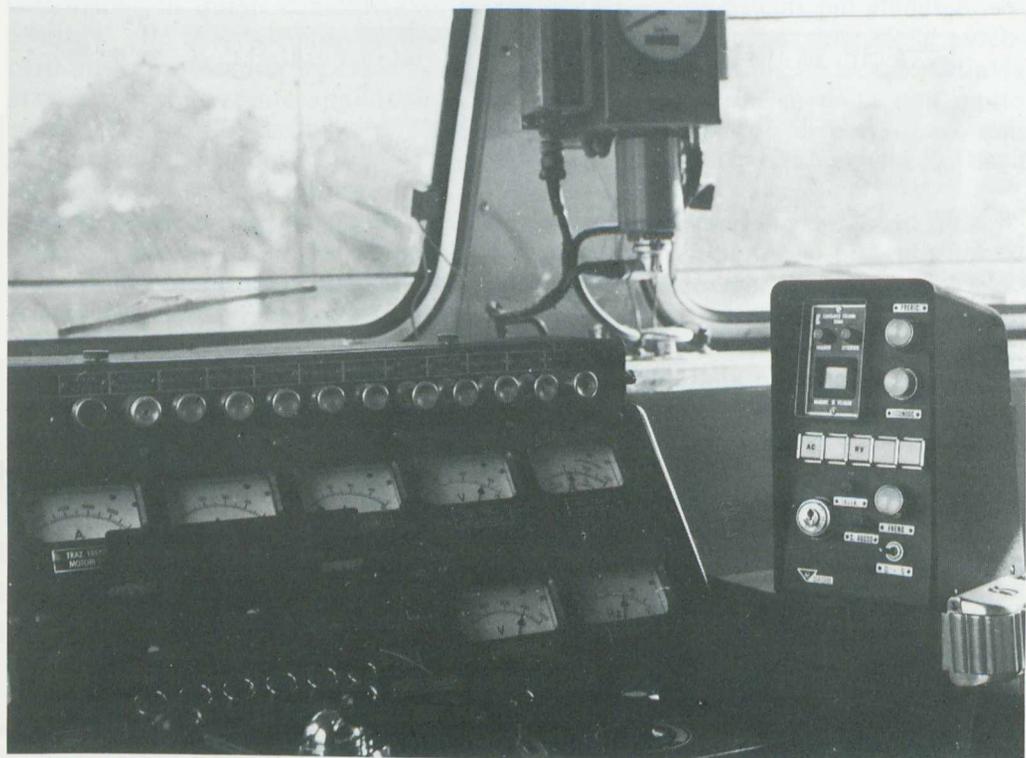


Fig.43 - Apparecchiature per la ripetizione dei segnali nella cabina di una locomotiva

Ciascuna sezione di binario è percorsa da una corrente codificata, cioè da una corrente alternata a 50 Hz, ciclicamente interrotta secondo ritmi di codice di 75, 120, 180, 270 pulsazioni al minuto primo. I codici vengono selezionati in relazione alle condizioni di percorribilità dell'itinerario a valle e quindi all'aspetto presentato dai segnali. L'apparecchiatura rileva queste correnti codificate mediante due captatori induttivi ubicati sulla locomotiva davanti al primo asse e visualizza, con un dispositivo ubicato in cabina di guida, l'aspetto dei segnali. Quando un treno si avvicina ad un segnale con aspetto più restrittivo l'apparecchiatura « avvisa » il personale mediante l'accensione di un pulsante, da azionare per il « riconoscimento », e l'intervento di una suoneria. Se il riconoscimento non viene effettuato tempestivamente si ha l'arresto automatico del treno.

Il dispositivo per il controllo della velocità integra il precedente ed impone che in prossimità di segnali con aspetti restrittivi la riduzione della velocità avvenga con un andamento prefissato. Cioè la velocità del treno deve mantenersi in ogni istante al di sotto di un valore limite, progressivamente decrescente. La differenza tra la velocità effettiva e quella limite ammessa in quel punto è indicata al macchinista su un visualizzatore. In caso di superamento del valore limite si ha la frenatura automatica del convoglio.

Non è difficile immaginare il miglioramento apportato da queste apparecchiature, oltre che alla sicurezza, anche alle condizioni di lavoro del personale di macchina, soprattutto su linee interessate da circolazioni a velocità elevate e da frequenti nebbie.

In materia di sicurezza è importante poter segnalare con la massima rapidità possibile ai treni circolanti sulle linee a doppio binario l'esistenza di eventuali ingombri o di situazioni di emergenza, come ad esempio ostacoli sui binari in corrispondenza di passaggi a livello, caduta di massi, svii sul binario attiguo, ecc. È altresì utile, ai fini della regolarità della circolazione, che il personale dei treni possa comunicare con quello a terra anche durante la marcia, per questioni riguardanti la circolazione. A queste esigenze prioritarie di sicurezza e di regolarità se ne aggiunge una terza, legata al confort del viaggio, che è quella di consentire ai viaggiatori di comunicare dai treni in corsa con qualsiasi utente della rete telefonica pubblica.

Questo complesso di esigenze ha portato all'adozione del collegamento terra-treno (fig. 44), esteso per ora ad alcuni gruppi di rotabili più veloci e ad alcune linee fondamentali.

Il tipo adottato dalle FS è ad « onde convogliate » ed utilizza come supporto dei segnali ad alta frequenza ricetrasmessi la linea aerea di contatto. Ad essa sono collegate in modo opportuno le apparecchiature adibite alla ricetrasmisione ed ubicate a bordo dei rotabili e lungo la linea in alcune stazioni ad intervalli di 20-25 km.

Il dispositivo di allarme ed il telefono di servizio sono a disposizione del solo personale ferroviario. Essi consentono d'inviare un'informazione di allarme dal



Fig.44 - Telefono terra - treno e dispositivo di allarme nella cabina di una locomotiva

treno in corsa agli altri convogli che si trovano in prossimità su entrambi i binari ed ai Dirigenti Movimento e Centrali. Da terra è possibile inviare l'allarme ai treni su entrambi i binari lungo la tratta coperta dal posto fisso (20-25 km). Il dispositivo permette, inoltre, una comunicazione telefonica tra i posti a terra ed i mezzi di trazione e consentirà, in un eventuale futuro ampliamento del sistema, di trasmettere segnali atti a fornire informazioni complementari per un più elevato livello di regolarità della circolazione.

Il telefono pubblico è a disposizione dei viaggiatori per comunicazioni dai treni a terra. Su taluni convogli essi possono chiamare da un apparecchio non molto diverso da quelli utilizzati nei posti telefonici pubblici da un qualunque utente della rete nazionale, tramite un posto terminale presenziato da un operatore.

## La riparazione delle locomotive elettriche

Le locomotive elettriche, come tutti i rotabili ferroviari, sono sottoposte, durante la loro esistenza a progressive usure e deperimenti causati dal lavoro compiuto e dal trascorrere del tempo. Questi sono tollerabili fino a certi limiti, oltre i quali bisogna intervenire mediante riparazioni o sostituzioni.

In base a dati statistici ed a conoscenze tecniche è possibile prevedere la durata in servizio senza necessità di riparazione degli organi di un certo rotabile. Essa viene espressa praticamente in km di percorrenza e determina la successione delle riparazioni prima di superare i limiti di usura ritenuti accettabili.

Queste riparazioni vengono chiamate « Revisioni Cicliche ». Esse hanno lo scopo di assicurare la piena efficienza del rotabile durante la sua esistenza e sono così suddivise:

- **Riordini** (Rr per le loc.ve elettriche, R III per i mezzi Diesel e VIS per i mezzi leggeri elettrici). Vengono riparati gli organi che si usurano più rapidamente degli altri, ripristinando la loro efficienza in modo che il rotabile giunga alla successiva ciclica senza altre riparazioni intermedie.
- **Medie Riparazioni** (RGm) - Vengono effettuati, oltre agli interventi previsti in sede di riordino, altri lavori di carattere meccanico.
- **Grandi Riparazioni** (RG) - Il rotabile viene scomposto in tutti i suoi componenti elementari per ciascuno dei quali si provvede alla riparazione od alla sostituzione. Il rotabile riassume, in tal modo, le caratteristiche iniziali di progetto.

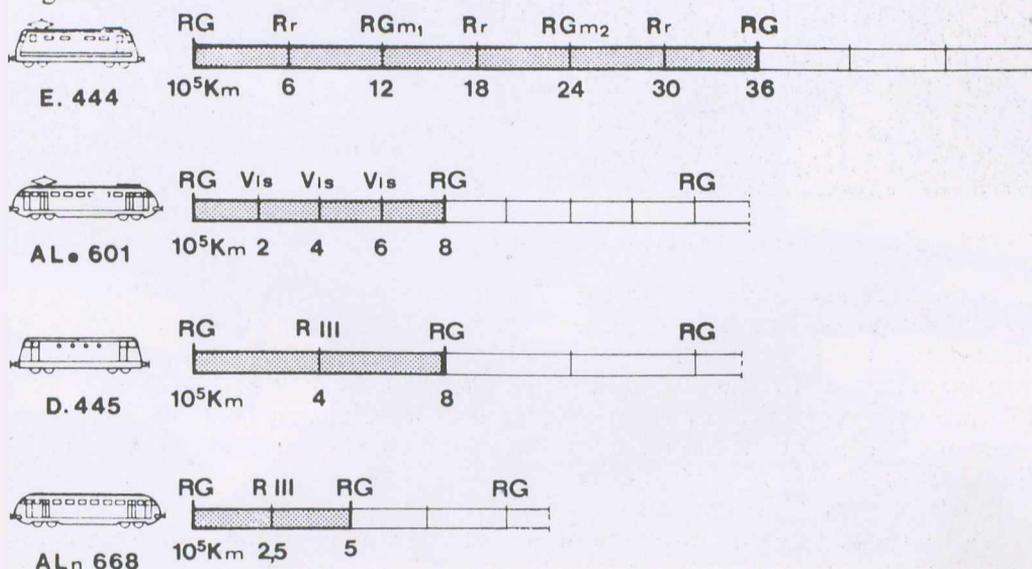


Fig.45 - Sequenza riparazioni cicliche

Negli intervalli tra una riparazione ciclica e l'altra, che sono dell'ordine di qualche anno, l'efficienza delle locomotive viene assicurata mediante interventi di manutenzione corrente.

Di norma le riparazioni cicliche vengono effettuate nelle officine di « grande riparazione », mentre alla manutenzione corrente provvedono i depositi. A tale scopo i turni di utilizzazione delle locomotive comprendono soste, opportunamente distanziate, durante le quali vengono eseguiti taluni controlli periodici e le riparazioni richieste dal personale di macchina al termine del viaggio. Anche i depositi, tuttavia, eseguono qualche ciclica per avere un volano di manodopera cui attingere per far fronte a punte di manutenzione corrente.

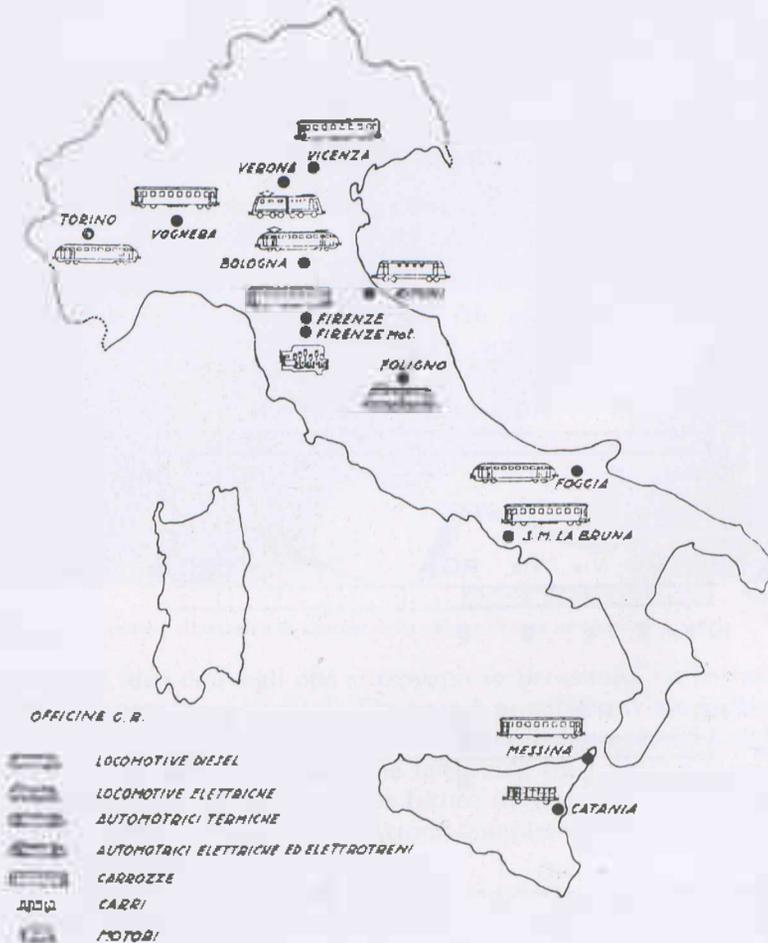


Fig.46 - Distribuzione geografica Officine GR FS

Le revisioni vengono programmate di semestre in semestre ed il carico di lavoro ad esse relativo viene ripartito tra gli Impianti FS e quelli dell'Industria Privata, riservando, in genere, ai primi tutti i mezzi di trazione ed i rotabili rimorchiati di concezione moderna o speciali.

Gli Impianti FS riparano anche tutti quegli organi interessanti la sicurezza e la regolarità dell'esercizio (sale montate, molle a balestra, respingenti, apparecchiature del freno, del riscaldamento elettrico, dell'illuminazione autonoma, ecc.) per i rotabili assegnati all'Industria Privata.

Nella fig. 46 è riportata la distribuzione geografica delle 13 officine FS di Grande Riparazione con la precisazione, per ciascuna di esse, della relativa specializzazione.

Risultano 2 Officine per la riparazione di locomotive elettriche (Foligno e Verona), una per le locomotive Diesel (Rimini), 2 per le automotrici elettriche e gli elettrotreni (Bologna e Torino), una per le automotrici termiche (Foggia), una per la riparazione dei motori delle automotrici termiche (Firenze Romito), 5 per la riparazione delle carrozze e dei bagagliai (Firenze PP, Messina, Napoli S. Maria La Bruna, Voghera e Vicenza) ed una per la riparazione dei carri (Catania).

La forza complessiva delle 13 predette Officine si aggira sulle 11.000 unità (mano d'opera, capi tecnici, impiegati, dirigenti).

Altre tre nuove Officine verranno realizzate a Saline Jonica, S. Nicola di Melfi e Nola.



Fig.47 - Un aspetto di un'Officina GR. per locomotive elettriche

## La locomotiva E. 626

Questo gruppo di locomotive è il più antico attualmente in servizio ed il secondo per entità numerica (385 unità) dopo l'E. 636 (460 unità).

Le E. 626 prestano ancora, nonostante l'età, un buon servizio, grazie alla robustezza ed alla semplicità costruttiva dei componenti. Esse vengono utilizzate generalmente per servizi merci ed in qualche caso per treni viaggiatori locali. Le loro prestazioni, tuttavia, divenute insufficienti per le attuali esigenze dell'esercizio ferroviario, ne imporranno la graduale sostituzione con mezzi più moderni.

Queste locomotive, anticipando un criterio costruttivo che si è successivamente generalizzato, utilizzano tutto il proprio peso ai fini dell'aderenza, essendo dotate di sei assi, tutti motori, distribuiti su un carro articolato costituito da un telaio centrale e da due carrelli estremi.

Le fiancate del telaio centrale si protendono al disopra di detti carrelli, sui quali poggiano con un sistema di bilancieri e puntoni, e costituiscono il telaio della locomotiva. Gli organi di trazione e repulsione sono ubicati sui telai dei carrelli estremi. Il collegamento fra carrelli è realizzato con l'interposizione di un pezzo triangolare con doppia articolazione per permettere reciproci spostamenti sferici. Questi, però, sono limitati nel piano verticale da un collegamento ad incastro scorrevole fra le fiancate adiacenti di due carrelli. Il richiamo dei due carrelli estremi rispetto a quello mediano è ottenuto con dispositivi a molle con carico iniziale di 1500 kg che danno uno sforzo di 3000 kg quando lo spostamento laterale è di 100 mm.

I motori, smontabili dal basso, sono collegati direttamente alle ruote mediante ingranaggi e sono dotati di sospensione tranviaria. Questa, pur essendo molto semplice, e quindi economica, dal punto di vista costruttivo, comporta un elevato peso non sospeso in corrispondenza di ogni asse, e quindi una certa « aggressività » nei confronti del binario.

Sulle E. 626 015 ÷ 099 era montato in origine un gruppo motogeneratore da 40 kW per l'alimentazione degli ausiliari. Dalla E 626.100 in poi questo fu sostituito da una batteria da 24 V, alla cui carica provvedono due dinamo da 4,5 kW montate sui due gruppi motoventilatori ad alta tensione, alimentati direttamente a 3000 V. Successivamente alcune locomotive sono state rese simili a quelle dalla E. 626.100 in poi con eliminazione del motogeneratore.

Le combinazioni dei motori vengono realizzate nelle E. 626.015 ÷ 407 con un combinatore a camme ad azionamento elettropneumatico e nelle E. 626.408 ÷ 448 con una batteria di contattori singoli opportunamente interbloccati.

Si possono realizzare le seguenti velocità economiche:

- serie (tutti i motori in serie);
- serie-parallelo (due rami di tre motori in serie disposti in parallelo tra loro);
- parallelo (tre rami di due motori in serie disposti in parallelo tra loro);

Alle caratteristiche meccaniche fondamentali relative alle combinazioni di cui sopra se ne aggiungono altre 3 corrispondenti ad un grado di indebolimento del campo induttore shuntando il medesimo con una resistenza ohmica o induttiva.

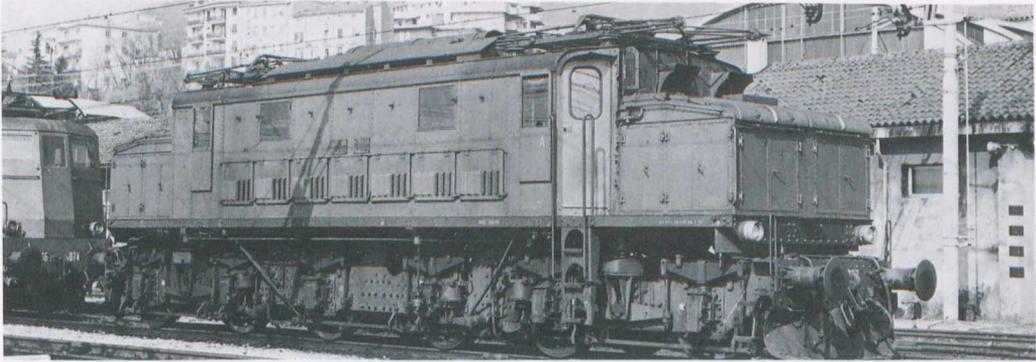


Fig.48 - Locomotiva Gr. E.626

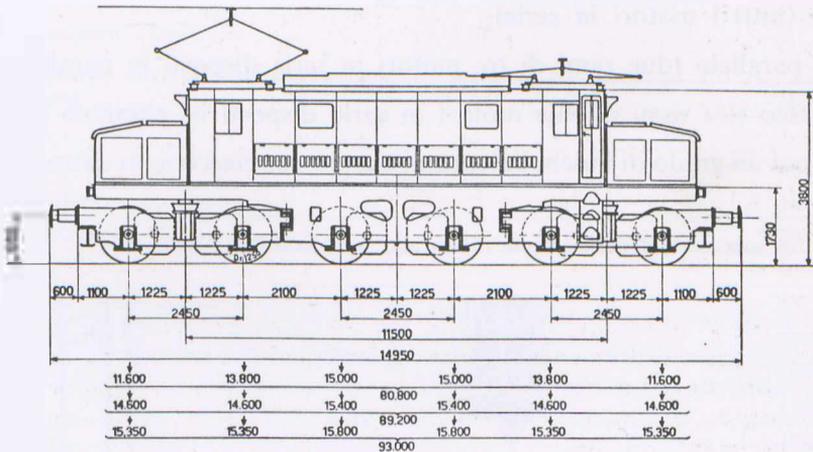


Fig.49 - Locomotiva Gr. E.626

Anni di costruzione	1928-39
Numero di unità	385
Potenza oraria	6 × 350 kW
Potenza continuativa	1890 kW
Rapporti di trasmissione (1)	21/76 24/73
Velocità massima	95 95 km/h
Rodiggio	B <sub>0</sub> B <sub>0</sub> B <sub>0</sub>
Diametro ruote motrici	1250 mm
Lunghezza totale	14950 mm
Passo totale	11550 mm
Massa in servizio e aderente	93 t

(1) Rapporto 21/76 104 unità  
 » 24/73 281 »

## La locomotiva E. 326

Questo gruppo, inizialmente costituito da 12 unità, è in corso di radiazione (1).

Le E. 326, assegnate al Deposito Locomotive di Bologna Centrale, vengono utilizzate per l'effettuazione di treni viaggiatori locali sulle linee per Verona, Padova e Rimini.

Dotate di tre assi motori con ruote del diametro di 2050 mm, il massimo in uso sulle FS, esse possono viaggiare ad una velocità massima che è stata ridotta dagli originari 130 a 105 e quindi a 90 km/h per limitare la sollecitazione del binario.

I tre assi centrali sono azionati da un motore doppio ciascuno, fissato sul telaio, mediante trasmissione ad albero cavo e foglie bloccate.

Le velocità economiche sono 6:

- serie (tutti i motori in serie);
- serie-parallelo (due rami di tre motori in serie disposti in parallelo tra loro);
- parallelo (tre rami di due motori in serie disposti in parallelo tra loro).

Si ha poi un grado di indebolimento di campo per ciascuna di dette combinazioni

(1) Le E. 326 sono state definitivamente radiate dal servizio il 31-12-1982.



Fig.50 - Locomotiva Gr. E.326

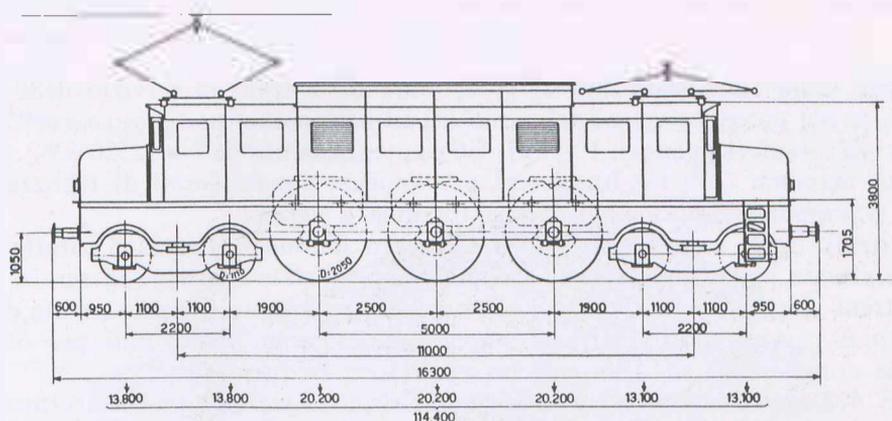


Fig.51 - Locomotiva Gr. E.326

Anni di costruzione	1930-33
Numero di unità	1
Potenza oraria	6 × 350 kW
Potenza continuativa	1890 kW
Rapporto di trasmissione	29/103
Velocità massima	90 km/h
Rodiggio	2'C <sub>0</sub> '2'
Diametro ruote motrici	2050 mm
Lunghezza totale	16300 mm
Passo totale	13200 mm
Massa in servizio	114,4 t
Massa aderente	60,6 t

## La locomotiva E. 428

Queste unità sono state fino al 1958, anno di entrata in servizio delle prime E. 646, le più potenti e veloci del parco FS ed hanno effettuato, fino a quell'epoca, i principali treni viaggiatori. I valori della potenza continuativa (2520 kW) e della velocità massima (130 km/h), elevati per l'epoca, consentivano di realizzare velocità commerciali impensabili con la trazione a vapore.

A partire dagli anni sessanta, con l'avvento di nuove macchine caratterizzate da più elevate prestazioni, queste locomotive sono state destinate ai servizi merci ed ai treni viaggiatori locali. Qui la loro potenza consente rispettivamente di trainare treni pesanti o di realizzare buone accelerazioni, importanti per ottenere velocità commerciali soddisfacenti in servizi con frequenti fermate.

Le E. 428 appartengono a tre serie che differiscono tra loro per la struttura della cassa e per la disposizione di talune apparecchiature, ma realizzano le stesse prestazioni essendo dotate dei medesimi motori di trazione. Questi sono in numero di quattro, del tipo doppio. Le carcasse, fuse in un sol pezzo, sono fissate al telaio e possono essere smontate dal basso. Le armature sono uguali ed intercambiabili con quelle delle E. 326.

La trasmissione del moto agli assi avviene con albero cavo e foglie di acciaio. Queste ultime, soggette a frequenti rotture, sono state sostituite su molte unità con tamponi di gomma.

La cassa poggia su due semicarri, uniti da un collegamento centrale a snodo sferico, con due ralle sferiche di estremità e quattro molle di sostegno laterali. Una delle ralle può traslare longitudinalmente per compensare le variazioni che si determinano tra le ralle stesse durante l'iscrizione in curva.

Per limitare i moti di serpeggio i due semitelai principali sono collegati con ganasce che limitano e smorzano i moti relativi di rotazione attorno allo snodo di accoppiamento.

I serbatoi dell'aria compressa anziché poggiare sulla cassa costituiscono parte integrante della struttura della stessa, con evidenti vantaggi ai fini della robustezza, che risulta accresciuta, e del peso, che viene contenuto.

Un dispositivo meccanico ad azionamento pneumatico permette di aumentare l'aderenza in occasione di avviamenti in condizioni difficili. Esso esercita una pressione verticale sull'estremità interna dei semitelai, in prossimità dello snodo sferico d'accoppiamento, determinando una riduzione del carico gravante sulle ruote portanti ed un uguale aumento di quello che insiste sulle ruote motrici.

Per migliorare il comportamento del rodiggio di queste locomotive, particolarmente aggressivo nei confronti del binario, verso la fine degli anni cinquanta si provvide su alcune unità alla sostituzione dei carrelli portanti, uguali a quelli delle E. 326, con altri dotati di maggiore elasticità trasversale.

Per lo stesso motivo, data anche la disponibilità di unità più moderne, la velocità massima di queste locomotive è stata ridotta da 130 a 100 km/h.

Le velocità economiche sono 8:

— serie (tutti i motori in serie);

- serie-parallelo (due rami di quattro motori in serie disposti in parallelo tra loro);
- parallelo (quattro rami di due motori in serie disposti in parallelo tra loro).

Si hanno poi due gradi di indebolimento di campo nelle combinazioni di serie e serie-parallelo ed uno in quella di parallelo, con cui si derivano nelle bobine di shuntaggio il 30 e il 45% della corrente delle armature.

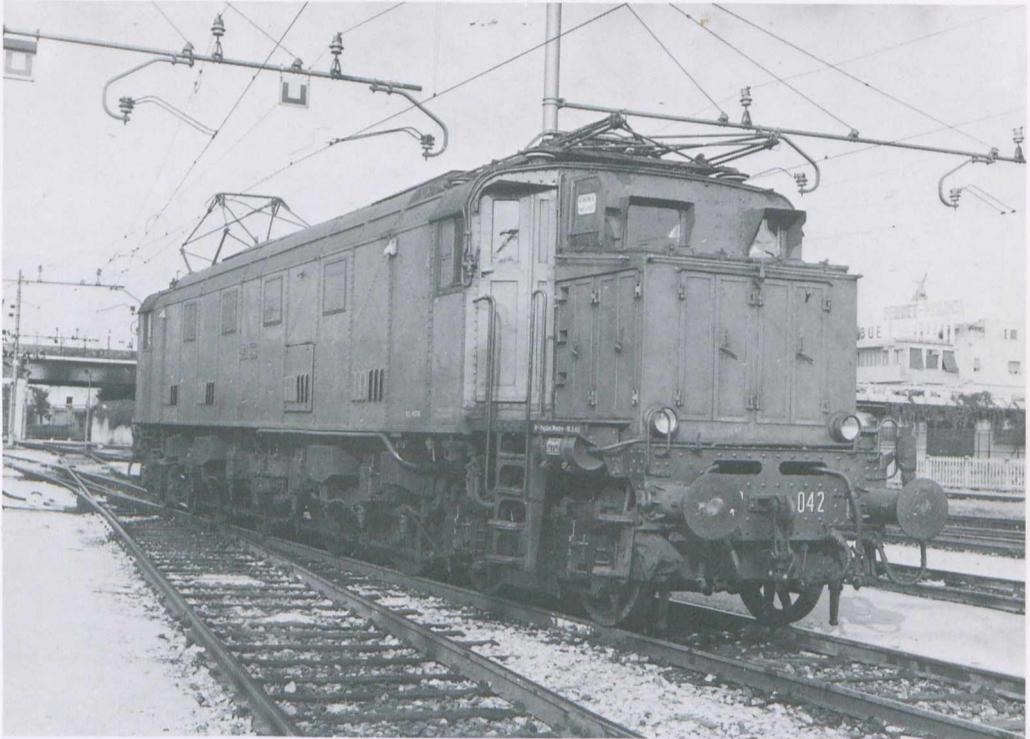


Fig.52 - Locomotiva Gr. E.428 (001 + 122)

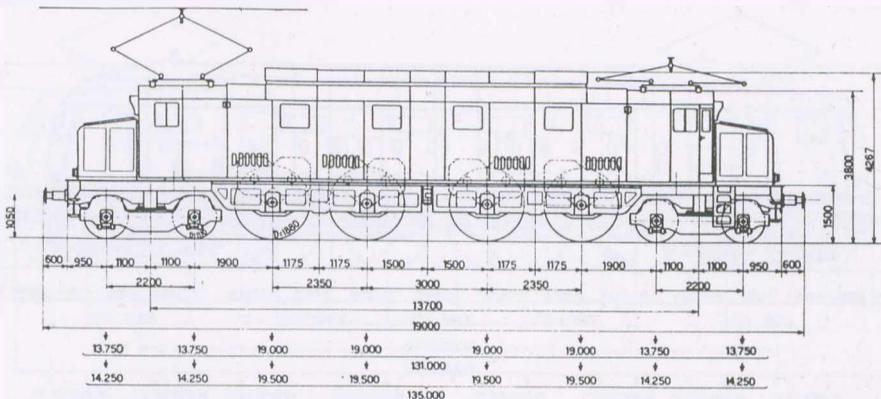


Fig.53 - Locomotiva Gr. E.428 (001 + 122)



Fig.54 - Locomotiva Gr. E.428 (123 - 203)

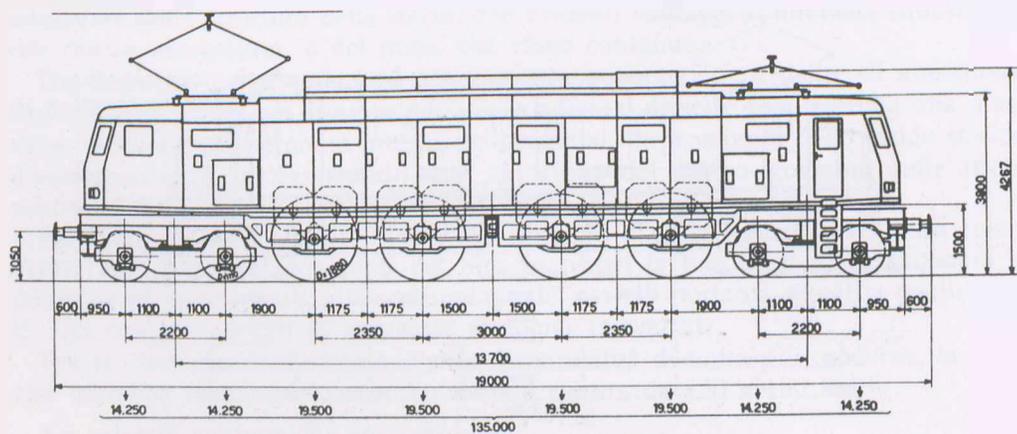


Fig.55 - Locomotiva Gr. E.428 (123 + 203)



Fig.56 - Locomotiva Gr. E.428 (204 - 242)

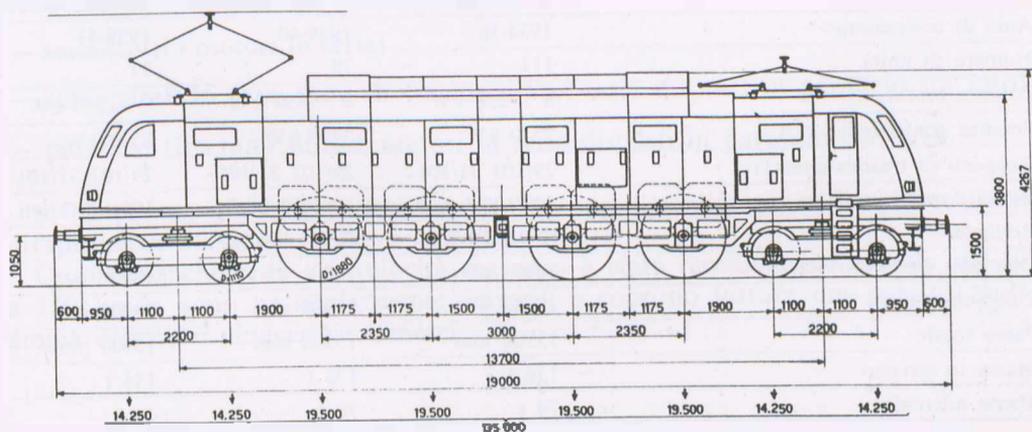


Fig.57 - Locomotiva Gr. E.428 (204 - 242)



Fig.58 - Locomotiva Gr. E.428 (123 + 203)

	E. 428.001 ÷ 122	E. 428.123 ÷ 203	E. 428.204 – 242
Anni di costruzione	1934-38	1939-40	1939-43
Numero di unità	117	79	37
Potenza oraria	8 × 350 kW	8 × 350 kW	8 × 350 kW
Potenza continuativa	2520 kW	2520 kW	2520 kW
Rapporti di trasmissione (1)	29/103 31/101	29/103 31/101	29/103 31/101
Velocità massima	100/100 km/h	100/100 km/h	100/100 km/h
Rodiggio	(2'B <sub>0</sub> ) (B <sub>0</sub> 2')	(2'B <sub>0</sub> ) (B <sub>0</sub> 2')	(2'B <sub>0</sub> ) (B <sub>0</sub> 2')
Diametro ruote motrici	1880 mm	1880 mm	1880 mm
Lunghezza totale	19000 mm	19000 mm	19000 mm
Passo totale	15900 mm	15900 mm	15900 mm
Massa in servizio	136 t	136 t	136 t
Massa aderente	78 t	78 t	78 t
(1) Rapporti	29/103 47 unità	29/103 54 unità	29/103 15 unità
»	31/101 70 »	31/101 25 »	31/101 22 »

## La locomotiva E. 636

Questo gruppo comprende 460 unità, costruite senza sostanziali modifiche dal 1940 al 1962, ed è il più numeroso del parco FS.

La parte elettrica è simile a quella delle E. 626.408÷448. La parte meccanica, invece, è concepita diversamente, per realizzare velocità di marcia più elevate e minori sollecitazioni del binario.

A tale scopo si è fatto ricorso ad una cassa articolata su tre carrelli biassali, tutti motori e indipendenti tra loro. Ciascuna semicassa grava con un appoggio sferico su un carrello estremo e con due pattini sulla trave oscillante del carrello centrale. Le due semicasse sono collegate tra loro in modo da permetterne la reciproca rotazione in ogni piano. Questa soluzione consente di utilizzare tutto il peso della locomotiva ai fini dell'aderenza e di realizzare una distribuzione dei carichi staticamente determinata. Essa è stata ripetutamente adottata in seguito nei gruppi E. 645, E. 646 ed E. 656 ed è stata preferita a quella con cassa unica e carrelli a tre assi, molto diffusa presso altre reti, perchè, se non vi sono esigenze di alta velocità, permette di ridurre l'aggressività nei confronti del binario. Questa, infatti, con carrelli a tre assi, caratterizzati da passo elevato, sarebbe notevole, soprattutto in considerazione dell'andamento piano-altimetrico, generalmente difficile, della maggior parte delle nostre linee.

I carrelli hanno due stadi di sospensione, trave oscillante e motori interamente sospesi e permettono di contenere le spinte trasversali sul binario, soprattutto in corrispondenza della velocità massima, in limiti accettabili e comunque inferiori a quelli dei precedenti gruppi di locomotive.

La trasmissione del moto avviene con ingranaggio intermedio ed asse cavo.

Ciascun carrello è provvisto di una pompa multipla ad aria compressa Friedmann che lubrifica gli snodi delle biellette delle travi oscillanti e gli assi cavi.

Le velocità economiche sono 6:

- serie (tutti i motori in serie)
- serie-parallelo (due rami di tre motori in serie disposti in parallelo tra loro);
- parallelo (tre rami di due motori in serie disposti in parallelo tra loro).

Si ha poi un grado di indebolimento di campo, realizzato mediante esclusione di spire, per ciascuna di dette combinazioni.

Queste macchine, la cui velocità massima è stata recentemente elevata da 105 a 110 km/h, sono particolarmente versatili e coprono tuttora una gamma molto ampia di servizi viaggiatori e merci.



Fig.59 - Locomotiva Gr. E.636

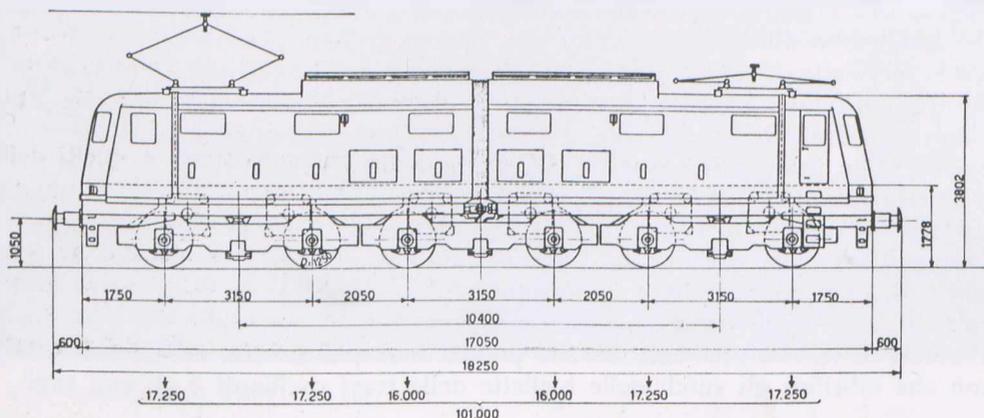


Fig.60 - Locomotiva Gr. E.636

Anni di costruzione	1940-62
Numero di unità	460
Potenza oraria	4 × 350 kW
Potenza continuativa	1890 kW
Rapporti di trasmissione (1)	21/65 24/74 28/65
Velocità massima	110 / 110 / 120 km/h
Rodiggio	B <sub>1</sub> 'B <sub>2</sub> 'B <sub>3</sub> '
Diametro ruote	250 mm
Lunghezza totale	18250 mm
Passo totale	13550 mm
Massa in servizio e aderente	101 t

(1) Rapporti 21/65 417 unità  
 » 24/74 1 »  
 » 28/65 42 »

## La locomotiva E. 424

Questo gruppo di locomotive, pur essendo stato progettato da alcuni anni, venne realizzato a partire dal 1943.

Le E. 424 sono dotate di due carrelli a due assi ciascuno, analoghi a quelli delle E. 636, da cui differiscono solo per il diverso tipo di motori, e sono destinate al servizio di treni leggeri con fermate frequenti su linee pianeggianti, dove non può essere interamente utilizzata la prestazione delle locomotive a sei assi motori.

Per realizzare frequenti avviamenti con elevate accelerazioni senza sollecitare termicamente i motori queste locomotive furono equipaggiate, prime nel parco FS, di avviatore automatico. Questo rese possibile anche l'installazione del comando multiplo, successivamente eliminato, in relazione al quale erano state realizzate le porte frontali d'intercomunicazione, per consentire il passaggio del personale di macchina da una locomotiva all'altra, successivamente anch'esse eliminate.

La cassa comprende due cabine di guida e due cabine per le apparecchiature ad alta tensione tra le quali è stato ricavato un bagagliaio, caso unico su locomotive elettriche FS. I serbatoi principali dell'aria compressa sono saldati alla parte superiore della struttura e contribuiscono alla resistenza dell'insieme.

I pantografi e le apparecchiature elettriche in genere sono simili a quelli delle E. 636. Le resistenze d'avviamento sono, invece, racchiuse in cassoni e soggette a ventilazione forzata derivata dal circuito di ventilazione dei motori.

Questi ultimi sono sulla maggior parte delle E. 424 da 375 kW e su alcune unità da 315 kW. I primi differiscono dagli altri, oltre che per la maggior potenza, per la presenza di avvolgimenti compensatori della reazione d'indotto che, disposti in serie ai poli ausiliari, consentono un uso più ampio e sicuro dell'indebolimento di campo.

Inizialmente undici locomotive (dalla 003 alla 013) erano dotate di motori con eccitazione composta e possibilità di frenatura elettrica con recupero per il servizio sulla linea Bologna-Pistoia (Porrettana) appositamente attrezzata. Attualmente il sistema è in corso di eliminazione e restano solo due unità (004 e 005) ancora dotate di questo tipo di motori.

La trasmissione è del tipo ad asse cavo, analoga a quella delle E. 636.

Le velocità economiche sono rispettivamente 6 sulle unità dotate di motori da 315 kW e 11 su quelle con motori da 350 kW.

Sulle prime si ha:

- serie (tutti i motori in serie);
- parallelo (due rami di due motori in serie disposti in parallelo tra loro);
- due gradi di indebolimento di campo in ciascuna combinazione.

Nelle altre unità si hanno le stesse combinazioni fondamentali ma i gradi di indebolimento di campo sono cinque in serie e quattro in parallelo.



Fig.61 - Locomotiva Gr. E.424

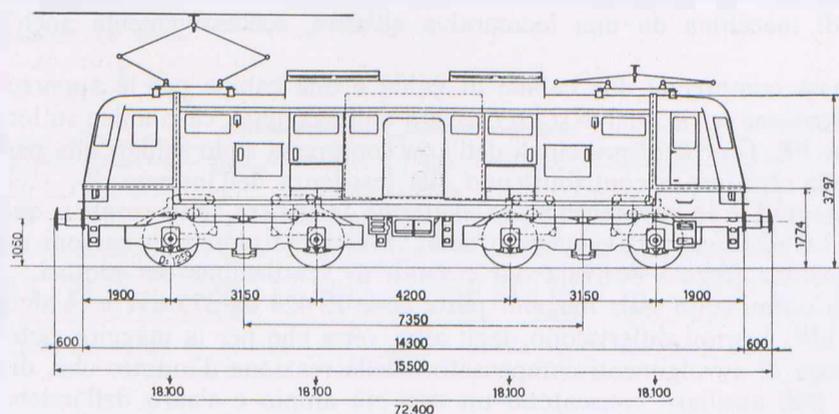


Fig.62 - Locomotiva Gr. E.424

Anni di costruzione	1943-51
Numero di unità	158
Potenza oraria	4 × 415 kW (rapp. 21/65) 4 × 350 kW
Potenza continuativa	1500 kW (rapp. 21/65) 1260 kW
Rapporti di trasmissione (1)	16/65 19/65 21/65
Velocità massima	100 / 100 / 120 km/h
Rodiggio	1C1C
Diametro ruote	1250 mm
Lunghezza totale	15500 mm
Interperno; passo carrelli	3150/7350 mm
Massa in servizio e aderente	72,4 t

(1) Rapporti 16/65 144 unità  
 » 19/65 6 »  
 » 21/65 8 »

## La locomotiva E. 646

I buoni risultati forniti dalle E. 636, divenute, come si è detto dianzi, il gruppo più numeroso del parco FS, indussero a ripeterne le caratteristiche fondamentali nelle nuove E. 646 e nella loro versione per treni merci E. 645, destinate a realizzare prestazioni più elevate.

Le E. 646, pertanto, sono dotate anch'esse di una cassa articolata poggiate su tre carrelli a due assi ciascuno. Questi sono simili a quelli delle E. 636, rispetto ai quali realizzano una migliore qualità di marcia con minori sollecitazioni del binario, grazie all'abbassamento del baricentro ed alla riduzione del passo (da mm 3150 a mm 2850).

Ciò è stato reso possibile dall'impiego di motori di nuova progettazione che, pur offrendo una potenza maggiore, presentano un minore ingombro. Essi sono doppi, dotati cioè di un'unica carcassa con due indotti collegati in serie tra loro, hanno sei poli con eccitazione in serie ed avvolgimenti compensatori, che permettono un funzionamento regolare anche con una percentuale di shuntaggio dei campi del 65%.

Ciascun motore trasmette il moto all'asse corrispondente mediante tre ingranaggi (due pignoni ed una corona), albero cavo ed anello danzante.

Le velocità economiche sono 20:

- serie (tutti i motori in serie);
- serie-parallelo (due rami di sei motori in serie disposti in parallelo tra loro);
- parallelo (tre rami di quattro motori in serie disposti in parallelo tra loro);
- super-parallelo (quattro rami di tre motori in serie disposti in parallelo tra loro).

Si hanno poi cinque gradi di indebolimento di campo nelle combinazioni di serie e serie-parallelo e tre in quelle di parallelo e super-parallelo.

In una delle due cabine di guida è ubicata una pompa Friedmann a 6 vie, a comando meccanico, per la lubrificazione degli alberi cavi.

Queste locomotive sostituirono negli anni sessanta le E. 428 nell'effettuazione dei principali treni viaggiatori e, grazie alla maggiore potenza continuativa (3.780 kW contro 2.520), ed alle diverse caratteristiche meccaniche, permisero un generale miglioramento delle prestazioni e l'eliminazione delle locomotive di spinta su talune tratte acclivi.

Una E. 646, infatti, a 130 km/h nella combinazione di parallelo col massimo grado di shuntaggio assorbe 2.520 kW, pari al 91% della potenza continuativa, e può trainare, in piano, un treno di 700 t. Alla stessa velocità una E. 428 (rapp. 31/101) assorbe 1.320 kW, pari al 52% della potenza continuativa, e può trainare, in piano, solo 260 t.

Le E. 646.187÷210, equipaggiate con telecomando, furono impiegate, insieme a



Fig.63 - Locomotiva Gr. E.646



Fig.64 - Locomotiva Gr. E.646 per treni navetta

carrozze con piano ribassato, di concezione nuova per le FS, per realizzare i primi moderni convogli navetta per servizi vicinali nel Compartimento di Milano.

Queste locomotive sono state fino all'avvento delle E. 656, nel 1975, le più versatili ed affidabili del parco FS. Recentemente le E. 646 hanno lasciato a loro volta il posto sui treni principali ad unità più moderne, ed in particolare alle E. 656, che ne costituiscono una versione potenziata. È stata decisa quindi la loro trasformazione per servizi vicinali, dove l'elevata potenza disponibile permette di realizzare buone accelerazioni e quindi velocità commerciali soddisfacenti.

La trasformazione, programmata in funzione dell'entrata in servizio delle nuove carrozze vicinali, renderà tutte le locomotive uguali a quelle del sottogruppo dianzi citato, destinato fin dall'origine a questi servizi. Essa consiste principalmente nella installazione del telecomando, dell'avviatore automatico, utilizzabile quando si guida dalla carrozza pilota, e di un impianto per l'estinzione degli incendi azionato da rivelatori termosensibili per proteggere la locomotiva che, quando spinge il treno, resta impresenziata.

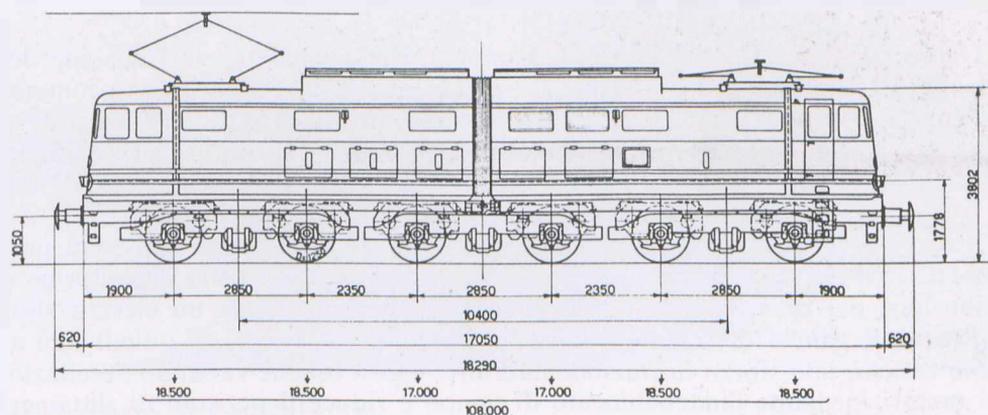


Fig.65 - Locomotiva Gr. E.646

Anni di costruzione	1961-67
Anni di trasformazione per servizi vicinali	1978-in corso
Numero di unità	198
Potenza oraria	12 × 360 kW
Potenza continuativa	3780 kW
Rapporto di trasmissione	25/64
Velocità massima	140 km/h
Rodiggio	B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub>
Diametro ruote	1250 mm
Lunghezza totale	18290 mm
Passo totale	13250 mm
Massa in servizio e aderente	110 t

## La locomotiva E. 645

Il gruppo E. 645 costituisce la versione merci dell'E. 646 e comprende 97 unità, 36 delle quali derivano dalla trasformazione di altrettante E. 646. Queste ultime, a loro volta, si dividono in due sottogruppi che differiscono principalmente per il passo dei carrelli (2.850 mm nelle E. 645.001 ÷ 032 e 3.150 mm nelle E. 645.101 ÷ 105).

Le principali differenze tra E. 645 ed E. 646 riguardano:

- rapporto di trasmissione
- velocità massima
- massa
- dispositivo anticabraggio

L'adozione del rapporto di trasmissione 21/68, la conseguente riduzione della velocità massima da 140 a 120 km/h e l'aumento della massa della locomotiva, ottenuta applicando 2 tonnellate di zavorra, permettono di realizzare sforzi di trazione più elevati, necessari per il servizio merci. All'avviamento si ha, infatti, alla periferia delle ruote uno sforzo max teorico di 29.200 kg, contro i 23.800 delle E. 646, ed alla potenza continuativa si hanno 16.800 kg contro 13.500.

Il dispositivo anticabraggio può essere inserito all'avviamento con treni molto pesanti. Esso serve a limitare gli effetti del cabraggio, cioè della disuniforme distribuzione del peso sugli assi conseguente all'applicazione di un elevato sforzo resistente al gancio di trazione, facendo esercitare ai motori, e quindi agli assi meno carichi, uno sforzo di trazione inferiore. Ciò si ottiene variando l'eccitazione dei motori mediante l'indebolimento di campo e riduce il pericolo di slittamenti.

Per evitare questo fenomeno, che può produrre danni gravi ai motori ed agli indotti in particolare, è stata recentemente decisa l'installazione sulle E. 645 anche del dispositivo antislittante, già in uso su altre locomotive del parco. Il suo funzionamento è basato sul confronto delle tensioni fornite da generatori tachimetrici disposti sugli assi e segnala incipienti slittamenti al macchinista mediante un dispositivo ottico-acustico.

Queste locomotive sono destinate al servizio merci e ad alcuni treni viaggiatori pesanti su linee acclivi, dove sono richiesti elevati sforzi di trazione. Esse hanno consentito sostanziali miglioramenti nelle prestazioni rispetto alle precedenti E. 636. Una E. 645, infatti, può trainare in piano a 110 km/h un treno del peso di circa 900 t contro le 250 t di una E. 636 (rapp. 21/65) a 105 km/h. Su una pendenza del 12‰ in ascesa una E. 645 può trainare 760 t a 76 km/h, mentre una E. 636 può trainare 730 t a 54 km/h.





Fig.68 - Locomotiva Gr. E.645 (033 - 093)

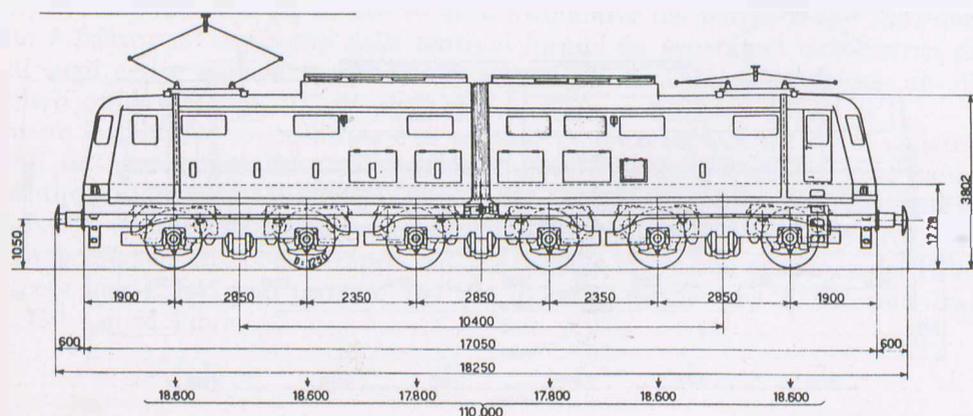


Fig.69 - Locomotiva Gr. E.645 (033 - 093)

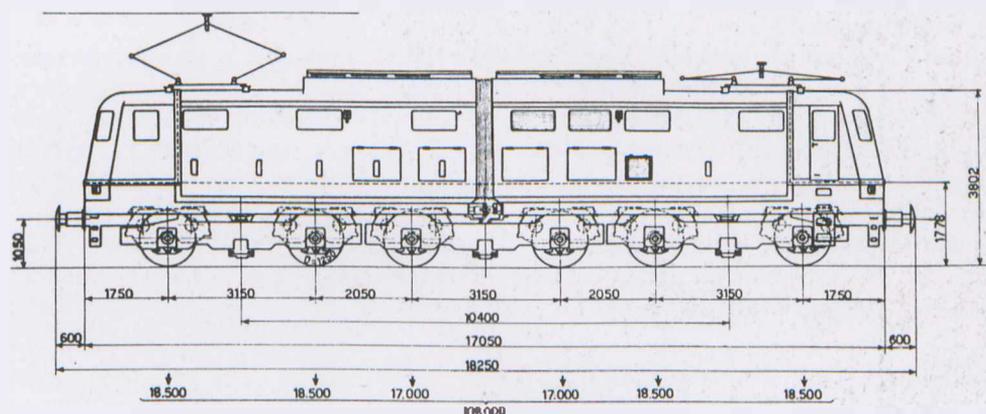


Fig.70 - Locomotiva Gr. E.645 (101 - 105)

	E.645.001 - 032	E.645.033 - 093	E.645.101 - 105
Anni di costruzione	1959-60	1963-65	1958-59 (1)
Numero di unità	31	61	5
Potenza oraria	12 × 360 kW	12 × 360 kW	12 × 360 kW
Potenza continuativa	3780 kW	3780 kW	3780 kW
Rapporto di trasmissione	20/69 21/68 (2)	21/68	21/68
Velocità massima	110 120 km/h	120 km/h	120 km/h
Rodiggio	B <sub>0</sub> B <sub>0</sub> B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub> B <sub>0</sub> B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub> B <sub>0</sub> B <sub>0</sub>
Diametro ruote motrici	1250 mm	1250 mm	1250 mm
Lunghezza totale	18250 mm	18290 mm	18250 mm
Passo totale	13250 mm	13250 mm	13550 mm
Massa in servizio e aderente	112 t	112 t	112 t

(1) Trasformate nel 1978-80

(2) Rapporto 20/69 1 unità

» 21/68 30 »

## *Le locomotive E. 321 - E. 322*

Queste unità sono destinate a servizi di manovra e sono state costruite utilizzando telai e rodiggi di locomotive a vapore gruppo 835. Le E. 322.101 ÷ 120, prive di cabina di guida, possono funzionare solo accoppiate alle E. 321.100 e 200. Alle E. 321.200 possono essere accoppiate due E. 322.

La cassa delle E. 321 comprende una sola cabina di guida ed un avancorpo nel quale sono ubicati il gruppo motore primario-dinamo, il motore di trazione, il compressore, la dinamo per la carica delle batterie, la dinamo per l'alimentazione del circuito dell'eccitazione separata del motore primario ed i vari contattori ad alta e media tensione.

Queste locomotive, essendo destinate a servizi di manovra e quindi sottoposte ad avviamenti frequentissimi, non potevano essere dotate di un equipaggiamento elettrico tradizionale, con regolazione della velocità mediante reostato e combinazioni dei motori. Si sarebbero avuti, infatti, rilevanti quantità di energia dissipate nel reostato e problemi di ventilazione di quest'ultimo, nonché discontinuità nello sforzo di trazione pregiudizievoli per l'aderenza che, in mezzi destinati a frequenti avviamenti, deve essere elevata. È stato adottato quindi il sistema Ward-Leonard con conversione della tensione di linea (3000 V) in altra variabile con continuità da 0 a 900 V.

L'equipaggiamento comprende:

- un motore primario a doppio collettore alimentato dalla linea di contatto che aziona una dinamo principale;
- una dinamo principale che alimenta il motore di trazione con tensione variabile da 0 a 900 V.

Detta dinamo è dotata di eccitazione separata, derivata ed in serie. Quest'ultima genera un campo contrario a quello degli altri due circuiti di eccitazione. Il macchinista regola mediante un combinatore l'intensità del campo generato dal circuito d'eccitazione separata e quindi la tensione ai morsetti del motore di trazione, regolando, conseguentemente, la velocità della locomotiva.

Il motore di trazione trasmette il moto mediante un giunto elastico ed un riduttore ad una ruota dentata solidale con l'asse centrale. Questo è collegato a sua volta con bielle d'accoppiamento alle due sale estreme.

Il riduttore è lubrificato con una pompa ad ingranaggi azionata dallo stesso.

Le bielle di destra sono sfasate di 90° rispetto a quelle di sinistra.

Alcune E. 321 sono dotate di accoppiatore REC per il preriscaldamento dei convogli.

Le E. 322 sono del tutto simili alle E. 321 da cui differiscono per la mancanza della cabina di guida, essendo destinate a funzionare solo in multiplo attacco con queste ultime, e del pantografo. L'alimentazione del motore primario avviene, infatti, con un accoppiatore flessibile da parte della E. 321.

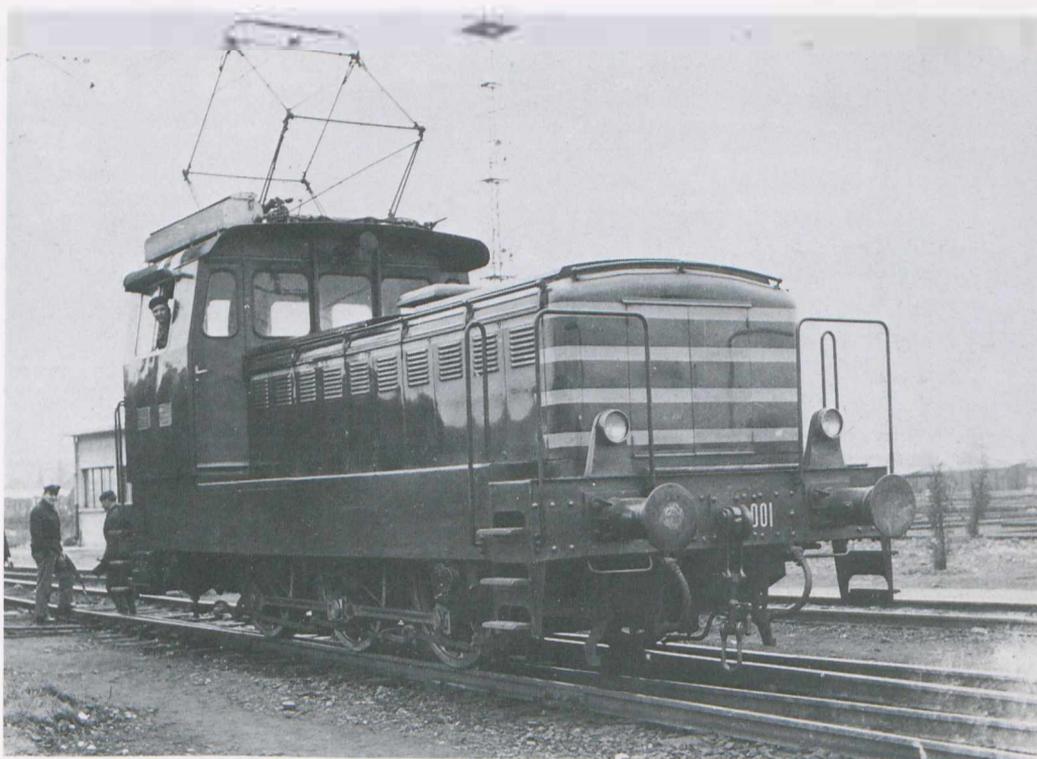


Fig.71 - Locomotiva da manovra Gr. E.321

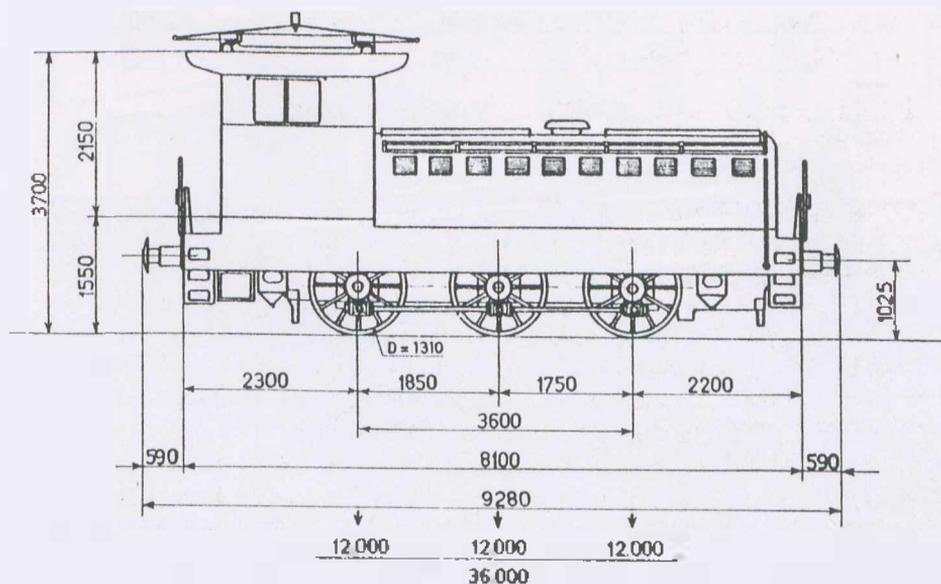


Fig.72 - Locomotiva da manovra Gr. E.321

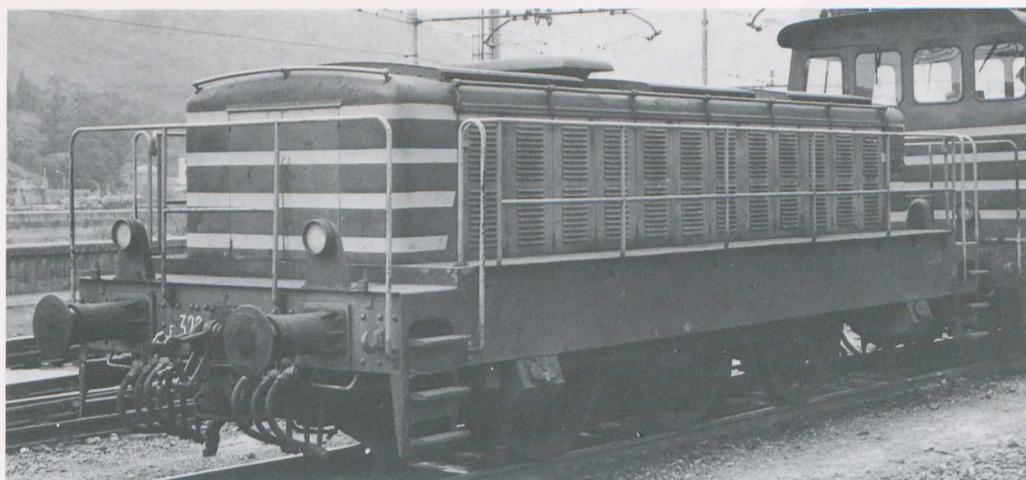


Fig.73 Locomotiva da manovra Gr. E.322

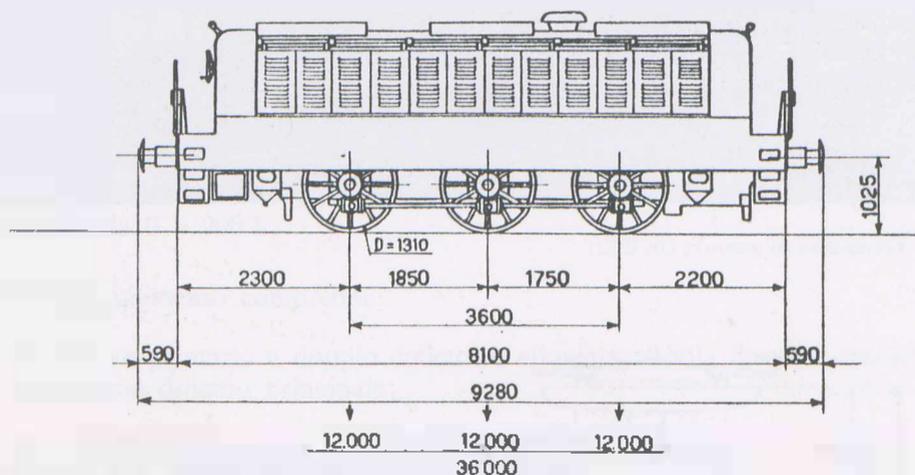


Fig.74 - Locomotiva da manovra Gr. E.322

	E. 321	E. 322
Anni di costruzione	1960-64	1961-64
Numero di unità	40	20
Potenza del motore primario	260 kW	260 kW
Potenza cont. motore trazione	190 kW	190 kW
Rapporto di trasmissione	1/12,34	1/12,34
Velocità massima	50 km/h	50 km/h
Rodiggio	C	C
Diametro ruote	1310 mm	1310 mm
Lunghezza totale	9280 mm	9280 mm
Passo	3600 mm	3600 mm
Massa in servizio e aderente (1)	36 t	36 t

(1) Con zavorra.

## *Le locomotive E. 323 - E. 324*

Costituiscono una versione più moderna dei gruppi E. 321 ed E. 322, di cui conservano le principali caratteristiche costruttive. Differiscono da essi principalmente nel telaio e nel rodiggio, che qui sono di costruzione nuova e quindi diversamente concepiti.

Gli assi, sempre in numero di tre, sono dotati, a differenza di quelli delle E 321 ed E. 322, di boccole a rulli esterne alle ruote, conformate in modo da consentire spostamenti trasversali degli stessi e quindi l'iscrizione della locomotiva in curva con raggio minimo di m 70.

Le superfici di contatto tra boccole e parasale sono costituite da piastre in acciaio al manganese e non richiedono lubrificazione. La sospensione è realizzata con molle a balestra. La lubrificazione dei bordini delle ruote è assicurata da un dispositivo meccanico automatico del tipo De Limon.

Il motore di trazione trasmette il moto mediante un giunto elastico ad un riduttore a due velocità tipo Hurth, collegato a sua volta con una trasmissione ad alberi cardanici ai ponti ad ingranaggi, anch'essi tipo Hurth ubicati sui tre assi della locomotiva.

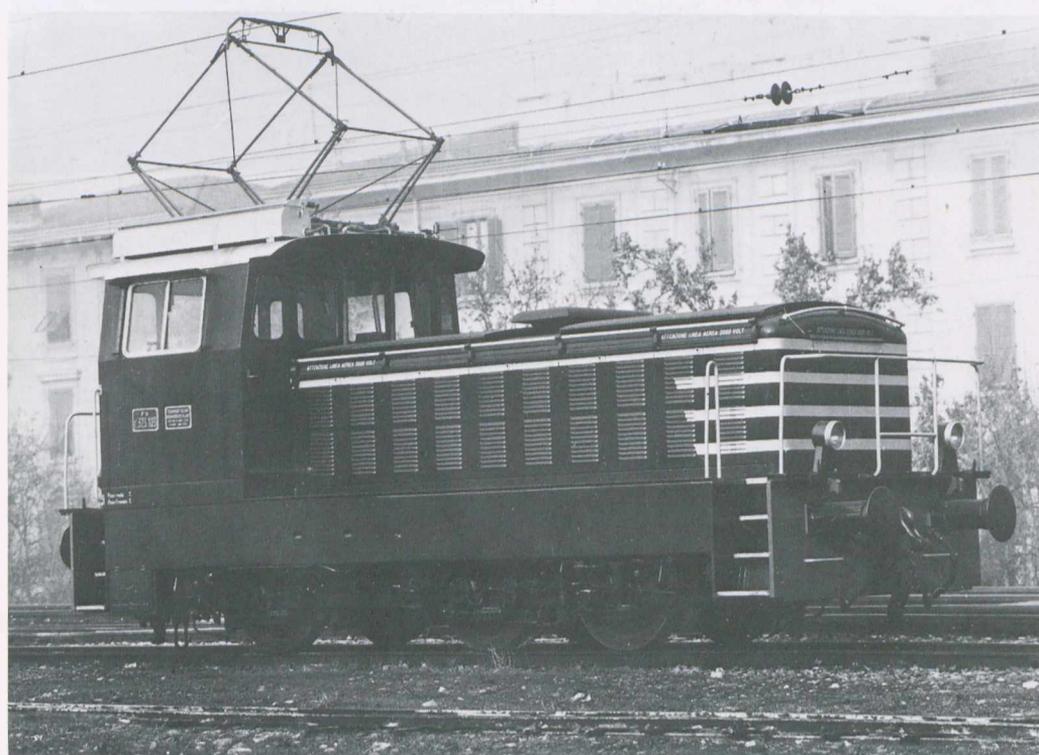


Fig.75 - Locomotiva da manovra Cir. E.323

Il riduttore realizza, come detto dianzi, due rapporti di trasmissione, pari rispettivamente ad 1,99 e ad 1,00, che consentono una velocità massima di 32 km/h, utilizzata nelle manovre, ed una velocità massima di 65 km/h, impiegata nelle marce di trasferimento.

Le E. 324 sono prive di cabina di guida e possono viaggiare solo accoppiate alle E. 323.100 e 200. Alle E. 323.200 possono essere accoppiate due E. 324.

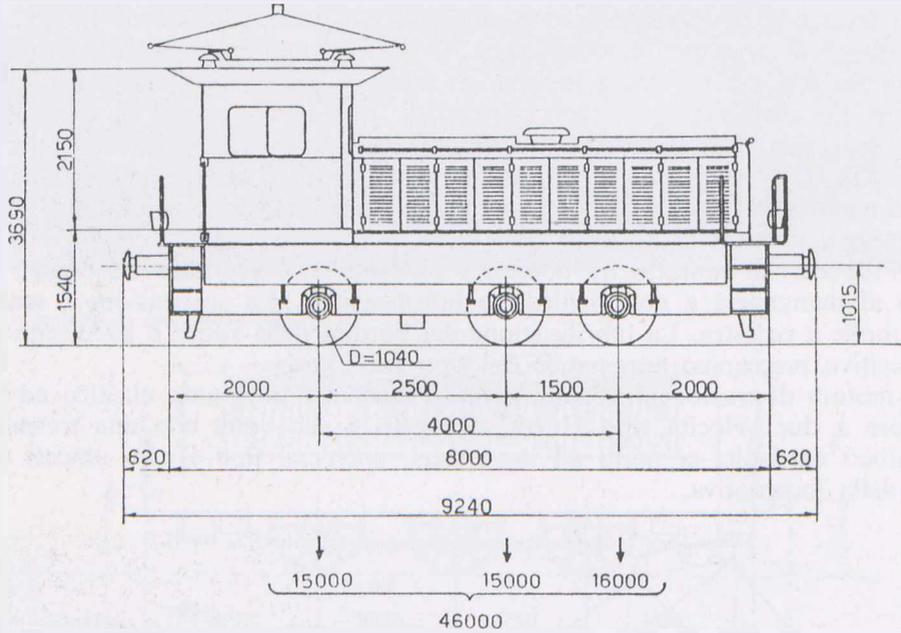


Fig.76 - Locomotiva da manovra Gr. E.323

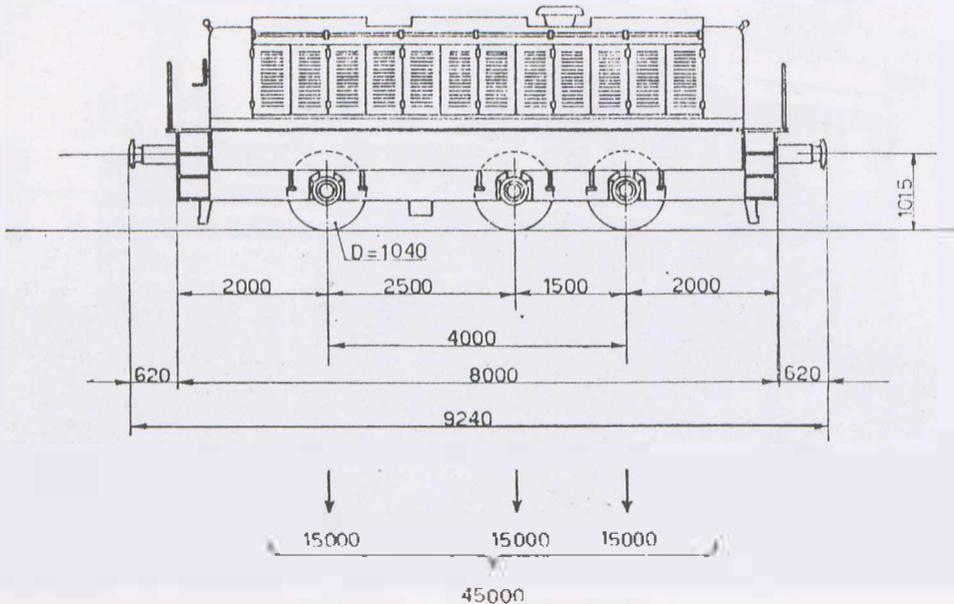


Fig.77 - Locomotiva da manovra Gr. E.324

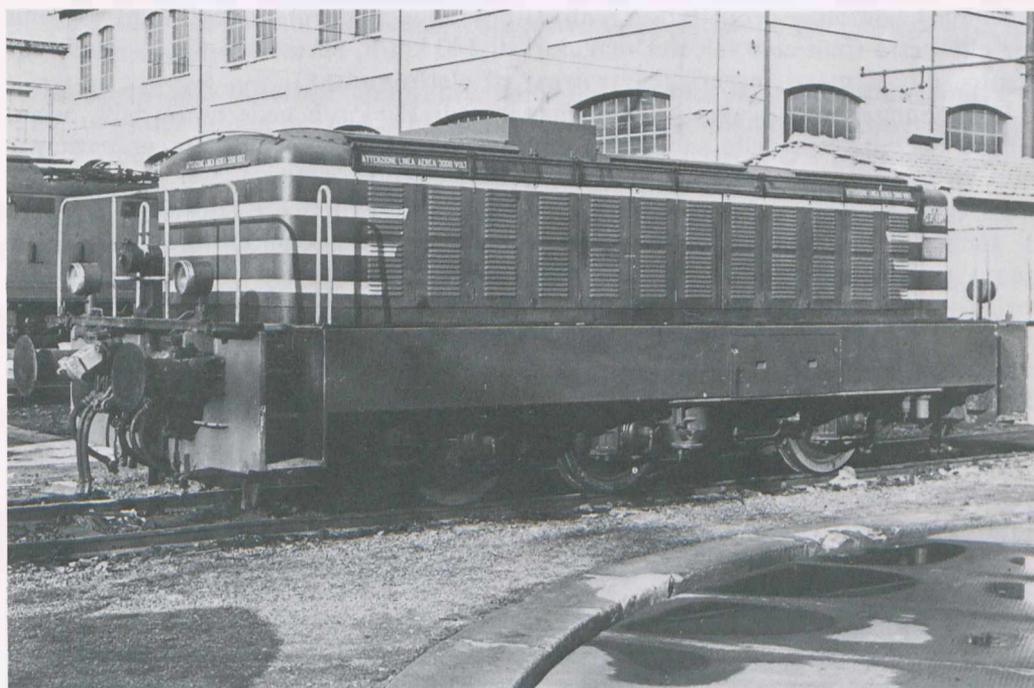


Fig.78 - Locomotiva da manovra Gr. E.324

	E. 323	E. 324
Anni di costruzione	1966-71	1966-71
Numero di unità	30	10
Potenza del motore primario	260 kW	260 kW
Potenza cont. motore trazione	190 kW	190 kW
Rapporti di trasmissione	1,99 1,00	1,99 1,00
Velocità massima	32 65 km/h	32 65 km/h
Rodiggio	C	C
Diametro ruote	1040 mm	1040 mm
Lunghezza totale	9240 mm	9240 mm
Passo	4000 mm	4000 mm
Massa in servizio c aderente	46 t	45 t

## La locomotiva E. 444

È una locomotiva progettata e realizzata nella seconda metà degli anni sessanta per effettuare treni con velocità maggiori di 140 km/h, accessibili fino a quel momento solo ai mezzi leggeri, (eletrotreni ed elettromotrici).

Il raggiungimento di una velocità massima di 180 km/h nelle unità della prima serie e di 200 km/h nelle successive impose l'adozione di un'elevata potenza per asse, di carrelli di concezione nuova e della frenatura elettrica.

La potenza per asse, pari a circa 1000 kW e notevolmente superiore a quella di tutte le precedenti locomotive FS, è stata ottenuta con motori esapolari di nuova progettazione dotati di poli ausiliari ed avvolgimenti compensatori. I motori di ogni carrello sono collegati tra loro ed al telaio del medesimo e trasmettono il moto agli assi mediante un sistema ad albero cavo ed anello danzante simile a quello delle E. 645 ed E. 646. L'albero cavo, per eliminare le soggezioni derivanti dai cuscinetti a strisciamento, ruota su cuscinetti a rulli, con una soluzione nuova per le locomotive FS.

I carrelli presentano a loro volta importanti innovazioni rispetto ai precedenti. La loro forma ad «O», in luogo di quelle classiche ad «H» e ad «8», ottenuta eliminando la trave oscillante, ha consentito di avvicinare i due motori di trazione tra loro, riducendo il momento d'inerzia rispetto all'asse di rotazione verticale. Realizzati con lamiere d'acciaio saldate e struttura scatolare, essi presentano una notevole indeformabilità ed un peso contenuto.

Il collegamento cassa-carrelli è ottenuto con le molle ad elica della sospensione secondaria, che esercitano anche un'azione di richiamo sul carrello quando, per effetto dell'iscrizione in curva, questo ruota di un certo angolo rispetto alla cassa.

Anche la sospensione primaria è realizzata, per la prima volta su locomotive FS, con molle ad elica. All'interno di queste sono sistemati perni di guida e silentbloc muniti nella parte centrale di ghiera di fenoplasto che trasmettono gli sforzi orizzontali di trazione e frenatura.

La trasmissione di questi sforzi tra carrelli e telaio della cassa è realizzato con tre funi d'acciaio a trefolo, che realizzano un sistema di «trazione bassa». Questo riduce sensibilmente il cabraggio dei carrelli, migliorando l'aderenza, in quanto riduce la distanza tra le rette d'applicazione degli sforzi tra ruote e rotaie e di quelli tra carrelli e cassa a 250 mm. Esso migliora, inoltre, la stabilità di marcia, in quanto svincola il moto del carrello da quello della cassa, riducendo le reciproche interferenze.

In tali condizioni risulta però aumentato il cabraggio della cassa, a causa della maggiore distanza tra le rette di applicazione degli sforzi esercitati tra cassa e carrelli. Pertanto, per adeguare lo sforzo di trazione al cerchione di ciascun asse al rispettivo peso aderente, è stato realizzato un sistema di anticabraggio elettrico che fa esercitare ai motori e quindi agli assi del carrello anteriore senso marcia, che vengono scaricati per effetto del cabraggio, uno sforzo inferiore a quello esercitato dai motori del carrello posteriore. Ciò si ottiene variando l'eccitazione dei motori mediante l'indebolimento di campo.

La frenatura elettrica, adottata per realizzare gli elevati sforzi frenanti necessari per l'arresto dei convogli circolanti ad alta velocità, è del tipo reostatico. Essa dissipa l'energia elettrica prodotta dai motori, che in questa fase funzionano da dinamo, attraverso il reostato. La frenatura elettrica agisce per velocità comprese tra 200 e 160 km/h. Da questa velocità a 70 km/h essa si sovrappone a quella pneumatica, mentre al disotto di 70 km/h agisce la sola frenatura pneumatica.

I servizi ausiliari sono alimentati a 380 V 50 Hz da 2 motoalternatori da 65 kVA. È stata tuttavia iniziata su alcune locomotive la sostituzione di questi alternatori con gruppi statici.

La E. 444.005 differisce dalle altre unità del gruppo per essere stata dotata fin dalle origini, e prima nel parco FS, di « chopper ». Ordinata nel 1965 e consegnata alle FS nel settembre 1975 essa effettuò la sua prima corsa tra Milano e Lodi il 21 gennaio 1976.

La messa a punto di questa macchina, che differisce notevolmente da quelle dotate di equipaggiamento tradizionale, è stata notevolmente complessa ed ha richiesto un lungo periodo di tempo, ma ha fornito positivi risultati. Il nuovo tipo di azionamento, infatti, ha consentito di realizzare con una locomotiva a quattro assi da 84 t, grazie alla migliore aderenza, prestazioni analoghe a quelle ottenibili con macchine a sei assi da 110-120 t. L'esperienza ricavata ha permesso di studiare e quindi di ordinare le nuove unità del gruppo E. 633.



Fig.79 - Locomotiva E.444.005 con regolazione elettronica

Meritano un cenno, infine, le E. 444 056 e 057 dotate di shunt-chopper. Queste unità, costruite nel 1974, erano dotate di un equipaggiamento elettrico tradizionale integrato da uno shunt-chopper, cioè da un dispositivo elettronico che aveva lo scopo di variare con continuità la corrente, e quindi lo sforzo di trazione, in corrispondenza dell'esclusione delle varie sezioni di reostato. Ciò serviva a « rettificare » il tipico andamento a « denti di sega » di detto sforzo, conseguente alla presenza del reostato, che riduce l'aderenza e quindi le possibilità di traino della locomotiva.

Entrambe queste macchine sono state trasformate e rese identiche alle altre del gruppo nel 1980-81.



Fig.80 - Locomotiva Gr. E.444 (001 ÷ 004)

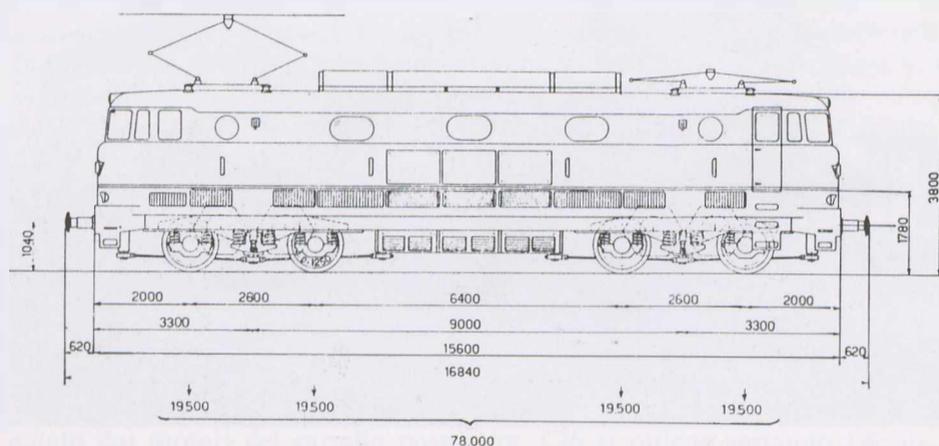


Fig.81 - Locomotiva Gr. E.444 (001 ÷ 004)



Fig.82 - Locomotiva Gr. E.444 (006 - 117)

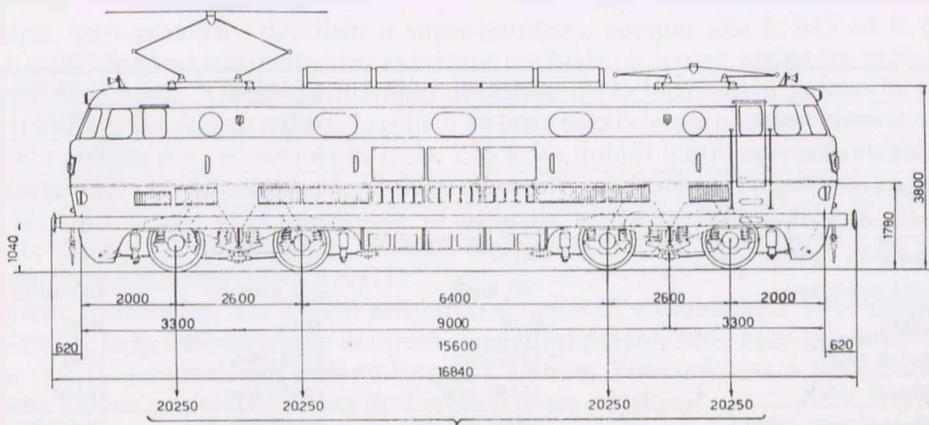


Fig.83 - Locomotiva Gr. E.444 (006 - 117)

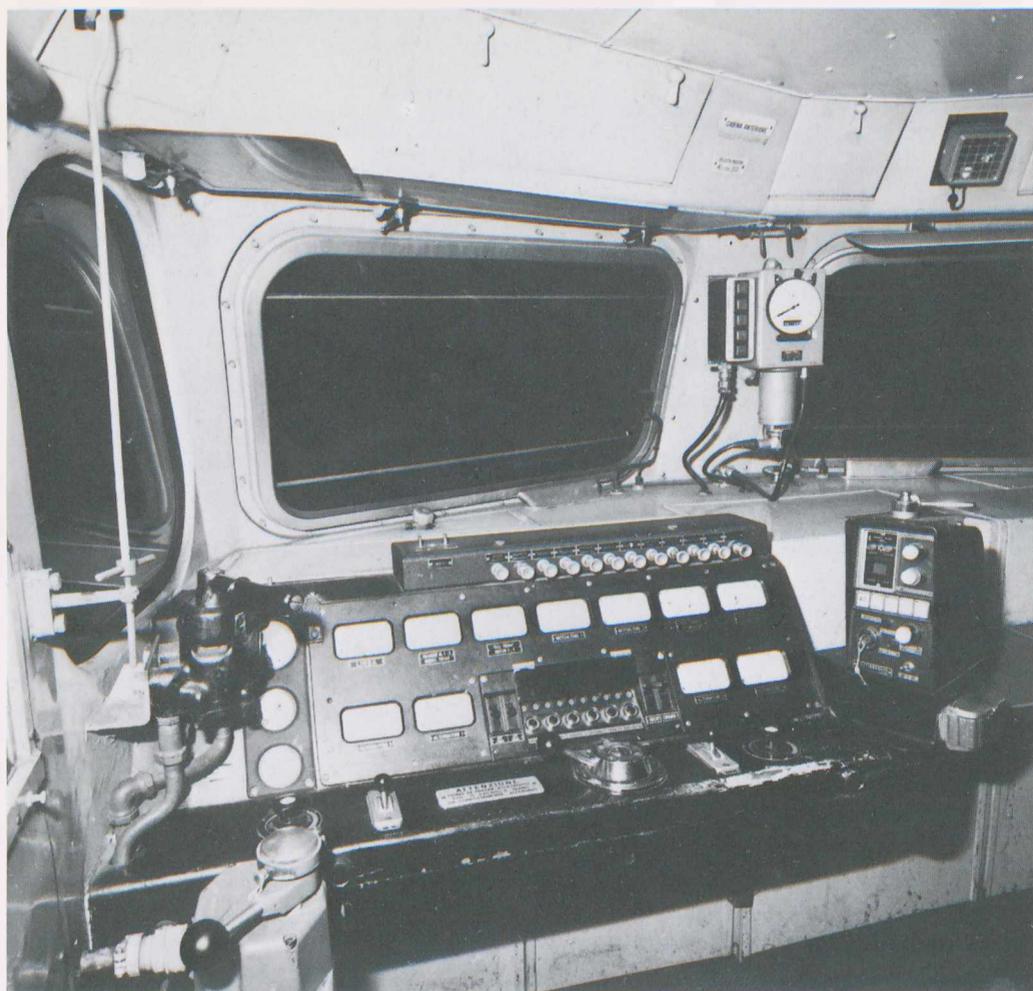


Fig.84 - Cabina di guida di una locomotiva E.444

	E.444.001 ÷ 004	E.444.005	E.444.006 ÷ 117
Anni di costruzione	1967-68	1975	1970-74
Numero di unità	4	1	112
Potenza oraria	4 × 915 kW	4 × 1260 kW	4 × 1110 kW
Potenza continuativa	3240 kW	4500 kW	4020 kW
Rapporto di trasmissione	41/77	40/77	40/77
Velocità massima	180 km/h	200 km/h	200 km/h
Rodiggio	B <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> B <sub>1</sub>
Diametro ruote	1250 mm	1250 mm	1250 mm
Lunghezza totale	16840 mm	16840 mm	16840 mm
Interperno/passi carrelli	9000/2600 mm	9000/2600 mm	9000/2600 mm
Massa in servizio e aderente	78 t	84 t	80 t

## La locomotiva E. 656

All'inizio degli anni settanta si manifestò l'esigenza di ordinare un consistente numero di locomotive per treni viaggiatori pesanti sulle linee fondamentali. Cominciavano allora anche all'estero le prime applicazioni dell'elettronica di potenza alla trazione, ma l'esperienza conseguita nella progettazione e nell'esercizio di questi mezzi non era ancora sufficiente per affrontare una costruzione di serie.

Le locomotive più recenti del parco erano le E. 444, atte alle alte velocità ma dotate di soli quattro assi motori, e quindi poco adatte, per motivi di aderenza, al traino di treni pesanti. Fu deciso quindi di orientarsi su una locomotiva di concezione analoga a quelle dei gruppi E. 645 ed E. 646, che avevano dato buoni risultati, realizzabile con le modifiche ed i miglioramenti suggeriti dall'esperienza dello esercizio, in tempi relativamente brevi.

Le E. 656 presentano, rispetto alle E. 645 ed alle E. 646, alcune innovazioni concernenti principalmente la cassa, i motori di trazione, i circuiti di comando e blocco e gli ausiliari.

La cassa, a parte la diversa coloritura esterna, presenta una sagomatura delle parti frontali che, a parità di lunghezza di telaio, ha permesso di realizzare cabine di guida più ampie e dotate di una migliore visibilità, con positivi risultati anche estetici. Nel collegamento centrale fra le semicasse lo snodo centrale esistente sulle E. 646 è stato sostituito sulle E. 656.052÷104 e 301÷307 con un elemento in gomma che può compiere le stesse funzioni senza organi di strisciamento. Sulle unità dalla 201 alla 307 è stato realizzato un telaio diverso per resistere meglio alle sollecitazioni longitudinali, anche in vista dell'adozione dell'aggancio automatico.

Nei motori di trazione sono stati adottati alcuni miglioramenti di carattere costruttivo e classi d'isolamento più elevato (F per gli statori ed H per gl'indotti). Ciò ha permesso di elevare la potenza della locomotiva dell'11%.

L'avviatore è automatico ed analogo a quello delle E. 444. Anche i banchi di manovra sono dello stesso tipo di quelli delle E. 444, salvo il maggior numero di posizioni del combinatore di marcia. Qui, infatti, oltre alle quattro combinazioni di serie, serie-parallelo, parallelo e super-parallelo, comuni alle E. 645 ed E. 646, dove però vengono realizzate con avviatore manuale, si hanno anche tre posizioni di zero intermedio. Queste permettono di disinserire la locomotiva in marcia, nelle combinazioni di serie-parallelo, parallelo e super-parallelo senza comandare il ritorno del combinatore dei motori in serie. Ciò evita quindi inutili aperture e chiusure dei contattori interessati quando si deve reinserire in velocità il circuito di trazione.

I servizi ausiliari sono alimentati in corrente alternata trifase (450 V 60 Hz) fornita da due motoalternatori azionati da motori a 3.000 V cc da 95 kW o da un gruppo statico da 180 kVA (1).

Queste locomotive, cui è stato attribuito il nome di « Caimano », sono destinate a sostituire le E. 646 nel traino dei treni viaggiatori pesanti sulle linee più importanti della rete (le longitudinali Milano-Reggio Calabria, Torino-Roma e Bologna-Bari, nonché alcune trasversali, come la Torino-Trieste ed altre).

(1) Sono dotate di gruppi statici le E. 656.033-034 159÷251 e 401÷550.



Fig.85 - Locomotiva Gr. E.656

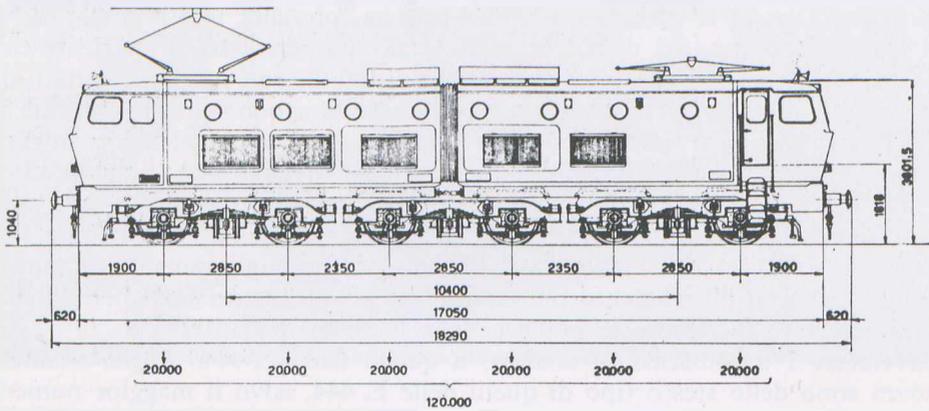


Fig.86 - Locomotiva Gr. E.656

Anni di costruzione	1975-in corso
Numero di unità (1)	248 + 153 in costr.
Potenza oraria	12 × 400 kW
Potenza continuativa	4200 kW
Rapporto di trasmissione	28/61
Velocità massima	150 km/h
Rodiggio	B <sub>0</sub> B <sub>0</sub> B <sub>0</sub>
Diametro ruote	1250 mm
Lunghezza totale	18290 mm
Passo totale	13250 mm
Massa in servizio e aderente	120 t

(1) Al 31.12.82

## Le locomotive E. 632 - E. 633

Sono questi i primi due gruppi di locomotive FS in cui è stato fatto ricorso all'elettronica di potenza. Ciò è stato reso possibile dall'esperienza ricavata dallo esercizio della E. 444.005, munita di « chopper ».

L'adozione di azionamenti elettronici comporta, come si è detto dianzi, mutamenti di rilievo nei criteri di progettazione, costruzione ed esercizio dei mezzi di trazione e adeguamenti delle infrastrutture. Pertanto l'immissione in servizio di una preserie di 5 E. 633 nel 1980 e di una serie di unità, attualmente in corso di consegna, costituisce un evento di notevole rilievo tecnico.

Le E. 632 - E. 633, cui è stato attribuito il nome di « Tigre », sono destinate rispettivamente ai servizi viaggiatori e merci e differiscono fra loro per i rapporti di trasmissione e per le corrispondenti velocità massime. Le E. 632 vengono realizzate con rapporto 36/64 per una velocità massima di 160 km/h, mentre le E. 633 hanno rapporto 29/64 e velocità massima 130 km/h.

Le E. 632-E. 633 sono dotate di cassa unica e di tre carrelli monomotori a due assi; quello centrale è dotato di una possibilità di spostamento trasversale, per favorire l'iscrizione in curva, e di richiamo elastico.

Questa soluzione riflette i più recenti orientamenti costruttivi tendenti a preferire carrelli a due assi a quelli a tre, in quanto più semplici dal punto di vista meccanico e meno « aggressivi » nei confronti del binario, e ad evitare le complicazioni connesse con le soluzioni a cassa articolata e snodo centrale. I carrelli monomotori, pur derivando da quelli delle locomotive Diesel-elettriche D. 343, D. 443, D. 345 e D. 445, costituiscono una novità nel parco elettrico FS.

I motori di trazione sono derivati da quelli delle E. 444 ed opportunamente potenziati. Ciascuno di essi viene alimentato da una colonna chopper simile a quelle sperimentate sulla E. 444.005, ma con una tensione ai morsetti elevata a 2.000 V.

I motori sono interamente sospesi e trasmettono il moto mediante barra di torsione, riduttore a cinque ingranaggi ed anelli danzanti fra corone dentate ed assili.

Per limitare il cabraggio queste macchine sono dotate di trazione bassa, con bielle colleganti direttamente la carcassa dei motori di trazione alla cassa.

La frenatura meccanica è mista, a ceppi ed a dischi, con dispositivo automatico di antipattinaggio.

La frenatura ad aria compressa è integrata da quella reostatica, per la quale è stata installata una batteria di resistenze sull'imperiale.

L'equipaggiamento di trazione è modulare e ciascun modulo è alimentato da un proprio chopper. Questo permette la regolazione automatica e continua dello sforzo di trazione.

Anche la guida risulta notevolmente semplificata in quanto il macchinista fissa la velocità di marcia e lo sforzo di trazione, e quindi l'accelerazione con cui si deve pervenire a detta velocità, che poi la locomotiva mantiene automaticamente costante.

I servizi ausiliari sono alimentati da un convertitore statico trifase.

In caso di avaria la marcia può proseguire con un modulo (motore + chopper) escluso.

Le E. 632-E. 633 costituiscono una nuova generazione di locomotive nel parco FS che offre, rispetto alle unità più recenti (E. 656), prestazioni superiori grazie alla migliore utilizzazione dell'aderenza, permessa dall'impiego dei chopper e dei carrelli monomotori, nonostante una riduzione del peso complessivo della macchina del 15% circa e l'uso di 3 motori invece di 12. Inoltre, il peso relativamente contenuto di queste unità (102 t) ne consentirà l'impiego su tutte le linee della rete.

I valori della potenza continuativa (4330 kW) e della velocità massima (160 km/h nella versione viaggiatori) corrispondono agli standard adottati anche dalle altre reti europee nella costruzione di mezzi di trazione. Tale potenza, infatti, consente di effettuare treni di circa 1000 tonnellate a 160 km/h in piano e di circa 800 t a 110 km/h su pendenze del 12‰. Queste locomotive quindi sono in grado di assicurare il traino dei convogli viaggiatori di massima composizione ad una velocità (160 km/h) alla quale sono atte tutte le nuove carrozze, comprese quelle per i pendolari, e che sarà ammessa su tratte sempre più estese della rete fondamentale. Nel settore merci le E. 633 consentiranno di soddisfare l'esigenza di una maggiore disponibilità di potenza, particolarmente sentita su talune linee di valico.



Fig.87 - Locomotiva Gr. E.633

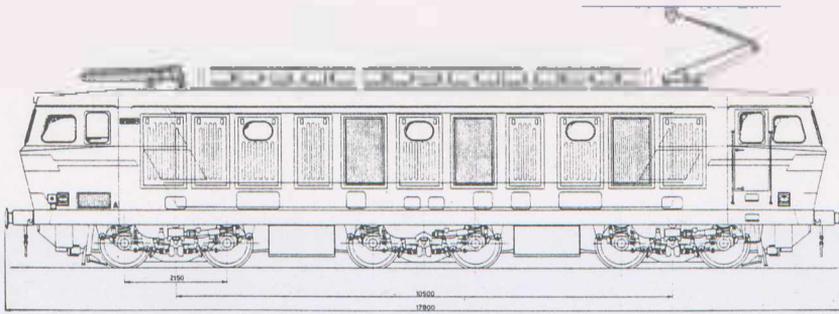


Fig.88 - Locomotiva Gr. E.633

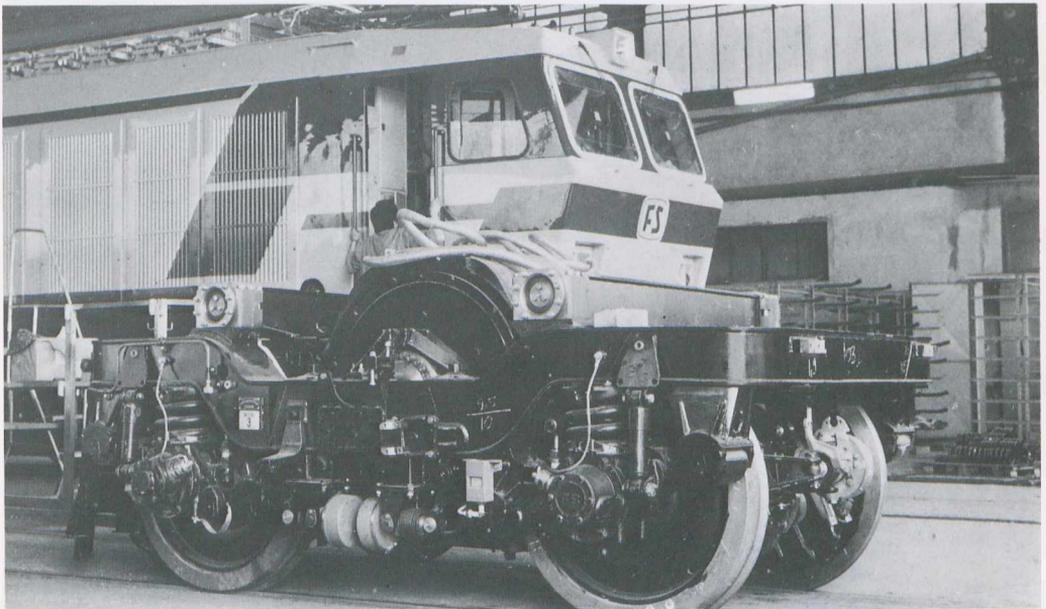


Fig.89 - Carrello monomotore delle locomotive E.632 - E.633

	E. 632	E. 633
Anni di costruzione	1980-in corso	1979-in corso
Numero di unità (1)	4 + 12 in costr.	21 + 58 in costr.
Potenza oraria	3 × 1635 kW	3 × 1635 kW
Potenza continuativa	4330 kW	4330 kW
Rapporti di trasmissione (2)	36/64	29/64
Velocità massima	160 km/h	130 km/h
Rodiggio	B'B'B'	B'B'B'
Diametro ruote	1040 mm	1040 mm
Lunghezza totale	17800 mm	17800 mm
Passo totale	12650 mm	12650 mm
Massa in servizio e aderente	102 t	102 t

(1) Al 31.12.1982. Sono inoltre in corso di ordinazione altre 122 unità.

(2) Nei prototipi delle E. 632 33/64 e delle E. 633 27/64.



Fig.90 - Locomotiva Gr. E. 444 (006 - 117)

# Cronologia

1901	E.420.001 (RM)	1928-1930	E.554.001 ÷ 183
1904	E.360.001 ÷ 003 (RA)	1930	E.400.001 ÷ 003 (1931 alle FS)
	E.430.001 - 002 (RA)	1931-1939	E.626.015 ÷ 448
1906-1907	E.380.001 - 002	1930-1933	E.326.001 ÷ 012
1907	E.390.001 - 002	1932-1934	E.440.001 ÷ 004 (1970 alle FS)
1908-1921	E.550.001 ÷ 186	1934-1943	E.428.001 ÷ 242
1912	E.220.001 (1920 alle FS)	1940-1962	E.636.001 ÷ 469
1912-1913	E.320.001 ÷ 005	1943-1951	E.424.001 ÷ 158
1914	E.330.001 ÷ 016	1958-1959	E.646.001 ÷ 005 (attualm. E.645.101 ÷ 105)
1916-1920	E.331.001 ÷ 018	1959-1960	E.645.001 ÷ 032 (ex E.646.006 ÷ 037 trasf. o rinumer. 1962/64)
1917	E.332.001 - 006	1960-1964	E.321.001 ÷ 020 e 101 ÷ 120 + E.322.101 ÷ 120
1921	E.421.001	1961-1967	E.646.006 ÷ 013 e 020 ÷ 210
1921-1925	E.551.001 ÷ 183	1963-1965	E.645.033 ÷ 093
1922-1923	E.552.001 ÷ 015	1966-1971	E.323.001 ÷ 020, E.323 + 324.101 ÷ 105 e 201 ÷ 205
1922-1924	E.431.001 ÷ 037	1967-1968	E.444.001 ÷ 004
1923-1924	E.333.001 ÷ 040	1970-1974	E.444.006 ÷ 117 (comprese 056-057 shunt-chopper)
1923-1927	E.321.001 ÷ 017	1975	E.444.005 (full chopper)
1925	E.470.001 ÷ 004	1975- in corso	E.656.001 ÷ 104, 159 ÷ 200, 201 ÷ 307
1925	E.570.001 ÷ 004	1979- in corso	E.633.001 ÷ 004, 005 ÷ 079
1925	E.620.001 - 005 (E.621 nel 1954-55)	1980- in corso	E.632.001, 002 ÷ 016
1925-1931	E.472.001 ÷ 017		
1927-1928	E.626.001 ÷ 014 (ex E.625.001 ÷ 008 + E.626.001 ÷ 006)		
1928-1929	E.432.001 ÷ 040		

N.B. Anni di costruzione della prima e dell'ultima unità del gruppo.

Della collana dei QUADERNI FS « nuova serie » sono finora usciti:

1. TRENI E NAVI (Ed. 1980)
2. LA TRAZIONE DIESEL NELLE FS (Ed. 1981)
3. LE LOCOMOTIVE ELETTRICHE DELLE FS (Ed. 1983)

*Hanno collaborato alla ristampa e all'aggiornamento del presente quaderno:*

Il Reparto Stampa e la Fototeca centrale dell'Ufficio Relazioni Aziendali FS

La documentazione fotografica è stata fornita da:

- Fototeca FS
- Ing. Renzo Marini
- Ing. Fabio Cherubini
- FIAT Ferroviaria Savigliano

Impaginazione: Studio Savina

Edito a cura dell'Ufficio Relazioni Aziendali FS

Stampato dalla Christengraf - Roma 1983

*I « Quaderni FS » possono essere richiesti, con pagamento a mezzo vaglia postale indirizzato all'Ufficio Relazioni Aziendali FS - Piazza Croce Rossa, 1 - Roma*



FERR  
Serv.

B